

Cambio climático 2001: Informe de síntesis

Informe de síntesis

Una Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)

Este resumen, aprobado de forma detallada en la XVIII^a Reunión Plenaria del IPCC (Wembley, Reino Unido, 24-25 de septiembre del año 2001), representa la declaración formalmente acordada del IPCC en lo que se refiere a las conclusiones e incertidumbres clave contenidas en las contribuciones de los Grupos de Trabajo al Tercer Informe de Evaluación.

Basado en un borrador preparado por:

El equipo de autores principales

Robert T. Watson, Daniel L. Albritton, Terry Barker, Igor A. Bashmakov, Osvaldo Canziani, Renate Christ, Ulrich Cubasch, Ogunlade Davidson, Habiba Gitay, David Griggs, Kirsten Halsnaes, John Houghton, Joanna House, Zbigniew Kundzewicz, Murari Lal, Neil Leary, Christopher Magadza, James J. McCarthy, John F.B. Mitchell, Jose Roberto Moreira, Mohan Munasinghe, Ian Noble, Rajendra Pachauri, Barrie Pittock, Michael Prather, Richard G. Richels, John B. Robinson, Jayant Sathaye, Stephen Schneider, Robert Scholes, Thomas Stocker, Narasimhan Sundararaman, Rob Swart, Tomihiro Taniguchi, y D. Zhou

Otros autores

Q.K. Ahmad, Oleg Anisimov, Nigel Arnell, Fons Baede, Tariq Banuri, Leonard Bernstein, Daniel H. Bouille, Timothy Carter, Catrinus J. Jepma, Liu Chunzhen, John Church, Stewart Cohen, Paul Desanker, William Easterling, Chris Folland, Filippo Giorgi, Jonathan Gregory, Joanna Haigh, Hideo Harasawa, Bruce Hewitson, Jean-Charles Hourcade, Mike Hulme, Tom Karl, Pekka E. Kauppi, Rik Leemans, Anil Markandya, Luis Jose Mata, Bryant McAvaney, Anthony McMichael, Linda Mearns, Jerry Meehl, Gylvan Meira-Filho, Evan Mills, William R. Moomaw, Berrien Moore, Tsuneyuki Morita, M.J. Mwadowsya, Leonard Nurse, Martin Parry, Joyce Penner, Colin Prentice, Venkatachalam Ramaswamy, Sarah Raper, Jim Salinger, Michael Scott, Roger A. Sedjo, Priyadarshi R. Shukla, Barry Smit, Joel Smith, Leena Srivastava, Ron Stouffer, Kanako Tanaka, Ferenc L. Toth, Kevin Trenberth, Alla Tsyban, John P. Weyant, Tom Wilbanks, Francis Zwiers, y muchos autores del IPCC

Revisores

Susan Barrell, Rick Bradley, Eduardo Calvo, Ian Carruthers, Oyvind Christophersen, Yuri Izrael, Eberhard Jochem, Fortunat Joos, Martin Manning, Bert Metz, Alionne Ndiaye, Burhani Nyenzi, Ramon Pichs-Madruga, Richard Odingo, Michel Petit, Jan Pretel, Armando Ramirez, Jose Romero, John Stone, R.T.M. Sutamihardja, David Warrill, Ding Yihui, y John Zillman

P1

Pregunta 1

¿Cómo puede contribuir el análisis científico, técnico y socioeconómico a la determinación de los factores que constituyen una interferencia antropogénica peligrosa con el sistema climático, tal y como hace referencia el Artículo 2 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático?

Convención Marco sobre el Cambio Climático, Artículo 2

“El objetivo último de la presente Convención y de todo instrumento jurídico que adopte la Conferencia de las Partes es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas 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.”

1.1 Las ciencias naturales, técnicas y sociales pueden aportar la información y las pruebas esenciales para determinar qué es una “interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático”. Al mismo tiempo, dicha decisión constituye un juicio de valor determinado mediante procesos sociopolíticos, teniendo en cuenta factores como el desarrollo, la equidad y la sostenibilidad, además de la incertidumbre y el riesgo. Los datos científicos ayudan a reducir la incertidumbre y aumentar los conocimientos, y pueden servir como una aportación para la consideración de medidas de precaución.¹ Las decisiones se basan en evaluaciones sobre el riesgo, y conducen a los responsables de políticas a tomar decisiones de gestión de riesgos sobre las medidas y políticas.²



GTII TIE Sección 2.7 &
GTIII TIE Capítulo 10

1.2 Las bases para determinar lo que constituye una “interferencia antropogénica peligrosa” varían según las regiones, y dependen tanto de la naturaleza y las consecuencias locales de los impactos del cambio climático como de la capacidad de adaptación disponible para hacer frente a ese cambio climático. También dependen de la capacidad de mitigación, ya que tanto la magnitud como la velocidad del cambio son factores importantes. Los tipos de respuesta a la adaptación que se seleccionen dependen de la eficacia de varias respuestas para la adaptación o mitigación para reducir las vulnerabilidades y mejorar la sostenibilidad de los sistemas que apoyan la vida. No hay un conjunto ideal de políticas que pueda aplicarse de forma universal. Es importante tener en cuenta la solidez de las diferentes medidas políticas frente a una serie de posibilidades futuras, y el grado en que dichas políticas climáticas específicas se pueden integrar con las políticas de desarrollo sostenible más generales.



GTII TIE Capítulo 18 &
GTIII TIE Capítulo 10

1.3 El Tercer Informe de Evaluación (TIE) proporciona una evaluación de nuevos datos y pruebas científicos que puedan ayudar a los responsables de la formulación de políticas que tienen que determinar lo que constituye una “interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático” en lo que se refiere a: 1) la magnitud y velocidad de los cambios en el sistema climático, 2) los impactos ecológicos y socioeconómicos del cambio climático, y 3) las posibilidades de lograr una amplia gama de niveles de concentración mediante la mitigación y la información sobre cómo la adaptación puede reducir la vulnerabilidad.



GTI TIE, GTII TIE, &
GTIII TIE

1.4 En lo que se refiere a la magnitud y velocidad de los cambios en el sistema climático, el TIE proporciona proyecciones basadas en escenarios sobre las concentraciones futuras de gases de efecto invernadero en la atmósfera, las pautas regionales y mundiales de cambios y la velocidad de dichos cambios en la temperatura, las precipitaciones, el nivel del mar, y los cambios en los fenómenos climáticos extremos. También examina la posibilidad de cambios repentinos e irreversibles en la circulación de los océanos y en las principales capas de hielo.



GTI TIE

1.5 EITIE estudia los impactos biofísicos y socioeconómicos del cambio climático.

Expresa cinco motivos de preocupación:

- Riesgos a sistemas únicos y amenazados
- Riesgos asociados con fenómenos meteorológicos extremos
- Distribución de los impactos
- Impactos agregados
- Riesgo de fenómenos a gran escala y de gran impacto.



GTII TIE Capítulo 19

¹ Las condiciones que justifican las medidas preventivas se describen en el Artículo 3.3 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC).

² Los riesgos asociados con un fenómeno determinado se definen simplemente como la probabilidad de que ocurra ese fenómeno, multiplicado por la magnitud de sus consecuencias. Hay varios marcos de decisión que pueden facilitar la evaluación y gestión del riesgo. Estos son, entre otros, el análisis de costos y beneficios, el análisis de rentabilidad, el análisis de atributos múltiples y el de las ventanas tolerables. Dichas técnicas ayudan a diferenciar los niveles de riesgo asociados con posibles futuros, pero en todos los casos estos análisis se caracterizan por un elevado grado de incertidumbre.

En este punto es de gran importancia evaluar la probabilidad de valores de umbral críticos a partir de los cuales los sistemas humanos y naturales muestran cambios irreversibles, repentinos o a gran escala como respuesta ante un cambio climático. Como no hay un único indicador único (por ejemplo, una unidad monetaria) que capte la gama de riesgos que presenta el cambio climático, se precisan una serie de diversos enfoques y criterios analíticos para evaluar los impactos y para facilitar las decisiones sobre la gestión del riesgo.

- 1.6 **En lo que se refiere a las estrategias para abordar el cambio climático, el TIE ofrece una evaluación de las posibilidades de lograr niveles diferentes de concentraciones a través de medidas de mitigación e información sobre cómo la adaptación puede reducir la vulnerabilidad.** La causalidad funciona en ambos sentidos. A partir de diferentes escenarios de emisiones, que están conectados a vías de desarrollo subyacentes, resultan diferentes niveles de estabilización. A su vez, estas vías de desarrollo afectan en gran medida la capacidad de adaptación de cualquier región. De esta manera, las estrategias de adaptación y mitigación se conectan dinámicamente con los cambios en el sistema climático y con las perspectivas de adaptación del ecosistema, la producción de alimentos y el desarrollo económico sostenible.



GTII TIE Capítulo 18 &
GTIII TIE Capítulo 2

- 1.7 Un enfoque integrado del cambio climático tiene en cuenta la dinámica del ciclo completo de causas y efectos interrelacionados en todos los sectores afectados. La Figura 1–1 muestra el ciclo, desde las fuerzas motoras subyacentes de población, economía, tecnología y gobierno, pasando por los gases de efecto invernadero y otras emisiones, los cambios en el sistema climático físico, los impactos en el sistema humano y biofísico, hasta la adaptación y la mitigación, para volver de nuevo a las fuerzas motoras. La figura presenta una visión esquemática de un marco ideal de “evaluación integrada”, en el que interactúan todos los componentes del problema del cambio climático. Los cambios en una parte del ciclo influencian los otros componentes de forma dinámica, a través de múltiples vías. El TIE proporciona información y pruebas de importancia política en lo que se refiere a todos los cuadrantes de la Figura 1–1. En particular, se ha aportado una nueva contribución en el cuadrante inferior derecho de la figura, con el estudio de vías alternativas de desarrollo y sus relaciones con las emisiones de gases de efecto invernadero, y con la realización de trabajos preliminares sobre los vínculos entre adaptación, mitigación, y vías de desarrollo. Sin embargo, el TIE no ofrece una evaluación totalmente integrada sobre el cambio climático ya que nuestros conocimientos de dicho problema son todavía incompletos.



GTII TIE Capítulos 1 &
19, GTIII TIE Capítulo 2,
& IEEE

- 1.8 **La adopción de decisiones sobre el cambio climático es esencialmente un proceso secuencial que se desarrolla en el marco de incertidumbre general.** En ese proceso se debe trabajar en condiciones de incertidumbre, que incluye los riesgos de cambios irreversibles y/o no lineales, sopesar los riesgos medidas excesivas o insuficientes, y considerar en detalle las consecuencias (ambientales y económicas), su probabilidad y la actitud de la sociedad frente a dichos riesgos. Es posible que dicha actitud varíe de un país a otro y de una generación a otra. La pregunta clave es ¿cuál es la mejor vía a corto plazo si tenemos en cuenta el cambio climático proyectado a largo plazo y las incertidumbres que lo acompañan?



GTI TIE, GTII TIE, & GTIII
TIE Sección 10.1.4

- 1.9 **Los impactos del cambio climático forman parte de la cuestión más general de la interacción de los complejos subsistemas sociales, económicos y ambientales, y su influencia en las perspectivas de un desarrollo sostenible.** Existen múltiples vínculos. El desarrollo económico afecta al equilibrio del ecosistema y, a su vez, se ve afectado por el estado del ecosistema; la pobreza puede ser resultado y causa de la degradación ambiental; es probable que los estilos de vida basados en una utilización intensa de energía y materiales, y en niveles constantemente elevados de consumo, apoyados por recursos no renovables y un rápido crecimiento demográfico no sean compatibles con las vías de desarrollo sostenible; y las desigualdades socioeconómicas extremas dentro de una comunidad determinada y también entre distintas naciones pueden



GTII TIE

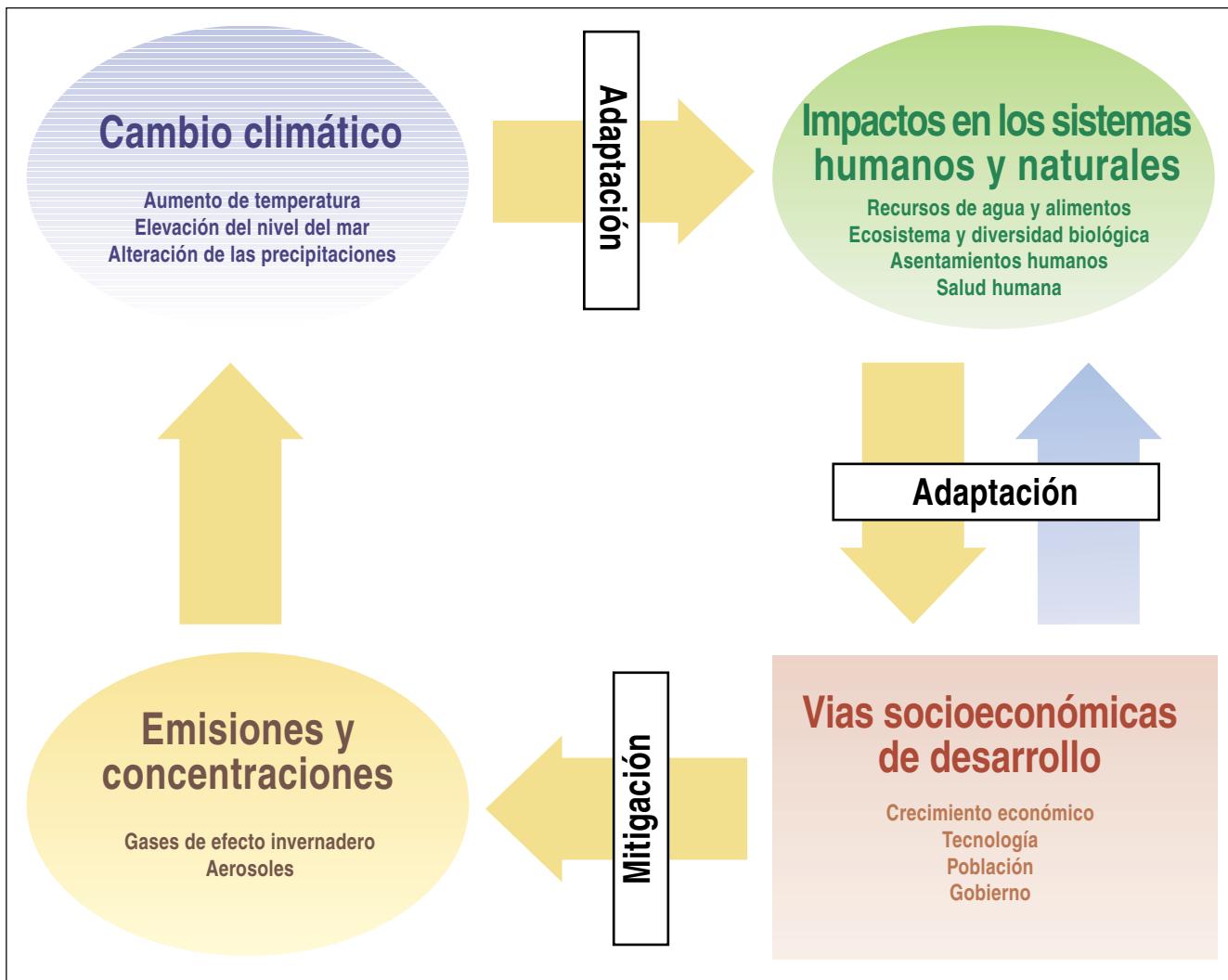


Figura 1–1: Cambio climático—un marco integrado. Representación esquemática y simplificada de un marco de evaluación integrado para la consideración de los cambios climáticos antropogénicos. Las flechas amarillas indican el ciclo de causa a efecto entre los cuatro cuadrantes mostrados en la figura, y la flecha azul indica la respuesta de la sociedad ante los impactos del cambio climático. Para los países desarrollados y los países en desarrollo, cada vía de desarrollo socioeconómico investigada en el Informe Especial del IPCC muestra fuerzas impulsoras que dan lugar a emisiones de gases de efecto invernadero, aerosoles, y sus precursores—siendo el dióxido de carbono (CO_2) el más importante de ellos. Las emisiones de gases de efecto invernadero se acumulan en la atmósfera, cambiando las concentraciones y perturbando el equilibrio natural con arreglo a procesos físicos tales como la radiación solar, la formación de nubes y las precipitaciones. Los aerosoles también agravan la contaminación de la atmósfera (produciendo, por ejemplo, la lluvia ácida) que daña los sistemas naturales y humanos (no se muestra). El mayor efecto invernadero inicia cambios climáticos que se prolongarán en el futuro y tendrá efectos asociados sobre los sistemas naturales y humanos. Existe la posibilidad de algún tipo de reacción entre los cambios en estos sistemas y el clima (no se muestra)—por ejemplo, los impactos sobre el albedo producidos por el cambio en el uso de las tierras—y otras interacciones, tal vez más importantes, entre dichos sistemas y las emisiones atmosféricas, por ejemplo los efectos de los cambios en el uso de las tierras (tampoco se muestra). Estos cambios han de tener en definitiva efectos sobre las vías de desarrollo socioeconómico. Las vías de desarrollo tienen también efectos directos sobre los sistemas naturales (que se muestran por la flecha en sentido contrario a las agujas del reloj desde el recuadro de desarrollo), tales como los cambios en los usos de las tierras que conducen a la deforestación. Esta figura indica que existen diferentes dimensiones del problema del cambio climático, en un ciclo dinámico caracterizado por unos intervalos temporales importantes. Las emisiones y los efectos, por ejemplo, están vinculados, de forma compleja, con las vías de desarrollo socioeconómico y tecnológico. Una importante contribución del TIE ha sido la consideración de forma explícita de los aspectos que figuran en el ángulo inferior derecho (que se muestra como un rectángulo), mediante un examen de las relaciones existentes entre las emisiones de gases de efecto invernadero y las vías de desarrollo (véase el IEIE), y una evaluación de los trabajos preliminares sobre los nexos entre adaptación, mitigación, y vías de desarrollo (GTII y GTIII). Sin embargo, el TIE no hace una evaluación totalmente integrada del cambio climático, ya que no todos los componentes del ciclo se pueden vincular de forma dinámica. La adaptación y la mitigación aparecen como factores que modifican los efectos que se ilustran en la figura.

debilitar la cohesión social que podría posibilitar la sostenibilidad y hacer más eficaces las respuestas de política. Al mismo tiempo, las decisiones sobre políticas socioeconómicas y tecnológicas adoptadas por motivos ajenos al clima tienen importantes implicaciones en las políticas climáticas y en los impactos sobre el cambio climático, así como otros problemas ambientales (véase la Pregunta 8). Además, los umbrales críticos de los impactos y la vulnerabilidad a los impactos del cambio climático tienen una relación directa con las condiciones ambientales, sociales y económicas, y con la capacidad institucional.

- 1.10 **Como resultado de esto, las políticas climáticas pueden ser más eficaces cuando se integran en estrategias más amplias diseñadas para hacer más concebidas las vías de desarrollo nacional y regional.** Esto sucede porque los impactos de la variabilidad y los cambios naturales del clima, las respuestas de las política al problema, y el desarrollo socioeconómico asociado afectan a la capacidad de los países para alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible, y la persecución de estos objetivos tendrá un efecto en las posibilidades y resultados de las políticas climáticas. En particular, las características socioeconómicas y tecnológicas de las diferentes vías de desarrollo van a afectar en gran medida las emisiones, la rapidez y magnitud del cambio climático, sus impactos, la capacidad para adaptarse y la capacidad para mitigar sus consecuencias. El Informe Especial del IPCC: Escenarios de Emisiones (IEEE, véase el Recuadro 3–1) esboza una serie de situaciones futuras plausibles con diferentes características. Cada una de ellas tiene distintas implicaciones en el clima futuro y en las políticas climáticas.
- 1.11 **El TIE evalúa la información disponible sobre el tiempo, las oportunidades, los costos, beneficios e impactos de varias opciones de mitigación y adaptación.** Indica que existen oportunidades para que los países que actúen de forma independiente, y en cooperación entre ellos, para reducir los costos de mitigación y adaptación, y asegurar los beneficios asociados con el desarrollo sostenible.



P2

Pregunta 2

¿Cuáles son las pruebas, causas y consecuencias de los cambios en el clima terrestre desde la época preindustrial?

- (a) ¿Ha cambiado el clima de la Tierra desde la época preindustrial a escala regional y/o mundial? Si ha sido así, ¿qué parte puede atribuirse a la actividad humana y qué parte a los fenómenos naturales? ¿En qué nos basamos para definir esta atribución de responsabilidad?
- (b) ¿Qué se conoce sobre las consecuencias ambientales, sociales y económicas de los cambios climáticos desde la época preindustrial, y especialmente en los últimos 50 años?

- 2.1 Esta respuesta se centra en los patrones de medida clásica del clima (temperatura, precipitación, niveles del mar y fenómenos extremos tales como inundaciones, sequías y tormentas), en otros componentes del sistema climático terrestre (por ejemplo, los gases de efecto invernadero, los aerosoles y los sistemas ecológicos), y en la salud humana y los sectores socioeconómicos. El cambio climático, tal y como se define por el IPCC, se refiere a importantes variaciones estadísticas que persisten durante un período prolongado, normalmente de decenios o incluso más. Incluye desplazamientos en la frecuencia y magnitud de fenómenos meteorológicos esporádicos, además del aumento continuo y lento en la temperatura media de la superficie de la Tierra. Por lo tanto, aquí nos ocupamos de las variaciones climáticas y meteorológicas en todas las escalas temporales y espaciales, lo que abarca las fuertes tormentas breves y repentinas, los fenómenos estacionales como los producidos por El Niño, hasta las sequías que duran decenios, y los cambios de temperaturas y la variación de las capas de hielo que se han producido a lo largo de siglos. Aunque la mayor parte de las variaciones climáticas a corto plazo se consideran naturales en la actualidad, esta pregunta aborda sus impactos porque representan un tipo de cambio que puede ser más duradero en el clima futuro, debido a la acción perturbadora de la actividad humana (véase la Pregunta 4). La atribución se define como el proceso que permite identificar, con un determinado nivel de confianza, las causas más probables del cambio detectado. Nos ocupamos tanto del cambio climático atribuible al hombre, como del cambio climático que pueda ser causado actualmente por factores naturales, pero que puede verse modificado por influencia humana en el futuro (véase el Recuadro 3–1).
- 2.2 **El sistema climático terrestre ha cambiado de manera importante a escala nacional y mundial desde la época preindustrial, y algunos de estos cambios se pueden atribuir a actividades humanas.**
- 2.3 **Las emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles debidas a actividades humanas siguen alterando la atmósfera de maneras que se proyecta que, según se prevé, afecten al clima (véase el Cuadro 2–1).**
- 2.4 **Las concentraciones de gases de efecto invernadero, en la atmósfera y su forzamiento radiactivo total, han aumentado generalmente a lo largo del siglo XX como resultado de las actividades humanas.** Casi todos los gases de efecto invernadero alcanzaron niveles sin precedentes durante el decenio de 1990 y continúan aumentando (véase la Figura 2–1). El dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) atmosféricos han variado en gran medida durante los ciclos glaciar e interglaciar de los últimos 420.000 años, pero incluso las máximas de estos primeros valores registrados eran mucho menores que las concentraciones atmosféricas que se observan en estos momentos. En términos del forzamiento radiactivo causado por los gases de efecto invernadero emitidos por actividades humanas, el CO_2 es el más importante de todos y el CH_4 el segundo. De 1750 al 2000, la concentración del CO_2 aumentó en un 31 ± 4 por ciento, y la del CH_4 en un 151 ± 25 por ciento (véase el Recuadro 2–1 y Figura 2–1). Estas tasas de aumento no tienen precedentes. La combustión de combustibles tradujo durante el decenio de 1980 una media de emisiones de $5,4 \text{ Gt C año}^{-1}$, cifra que se aumentó a $6,3 \text{ Gt C año}^{-1}$ durante el decenio de 1990. Cerca de tres cuartos partes del aumento del CO_2 atmosférico durante el decenio de 1990 se debieron a la combustión de combustibles fósiles, y el resto puede atribuirse cambios en el uso de las tierras, incluida la deforestación. Durante el siglo XIX y la mayor parte del XX, la biosfera terrestre era una fuente neta de CO_2 atmosférico, pero se convirtió en un sumidero neto antes de finales del siglo XX. Se puede determinar un aumento del CH_4 con emisiones procedentes de usos de energía, ganadería, el cultivo del arroz y los vertederos. El aumento en las concentraciones de otros gases de efecto invernadero—particularmente el ozono estratosférico (O_3), tercero en orden de importancia—se puede atribuir directamente a la combustión de combustibles fósiles, además de otras emisiones agrícolas e industriales.



GTI TIE Capítulos 3 & 4,
& IEAAM

Recuadro 2-1	Indicaciones sobre confianza y probabilidad.
Cada vez que procede, los autores del Tercer Informe de Evaluación han asignado niveles de confianza que representan su juicio colectivo sobre la validez de una conclusión basada en las pruebas observadas, los resultados de simulaciones, y los conocimientos teóricos examinados. En el texto del Informe de síntesis al TIE en relación con las conclusiones del GTI se han empleado las siguientes expresiones: <i>prácticamente cierto</i> (más de un 99 por ciento de posibilidad que el resultado sea verdadero); <i>muy probable</i> (90-99 por ciento de posibilidad); <i>probable</i> (66-90 por ciento de posibilidad); <i>medianamente probable</i> (33-66 por ciento de posibilidad); <i>improbable</i> (10-33 por ciento de posibilidad); <i>muy improbable</i> (1-10 por ciento de posibilidad); y <i>excepcionalmente improbable</i> (menos del 1 por ciento de posibilidad). Una gama explícita de incertidumbre (\pm) es una gama <i>probable</i> . Las estimaciones de confianza relacionadas con las conclusiones del GTII son: <i>muy alta</i> (95 por ciento o mayor), <i>alta</i> (67-95 por ciento), <i>media</i> (33-67 por ciento), <i>baja</i> (5-33 por ciento), y <i>muy baja</i> (5 por ciento o menos). No se han asignado niveles de confianza en el GTIII.	



Cuadro 2-1 Cambios en la atmósfera, clima y sistema biológico terrestre durante el siglo XX. ^a	
<i>Indicador</i>	<i>Cambios observados</i>
<i>Indicadores de concentración</i>	
Concentración atmosférica de CO ₂	288 ppm durante el período 1000-1750 a 368 ppm en el año 2000 (31 ± 4 por ciento de aumento). [TIE GTI Capítulo 3]
Intercambio en la biosfera terrestre de CO ₂	Fuente acumulada de unas 30 Gt C entre los años 1800 y 2000, pero sumidero neto de unos 14 ± 7 Gt C durante el decenio de 1990. [TIE GTI Capítulo 3 & SRLULUCF]
Concentración atmosférica de CH ₄	700 ppb durante el período 1000-1750 a 1.750 ppb en el año 2000 (aumento del 151 ± 25 por ciento). [TIE GTI Capítulo 4]
Concentración atmosférica de N ₂ O	270 ppb durante el período 1000-1750 a 316 ppb en el año 2000 (aumento del 17 ± 5 por ciento). [TIE GTI Capítulo 4]
Concentración troposférica de O ₃	Aumento del 35 ± 15 por ciento entre los años 1750- 2000, con variaciones según las regiones. [TIE GTI Capítulo 4]
Concentración estratosférica del O ₃	Disminución en los años 1970-2000, con variaciones según la altitud y latitud. [TIE GTI Capítulos 4 y 6]
Concentraciones atmosféricas de HFC, PFC, y SF ₆	Aumento en todo el mundo durante los últimos 50 años. [TIE GTI Capítulo 4]
<i>Indicadores meteorológicos</i>	
Temperatura media mundial de la superficie	Aumento en el $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ en el siglo XX; la superficie de la Tierra se ha calentado más que los océanos (<i>muy probable</i>). [TIE GTI Sección 2.2.2.3]
Temperatura en la superficie del Hemisferio Norte	Aumento durante el siglo XX más que en otro siglo de los últimos 1.000 años; el decenio de 1990 ha sido el más cálido del milenio (<i>probable</i>). [TIE GTI Capítulo 2 ES y Sección 2.2.2.1]
Temperatura diurna de la superficie	Disminución en el período 1950-2000 en las zonas terrestres; las temperaturas mínimas nocturnas han aumentado el doble de las temperaturas máximas diurnas (<i>probable</i>). [TIE GTI Sección 2.2.2.1]
Días calurosos/índice de calor	Aumento (<i>probable</i>). [TIE GTI Sección 2.7.2.1]
Días de frío/heladas	Disminución en casi todos las zonas terrestres durante el siglo XX (<i>muy probable</i>). [TIE GTI Sección 2.7.2.1]
Precipitaciones continentales	Aumento en un 5-10 por ciento en el siglo XX en el Hemisferio Norte (<i>muy probable</i>), aunque han disminuido en algunas regiones (como en África del Norte y occidental y partes del Mediterráneo). [TIE GTI Capítulo 2 ES y Sección 2.5.2]
Precipitaciones fuertes	Aumento en latitudes medias y altas en el Norte (<i>probable</i>). [TIE GTI Sección 2.7.2.2]
Frecuencia e intensidad de las sequías	Aumento del clima seco estival y las consiguientes sequías en algunas zonas (<i>probable</i>). En algunas regiones, como en partes de Asia y África, parecen haberse acentuado la frecuencia e intensidad de las sequías en los últimos decenios. [TIE GTII Secciones 10.11.3 y 11.1.1]



Cuadro 2-1 Cambios en el sistema biofísico, atmosférico y clima terrestre durante el siglo XX. ^a (continuación)	
<i>Indicadores</i>	<i>Cambios observados</i>
<i>Indicadores físicos y biológicos</i>	
Media mundial del nivel del mar	Aumento a una velocidad media anual de 1 a 2 mm durante el siglo XX. [TIE GTI Capítulo 11]
Duración de las capas de hielo en ríos y lagos	Disminución de unas 2 semanas en el siglo XX, en las latitudes medias y altas del Hemisferio Norte (<i>muy probable</i>). [TIE GTI, Capítulo 2 ES y Sección 2.2.5.5, y TIE GTII Secciones 5.7 y 16.1.3.1]
Extensión y espesor del hielo marino en el Ártico	Disminución en un 40 por ciento en los últimos decenios desde finales del verano a principios del otoño (probable) y disminución de su extensión en un 10-15 por ciento desde el decenio de 1950, en primavera y verano. [TIE GTI, Sección 2.2.5.2 y TIE GTII Sección 16.1.3.1]
Glaciares no polares	Retiro generalizado durante el siglo XX. [TIE GTI Sección 2.2.5.4 y TIE GTII Sección 4.3.11]
Capa de nieve	Disminución de su extensión en un 10 por ciento desde que se registran observaciones por satélite en los años 1960 (<i>muy probable</i>). [TIE GTI Sección 2.2.5.1]
Permafrost	Fusión, calentamiento y degradación en las zonas polares, subpolares y regiones montañosas. [TIE GTI Secciones 2.2.5.3 y 11.2.5, y TIE GTII Sección 16.1.3.1]
Fenómenos asociados con El Niño	Mayor frecuencia, persistencia e intensidad durante los últimos 20-30 años, en relación con los últimos 100 años. [TIE GTI Sección 7.6.5]
Época de crecimiento	Aumento de 1 a 4 días por decenio durante los últimos 40 años en el Hemisferio Norte, especialmente en las latitudes altas. [TIE GTII Sección 5.2.1]
Área de distribución de plantas y animales	Desplazamiento de plantas, insectos, pájaros y peces hacia los polos o hacia altitudes más altas. [TIE GTII Secciones 5.2, 5.4, 5.9, y 16.1.3.1]
Cría, floración y migración	Adelanto de la floración, la llegada de las primeras aves, la época de cría y la aparición de los insectos en el Hemisferio Norte. [TIE GTII Secciones 5.2.1 y 5.4.3]
Decoloración de arrecifes de coral	Aumento de la frecuencia, especialmente durante los fenómenos asociados con El Niño. [TIE GTII Sección 6.3.8]
<i>Indicadores Económicos</i>	
Pérdidas económicas relacionadas con fenómenos meteorológicos	Aumento de las pérdidas mundiales, ajustadas a la inflación, en un orden de magnitud durante los últimos 40 años (véase la Figura 2-7 en P2). Una parte de la tendencia ascendente está vinculada a factores socioeconómicos, y otra parte, a factores climáticos. [TIE GTII Secciones 8.2.1 y 8.2.2]

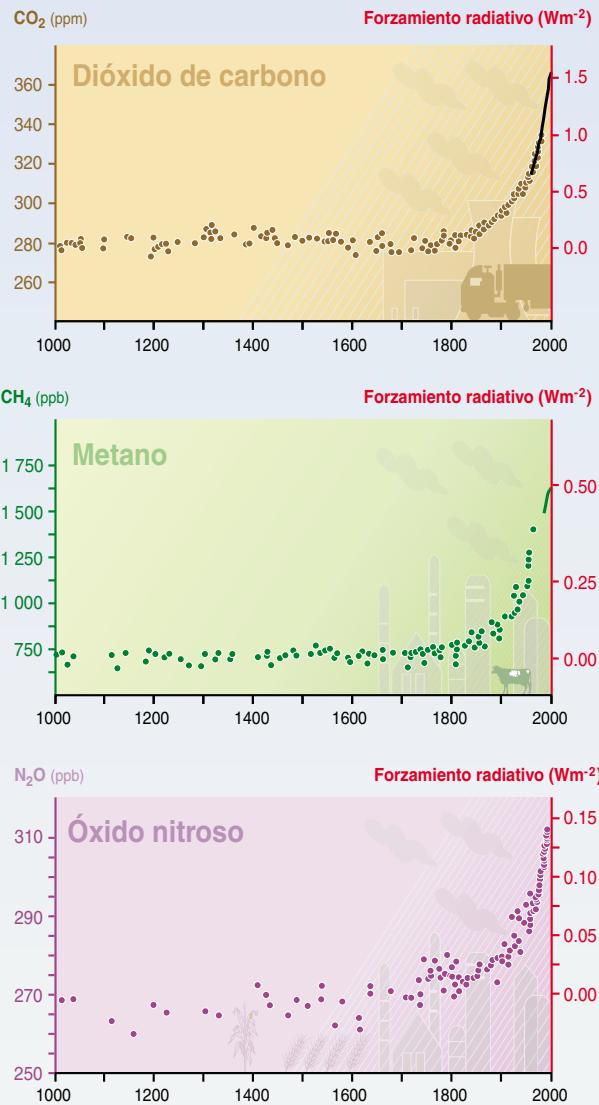
^a Este cuadro sólo proporciona ejemplos de cambios fundamentales observados, y no es una lista exhaustiva. Incluye cambios atribuidos a los cambios climáticos antropogénicos y cambios que pueden haber sido causados por variaciones naturales o por cambios antropogénicos. Se indican los niveles de confianza cuando el Grupo de Trabajo correspondiente los evalúan de forma explícita.

2.5 **El forzamiento radiactivo proveniente del aumento de los gases de efecto invernadero antropogénicos desde la época preindustrial es positivo (calentamiento), aunque con una pequeña gama de incertidumbre, el de los efectos directos de los aerosoles es negativo (enfriamiento) y más reducido, y el forzamiento negativo procedente de los efectos indirectos de los aerosoles (en las nubes y en el ciclo hidrológico) puede ser elevado, pero aún no se ha cuantificado bien.** Los factores clave antropogénicos y naturales causantes del cambio en el forzamiento radiactivo desde 1750 a 2000 aparecen en la Figura 2-2, donde los factores con forzamiento radiactivo cuantificable se muestran con barras anchas y de color. Sólo se estiman algunos de los efectos de los aerosoles, que se indican como gamas. También se muestran otros factores —además de los componentes atmosféricos— entre ellos la irradiación solar y el cambio en el uso de las tierras. Los aerosoles estratosféricos provenientes de grandes erupciones volcánicas (particularmente durante los años 1880–1920 y 1960–1994) han llevado a forzamientos negativos significativos, aunque de corta vida, que no aparecen, por no ser muy importantes si se considera todo el período desde la época preindustrial. La suma de los factores cuantificados en la Figura 2-2 (gases de

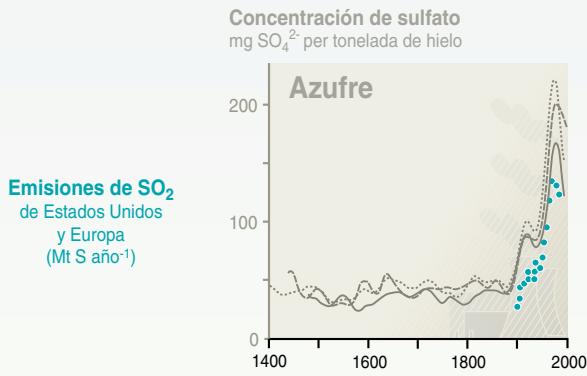


Indicadores de la influencia del hombre sobre la atmósfera durante la época industrial

Concentraciones atmosféricas mundiales de tres gases de efecto invernadero bien mezclados



Aerosoles de sulfato depositados en el hielo de Groenlandia



TIE GTI Figuras RRP-2,
3-2b, 4-1a, 4-1b, y 5-4a

Figura 2-1: Los registros de cambios ocurridos en la composición atmosférica durante el último milenio indican un rápido aumento de gases de efecto invernadero y de aerosoles de sulfato, que se puede atribuir principalmente al crecimiento industrial desde el 1750. Los tres paneles superiores muestran las crecientes concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), y óxido nitroso (N₂O) durante los últimos 1.000 años. Los primeros datos esporádicos tomados del aire atrapado en el hielo (símbolos) coinciden con las observaciones atmosféricas continuas en los últimos decenios (líneas continuas). Estos gases se encuentran bien mezclados en la atmósfera, y sus concentraciones reflejan las emisiones de fuentes en todo el planeta. La estimación del forzamiento radiativo positivo de estos gases se indica en la escala situada en la parte derecha. El panel inferior muestra la concentración de sulfatos en testigos de hielo tomados de Groenlandia (que se muestra con líneas correspondientes a tres testigos diferentes) de los que se han suprimido los efectos episódicos de erupciones volcánicas. Los aerosoles de sulfato provenientes de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) se depositan en la superficie, y no se mezclan bien en la atmósfera. Específicamente, el aumento de sulfato depositado en Groenlandia se atribuye a las emisiones de SO₂ de Estados Unidos y Europa (mostradas como símbolos), y ambos muestran un descenso en los últimos decenios. Los aerosoles de sulfato producen un forzamiento radiativo negativo.

efecto invernadero, aerosoles y nubes, uso de las tierras (albedo), e irradiación solar) es positiva, pero no incluye el forzamiento negativo y potencialmente amplio de los efectos indirectos de los aerosoles. El cambio total del forzamiento radiactivo desde la época preindustrial continúa siendo útil para estimar en términos mundiales la respuesta de la temperatura media de la superficie de la Tierra frente a las perturbaciones naturales y humanas. Sin embargo, la suma de los forzamientos no es necesariamente un indicador de

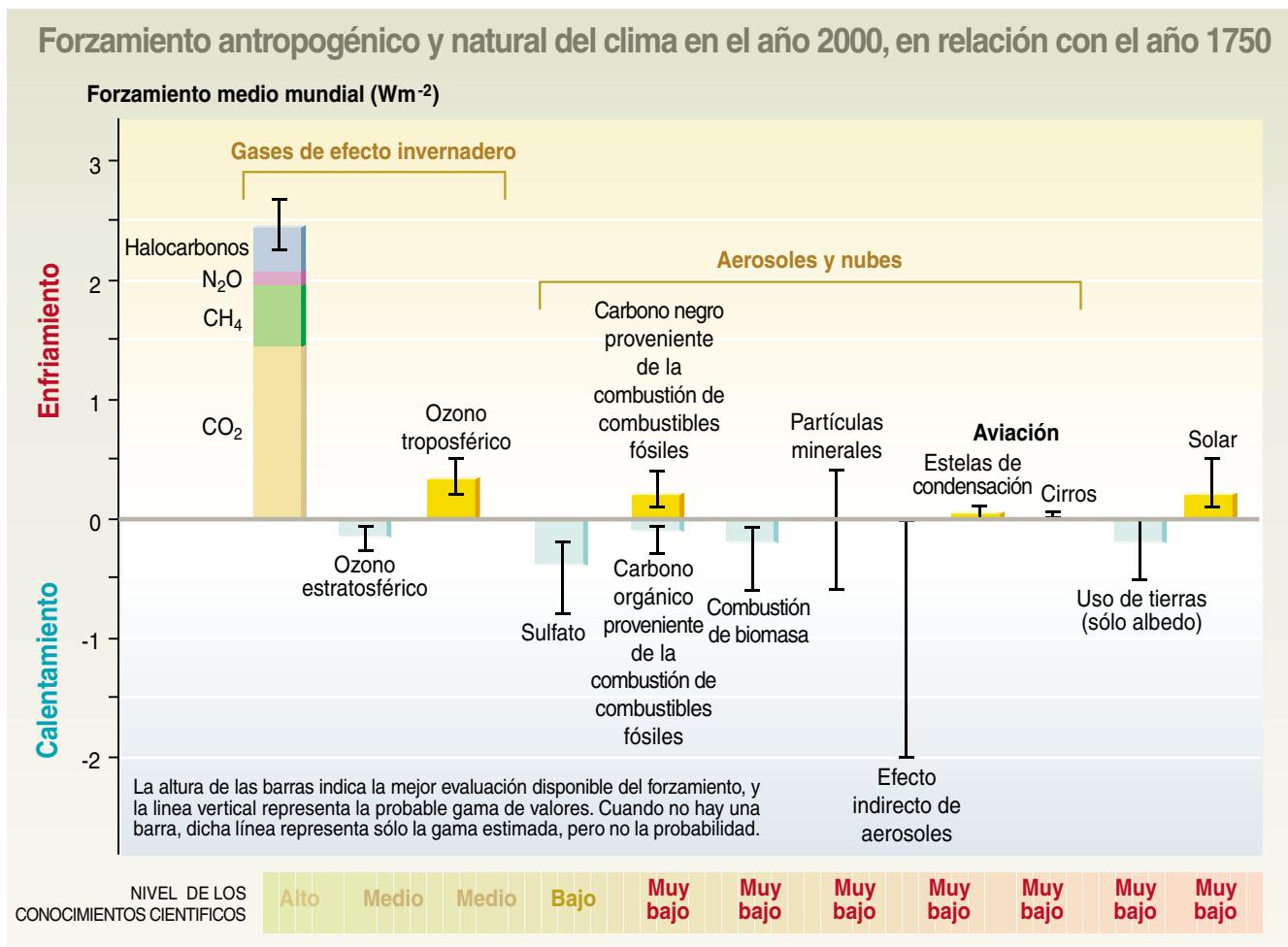
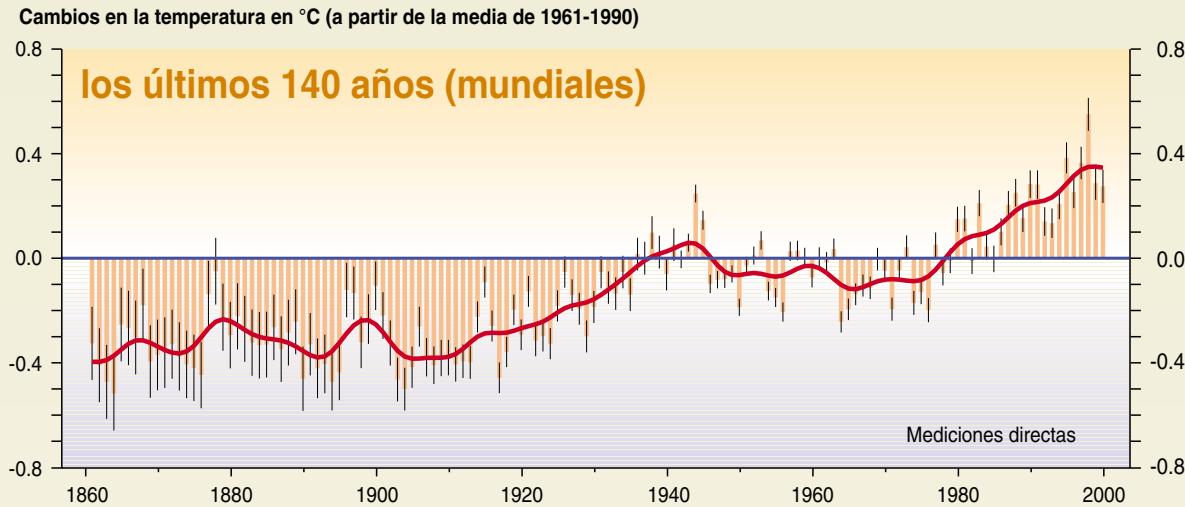


Figura 2-2: La influencia de los factores externos sobre el clima puede compararse en términos generales utilizando el concepto de los forzamientos radiativos. Dichos forzamientos radiativos surgen de los cambios en la composición atmosférica, la alteración de la reflectancia de la superficie terrestre, debida a cambios en el uso de las tierras, y la variación de la producción del sol. Con la excepción de la variación solar, hay alguna forma de actividad humana asociadas con cada uno de estos fenómenos. Las barras rectangulares representan las estimaciones de las contribuciones de estos forzamientos, algunos de los cuales producen calentamiento y otros, enfriamiento. No se muestran los forzamientos debidos a fenómenos volcánicos, que causan forzamientos negativos que sólo duran unos años. El efecto indirecto de los aerosoles que se indica son los efectos sobre el tamaño y el número de pequeñas gotitas en las nubes. Tampoco se muestra un segundo efecto indirecto de los aerosoles sobre las nubes, concretamente, su efecto sobre el tiempo de vida de la nube, lo que también produciría un forzamiento negativo. Los efectos de la aviación sobre los gases de efecto invernadero se incluyen en cada una de las barras. La línea vertical que se cruza las barras rectangulares indica una gama de estimaciones, que se guían por el abanico de los valores publicados de los forzamientos y por nuestros conocimientos actuales de los aspectos físicos del fenómeno. Algunos de estos forzamientos presentan un mayor grado de certeza que otros. Una línea vertical sin una barra rectangular denota un forzamiento para el que no se puede dar una mejor estimación debido al gran número de incertidumbres. Tal como se ha indicado, el nivel general de nuestros conocimientos científicos sobre cada uno de los forzamientos varía considerablemente. Algunos de los agentes de forzamiento radiativo (el CO₂, por ejemplo) se encuentran muy mezclados por todo el planeta, desestabilizando el equilibrio mundial del calor. Otros (por ejemplo, los aerosoles) representan perturbaciones que son más poderosas en una regiones que en otras, ya que están distribuidas de forma irregular. Los forzamientos radiativos continúan siendo una herramienta muy útil para estimar, en primer lugar, los impactos relativos del clima, como la respuesta de la temperatura media relativa en la superficie de la Tierra debida a perturbaciones inducidas radiativamente, pero estas estimaciones de forzamientos medios relativos no son necesariamente indicadores de los aspectos detallados de posibles respuestas climáticas (por ejemplo, los cambios climáticos regionales).

TIE GTI RRP, TIE GTI,
Capítulo 6 RE, y TIE GTI
Figuras RRP-3 y 6-6

los aspectos detallados de las posibles respuestas climáticas tales como los cambios climáticos regionales. Los datos referentes a la segunda mitad del siglo XX (que no aparecen) indican que el forzamiento positivo debido a los gases de efecto invernadero

Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra durante...



Cambios en la temperatura en °C (a partir de la media de 1961-1990)

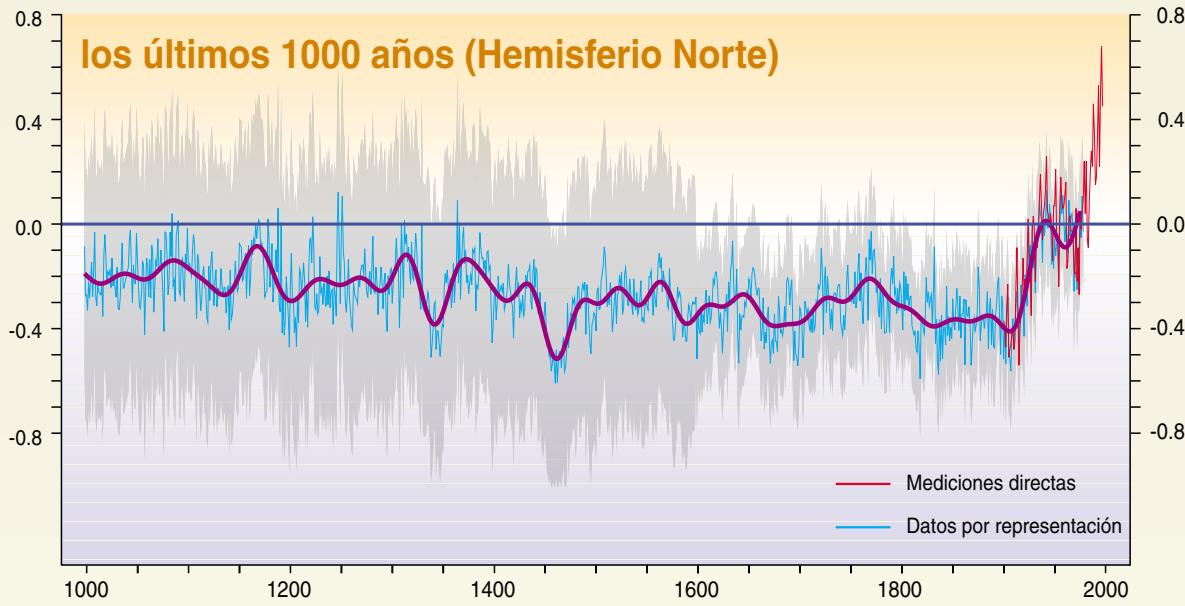


Figura 2-3: La temperatura de la superficie terrestre se ha incrementado en unos 0,6°C por encima del récord de mediciones directas de la temperatura (1860–2000, panel superior), aumento sin precedentes, al menos a juzgar por los datos de temperaturas obtenidos por representación en el Hemisferio Norte durante el último milenio (panel inferior). En el panel superior se muestra la temperatura media de la superficie de la Tierra para cada año (las barras rojas, y las gamas de mucha probabilidad se muestran como líneas muy finas en negro) y aproximadamente decenio por decenio (en líneas rojas continuas). Los análisis tienen en cuenta las deficiencias en los datos, errores instrumentales aleatorios e incertidumbres, incertidumbres en correcciones por márgenes de error en los datos sobre la temperatura de la superficie de los océanos, y también en los ajustes para el desarrollo urbano. El panel inferior combina los datos por representación (la línea azul muestra datos año por año, las gamas de mucha probabilidad, con una banda gris, y la media para cada 50 años, con una línea violeta) y las medidas directas de temperaturas (línea roja) para el Hemisferio Norte. Los datos por representación consisten en anillos de árboles, corales, placas grandes de hielo y registros históricos que han sido calibrados con los datos obtenidos con termómetros. No se cuenta con datos suficientes para evaluar dichos cambios en el Hemisferio Sur.



bien mezclados ha aumentado rápidamente durante los últimos cuatro decenios y, en contraste, la suma de los forzamientos naturales ha sido negativa durante los últimos dos (e incluso posiblemente los últimos cuatro decenios).

2.6 Un número cada vez mayor de observaciones ofrecen una visión cada vez más completa del calentamiento de la Tierra y de otros cambios en el sistema climático (véase el Cuadro 2–1).

2.7 La temperatura media mundial de la superficie de la Tierra ha aumentado desde el decenio de 1860 a 2000, el período de registro instrumental. Durante el siglo XX este aumento fue de 0,6°C con una gama muy probable (véase el Recuadro 2–1) de confianza de 0,4–0,8°C (véase la Figura 2–3). Es muy probable que el decenio de 1990 fuera el período más cálido, y el 1998 el año más caluroso desde que tenemos registros instrumentales. Si ampliamos los registros instrumentales con datos de representación del Hemisferio Norte, vemos que en los últimos 1.000 años, el aumento de temperatura durante el siglo XX puede haber sido el mayor registrado en cualquier siglo, y el decenio de 1990, el más caluroso de todos (véase la Figura 2–3). No se dispone de datos suficientes sobre el Hemisferio Sur antes de 1860m que permitan comparar el calentamiento reciente con los cambios registrados durante los últimos 1.000 años. Desde 1950, el aumento de la temperatura en la superficie del mar es cerca de la mitad del aumento de la temperatura media del aire en la superficie terrestre. Durante este período la temperatura media diaria mínima nocturna sobre la tierra ha aumentado a un promedio de 0,2°C por decenio, cerca del doble del nivel de aumento correspondiente en la temperatura máxima diurna del aire. Estos cambios climáticos han prolongado la estación sin heladas en muchas regiones de latitudes medias y altas.



2.8 En los 8 km inferiores de la atmósfera, la temperatura mundial aumentó desde el decenio de 1950 a 2000 cerca de un 0,1°C por decenio, cifra similar a la de la superficie terrestre. Para el período 1979–2000, las mediciones obtenidas vía satélites y globos meteorológicos han mostrado un calentamiento casi idéntico sobre América del Norte (un 0,3°C por decenio) y Europa (0,4°C por decenio) tanto en la superficie terrestre como en la atmósfera inferior, pero las diferencias fueron más evidentes en algunas zonas terrestres, particularmente en regiones tropicales ($0,10 \pm 0,10^\circ\text{C}$ por decenio para la superficie, frente a $0,06 \pm 0,16^\circ\text{C}$ por decenio para la atmósfera inferior). Las temperaturas de la superficie y de la atmósfera inferior están influenciadas differently por factores como el agotamiento del ozono estratosférico, los aerosoles atmosféricos y los fenómenos asociados con El Niño. Además, las técnicas de muestreo espacial pueden también explicar algunas de las diferencias en las tendencias, pero estas diferencias no se han aclarado totalmente.



2.9 Existen pruebas nuevas y más convincentes de que en su mayor parte el calentamiento observado durante los últimos 50 años se puede atribuir a actividades humanas.

2.10 Es muy probable que el calentamiento observado a lo largo del siglo XX no sea todo de origen natural. Es poco probable que el aumento en las temperaturas en la superficie en los últimos 100 años haya sido causado únicamente por la variabilidad interna. Las reconstrucciones de datos climáticos durante los últimos 1.000 años también indican que el calentamiento observado durante el siglo XX era inusual y probablemente respondía sólo al forzamiento natural: en otras palabras, que las erupciones volcánicas y la variación de la irradiación solar no explican el calentamiento registrado en la segunda mitad del siglo XX (véase la Figura 2–4a), pero pueden haber contribuido al calentamiento observado durante la primera mitad.



2.11 En vista de las nuevas pruebas, y teniendo en cuenta las incertidumbres subsistentes, es probable que en su mayor parte el calentamiento observado durante los últimos 50 años se haya debido al aumento de las concentraciones



de gases de efecto invernadero. Estudios de detección y atribución han determinado sistemáticamente pruebas de señales antropogénicas (entre ellas el forzamiento producido por los gases de efecto invernadero y los aerosoles que emiten sulfatos) en los registros climáticos de los últimos 35 a 50 años, pese a las incertidumbres sobre el forzamiento antropogénico producido por aerosoles de sulfato y por otros factores naturales, como los volcanes y la irradiación solar. El forzamiento debido a los sulfatos y a fenómenos naturales son negativos en este período y no pueden explicar el calentamiento (véase la Figura 2–4a); mientras que la mayoría de estos estudios concluyen que, durante los últimos 50 años, las estimaciones de la tasa y magnitud del calentamiento debido únicamente a los gases de efecto invernadero son comparables o mayores que el calentamiento terrestre

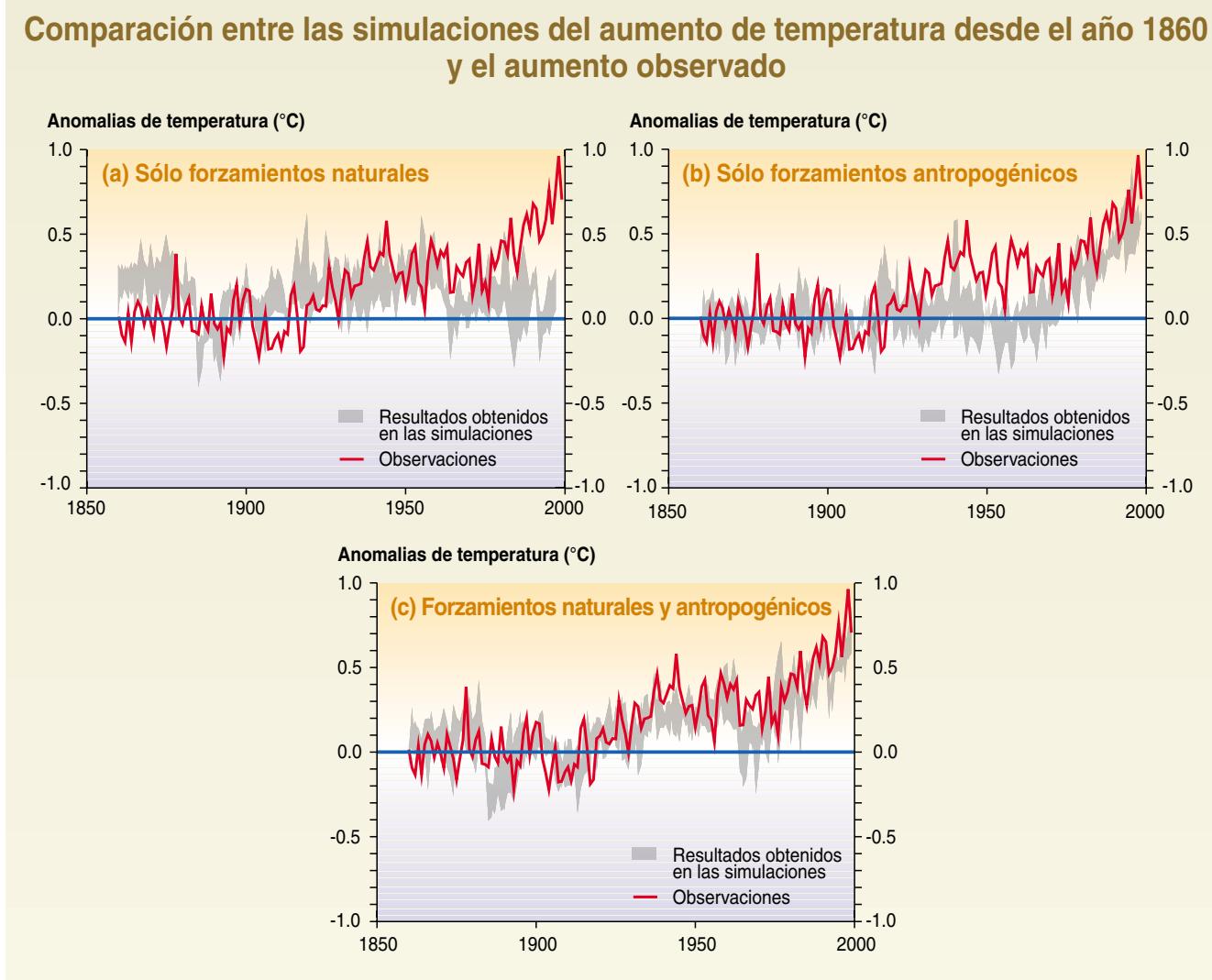


Figura 2–4: La simulación de la variación de temperaturas (°C) y la comparación de los resultados con los cambios registrados nos permiten comprender mejor las causas que producen los principales cambios.



Se puede utilizar una simulación climática para simular los cambios de temperatura debidos a factores naturales y antropogénicos. Las simulaciones representadas por la banda en a) se basaron únicamente en forzamientos naturales: variaciones solares y actividad volcánica. Las que se muestran en la banda b) se basaron en forzamientos antropogénicos: gases de efecto invernadero y una estimación de aerosoles de sulfato. Y la simulación en la banda c) se basó en forzamientos naturales y antropogénicos. Podemos ver en b) que la incorporación de forzamientos antropogénicos proporciona una explicación para una gran parte de los cambios de temperatura observados durante el siglo pasado, pero la mejor coincidencia con las observaciones se obtiene en c), cuando se incluyen tanto los forzamientos naturales como los antropogénicos. Estos resultados muestran que los forzamientos incluidos son suficientes para explicar los cambios observados, pero no excluyen la posibilidad de que otros forzamientos hayan podido contribuir de alguna manera. Otras simulaciones con forzamientos antropogénicos producen resultados similares a los de b).

observado, (Figura 2–4b). La mejor correlación entre las simulaciones y las observaciones durante los últimos 140 años se encuentra cuando se combinan todos los factores naturales y antropogénicos (véase la Figura 2–4c). Este resultado no excluye la posibilidad de que otros factores contribuyan a dicho forzamiento, y en estos estudios de detección y atribución no se han incluido estos estudios de detección y atribución algunos factores antropogénicos conocidos (tales como el carbono orgánico, el carbono negro (hollín), los aerosoles de biomasa, y algunos cambios en los usos de la tierra). Las estimaciones de la magnitud y distribución geográfica de este forzamiento antropogénico adicional varían considerablemente.

2.12 Los cambios en el nivel del mar, la cubierta de nieves, la extensión de la capas de hielo y la precipitación corresponden al calentamiento del clima cerca de la superficie terrestre (véase el Cuadro 2–1).

Algunos de los cambios observados son de alcance regional, y otros pueden ser fruto de variaciones climáticas internas, forzamientos naturales, o actividades humanas regionales, y no pueden atribuirse únicamente a la influencia humana global.



2.13 Es muy probable que el calentamiento del siglo XX haya contribuido de manera importante a la elevación observada del nivel medio de los mares y al aumento del calor almacenado en los océanos. El calentamiento impulsa la elevación del nivel del mar, a través de la expansión térmica de los océanos y la fusión generalizada de los hielos terrestres. Sobre la base de los registros de mareógrafos, después de realizar las correcciones por los movimientos de tierra, durante el siglo XX la elevación anual media fue de entre 1 y 2 mm. Los muy pocos registros desde largo tiempo muestran que fue menor durante el siglo XIX (véase la Figura 2–5). Con los límites de las incertidumbres actuales, las observaciones y las simulaciones coinciden en la falta de una aceleración significativa en la elevación del nivel del mar durante el siglo XX. El ritmo de la elevación del nivel del mar observado durante el siglo XX coincide con el de las simulaciones. El calor almacenado en los océanos ha aumentado desde finales del decenio de 1950, fecha desde la que se dispone de las observaciones fidedignas de las temperaturas de la subsuperficie oceánica.



2.14 La cubierta de la extensión de la capa de nieve y hielos han disminuido. Es muy probable que la cubierta de nieve haya disminuido en un 10 por ciento en el Hemisferio Norte desde finales del decenio de 1960 (debido sobre todo a los cambios primaverales en América y Eurasia) y que la duración anual de las capas de hielo en ríos y lagos en latitudes medias y altas del Hemisferio Norte se haya reducido en unas dos semanas a lo largo el siglo XX. También ha habido durante ese siglo una retirada generalizada de los glaciares montañosos en regiones no polares. Es probable que la extensión de la *placa de hielo* marino durante primavera y verano en el Hemisferio Norte haya disminuido de un 10 a un 15 por ciento entre el decenio de 1950 y 2000, y que el espesor del hielo marino en el Ártico se haya reducido a un 40 por ciento a finales del verano y a principios del otoño, a lo largo de los tres últimos decenios del siglo XX. Aunque entre 1978 y 2000 no se ha registrado ningún cambio en la extensión general de los hielos marinos en la región antártica paralelamente al aumento de la temperatura media de la superficie de la Tierra, el calentamiento regional en la Península Antártica coincidió con el derrumbe de la placa de hielo Prince Gustav y partes de la placa de hielo Larsen durante el decenio de 1990, pero la pérdida de estas placas de hielo han tenido pocos efectos directos.



2.15 Es muy probable que las precipitaciones hayan aumentado durante el siglo XX en un 5–10 por ciento en la mayor parte de las latitudes medias y altas de los continentes del Hemisferio Norte, pero, en cambio, que hayan descendido en un 3 por ciento en gran parte de las zonas terrestres subtropicales (véase la Figura 2–6a). Es también muy probable que el aumento de la temperatura media de la superficie de la Tierra produzca cambios en la precipitación y la humedad atmosférica como consecuencia de los cambios en la circulación atmosférica, un ciclo hidrológico más activo, y aumentos en la capacidad de la atmósfera para retener agua. Durante la segunda mitad del siglo XX probablemente se ha registrado un aumento de unos 2–4 por ciento en la frecuencia de las



precipitaciones intensas en latitudes medias y altas del Hemisferio Norte. Asimismo hubo aumentos a corto plazo relativamente pequeños a lo largo del siglo XX en las regiones terrestres azotados por graves sequías o inundaciones, pero en muchas regiones en cambios se debieron a una variabilidad climática dentro de un decenio determinado o entre un decenio y otro, sin que se haya registrado ninguna tendencia significativa a lo largo del siglo.

2.16 También han ocurrido cambios en otros aspectos importantes del clima (véase el Cuadro 2–1).

2.17 A lo largo del siglo XX se ha observado un calentamiento constante y de gran escala en la superficie terrestre y de los océanos, y los mayores aumentos de temperatura se registraron en latitudes medias y altas de los continentes septentrionales. El calentamiento de la superficie terrestre fue más rápido que el de la superficie de los océanos en el período 1976–2000 (véase la Figura 2–6b), y esto coincide con los cambios observados en las variaciones climáticas naturales, tales como las Oscilaciones del Atlántico Norte y del Ártico, y con las pautas simuladas de calentamiento debido a gases de efecto invernadero. Tal y como se describe a continuación, se han comprobado asociaciones importantes desde el punto de vista estadístico entre el calentamiento regional y los cambios observados en los sistemas biológicos, en los entornos de aguas dulces, y terrestres y marinos en todos los continentes.

GTI TIE Secciones 2.2.2, 2.6.3, & 2.6.5, & GTII TIE Sección 6.3

Comparación de los niveles del mar durante los últimos 300 años

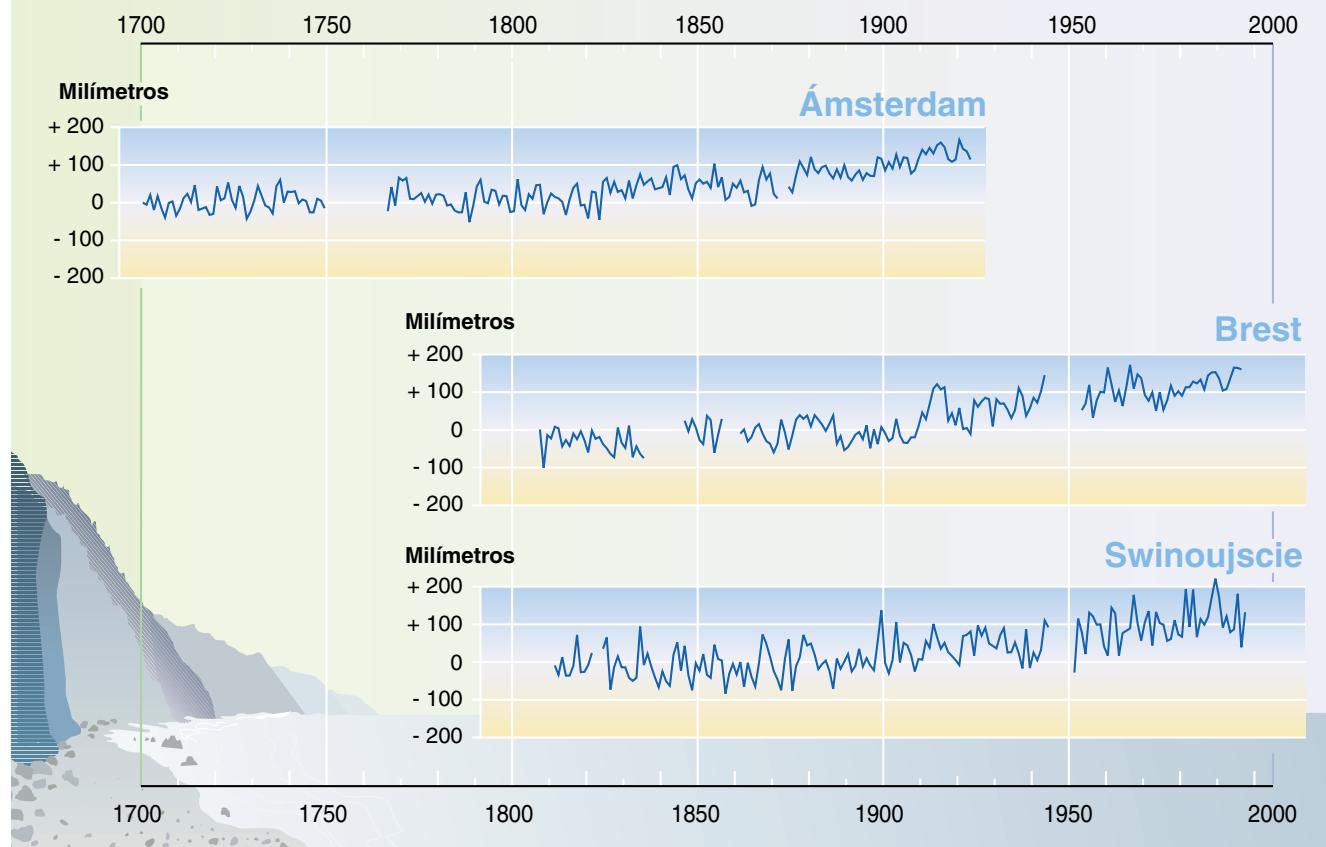


Figura 2–5: Un número limitado de sitios en Europa tiene registros casi constantes del nivel del mar que abarcan 300 años e indican que la mayor elevación del nivel del mar ocurrió en el siglo XX. Los registros mostrados provienen de Ámsterdam (Países Bajos), Brest (Francia), y Swinoujście (Polonia), entre otros lugares, y confirman la elevación acelerada del nivel del mar en el siglo XX, en comparación con los niveles del siglo XIX.

TIE GTI Figura 11–7

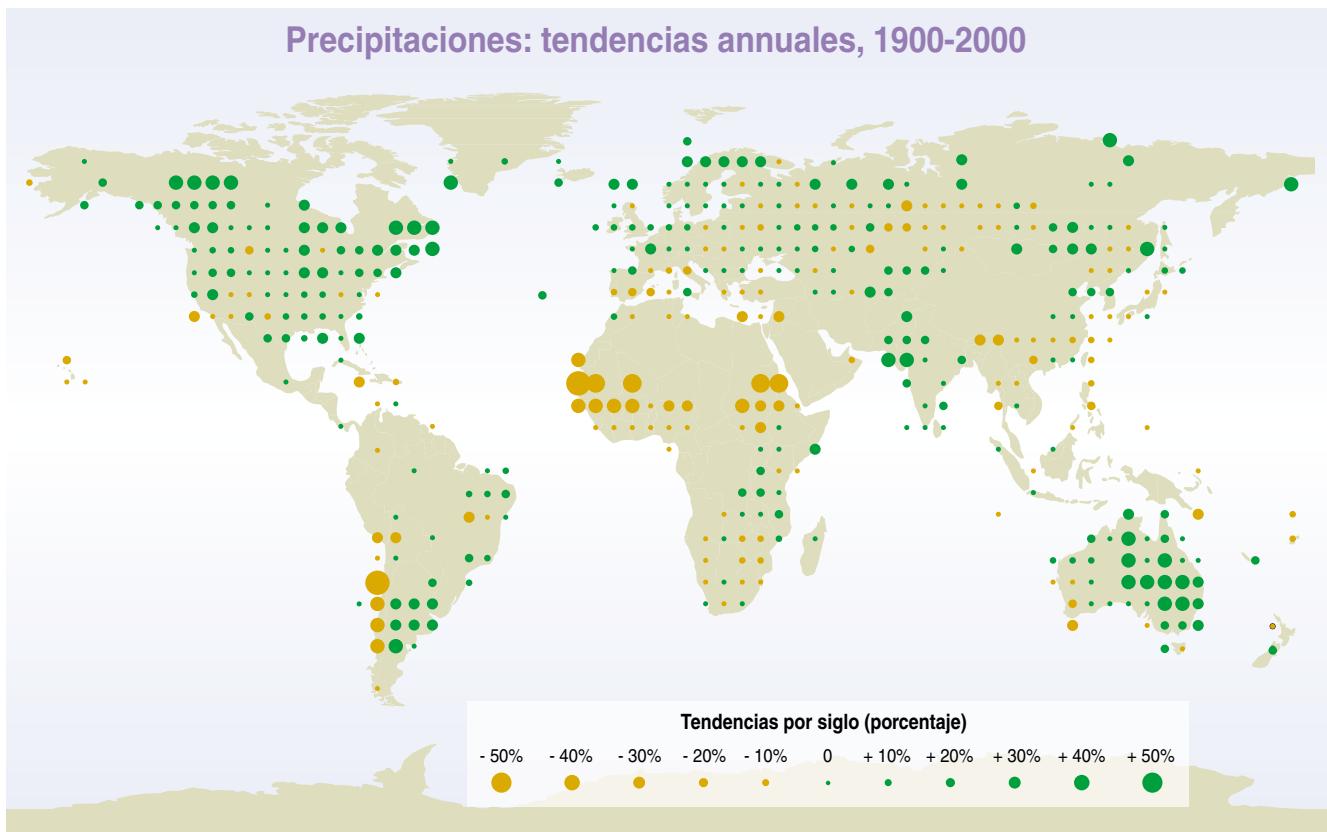


Figura 2-6a: Durante el siglo XIX la precipitación media ha aumentado en los continentes fuera de los trópicos, pero ha descendido en las regiones desérticas de África y de América del Sur. Mientras que los registros muestran un aumento general que coincide con unas temperaturas más cálidas y una mayor humedad atmosférica, las tendencias de la precipitación varían enormemente entre las diferentes regiones, y en algunas regiones continentales sólo se encuentran disponibles registros para el siglo XX. A lo largo de este período, se registraron solamente unas pequeñas tendencias a largo plazo en zonas terrestres que sufrían graves sequías o inundaciones, pero en muchas regiones esos cambios se han debido a variabilidades climáticas dentro de un decenio o entre varios decenios, que no muestran ninguna tendencia significativa a lo largo del siglo.

→ TIE GTI Figura 2-25

2.18 Los episodios de calentamiento del fenómeno El Niño Oscilación Meridional (ENOM) han sido más frecuentes, persistentes e intensos desde mediados del decenio de 1970, si los comparamos con los 100 años anteriores. El ENOM afecta de manera sistemática a las variaciones regionales de temperatura y precipitación en la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales y algunas zonas de latitudes medias. Sin embargo, a partir de las simulaciones no se desprende claramente que el calentamiento del planeta diera como resultado una mayor frecuencia de fenómenos relacionados con El Niño.

→ GTI TIE Sección 2.6.2

2.19 Algunos aspectos importantes del clima parecen no haber cambiado. Algunas zonas del planeta no se han calentado en los decenios recientes, sobre todo algunas partes de los océanos del Hemisferio Sur y algunas áreas del Antártico (véase la Figura 2-6b). La *placa de hielo* marino en el Antártico ha permanecido casi estable o incluso ha crecido desde el 1978, año en que comenzamos a contar con mediciones fiables tomadas por satélites. Los análisis actuales no permiten extraer conclusiones sobre la probabilidad de cambios en la frecuencia de los tornados, días de tormentas o granizadas en las pocas regiones específicas que han sido estudiadas. Además de esto, la insuficiencia de datos y los análisis divergentes siguen impidiendo una evaluación de los cambios en la intensidad de los ciclones tropicales y extratropicales y en las tormentas locales severas en latitudes medias.

→ GTI TIE Secciones 2.2.2, 2.2.5, & 2.7.3

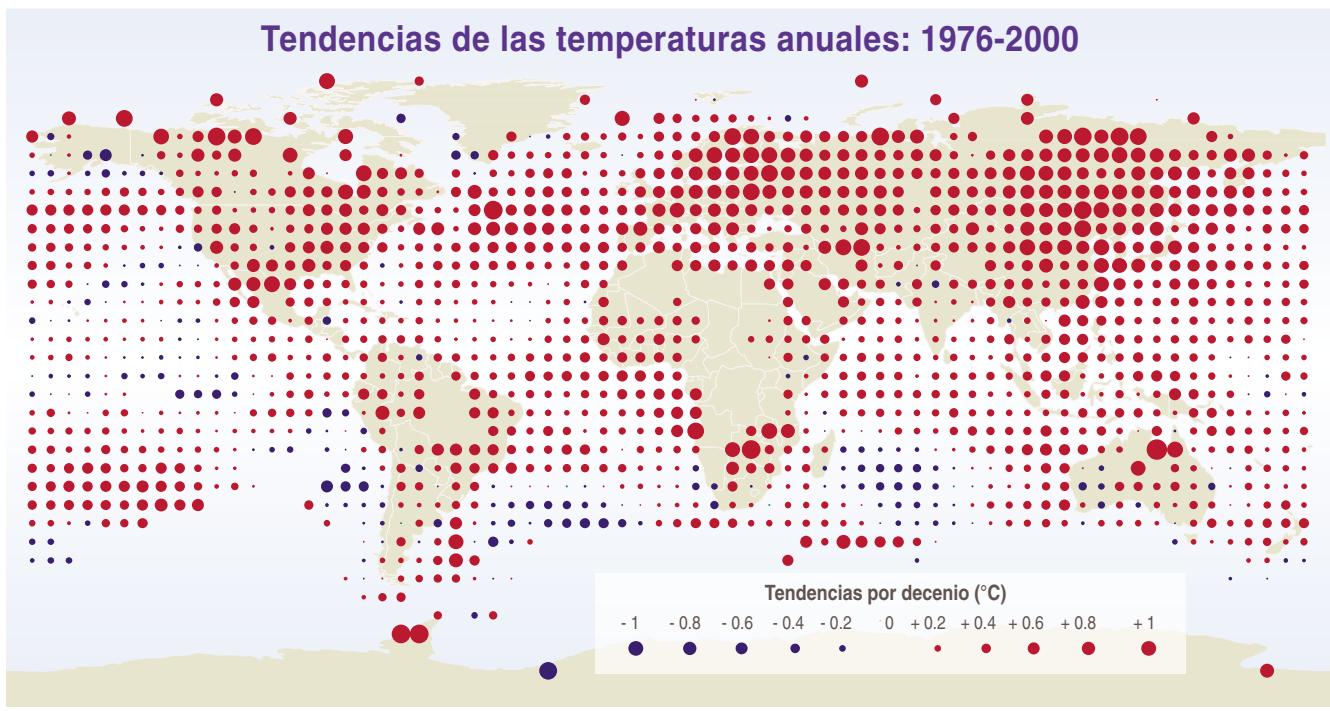


Figura 2–6b: Durante los últimos 25 años del siglo XX ha tenido lugar un calentamiento constante y a gran escala de las superficies terrestres y oceánicas, y los mayores aumentos de temperatura se registraron en las latitudes medias y altas de América del Norte, Europa, y Asia. Sólo en partes de los Océanos Pacífico y del Sur y en el Antártico vemos grandes zonas de enfriamiento. La mayor rapidez del calentamiento de la superficie terrestre que en la superficie de los océanos se ajusta a los cambios observados en las variaciones climáticas naturales—como las Oscilaciones del Atlántico Norte y del Ártico—y con las pautas simuladas del calentamiento por gases de efecto invernadero. Tal como se describe en el texto, el calentamiento en algunas regiones se encuentra vinculado a cambios observados en los sistemas biológicos en todos los continentes.

TIE GTI Figura 2-9d

2.20 Los cambios observados en los climas regionales en los últimos 50 años han afectado a los sistemas biológicos e hidrológicos en muchas partes del mundo (véase el Cuadro 2-1).

- 2.21 Durante el siglo XX los sistemas biológicos se han visto afectados de forma apreciable por el cambio climático regional, sobre todo por aumentos de temperatura.** En muchas partes del mundo, los cambios observados en estos sistemas,³ ya sean antropogénicos o naturales, son coherentes en las diferentes zonas y coinciden con los efectos proyectados de los cambios de temperatura regionales. La probabilidad de que los cambios observados en la dirección proyectada (sin referencia a su magnitud) se deban a pura casualidad es ínfima. Dichos sistemas incluyen, por ejemplo, la distribución de especies, el tamaño de las poblaciones, y la estación de la reproducción o las migraciones. Estas observaciones indican que los cambios climáticos regionales han sido una causa importante de estos fenómenos. Se han observado cambios en los tipos (por ejemplo, fuegos, sequías y derribos por vientos), la intensidad y la frecuencia de las alteraciones provocadas por los cambios climáticos regionales, ya sean naturales o antropogénicos, y por cambios en el uso de las tierras. Dichos cambios, a su vez, han afectado la productividad y la composición de especies en un ecosistema, particularmente en latitudes y altitudes altas. También ha cambiado la frecuencia de las plagas y los brotes de enfermedades, especialmente en sistemas arboreos, y este fenómeno se puede igualmente vincular a cambios climáticos. En algunas regiones de

GTII TIE Secciones 5.4, 5.6.2, 10.1.3.2, 11.2, 13.1.3.1, & 13.2.4.1. & GTII TIE Figura RRP-1

³ Existen 44 estudios regionales sobre más de 400 plantas y animales, sobre todo en América del Norte, Europa y en la región polar Sur. El período de alcance de dichos estudios varía de 20 a 50 años. También hay 16 estudios regionales que se ocupan de cerca de 100 procesos físicos en la mayor parte de las regiones del mundo. Éstos cubren períodos de 20 a 150 años.

África, la combinación de cambios climáticos regionales (sequía saheliana) y los problemas antropogénicos han producido una disminución de la producción de cereales desde el año 1970. Hay algunos aspectos positivos del calentamiento: por ejemplo, la estación de cultivo en Europa se ha prolongado de unos 11 días desde 1959 a 1993, y ha disminuido el consumo de energía para calefacción en invierno.

- 2.22 Los arrecifes coralinos se ven afectados adversamente por la subida de temperaturas en la superficie del mar.** Desde hace algunos decenios se viene registrando en la mayoría de los océanos tropicales un aumento de las temperaturas en la superficie marina. Muchos corales sufren episodios de decoloración importantes, aunque a menudo parcialmente reversibles, cuando la temperatura de la superficie marina aumenta de 1°C en un año determinado, mientras que si el aumento es de 3°C, se puede producir la muerte generalizada de muchos corales. Esto ocurre frecuentemente durante los fenómenos asociados con El Niño y los efectos se agravan con la subida de las temperaturas en la superficie del mar. Esos casos de decoloración están a menudo asociados con otros problemas, por ejemplo, contaminación.



- 2.23 Los cambios en los sistemas marinos, particularmente las poblaciones de peces, han estado relacionados con oscilaciones climáticas a gran escala.** El fenómeno ENOM afecta a las pesquerías de las costas de América del Sur y de África, y las oscilaciones que se producen cada decenio en el Pacífico están relacionadas con la disminución de la pesca en la costa oeste de América del Norte.



- 2.24 Se han observado cambios en los flujos de corrientes, las inundaciones y las sequías.** Las pruebas de los impactos del cambio climático regional sobre los elementos del ciclo hidrológico indican que las temperaturas más cálidas producen una intensificación de dicho ciclo. Los flujos de corrientes máximos se han desplazado de la primavera al final del invierno en una gran parte de Europa oriental, la parte europea de Rusia, y en América del Norte durante los últimos decenios. La creciente frecuencia de las sequías e inundaciones en algunas zonas está relacionada con las variaciones climáticas—por ejemplo, las sequías en el Sahel y en la regiones noreste y meridional de Brasil, y las inundaciones en California y en el Noroeste del Perú.



- 2.25 Existen indicios preliminares de que algunos sistemas humanos se han visto afectados por los aumentos recientes en inundaciones y sequías. El incremento de los costos socioeconómicos relacionados con los daños ocasionados por fenómenos meteorológicos y las variaciones climáticas regionales sugieren que somos cada vez más vulnerables frente a los cambios climáticos (véase el Cuadro 2-1).**

- 2.26 Los fenómenos meteorológicos o climáticos extremos provocan daños importantes y cada vez mayores.** Los fenómenos extremos son en estos momentos la causa principal de los impactos relacionados con el clima. Por ejemplo, los fenómenos relacionados con El Niño durante 1997–1998 cobraron muchas víctimas humanas, dañaron bienes y tuvieron muchas otras consecuencias ambientales. Los impactos de los fenómenos extremos y la variabilidad del clima son motivo de gran preocupación. Algunos indicios preliminares sugieren que algunos sistemas sociales y económicos se han visto afectados por el reciente aumento de las inundaciones y sequías, y que las pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos catastróficos fueron cada vez mayores. Como estos sistemas también se ven afectados por cambios en factores socioeconómicos, tales como los desplazamientos demográficos y los cambios en el uso de las tierras, resulta difícil cuantificar los efectos relacionados con el cambio climático (ya sea antropogénico o natural) y con factores socioeconómicos. Por ejemplo, los costos directos de las pérdidas mundiales producidas por catástrofes meteorológicas, con ajustes para la inflación, han aumentado considerablemente entre los decenios de 1950 y 1990 (véase la Figura 2-7), y los costos de los fenómenos



meteorológicos no catastróficos se han incrementado de forma parecida. El número de fenómenos catastróficos asociados con eventos meteorológicos se ha multiplicado a un ritmo tres veces superior a las demás, a pesar de una mejor preparación general para hacer frente a desastres de este tipo. Esta tendencia al alza en las pérdidas relacionadas con el clima durante los últimos 50 años se vinculan en parte a factores socioeconómicos (tales como el crecimiento demográfico, la mayor prosperidad y la urbanización en zonas vulnerables), y en parte a factores climáticos regionales (por ejemplo, los cambios en la precipitación y las inundaciones).

- 2.27 **La proporción de las pérdidas relacionadas con fenómenos meteorológicos cubiertas por los seguros varía considerablemente según las regiones**, y la diferencia del impacto de los episodios climáticos plantea cuestiones de desarrollo y equidad. Hoy en día, las compañías de seguros sólo pagan un 5 por ciento de las pérdidas económicas totales en Asia y América del Sur, el 10 por ciento en África, y cerca del 30 por ciento en Australia, Europa, América del Norte y América Central. La proporción cubierta por el seguro es normalmente mucho mayor si sólo se tienen en cuenta las pérdidas

GTII TIE Secciones 8.3.3.1 & 8.5.4

Costos mundiales de fenómenos climáticos extremos (con ajustes para la inflación)

Pérdidas anuales, en miles de millones de USD

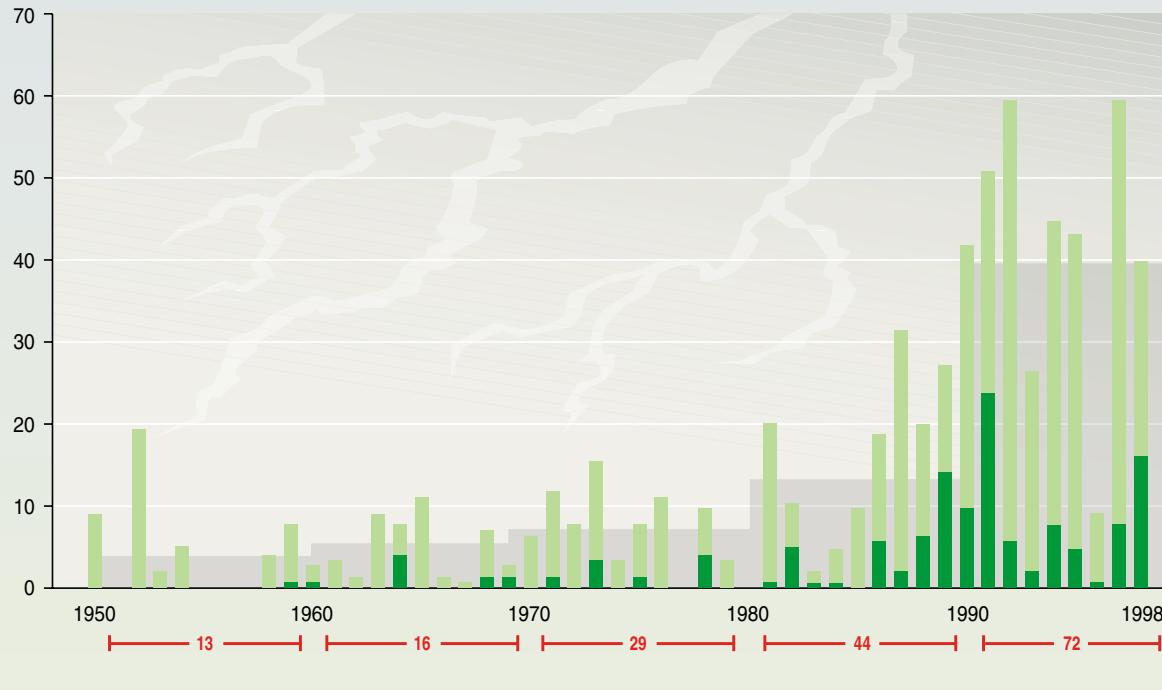


Figura 2-7: Las pérdidas económicas ocasionadas por fenómenos meteorológicos catastróficos se han multiplicado mundialmente por diez (con ajustes para la inflación) entre los decenios de 1950 y de 1990, mucho más rápidamente de lo que se pudiera explicar con la simple inflación. La proporción de estas pérdidas cubiertas por seguros aumentó desde un nivel insignificante hasta cerca del 23 por ciento durante el decenio de 1990. Las pérdidas totales producidas por pequeños fenómenos meteorológicos no catastróficos (no incluidos) son parecidas. En parte, esta tendencia ascendente de las pérdidas por fenómenos relacionados con el clima durante los últimos 50 años se vincula con factores socioeconómicos (tales como el crecimiento demográfico, la creciente prosperidad económica, y la urbanización en zonas vulnerables), y en parte se asocia a factores climáticos (por ejemplo, cambios en la precipitación e inundaciones).

TIE GTII Figura 8-1

originadas por tormentas, pero en cambio las relacionadas con inundaciones y daños a cosechas gozan de muy poca cobertura. El balance de las pérdidas es absorbido por los gobiernos y por los particulares y organizaciones afectados.

2.28 **Se observan impactos de los fenómenos climáticos sobre la salud.** Se sabe que muchas enfermedades infecciosas transmitidas por el agua, los alimentos o vectores son sensibles a cambios en las condiciones climáticas. La gran experiencia con la que contamos muestra claramente que cualquier aumento en las inundaciones agrava el riesgo de personas ahogadas y de enfermedades respiratorias y diarreicas, así como las afecciones producidas por la contaminación de las aguas y—en países en desarrollo—por el hambre y la malnutrición (*confianza alta*). Las olas de calor en Europa y América del Norte se encuentran asociadas con un aumento significativo de la mortalidad urbana, pero las temperaturas invernales más cálidas también tienen como resultado una reducción de la mortalidad durante esa época del año. En algunos casos los efectos para la salud están claramente relacionados con cambios climáticos recientes, como ocurrió en Suecia, en donde la incidencia de encefalitis transmitida por garrapatas aumentó tras unos inviernos más cálidos, y se desplazó hacia el Norte después de un incremento de la frecuencia de inviernos más cálidos en el período 1980–1994.



GTII TIE RRP & GTII TIE
Secciones 9.5.1, 9.7.8,
10.2.4, & 13.2.5

2.29 **El reconocimiento y la previsión de los efectos adversos del cambio climático ha favorecido respuestas del público y los gobiernos.**



GTIII TIE Secciones 3.2,
3.4–5, 3.8.4, 6.2.2, 6.3.2,
& 9.2.1

2.30 **Como consecuencia de los cambios climáticos observados y previstos, se han producido en los últimos diez años respuestas socioeconómicas y de política.** Entre éstas se incluye la estimulación del mercado de fuentes de energía renovables, el desarrollo de programas de mejora de la eficiencia energética, impulsados por las preocupaciones en torno al cambio climático, la integración de políticas climáticas en las políticas nacionales más generales, la aplicación de impuestos sobre el carbono en algunos países, regímenes de comercio de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero en algunos países, acuerdos voluntarios nacionales e internacionales con el sector industrial para aumentar la eficiencia energética o, por otro lado, disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, la creación de mercados de intercambio del carbono, presiones públicas y políticas para que los servicios públicos reduzcan o compensen las emisiones de carbono producidas por nuevos proyectos energéticos, la investigación, por parte de la industria, de enfoques para contrarrestar las emisiones de carbono, y la creación de programas para ayudar a los países en desarrollo y los menos desarrollados a reducir la vulnerabilidad, adaptarse al cambio climático, y poner en práctica medidas de mitigación.

P3

Pregunta 3

¿Qué se conoce sobre las posibles consecuencias climáticas, ambientales y socioeconómicas, durante los próximos 25, 50 y 100 años tanto a escala mundial como a escala regional, que están asociadas con las gamas de emisiones de gases de efecto invernadero que se pronostican en los escenarios descritos en el TIE (proyecciones que no incluyen intervenciones políticas climáticas)?

En la medida de lo posible, hay que evaluar:

- Los cambios proyectados en las concentraciones atmosféricas, el clima y el nivel del mar
- Los impactos, costos y beneficios de los cambios en el clima y la composición atmosférica sobre la salud humana, la diversidad y la productividad de los sistemas ecológicos, y sobre los sectores socioeconómicos (particularmente la agricultura y el agua)
- La gama de opciones de adaptación, incluidos los costos y beneficios y los retos que se presentan
- El desarrollo, la sostenibilidad y los temas de equidad asociados con los impactos y con la adaptación a nivel regional y mundial.

- 3.1 Los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero que se han utilizado como base para las proyecciones climáticas en el TIE son los contenidos en el *Informe Especial del IPCC Escenarios de Emisiones* (IEEE) (véase el Recuadro 3-1). Como los escenarios del IEEE estuvieron disponibles muy poco tiempo antes de la publicación del TIE, no fue posible evaluar los impactos sobre la base de dichos escenarios. Por lo tanto, las evaluaciones de los impactos en el TIE se fundan en los resultados de simulaciones climáticas que tienden a basarse en escenarios de cambio climático en equilibrio (como el 2xCO₂), y sólo en un número relativamente pequeño de experimentos se utiliza un escenario que contempla un aumento anual de un 1 por ciento de CO₂, o los escenarios contemplados en el Segundo Informe de Evaluación (la serie IS92). Por consiguiente, para responder a esta pregunta, el problema radica en probar y correlacionar los resultados de estos impactos con las conclusiones sobre el cambio climático extraídas de los escenarios del IEEE. Ello, necesariamente, requiere utilizar una serie de aproximaciones y, en muchos casos, las conclusiones que se extraen están sujetas a reservas. Las proyecciones de los cambios en la variabilidad climática, los fenómenos extremos y los cambios repentinos/no lineales se tratan en la Pregunta 4.

Recuadro 3-1

Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y de aerosoles debidas a actividades humanas han de alterar la atmósfera de forma que deberían afectar al clima.

Los cambios climáticos ocurren como resultado de la variabilidad interna del sistema climático y de otros factores externos (ya sean naturales o resulten de actividades humanas). Las emisiones de gases de efecto invernadero y de aerosoles debidos a actividades humanas cambian la composición de la atmósfera. Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y de aerosoles se encuentran determinadas por fuerzas impulsoras como la población, el desarrollo socioeconómico y el cambio tecnológico y, por lo tanto, son muy inciertas. Los escenarios son proyecciones alternativas de lo que podría suceder en el futuro y son una herramienta apropiada que permite analizar de qué manera estas fuerzas impulsoras pueden influir en la producción de emisiones futuras y evaluar las incertidumbres asociadas con ellas. Los escenarios del IEEE, desarrollados para actualizar la serie IS92, consisten en seis grupos de escenarios, basados en guiones narrativos, que abarcan una amplia gama de estas fuerzas impulsoras (véase la Figura 3-1). Todos son escenarios posibles e internamente coherentes, y no se les asigna probabilidades de producirse. Incluyen cuatro combinaciones de cambios demográficos, desarrollo económico y social, y adelantos tecnológicos generales (A1B, A2, B1, B2). Otros dos grupos de escenarios, A1FI y A1T, investigan de manera explícita el posible desarrollo de diferentes tecnologías energéticas para el escenario A1B (véase la Figura 3-1a). En las Figuras 3-1b a 3-1e se muestran las emisiones resultantes de los gases de efecto invernadero CO₂, CH₄, y N₂O, junto con el SO₂ que conduce a la producción de aerosoles de sulfato; otros gases y partículas son también importantes. Estas emisiones causan cambios en las concentraciones y aerosoles en la atmósfera. En las Figuras 3-1f a 3-1i se muestran los cambios en las concentraciones para los escenarios del IEEE. Conviene observar que para los gases que permanecen en la atmósfera durante un período prolongado, como el CO₂ que se muestra en el panel f), la concentración atmosférica responde con relativa lentitud a los cambios en las emisiones (véase la Figura 5-3), mientras que para gases y aerosoles de vida corta, como los aerosoles de sulfato que se muestran en el panel i), la concentración atmosférica responde mucho más rápidamente. La influencia de los cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero y de aerosoles en la atmósfera sobre el sistema climático se puede comparar en general utilizando el concepto de forzamiento radiativo, que constituye una medida de la influencia que un factor tiene para perturbar el balance de la energía entrante y saliente en el sistema Tierra-Atmósfera. Un forzamiento radiativo positivo, como el producido por una creciente concentración de gases de efecto invernadero, tiende a calentar la superficie; por el contrario, un forzamiento radiativo negativo, que puede ser el resultado del aumento de algunos tipos de aerosoles como los aerosoles de sulfato, tiende a enfriar la superficie. En el panel j) se muestra el forzamiento radiativo resultante de las crecientes concentraciones en los paneles f) al i). Conviene observar que, como ocurre en los escenarios IS92, todas las combinaciones de emisiones de gases de efecto invernadero y de aerosoles en los escenarios del IEEE tienen como resultado un aumento de los forzamientos radiativos.



TIE GTI Capítulos 3, 4, 5, y 6

- 3.2 **En todos los escenarios de emisiones proyectados por el IPCC se prevé que durante el siglo XXI aumenten las concentraciones de dióxido de carbono y la temperatura media de la superficie del planeta y que ascienda el nivel del mar.**

- 3.3 **Todos los escenarios de emisiones del IEEE dan como resultado un aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂.** Para los seis escenarios ilustrativos de emisiones, la concentración proyectada de CO₂ en el año 2100 oscila entre 540 y 970 ppm, comparada con cerca de 280 ppm en la época preindustrial, y cerca de 368 ppm en el año 2000 (véase la Figura 3-1f). Estas proyecciones incluyen las respuestas climáticas terrestres y



GTI TIE Sección 3.7.3.3

oceánicas. Las diferentes hipótesis socioeconómicas (demográficas, sociales, económicas y tecnológicas) dan como resultado niveles diferentes de gases de efecto invernadero y aerosoles en el futuro. Otras incertidumbres, sobre todo las que se refieren a la persistencia de los procesos actuales de eliminación (los sumideros de carbono) y la magnitud del impacto de la respuesta climática en la biosfera terrestre, producen una variación de -10 a +30 por ciento en la concentración estimada en cada escenario para el año 2010. Por lo tanto, la gama total sería de 490 a 1.260 ppm—de un 75 a un 350 por ciento por encima de la concentración del año 1750 (época preindustrial).

- 3.4 **Se proyecta que hacia el año 2100 varíen considerablemente los cálculos basados en simulaciones sobre concentraciones de gases principales de efecto invernadero que no son CO₂ en los seis escenarios ilustrativos del IEEE.** En la mayoría de los casos, las simulaciones A1B, A1T, y B1 muestran los menores aumentos, y las simulaciones A1FI y A2 los mayores (véase la Figuras 3-1g y 3-1h).



GTI TIE Sección 4.4.5, &
GTI TIE Recuadro 9.1

- 3.5 **Los escenarios del IEEE incluyen la posibilidad de aumentos y de disminuciones de los aerosoles antropogénicos, según el uso de combustibles fósiles y las políticas que se apliquen para disminuir las emisiones que causan la contaminación.** Como surge de la Figura 3-1i, se proyecta que hacia el año 2100 las concentraciones de aerosoles de sulfato caigan por debajo de los niveles actuales en todos los seis escenarios ilustrativos del IEEE. Esto daría como resultado un calentamiento en comparación con la situación actual. Además, se proyecta que los aerosoles naturales (como la sal marina, el polvo, y las emisiones que favorecen los aerosoles de carbono y sulfato) aumenten como resultado de cambios en el clima.



GTI TIE Sección 5.5 &
IEEE Sección 3.6.4

- 3.6 **Se proyecta que la temperatura media de la superficie del planeta aumente de 1,4° a 5,8°C en el período 1990–2100 (véase la Figura 3-1k). Esta cantidad es de 2 a 10 veces superior al valor central del calentamiento observado durante el siglo XX, y es muy probable que la velocidad proyectada del calentamiento no tenga precedentes durante, al menos, los últimos 10.000 años, basándonos en datos del paleoclima (véase la Figura 9-1).** Durante los períodos 1990–2025 y 1990–2050, los aumentos proyectados son de 0,4 a 1,1°C y de 0,8 a 2,6°C, respectivamente. Estos resultados se extraen a partir de la gama completa de 35 escenarios del IEEE basados en una serie de simulaciones climáticas.⁴ Se proyecta que los aumentos



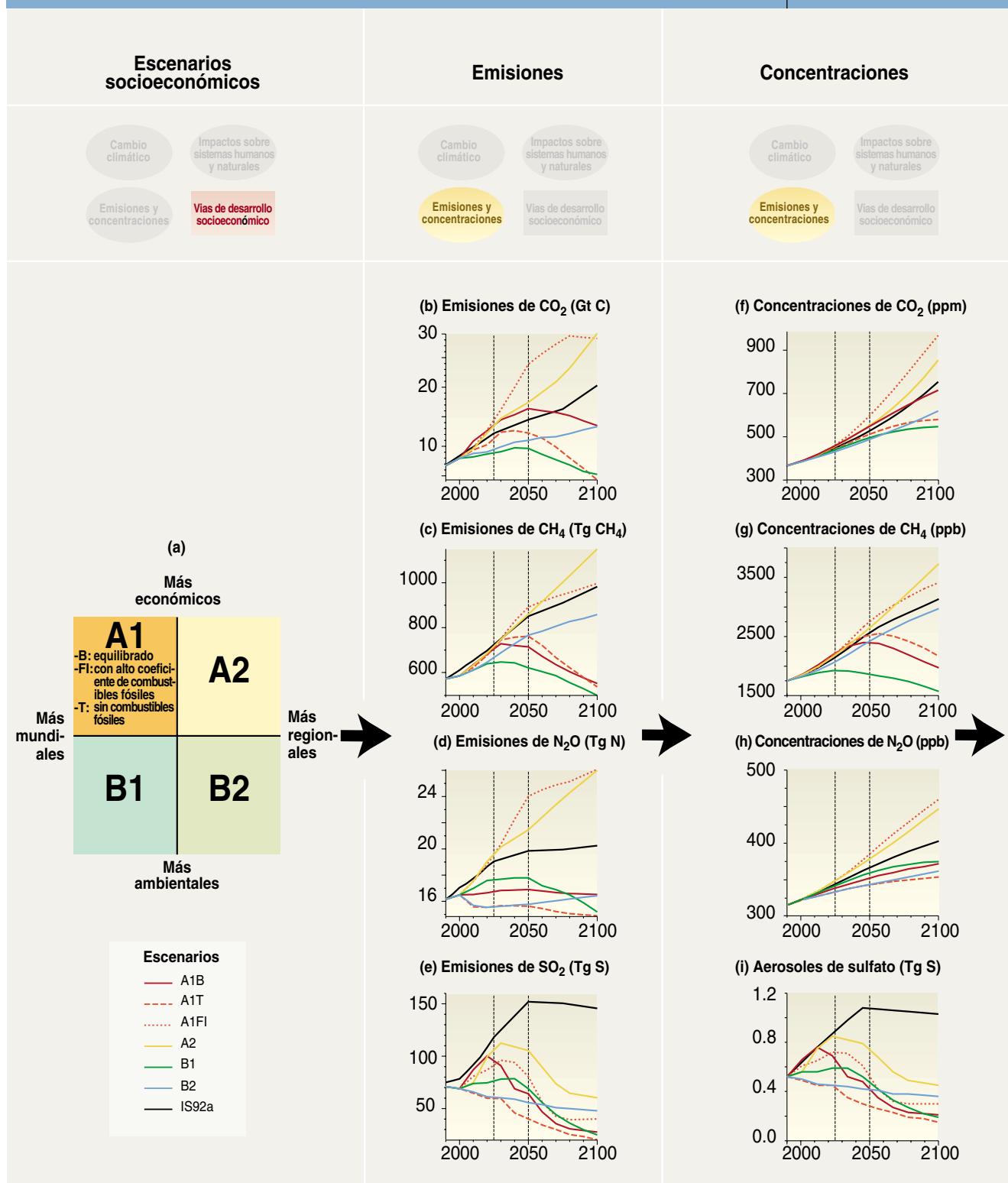
GTI TIE Sección 9.3.3

- **Figura 3-1: Las diferentes hipótesis socioeconómicas que sustentan los escenarios del IEEE tienen como resultado niveles diferentes de emisiones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles.** Estas emisiones cambian a su vez la concentración de estos gases y aerosoles en la atmósfera, lo que produce unos cambios de los forzamientos radiativos del sistema climático. Los forzamientos radiativos producidos por los escenarios del IEEE tienen como resultado un aumento de la temperatura y una elevación del nivel del mar, lo que a su vez tiene otra serie de efectos. Los escenarios del IEEE no incluyen iniciativas climáticas adicionales y no se asignan probabilidades de ocurrencia de estos fenómenos. Como los escenarios del IEEE sólo estuvieron disponibles muy poco tiempo antes de la incorporación del TIE, la evaluación de los impactos se funda en los resultados de simulaciones climáticas que tienden a basarse en escenarios de cambio climático en equilibrio (como el 2xCO₂), y sólo un número relativamente pequeño de experimentos utiliza un escenario transitorio que contempla un aumento anual de 1 por ciento de CO₂, o los escenarios del SIE (como la serie IS92). Los impactos pueden, a su vez, afectar al desarrollo socioeconómico a través, por ejemplo, de la adaptación y la mitigación. Los recuadros marcados en un tono más oscuro en la parte superior de la Figura muestran de qué manera se relacionan los diferentes aspectos con el marco integrado de evaluación para la consideración del cambio climático (véase la Figura 1-1).



TIE GTI Figuras 3.12, 4.14,
5.13, 9.13, 9.14, & 11.12,
TIE GTII Figura 19-7, &
IEEE Figuras RRP-2,
RRP-5, RRP-6, & RT-10

¹ La principal herramienta para la proyección del cambio climático en el futuro son simulaciones climáticas complejas basadas en fenómenos físicos. Para investigar la gama de escenarios, se pueden complementar con simulaciones climáticas sencillas que proporcionen una respuesta equivalente en temperatura y nivel del mar a la que se obtiene de simulaciones climáticas complejas. Estas proyecciones se obtienen utilizando una simulación climática simple cuya sensibilidad climática y absorción de calor en el océano estén calibradas para cada uno de las siete simulaciones climáticas complejas. La sensibilidad climática utilizada en la simulación simple tiene una gama comprendida entre 1,7 y 4,2°C, que es comparable a la gama comúnmente aceptada de 1,5–4,5°C. En cuanto a los experimentos con la Simulación general de circulación atmosférica-oceáno (AOGCM) para finales del siglo XXI (años 2071–2100) comparados con el período 1961–1990, el calentamiento medio para el escenario A2 del IEEE es de 3,0°C, con una gama de 1,3 a 4,5°C, mientras que para el escenario B2 del IEEE, el calentamiento medio es de 2,2°C, con una gama de 0,9 a 3,4°C.



A1FI, A1T y A1B

El conjunto de guión y escenario A1 describe un mundo futuro con un muy rápido crecimiento económico, una población que alcanza su punto máximo a mediados de siglo y decrece posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficaces. Los principales problemas son la convergencia entre las regiones, el desarrollo de la capacidad y un

aumento de las interacciones culturales y sociales, con una importante reducción de las diferencias regionales en el ingreso per cápita. El conjunto del escenario A1 se desarrolla en tres grupos que muestran las direcciones alternativas del cambio tecnológico en el sistema energético. Los tres grupos en A1 se distinguen por un énfasis en las tecnologías: con alto

coeficiente de combustibles fósiles (A1FI), fuentes de energía no derivada de combustibles fósiles (A1T) y un equilibrio en todas las fuentes (A1B) (en donde se define el 'equilibrio' como la no dependencia de un tipo de energía en particular, o la aplicación de niveles parecidos de mejora a todas las fuentes de energía y tecnologías para usos finales).

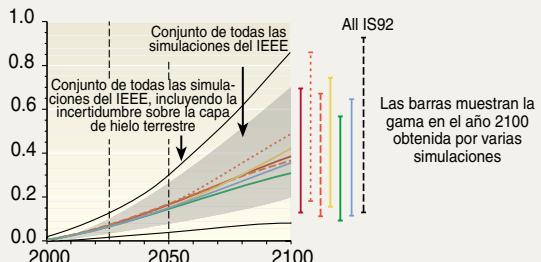
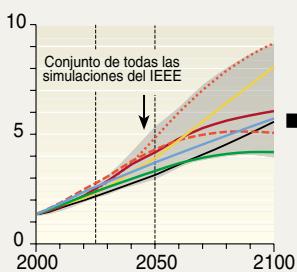
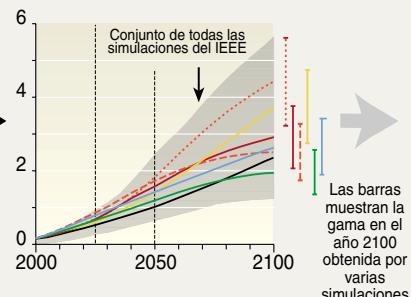
Forzamientos radiativos

Cambio de temperatura y nivel del mar

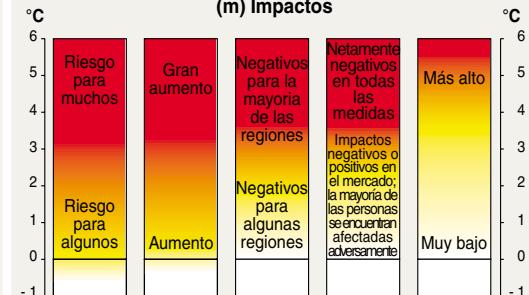
Reasons for Concern



(l) Elevación del nivel del mar (m)

(j) Forzamiento radiativo (Wm^{-2})(k) Cambio de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

(m) Impactos



- I Riesgos a sistemas únicos y amenazados
- II Riesgos de fenómenos climáticos extremos
- III Distribución de los impactos
- IV Impactos agregados
- V Riesgos de futuras discontinuidades a gran escala

Escenarios

- A1B
- - A1T
- ... A1FI
- A2
- B1
- B2
- IS92a

A2

El conjunto de guión y escenario A2 es muy heterogéneo. El principal problema es la independencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fecundidad en todas las regiones convergen muy lentamente, lo que produce un aumento constante de población. El desarrollo económico se encuentra orientado principalmente hacia las regiones y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico se encuentran más fragmentados y son más lentos que en otros guiones.

B1

El conjunto de guión y escenario B1 describe un mundo convergente y con la misma población mundial, que alcanza su punto máximo a mitad de siglo y disminuye posteriormente, tal y como sucede en el guión A1, pero muestra un cambio rápido en las estructuras económicas, hacia una economía de servicios e información, con reducciones en las tecnologías con un alto coeficiente de materiales y la incorporación de tecnologías limpias y que utilizan eficientemente los recursos. Este escenario hace hincapié en encontrar soluciones globales a las cuestiones de sostenibilidad económica, social y ambiental, incluido un mejoramiento en términos de equidad, pero sin contar con iniciativas climáticas adicionales.

B2

El conjunto de guión y escenario B2 describe una situación en donde se pone énfasis en las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y ambiental. Indica un mundo en que la población mundial aumenta constantemente, aunque a un ritmo menor que en A2, con niveles intermedios de desarrollo económico, y un cambio tecnológico más lento y más diverso que en B1 y A1. El escenario también se orienta a la protección ambiental y la equidad social, pero se centra en la situación local y regional.

de temperatura sean mayores que los estimados en el SIE, que variaban entre 1,0 y 3,5°C, y se extrajeron de seis escenarios IS92. Las mayores temperaturas proyectadas y la más amplia gama se deben principalmente a las emisiones inferiores de SO₂ proyectadas en los escenarios del IEEE en comparación con los escenarios IS92, debido a los cambios estructurales en el sistema energético, además de las preocupaciones sobre la contaminación del aire a nivel local y regional.

- 3.7 **Para el año 2100, la gama de las respuestas de la temperatura de la superficie del planeta proyectadas en las diferentes simulaciones climáticas para el mismo escenario de emisiones ha de ser comparable a la gama de los diferentes escenarios de emisiones del IEEE para una simulación climática única.** La Figura 3–1 indica que los escenarios del IEEE que acusan los mayores resultados en emisiones muestran las proyecciones de aumentos más importantes de temperatura. Se plantean otras incertidumbres debido a la incertidumbre sobre los forzamientos radiativos, y la más importante se relaciona con los aerosoles de sulfato.
- 3.8 **Se proyecta que durante el siglo XXI aumente la precipitación media anual en todo el mundo.** También se prevé que aumente la media de vapor de agua y de evaporación.
- 3.9 **Se espera que entre los años 1990 y 2100 el nivel medio mundial del mar se eleve en un 0,09–0,88 m, para la gama completa de escenarios del IEEE (véase la Figura 3–1).** Durante los períodos 1990–2025 y 1990–2050, los aumentos proyectados son de 0,03–0,14 m y de 0,05–0,32 m, respectivamente. La causa principal es el aumento de la temperatura de los océanos y la pérdida de masa de los glaciares y las capas de hielo. La gama del ascenso del nivel del mar prevista en el SIE y basada en los escenarios IS92 fue de 0,13–0,94 m. A pesar que en esta evaluación se prevé un cambio de temperatura más importante, las proyecciones del nivel del mar que se ofrecen son un poco menores, debido principalmente al empleo de mejores simulaciones que asignan una menor contribución a los glaciares y las capas de hielo.
- 3.10 **Se proyectan importantes diferencias en los cambios regionales en el clima y en el nivel del mar, comparados con el cambio medio mundial.**
- 3.11 **Es muy probable que casi todas las zonas terrestres se calienten más rápidamente que la media mundial, particularmente durante el invierno en las zonas situadas en las latitudes altas del Norte.** El cambio más destacado es el calentamiento en las regiones del Norte de América, y del Norte y Centro de Asia, que en cada simulación supera en más del 40 por ciento el calentamiento medio mundial. En contraste, el calentamiento es menor que el cambio medio mundial en Asia meridional y sudoriental durante el verano, y en la parte meridional de Sudamérica durante el invierno (véase la Figura 3–2).



GTI TIE Sección 9.3.3



GTI TIE Sección 9.3.1



GTI TIE Sección 11.5.1



GTI TIE Sección 10.3.2

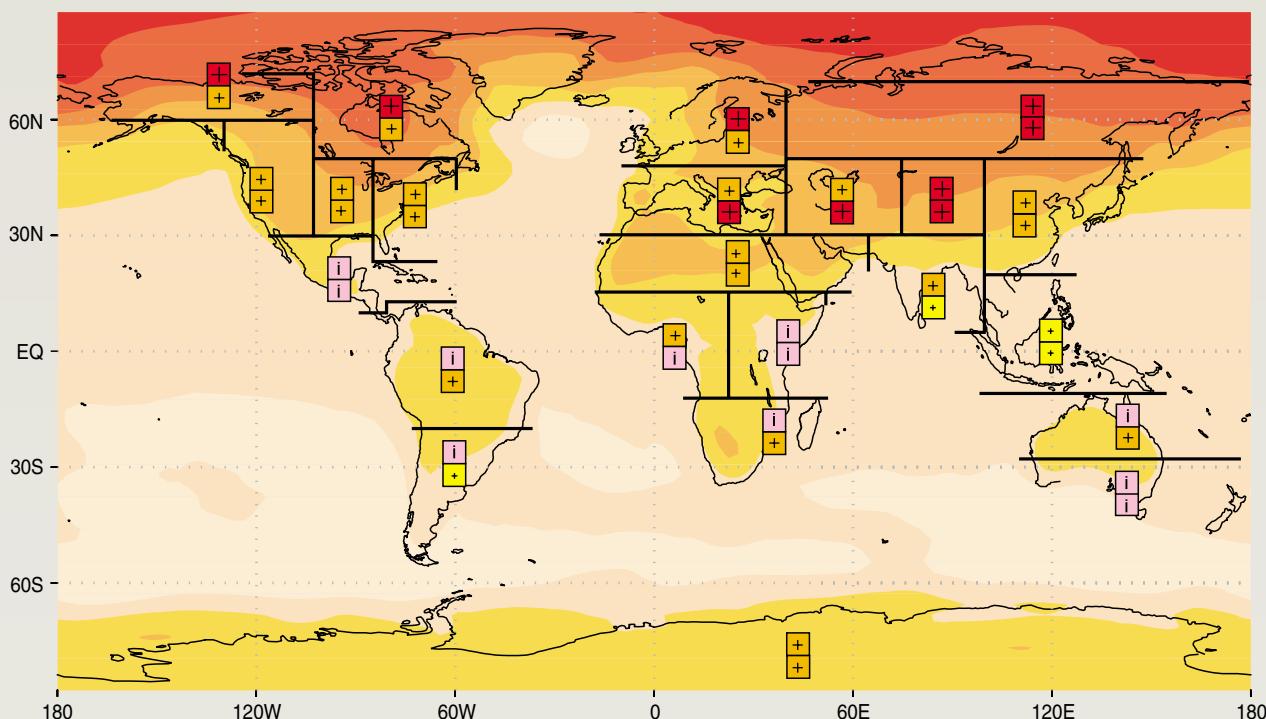


TIE GTI Figuras 9–10d y 9–10e, y TIE GTI Recuadro 10–1 (Figura 1)

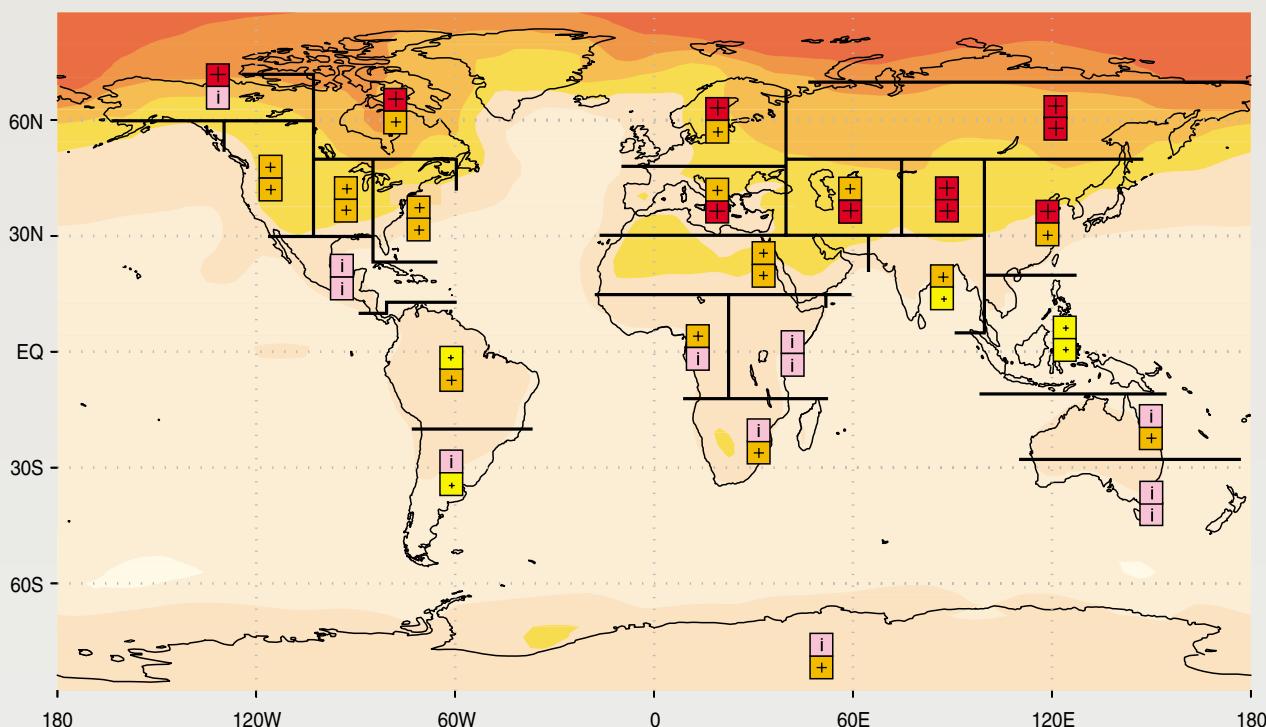
→ **Figura 3–2: El fondo muestra el cambio medio anual de la temperatura (sombreado en color) para: a) el escenario A2 del IEEE, y b) el escenario B2 del IEEE.** Ambos escenarios del IEEE muestran el período 2071–2100 en relación con el período 1961–1990, y fueron llevados a cabo por la simulación general de circulación atmósfera-oceánica (AOGCM). Se muestran los escenarios A2 y B2 ya que no se disponía de experimentos llevados a cabo por el AOGCM para los otros escenarios del IEEE. Los recuadros muestran un análisis de coherencia entre simulaciones en lo que se refiere a calentamiento regional relativo (es decir, el calentamiento en relación con el calentamiento mundial medio en cada simulación) para los mismos escenarios. Las regiones se clasifican entre las que muestran una coincidencia sobre los resultados del calentamiento por encima del 40 por ciento sobre el promedio anual de la media mundial (mucho mayor que la media de calentamiento), una coincidencia sobre un calentamiento mayor que el promedio anual de la media mundial (mayor que la media de calentamiento), una coincidencia sobre un calentamiento menor que el promedio anual de la media mundial (menor que la media de calentamiento), o una discrepancia entre las simulaciones con respecto a la magnitud del calentamiento regional relativo (magnitud incoherente de calentamiento). También existe una categoría para la coincidencia sobre el enfriamiento (esta categoría nunca ocurre). Se entiende por resultado coherente en al menos siete de las nueve simulaciones al que es necesario para la coincidencia. El promedio anual de la media mundial de calentamiento de las simulaciones oscila entre 1,2 y 4,5°C para el escenario A2 y entre 0,9 y 3,4°C para el B2 y, por lo tanto, una amplificación regional del 40 por ciento representa una gama de calentamiento entre 1,7 y 6,3°C para el escenario A2 y entre 1,3 y 4,7°C para el B2.

Cambios de temperatura en los escenarios A2 y B2

a) Escenario A2



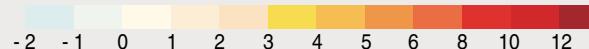
b) Escenario B2



Cambio de temperatura en relación con la media mundial de la simulación

- [Red square] Mucho mayor que el calentamiento medio
- [Yellow square] Mayor que el calentamiento medio
- [Yellow plus sign] Menor que el calentamiento medio
- [Pink square] Magnitud incoherente de calentamiento
- [Blue square] Enfriamiento

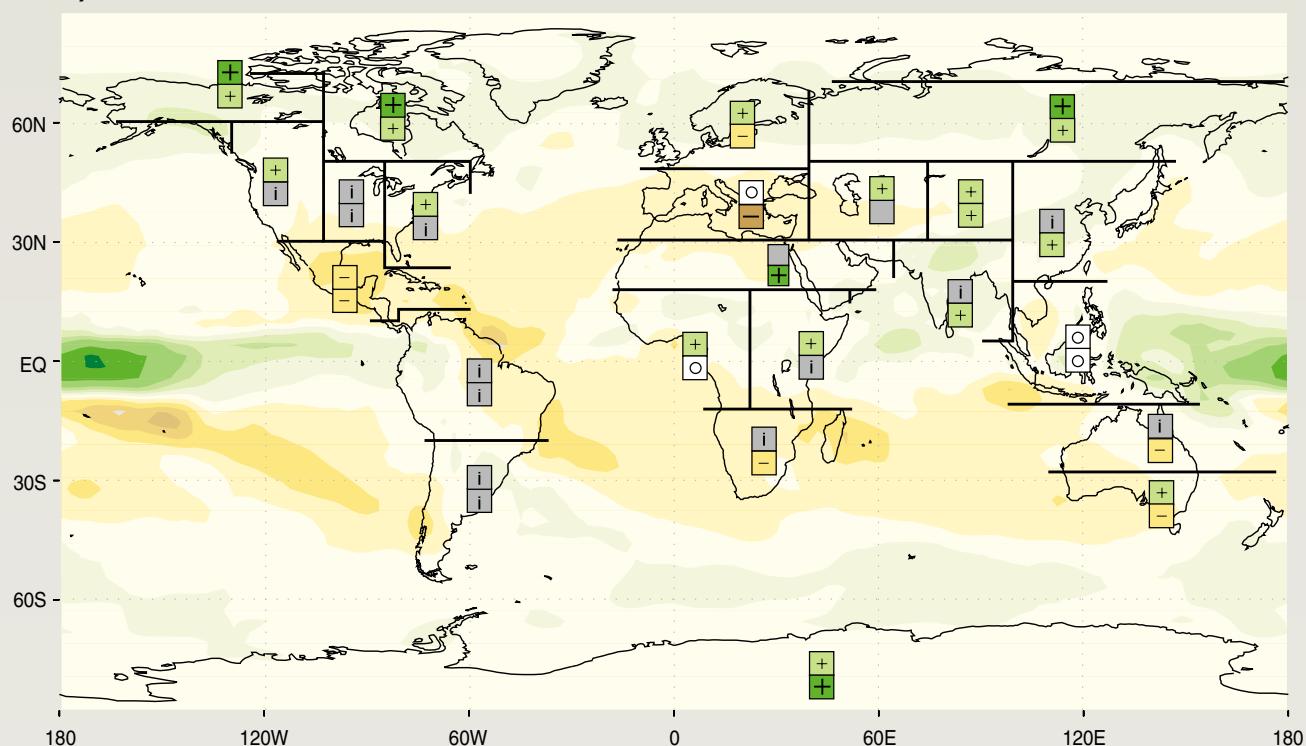
Cambio de la temperatura media mundial (°C)



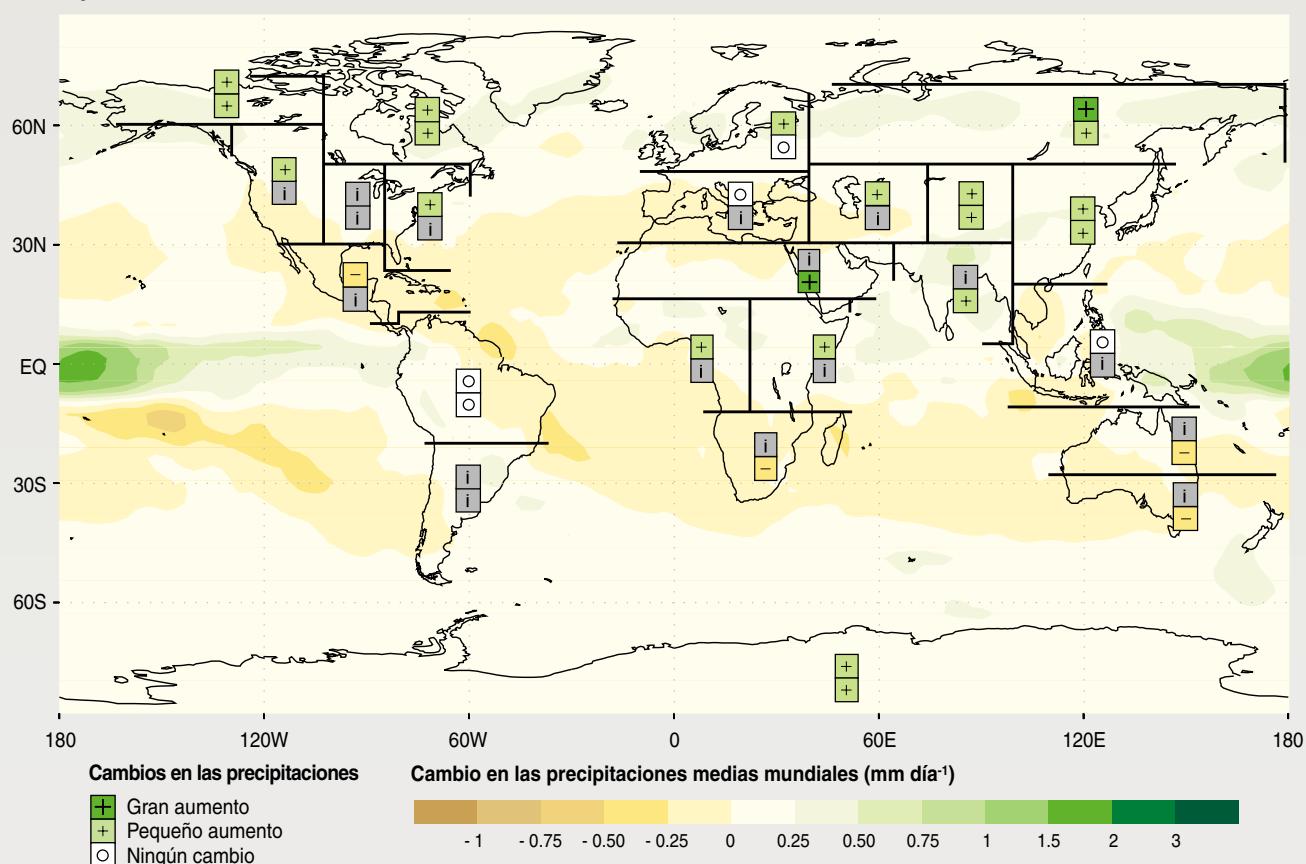
Diciembre-enero-febrero
Junio-julio-agosto

Cambios en las precipitaciones en los escenarios A2 y B2

a) Escenario A2



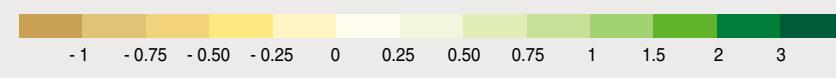
b) Escenario B2



Cambios en las precipitaciones

- [+] Gran aumento
- [+] Pequeño aumento
- [O] Ningún cambio
- [-] Pequeño descenso
- [-] Gran descenso
- [i] Indicaciones incoherentes

Cambio en las precipitaciones medias mundiales (mm d^{-1})



- [] Diciembre-enero-febrero
- [] Junio-Julio-agosto

3.12 A escala regional se proyecta un aumento y disminución de las precipitaciones, generalmente de un 5–10 por ciento. Es probable que las precipitaciones aumenten en regiones situadas en latitudes altas, tanto en verano como en invierno. También se esperan aumentos en latitudes medias del Norte, en la zona tropical de África y en el Antártico durante el invierno, y en Asia meridional y sudoriental en verano. Las precipitaciones durante el invierno continuarán descendiendo en Australia, América Central y África meridional. Es muy probable que en la mayoría de las zonas en donde se proyecta un aumento de la precipitación media se observen también mayores variaciones de precipitaciones de un año a otro (véase la Figura 3–3).



GTI TIE Sección 10.3.2

3.13 La proyecciones de las variaciones regionales en el cambio del nivel del mar son importantes comparadas con la elevación media mundial proyectada del nivel del mar, porque el nivel del mar en la línea de costa se encuentra determinado por muchos factores (véase la Figura 3–4). La confianza en la distribución regional de los cambios del nivel del mar en simulaciones complejas es baja, ya que los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones varían mucho, aunque casi todas ellas proyectan un aumento mayor que la media en el Océano Ártico, y menor que la media en el Océano Austral.



GTI TIE Sección 11.5.2

3.14 Se espera que los glaciares y las capas de hielo se sigan reduciendo durante el siglo XXI. Se prevé que disminuyan aún más la capa de nieve en el Hemisferio Norte, el permafrost, y la extensión del hielo marino. Es posible que la *placa de hielo* del Antártico aumente su masa debido a la mayor precipitación, mientras que en Groenlandia la pierda, debido a que la escorrentía supere el aumento de la precipitación. La preocupación acerca de la estabilidad de la *placa de hielo* del Antártico occidental se trata en la Pregunta 4.



GTI TIE Sección 11.5.4

3.15 El cambio climático proyectado ha de tener consecuencias ambientales y socioeconómicas positivas y negativas, pero cuanto mayor sea el cambio climático y su ritmo, más predominarán los efectos adversos.

3.16 Los impactos del cambio climático han de ser más graves cuanto mayores sean las emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero (confianza media).

El cambio climático puede tener efectos positivos además de los adversos, pero se proyecta que éstos últimos predominen en la mayor parte del mundo. Los diferentes efectos del cambio climático conllevan riesgos que aumentan con la temperatura media mundial. Muchos de estos riesgos se han organizado en cinco categorías, que son motivo de preocupación: amenazas a especies en peligro y a sistemas únicos, daños producidos por fenómenos climáticos extremos, impactos que afectan sobre todo en los países en desarrollo y en los sectores de población más pobres dentro de dichos países, efectos mundiales agregados, y fenómenos a gran escala y de grandes repercusiones (véase el Recuadro 3–2 y la Figura 3–1). Se resumen a continuación los impactos del cambio climático en la salud humana, los ecosistemas, la producción de alimentos, los recursos hídricos, las pequeñas islas y zonas costeras bajas, y las actividades mercantiles agregadas. Sin embargo, hay que advertir que en la mayoría de estos estudios no se han tenido en cuenta los cambios futuros en la frecuencia o intensidad de los fenómenos extremos (ver también Pregunta 4).



GTII TIE Secciones 1.2, 19.3, 19.5, & 19.8

Figura 3–3: El fondo muestra el cambio medio anual de precipitaciones (sombreado en color) para: a) el escenario A2 del IEEE y b) el escenario B2 del IEEE. Ambos escenarios del IEEE muestran el período 2071–2100 en relación con el período 1961–1990, y fueron llevados a cabo por la simulación general de circulación atmósfera-océano (AOGCM). Se muestran los escenarios A2 y B2 ya que no se disponía de experimentos llevados a cabo por el AOGCM para los otros escenarios del IEEE. Los recuadros muestran un análisis de coherencia entre simulaciones en lo que se refiere al cambio regional de precipitaciones. Las regiones se clasifican entre las que muestran una coincidencia sobre dicho cambio con un aumento medio mayor al 20 por ciento (aumento grande), una coincidencia sobre el cambio con un aumento medio de entre 5 y 20 por ciento (aumento pequeño), una coincidencia sobre un cambio de entre -5 y +5 por ciento (ningún cambio), o una coincidencia sobre un cambio de entre -5 y -20 por ciento (pequeño descenso), una coincidencia sobre un cambio medio de más del -20 por ciento (gran descenso), o una discrepancia (indicación incoherente). Se entiende por resultado coherente en al menos siete de las nueve simulaciones como aquel que es necesario para una coincidencia.



TIE GTI Recuadro 10–1 (Figura 2)

Recuadro 3-2 Preocupaciones sobre los riesgos del aumento del cambio climático en la temperatura.

- Sistemas únicos y amenazados:** Algunos cambios en especies y sistemas ya se han asociado a cambios observados en el clima, y con unos muy pequeños cambios climáticos algunas especies y sistemas muy vulnerables podrían estar expuestos a riesgos de daño, e incluso desaparecer. Un mayor calentamiento podría agravar el riesgo para semejantes especies y sistemas, y exponer a riesgo a otras.
- Fenómenos climáticos extremos:** Ya se ha observado una mayor frecuencia e intensidad en algunos fenómenos extremos (véase Pregunta 2), que probablemente han de aumentar con un mayor calentamiento, al igual que los riesgos para la vida humana, los bienes, las cosechas, los animales y los ecosistemas. Estos riesgos aumentan se desarrollan zonas inestables e intrínsecamente dinámicas (como llanuras sujetas a inundaciones fluviales y zonas costeras bajas) (véase también Pregunta 4).
- Distribución desigual de los impactos:** En general, los países en desarrollo están expuestos que los países desarrollados a un mayor riesgo de sufrir los impactos adversos producidos por un cambio climático, y algunos de los segundos pueden experimentar beneficios en el sector del mercado con un calentamiento de menos de unos pocos °C. Si el calentamiento es mayor, la mayoría de las regiones corren el riesgo de sufrir impactos predominantemente negativos. Sin embargo, los países en desarrollo seguirían estando más afectados adversamente que los países desarrollados. Dentro de un país determinado, la vulnerabilidad varía y las poblaciones más pobres con frecuencia están más expuestas a impactos que amenazan su vida y medios de subsistencia.
- Impactos mundiales agregados:** Los efectos mundiales agregados en el sector del mercado pueden ser positivos o negativos con un cambio de unos pocos °C, aunque la mayoría de las personas pueden verse afectadas de manera negativa. Si el calentamiento es mayor, aumenta el riesgo de impactos mundiales negativos en el sector del mercado, y los efectos podrían ser predominantemente negativos para la mayoría de las personas.
- Fenómenos de gran escala y gran impacto:** La probabilidad de fenómenos de gran escala y gran impacto en un horizonte temporal de 100 años, como la interrupción de la circulación termohalina o la fusión de la placa de hielo del Oeste del Antártico, es muy pequeña con un calentamiento inferior a unos pocos °C. En general, no se ha cuantificado el riesgo que resulta de las probabilidades de estos acontecimientos y la magnitud de sus consecuencias. Con un calentamiento mayor, y en un horizonte temporal mayor a 100 años, las probabilidades y el riesgo aumentan, pero en un grado que no se puede estimar. Véase también la Pregunta 4.

- TIE GTII Secciones 5.2, 5.4, y 19.3
- TIE GTII Secciones 15.2 y 19.6
- TIE GTII Sección 19.4
- TIE GTII Sección 19.5
- TIE GTII Sección 19.6

¿Qué causa la elevación del nivel del mar?

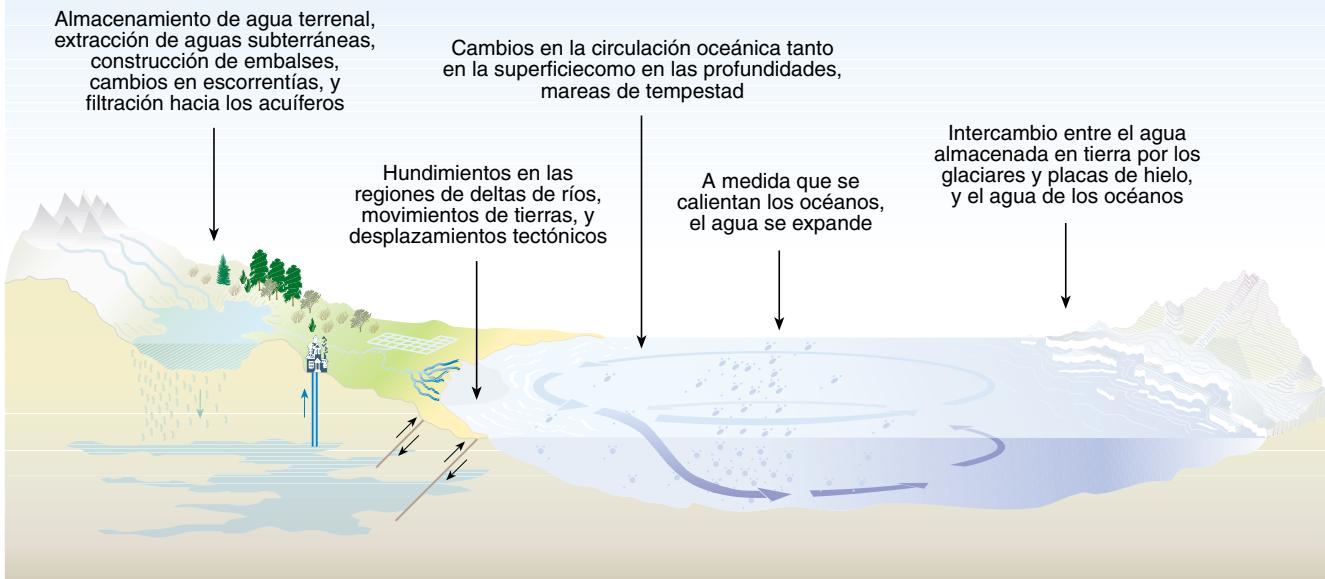


Figura 3-4: El nivel del mar en la línea de costa está determinado por muchos factores en el entorno mundial que funcionan en una extensa gama de escalas temporales, desde horas (mareas) a millones de años (cambios en las cuencas oceánicas debido a movimientos tectónicos y sedimentación). En una escala temporal de decenios a siglos, algunas de las mayores influencias sobre los niveles medio del mar tienen relación con el clima y procesos de cambio climático.

- TIE GTI Recuadro RT-2

Salud humana

- 3.17 En general, se proyecta que el cambio climático aumente los peligros para la salud humana, sobre todo en las poblaciones con menores recursos económicos en países tropicales y subtropicales.** El cambio climático puede afectar a la salud humana a través de múltiples vías, lo que incluye los efectos directos sobre la salud humana (menos problemas producidos por el frío en países cálidos pero aumento de problemas por el aumento del calor; pérdida de vidas humanas por inundaciones y tormentas) y los efectos indirectos que se manifiestan en cambios en la gama de organismos vectores que transmiten enfermedades infecciosas (por ejemplo, las producidas por mosquitos),⁵ los agentes patógenos del agua, la calidad del agua y del aire, y la disponibilidad y calidad de los alimentos (por ejemplo, la disminución del contenido en proteínas en algunos cereales), el desplazamiento de la población, y la desestabilización económica (*confianza de media a alta*). Algunos efectos pueden ser beneficiosos (como la reducción de los problemas ocasionados por el frío, y la reducción de la transmisión de enfermedades en algunos casos), pero se prevé que predominen los efectos adversos (véase el Cuadro 3–1). Los impactos reales han de verse muy influenciados por las condiciones ambientales y las circunstancias socioeconómicas locales, y para cada efecto adverso previsto en la salud humana existe una gama de opciones de adaptación sociales, institucionales, tecnológicas y de comportamiento para disminuirlo. La adaptación podría abarcar, por ejemplo, el fortalecimiento de las infraestructuras de la salud pública, la gestión del medio ambiente orientada a la salud (incluidas la calidad del aire y del agua, la seguridad alimenticia, el diseño urbano y de la vivienda, y la gestión del agua superficial), y el suministro de atención médica apropiada.


GTII TIE Secciones 5.3, 9.1, 9.5, & 9.11

Diversidad biológica y productividad de los sistemas ecológicos

- 3.18 Se proyecta que la diversidad en los sistemas ecológicos se vea afectada por el cambio climático y por la elevación del nivel del mar, con un riesgo creciente de extinción de algunas especies vulnerables (*confianza alta*).** Se espera que aumenten las perturbaciones importantes en los ecosistemas debido a factores como incendios, sequías, plagas, invasión de especies, tormentas y decoloración de los corales (véase el Cuadro 3–2). Los problemas causados por el cambio climático, cuando se añaden a otros que sufren los sistemas ecológicos (como la transformación y la degradación de los terrenos, las cosechas y la contaminación), pueden causar daños muy significativos o incluso la pérdida total de algunos ecosistemas únicos y la extinción de especies en peligro. Los arrecifes y atolones coralinos, los manglares, los bosques boreales y tropicales, los ecosistemas polares y alpinos, las tierras húmedas en las praderas, y los restos de praderas indígenas son ejemplos de sistemas amenazados por el cambio climático. En algunos casos los ecosistemas amenazados son los que podrían mitigar los efectos de los cambios climáticos (por ejemplo, los sistemas costeros que actúan como amortiguadores de los efectos de las tormentas). Entre posibles métodos de adaptación que reducen la pérdida de diversidad biológica pueden mencionarse la creación de refugios, parques y reservas con corredores para permitir la migración de las especies, el uso de cría de animales en cautividad y el traslado de especies a otros hábitat.


GTII TIE Secciones 5.2.3, 5.4.1, 16.2, 17.2, 19.3.2–3

- 3.19 La productividad de los sistemas ecológicos es muy sensible a los cambios climáticos, y las proyecciones del cambio en la productividad abarca tanto aumentos como disminuciones (*confianza media*).** Las crecientes concentraciones de CO₂ podrían aumentar la productividad neta principal (fertilización por CO₂) y la productividad neta del ecosistema en la mayoría de los sistemas de vegetación, causando


**GTI TIE Sección 3.7 &
GTII TIE Secciones 5.2.2 & 5.6.3**

⁵ Ocho estudios han realizado simulaciones sobre los efectos de cambios climáticos en este tipo de enfermedad—cinco sobre paludismo y tres sobre el dengue. Siete de ellos utilizan puntos de vista biológicos o basados en procesos y el otro se sirve de un enfoque empírico o estadístico.

Cuadro 3-1 Consecuencias del cambio climático para la salud humana en ausencia de intervenciones de política sobre el clima.			
	2025	2050	2100
Concentración de CO ₂ ^a	405–460 ppm	445–640 ppm	540–970 ppm
Cambio de la temperatura media mundial desde el año 1990 ^b	0.4–1.1°C	0.8–2.6°C	1.4–5.8°C
Elevación media mundial del nivel del mar desde el año 1990 ^b	3–14 cm	5–32 cm	9–88 cm
Efectos en la salud humana^c			
Problemas y mortalidad producidos por el calor en invierno [TIE GTII Sección 9.4]	Aumento de muertes y enfermedades relacionadas con el calor (<i>confianza alta</i> ^d). Disminución de muertes en invierno en algunas regiones templadas (<i>confianza alta</i> ^d).	Intensificación de los efectos de los problemas térmicos (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos de los problemas térmicos (<i>confianza alta</i> ^d).
Enfermedades transmitidas por vectores y por el agua [TIE GTII Sección 9.7]		Expansión de las zonas de transmisión del paludismo y el dengue (<i>confianza entre media y alta</i> ^d).	Mayor expansión en zonas de transmisión potencial (<i>confianza entre media y alta</i> ^d).
Inundaciones y tormentas [TIE GTII Secciones 3.8.5 y 9.5]	Aumento de muertes, heridas e infecciones asociadas con fenómenos climáticos extremos (<i>confianza media</i> ^d).	Mayor aumento de muertes, heridas e infecciones (<i>confianza media</i> ^d).	Mayor aumento de muertes, heridas e infecciones (<i>confianza media</i> ^d).
Nutrición [TIE GTII Secciones 5.3.6 y 9.9]	Los pobres son vulnerables a un mayor riesgo de hambre, pero los adelantos de la ciencia	Los pobres siguen siendo vulnerables a un mayor riesgo de hambre.	Los pobres siguen siendo vulnerables a un mayor riesgo de hambre.

^a Las gamas indicadas de las concentraciones de CO₂ se han estimado sobre la base de simulaciones del ciclo rápido del carbono para los seis escenarios ilustrativos del IEEE y corresponden a los valores máximos y mínimos obtenidos sobre la base de simulaciones con un ciclo rápido del carbono en las 35 proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero del IEEE. Véase TIE GTI, Sección 3.7.3.

^b Las gamas indicadas del cambio de la temperatura media mundial y la elevación media mundial del nivel del mar corresponden a los valores máximos y mínimos estimados mediante una simulación climática sencilla en las 35 proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero y las emisiones de SO₂ del IEEE. Véase TIE GTI, Secciones 9.3.3 y 11.5.1.

^c Las afirmaciones del resumen sobre los efectos del cambio climático durante los años 2025, 2050, y 2100 se deducen a partir de la evaluación realizada por el Grupo de Trabajo II de las investigaciones de los impactos de otros escenarios que no son proyecciones del IEEE, ya que los estudios que utilizan las proyecciones del IEEE no se han publicado todavía. Las estimaciones de los impactos del cambio climático varían según las regiones y son muy sensibles a las estimaciones de las pautas regionales y estacionales de los cambios de temperaturas y precipitaciones, los cambios en las frecuencias o intensidad de fenómenos climáticos extremos, y la velocidad de dichos cambios. Las estimaciones de los impactos son también muy sensibles a las hipótesis adoptadas sobre las características de las sociedades futuras y el alcance y eficacia de las adaptaciones futuras al cambio climático. Por lo tanto, las afirmaciones del resumen sobre los impactos del cambio climático en los años 2025, 2050, y 2100 son necesariamente generales y relativas. Las afirmaciones contenidas en el cuadro se consideran válidas para una amplia gama de escenarios. Conviene observar, sin embargo, que pocos estudios han investigado los impactos de los cambios climáticos que acompañarían a un aumento las temperaturas mundiales próximo al límite superior de la gama mostrada para el año 2100.

^d En los juicios sobre la confianza se utiliza la escala siguiente: *muy alta* (95 por ciento o mayor), *alta* (67-95 por ciento), *media* (33-67 por ciento), *baja* (5-33 por ciento), y *muy baja* (5 por ciento o menos). Véase TIE GTII, Recuadro 1-1.

con el paso del tiempo la acumulación del carbono en la vegetación y en los suelos. El cambio climático podría aumentar o reducir los efectos directos del CO₂ en la productividad, según el tipo de vegetación, la región y el escenario del cambio climático.

- 3.20 **En la actualidad los ecosistemas terrestres actúan como un sumidero de carbono, que puede reducirse a medida que aumenta el calentamiento hacia finales del siglo XXI (véase el Cuadro 3-2) (*confianza media*)**. Los ecosistemas terrestres, en estos momentos, son sumideros de carbono. Esto es, en parte, consecuencia del desfase en el proceso que media entre un mejor crecimiento de las plantas y su muerte y descomposición. El mejor crecimiento de las plantas en la actualidad se debe en parte a los efectos fertilizantes de una cantidad elevada de CO₂ durante la fotosíntesis (ya sea directamente, mediante una mayor asimilación del carbono, o indirectamente, a través de una mayor eficiencia en el uso del agua), la sedimentación del nitrógeno (especialmente en el Hemisferio Norte), el cambio climático, y las prácticas en el uso de las tierras en los últimos decenios. La absorción ha



GTI TIE Sección 3.2.2,
GTII TIE Secciones 5.2,
5.5–6, & IEUTCS Sección
1.4

Cuadro 3-2 Efectos del cambio climático en el ecosistema si no se realizan intervenciones climáticas políticas.*			
	2025	2050	2100
Concentración de CO ₂ ^a	405–460 ppm	445–640 ppm	540–970 ppm
Cambio de la temperatura media mundial desde el año 1990 ^b	0.4–1.1°C	0.8–2.6°C	1.4–5.8°C
Elevación media mundial del nivel del mar desde el año 1990 ^b	3–14 cm	5–32 cm	9–88 cm
Efectos en el ecosistema^c			
Arrecifes de coral [TIE GTII Secciones 6.4.5, 12.4.7, y 17.2.4]	Aumento en la frecuencia de decoloración y muerte de corales (<i>confianza alta^d</i>).	Mayor decoloración y muerte de corales (<i>confianza alta^d</i>).	Mayor decoloración y muerte de corales (<i>confianza alta^d</i>). Reducción de la diversidad biológica de las especies y de la producción pesquera en los arrecifes (<i>confianza media^d</i>).
Humedales costeros y línea de costa [TIE GTII Secciones 6.4.2 y 6.4.4]	Desaparición de algunos humedales costeros debido a la elevación del nivel del mar (<i>confianza media^d</i>). Aumento de la erosión costera (<i>confianza media^d</i>).	Mayor desaparición de humedales costeros (<i>confianza media^d</i>). Mayor erosión costera (<i>confianza media^d</i>).	Mayor desaparición de humedales costeros (<i>confianza media^d</i>). Mayor erosión costera (<i>confianza media^d</i>).
Ecosistemas terrestres [TIE GTII Secciones 5.2.1, 5.4.1, 5.4.3, 5.6.2, 16.1.3, y 19.2]	Prolongación de la época de crecimiento de las plantas en latitudes medias y altas; cambios en el área de distribución de plantas y especies animales (<i>confianza alta^d</i>). ^{e,f} Incremento de la productividad primaria neta en muchos bosques de latitudes medias y altas (<i>confianza media^d</i>). Aumento en la frecuencia de alteraciones en el ecosistema producidas por incendios y plagas de insectos (<i>confianza alta^d</i>).	Extinción de algunas especies en peligro; muchas otras más próximas de la extinción (<i>confianza alta^d</i>). El aumento de la productividad primaria neta puede continuar o no. Aumento en la frecuencia de alteraciones en el ecosistema producidas por incendios y plagas de insectos (<i>confianza alta^d</i>).	Pérdida de hábitat naturales y sus especies endémicas (por ejemplo, la vegetación en la región de El Cabo en Sudáfrica y algunos bosques nublados) (<i>confianza media^d</i>). Aumento en la frecuencia de alteraciones en el ecosistema producidas por incendios y plagas de insectos (<i>confianza alta^d</i>).
Entornos con hielo [TIE GTI Secciones 2.2.5 y 11.5; TIE GTII Secciones 4.3.11, 11.2.1, 16.1.3, 16.2.1, 16.2.4, y 16.2.7]	Retirada de glaciares, disminución de la extensión del hielo marino, fusión parcial del permafrost, prolongación de las estaciones sin hielo en ríos y lagos (<i>confianza alta^d</i>). ^f	Reducción general del hielo marino en el Ártico, lo que beneficia a la navegación pero perjudica a la fauna silvestre (focas, osos polares y morsas) (<i>confianza media^d</i>). Hundimientos del suelo que producen daños en las infraestructuras (<i>confianza alta^d</i>).	Pérdida sustancial del volumen de hielo de glaciares, sobre todo los tropicales (<i>confianza alta^d</i>).

* Véanse las notas de pie de página a-d que acompañan al cuadro 3-1.

^e Los efectos agregados del mercado representan los efectos netos de los beneficios y pérdidas económicos estimados en todos los sectores del mercado, por ejemplo agricultura, silvicultura comercial, energía, agua y construcción. Las estimaciones no incluyen generalmente los efectos de los cambios en la variabilidad y los extremos climáticos, no toman en cuenta los efectos de los diferentes niveles y velocidades de dichos cambios, y sólo toman parcialmente en cuenta los impactos en los bienes y servicios que no se comercializan en el mercado. Estas omisiones han de tener como resultado probable una subestimación de las pérdidas económicas y una sobreestimación de los beneficios económicos. Las estimaciones de los impactos agregados son controvertidas porque consideran que las ganancias para algunos compensan las pérdidas para otros, y porque las ponderaciones que se utilizan para las agregaciones en los individuos son necesariamente subjetivas.

^f Estos efectos ya se han observado, y deberían continuar, según las proyecciones [TIE GTII Secciones 5.2.1, 5.4.3, 16.1.3, y 19.2].

de disminuir a medida que los bosques alcanzan su madurez, se saturan los efectos de la fertilización y la descomposición se coloca a la par del crecimiento, y posiblemente por los cambios en los régimen de desestabilización (por ejemplo, los incendios e invasiones de insectos) provocados por los cambios climáticos. Algunas de las simulaciones mundiales proyectan que la absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres ha de aumentar durante la primera mitad del siglo XXI, pero puede disminuir, e incluso convertirse en una fuente de carbono con un mayor calentamiento hacia finales del siglo XXI.

Agricultura

3.21 Las simulaciones de cultivos de cereales indican que en algunas zonas templadas la producción potencial aumente con pequeños aumentos de temperatura, pero disminuya si los cambios son grandes (*confianza de media a baja*). En la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales, se espera que los rendimientos de las cosechas disminuyan con la mayoría de los incrementos de temperatura proyectados (*confianza media*) (véase el Cuadro 3-3). En latitudes medias, las simulaciones de cosechas indican que con un calentamiento de menos de unos pocos °C y el incremento asociado de concentraciones de CO₂, las respuestas generalmente sean positivas, y que en general sean negativas con un mayor calentamiento. En zonas agrícolas tropicales, unas evaluaciones similares indican que el rendimiento de algunas cosechas podría disminuir con un aumento mínimo de temperatura, porque se encuentran cerca del límite máximo de tolerancia de temperatura. Si además existe una importante disminución de las precipitaciones en sistemas tropicales/subtropicales secos/húmedos, la disminución del rendimiento de las cosechas será aun más manifiesto. Las evaluaciones que incluyen las adaptaciones agronómicas autónomas (como cambios en el periodo de siembra y en las variedades de cultivos) tienden a proyectar un rendimiento que se encuentra menos afectado adversamente por el cambio climático que en los escenarios que no contemplan esa adaptación. Estas estimaciones incluyen los efectos beneficiosos de la fertilización con CO₂, pero no las innovaciones tecnológicas ni los cambios en los efectos



GTII TIE Secciones 5.3.4–6, & 9.9

Cuadro 3-3 Efectos del cambio climático en la agricultura en ausencia de intervenciones de política en el clima.*			
	2025	2050	2100
Concentración de CO ₂ ^a	405–460 ppm	445–640 ppm	540–970 ppm
Cambio de la temperatura media mundial desde el año 1990 ^b	0.4–1.1°C	0.8–2.6°C	1.4–5.8°C
Elevación media mundial del nivel del mar desde el año 1990 ^b	3–14 cm	5–32 cm	9–88 cm
Efectos en la agricultura^c			
Rendimiento medio de las cosechas ^g [TIE GTII Secciones 5.3.6, 10.2.2, 11.2.2, 12.5, 13.2.3, 14.2.2, y 15.2.3]	Aumento del rendimiento de la cosecha de cereales en muchas regiones en latitudes medias y altas (<i>confianza entre baja y media^d</i>). Disminución del rendimiento de la cosecha de cereales en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales (<i>confianza entre baja y media^d</i>).	Efectos mixtos en el rendimiento de la cosecha de cereales en regiones de latitudes medias. Disminución más acentuada del rendimiento de la cosecha de cereales en regiones tropicales y subtropicales (<i>confianza entre baja y media^d</i>).	Reducción generalizada del rendimiento de la cosecha de cereales en la mayoría de las regiones en latitudes medias, tras un calentamiento superior a unos pocos °C (<i>confianza entre baja y media^d</i>).
Temperaturas bajas y altas extremas [TIE GTII Sección 5.3.3]	Reducción de los daños por heladas en algunos cultivos (<i>confianza alta^d</i>). Aumento de los problemas por el calor en algunos cultivos (<i>confianza alta^d</i>). Aumento de los problemas por el calor en el ganado (<i>confianza alta^d</i>).	Aumento de los efectos de los cambios en temperaturas extremas (<i>confianza alta^d</i>).	Aumento de los efectos de los cambios en temperaturas extremas (<i>confianza alta^d</i>).
Ingresos y precios [TIE GTII Secciones 5.3.5–6]		Disminución de los ingresos de los agricultores pobres en países en desarrollo (<i>confianza entre baja y media^d</i>).	Aumento de los precios de los alimentos en comparación con las proyecciones que excluyen el cambio climático (<i>confianza entre baja y media^d</i>).

* Véanse las notas de pie de página a-d que acompañan al cuadro 3-1.

^g Estas estimaciones se basan en la sensibilidad de las prácticas agrícolas actuales al cambio climático, teniendo en cuenta (en la mayoría de los casos) las adaptaciones basadas en el uso fluctuante de tecnologías existentes únicamente.

de las plagas y enfermedades, la degradación de los suelos y los recursos hídricos y los fenómenos climáticos extremos. Se sabe muy poco sobre la capacidad de los ganaderos para adaptar su ganado a los problemas fisiológicos asociados con los cambios climáticos. Se proyecta que el aumento de unos pocos °C incremente los precios de los alimentos en todo el mundo, lo que puede agravar el riesgo de hambre en los sectores vulnerables de la población (*confianza baja*).

Aqua

3.22 El cambio climático proyectado podría agravar en gran medida los problemas de escasez y calidad del agua en muchas zonas del mundo que ya sufren los efectos de la insuficiencia de agua, pero atenuar esos problemas en otras.



GTI TIE Sección 9.3.6 &
GTII TIE Secciones 4.3-
4, 4.5.2, & 4.6

La demanda del agua en general está aumentando, debido al crecimiento demográfico y al desarrollo económico, pero en algunos países está disminuyendo, debido a su utilización más eficiente. Se proyecta que el cambio climático reduzca las corrientes y la recarga del agua superficial en muchas partes del mundo, pero también puede aumentarlas en otras zonas (*confianza media*). La importancia del cambio varía según los diversos escenarios, en parte debido a las diferencias en las pautas de precipitación previstas (y especialmente su intensidad), y en parte debido a las diferencias en la evaporación proyectada. La Figura 3–5 muestra los cambios en flujos previstos en virtud de dos escenarios de cambio climático. Se prevé que entre varios cientos

Cuadro 3-4 Efectos del cambio climático en los recursos hídricos en ausencia de intervenciones de política en el clima.*			
	2025	2050	2100
Concentración de CO ₂ ^a	405–460 ppm	445–640 ppm	540–970 ppm
Cambio de la temperatura media mundial desde el año 1990 ^b	0.4–1.1°C	0.8–2.6°C	1.4–5.8°C
Elevación media mundial del nivel del mar desde el año 1990 ^b	3–14 cm	5–32 cm	9–88 cm
Impactos en los recursos hídricos^c			
Abastecimiento de agua [TIE GTII, Secciones 4.3.6 y 4.5.2]	Desplazamiento del caudal máximo de los ríos, de la primavera al invierno, en las cuencas en que la nieve es una fuente importante de agua (<i>confianza alta</i> ^d).	Disminución del abastecimiento de agua en muchos países con problemas con agua, y aumento en otros países con problemas de agua (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos en el abastecimiento del agua (<i>confianza alta</i> ^d).
Calidad del agua [TIE GTII Sección 4.3.10]	Degrado de la calidad del agua debido a las temperaturas más altas. Modificación de los cambios en la calidad del agua, debido a los cambios en el volumen del flujo. Aumento en la intrusión de agua salada en acuíferos costeros ocasionadas por la elevación del nivel del mar (<i>confianza media</i> ^d).	Degrado de la calidad del agua debido a las temperaturas más altas (<i>confianza alta</i> ^d). Modificación de los cambios en la calidad del agua debido a los cambios en el volumen del flujo (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos en la calidad del agua (<i>confianza alta</i> ^d). 17.2, & 19.3.4
Demandas de agua [TIE GTII Sección 4.4.3]	Efectos de los cambios en el clima en la demanda de agua para riego; las temperaturas más altas han de tender a incrementar la demanda (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos en la demanda de agua (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos en la demanda de agua (<i>confianza alta</i> ^d).
Fenómenos extremos [TIE GTI RRP; TIE GTII RRP]	Aumento de los daños por inundaciones debidas a precipitaciones más intensas (<i>confianza alta</i> ^d). Aumento en la frecuencia de sequías (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los daños por inundaciones (<i>confianza alta</i> ^d). Aumento en la frecuencia de sequías y en sus impactos.	Multiplicación de los daños por inundaciones, en comparación con los “escenarios sin cambio climático.”

* Véanse las notas de pie de página a-d que acompañan al cuadro 3-1.

de millones y unos miles de millones de personas sufrirán una reducción del suministro de agua del 10 por ciento, o incluso más, hacia el año 2050, con proyecciones de un cambio climático que corresponden a un aumento del 1 por ciento anual de las emisiones de CO₂ (véase el Cuadro 3–4). La calidad del agua dulce podría degradarse en general con la subida de la temperatura del agua (confianza alta), aunque en algunas regiones esta degradación podría verse compensada con un aumento del caudal. Los impactos de los cambios climáticos en la escasez y calidad del agua, y la frecuencia e intensidad de sequías e inundaciones han de intensificar los problemas en la gestión del agua y de las inundaciones. Los sistemas hídricos sujetos a una gestión mediocre o nula son los más vulnerables a los impactos adversos del cambio climático.

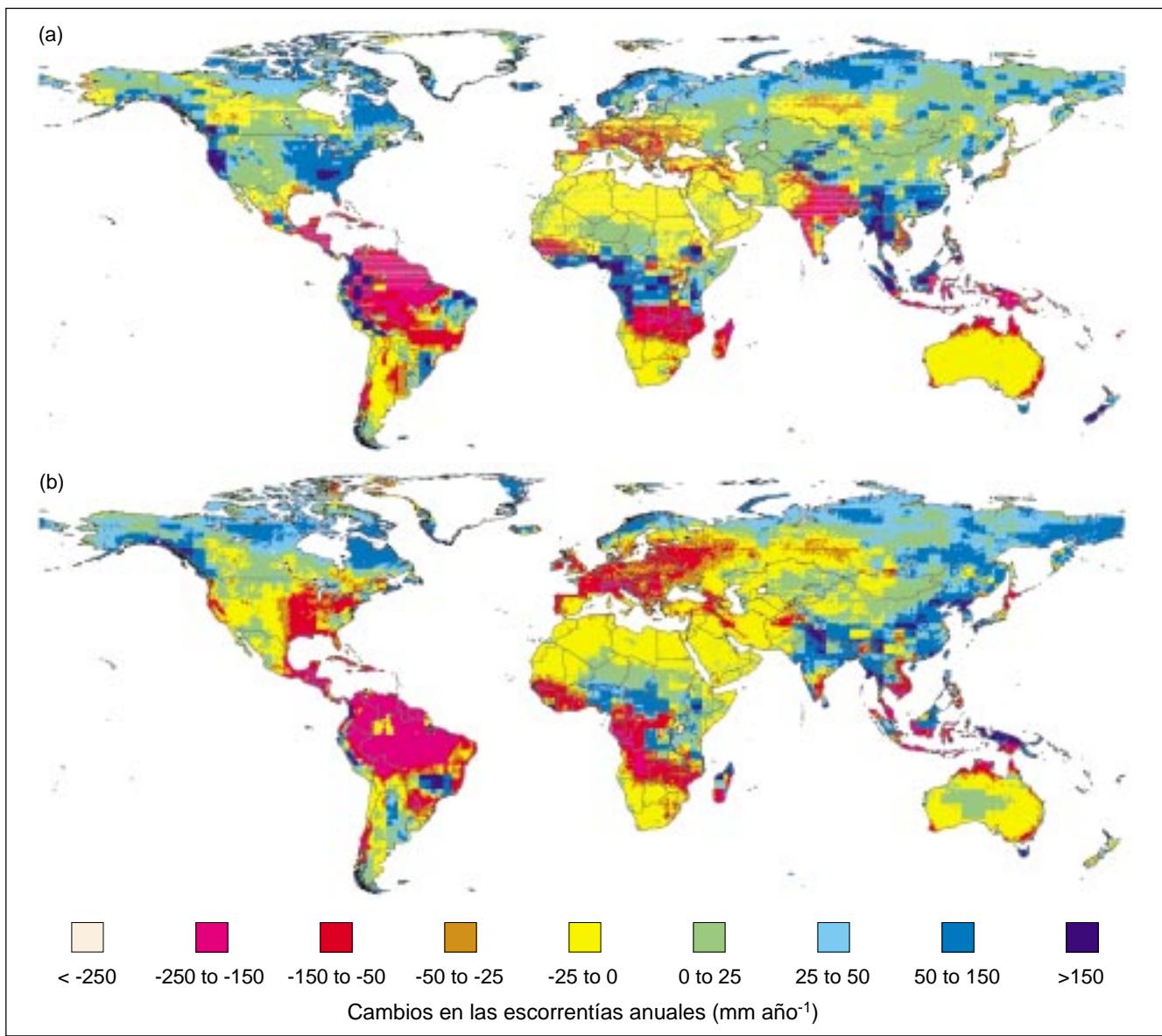


Figura 3–5: Los cambios proyectados en la cantidad media anual de escorrentía para el año 2050, en relación con la cantidad media de escorrentía de los años 1961–1990, en gran medida siguen los cambios proyectados en las precipitaciones.

Los cambios en la cantidad de escorrentía se han calculado a partir de una simulación hidrológica que utiliza como insumos las proyecciones climáticas de dos versiones de la simulación general de circulación atmosférica-oceánica del Centro Hadley (AOGCM) para un escenario de un aumento anual de las concentraciones atmosféricas de CO₂ de un 1 por ciento: a) la media ensamblada HadCM2 y b) HadCM3. Los aumentos proyectados en las escorrentías en latitudes altas y en la zona de Asia sudoriental, y las disminuciones en Asia Central, la zona del Mediterráneo, África meridional y Australia muestran una gran coherencia con todos los experimentos del Centro Hadley, y con las proyecciones de precipitaciones obtenidas de otros experimentos de la AOGCM. Para otras zonas del mundo, los cambios en precipitación y escorrentía dependen de los escenarios y simulaciones empleados.



TIE GTII Sección 4.3.6

Pequeñas islas y zonas costeras bajas

3.23 **La población que vive en pequeñas islas y/o en zonas costeras bajas está muy expuesta a sufrir graves consecuencias sociales y económicas derivadas del ascenso del nivel del mar y las mareas de tempestad repentinas.** Muchos asentamientos humanos se verán afectados por un aumento de la erosión y las inundaciones costeras, y decenas de millones de personas que viven en deltas, zonas costeras bajas o en islas pequeñas podrían tener que desplazarse y perder infraestructuras y/o asumir muchos esfuerzos e importantes costos para proteger sus zonas costeras vulnerables. También estarían expuestos a gran riesgo algunos recursos críticos para la supervivencia en las costas o islas, tales como fuentes de agua dulce, pesquerías, playas, arrecifes y atolones coralinos y hábitat naturales.

3.24 **La elevación proyectada del nivel del mar ha de reflejarse en un aumento del número medio anual de personas damnificadas por las inundaciones causadas por mareas de tempestad costeras repentinas (*confianza alta*).** Las zonas expuestas a mayor riesgo desde el punto de vista del número de personas afectadas son Asia meridional y sudoriental, con aumentos menores pero igualmente importantes en África oriental y occidental y el Mediterráneo, desde Turquía hasta Argelia. Gran parte de un gran número de ciudades costeras muy pobladas también se encuentran expuestas al riesgo de quedarse anegadas de forma permanente y sobre todo a inundaciones costeras más frecuentes debido al ascenso del nivel del mar. Estas estimaciones se basan en la hipótesis de que no haya cambios en la frecuencia o intensidad de las tormentas; si los hay, los riesgos de inundaciones debidas a la elevación del nivel del mar podrían ser mucho mayores en algunas zonas.

→ GTII TIE Secciones 6.5.1, 7.2.2, & 17.2.2

Efectos en el mercado

3.25 **Se estima que en muchos países en desarrollo los efectos agregados en el sector del mercado, medidos por los cambios en el Producto interno bruto (PIB), sean negativos en todos los escenarios basados en cualquier aumento en la temperatura media mundial (*confianza baja*), y que en los países desarrollados esos efectos sean mixtos, en los escenarios basados en un aumento de temperatura de tan sólo unos pocos °C (*confianza baja*), y negativos en los que se basen en un mayor calentamiento (*confianza de media a baja*).** Los efectos del cambio climático van a tener consecuencias en el mercado que se manifestarán en cambios en la cantidad, calidad y precio de los alimentos, fibras, agua y otros bienes y servicios (véase el Cuadro 3–5). El cambio climático puede tener otros efectos en el mercado, a través de una alteración de la demanda de energía, el suministro de energía hidrológica, el transporte, el turismo y la construcción, daños en bienes y las pérdidas en los seguros, debido a fenómenos meteorológicos extremos, la pérdida de tierras costeras ocasionada por la elevación del nivel del mar, la decisión de asentar y reasentar poblaciones e iniciativas de urbanización, y el suministro de recursos y costos para la adaptación al cambio climático. Las estimaciones de los efectos netos en el mercado ofrecidas por los pocos estudios publicados hasta la fecha, combinando los diferentes sectores y sumándolos a escala nacional y regional, indican pérdidas en la mayoría de los países y regiones en desarrollo que se han estudiado. Se estiman que en los países y regiones desarrollados en que haya un aumento de unos pocos grados °C en la temperatura media mundial puede haber ganancias y pérdidas. En cambio, cuando el aumento de la temperatura es aún mayor, se estiman que los países desarrollados sufrirán pérdidas económicas. Cuando se suman dichas estimaciones a escala mundial, el PIB mundial podría aumentar o disminuir en unos cuantos puntos porcentuales en caso de un aumento de unos pocos °C en la temperatura media mundial, pero las pérdidas netas serán más importantes cuanto mayor sea el aumento en la temperatura. Las estimaciones no incluyen generalmente los efectos de los cambios en la variabilidad climática ni fenómenos extremos, ni contemplan los diferentes ritmos del cambio climático, y sólo consideran de manera incompleta los impactos sobre bienes y servicios no comercializados en el mercado, y parte de la base que las ganancias que pueden

→ GTII TIE Secciones 6.5, 7.2–3, 8.3, 18.3.4, 18.4.3, 19.4.1–3, & 19.5

Cuadro 3-5 Efectos del cambio climático en otros sectores del mercado en ausencia de intervenciones de política en el clima.*			
	2025	2050	2100
Concentración de CO ₂ ^a	405–460 ppm	445–640 ppm	540–970 ppm
Cambio de la temperatura media mundial desde el año 1990 ^b	0.4–1.1°C	0.8–2.6°C	1.4–5.8°C
Elevación media mundial del nivel del mar desde el año 1990 ^b	3–14 cm	5–32 cm	9–88 cm
Efectos en otros sectores del mercado^c			
Energía [TIE GTII Sección 7.3]	Disminución de la demanda de energía para calefacción en edificios (<i>confianza alta</i> ^d). Aumentos de demanda de energía para enfriamiento en edificios (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos en la demanda de energía (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos en la demanda de energía (<i>confianza alta</i> ^d).
Sector financiero [TIE GTII Sección 8.3]		Aumento de los precios de seguros y reducción de la disponibilidad de seguros (<i>confianza alta</i> ^d).	Aumento de los efectos en el sector financiero.
Efectos agregados en el mercado ^e [TIE GTII Secciones 19.4–5]	Pérdidas netas en el mercado en muchos países en desarrollo (<i>confianza baja</i> ^d). Mezcla de ganancias y pérdidas mercantiles en países desarrollados (<i>confianza baja</i> ^d).	Aumento de las pérdidas en países en desarrollo (<i>confianza media</i> ^d). Disminución de las ganancias y aumento de las pérdidas en países desarrollados (<i>confianza media</i> ^d).	Aumento de pérdidas en países en desarrollo (<i>confianza media</i> ^d). Pérdidas netas en todos los sectores del mercado en países desarrollados, tras un calentamiento superior a unos pocos °C (<i>confianza media</i> ^d).

* Véanse las notas de pie de página a-d que acompañan al cuadro 3-1 y la nota de pie de página e que acompaña al cuadro 3-2.

experimentar algunos compensan las pérdidas sufridas por otros. Por lo tanto, la confianza en las estimaciones de los efectos en el mercado para países específicos es generalmente baja, y las diversas omisiones probablemente den como resultado una subestimación de las pérdidas económicas y una sobreestimación de las ganancias.

3.26 Las medidas de adaptación podrían reducir los efectos adversos del cambio climático y, a menudo, producir efectos beneficiosos secundarios, aunque no se puedan evitar todos los daños.

3.27 Se han identificado numerosas opciones de adaptación como respuesta a los cambios climáticos que pueden reducir los efectos adversos y mejorar los beneficios del cambio climático, pero que pueden producir costos añadidos. No se ha finalizado la cuantificación de los beneficios y costos y de su variación en las diferentes regiones. La adaptación al cambio climático puede tener muchas formas, entre ellas las medidas que adopten las personas para atenuar los efectos o aprovechar de nuevas oportunidades, y los cambios estructurales y funcionales en los sistemas naturales como respuesta a una modificación de las presiones a que están sujetos. Este informe se ha de centrar en las medidas de adaptación adoptadas por las personas. La gama de opciones incluye la adaptación reactiva (medidas que se adoptan mientras van cambiando las condiciones y sin preparación previa) y la adaptación planificada (medidas que se adoptan mientras van cambiando las condiciones o incluso antes de que cambien, pero con preparación previa). Las medidas de adaptación pueden ser llevadas a cabo por organismos privados (individuos, familias o empresas) o por organismos públicos (organismos locales, regionales o del gobierno nacional). En el Cuadro 3-6 se dan algunos ejemplos de las opciones identificadas. Las ventajas y los costos de las opciones de adaptación, cuya evaluación está por finalizarse, también varía según las regiones y los organismos. A pesar de que nuestros conocimientos sobre la adaptación son incompletos y evolucionan constantemente, se han extraído y resumido algunas conclusiones sólidas.



GTII TIE Secciones 18.2.3 & 18.3.5

Cuadro 3-6 Ejemplos de opciones de adaptación en determinados sectores.	
<i>Sector/Sistema</i>	<i>Opciones de adaptación</i>
Agua [TIE GTII Secciones 4.6 y 7.5.4; GTII SIE Secciones 10.6.4 y 14.4]	<p>Aumentar la eficiencia en el uso del agua con una gestión “desde la perspectiva de la demanda” (por ejemplo, incentivos sobre precios, reglamentaciones y normas de tecnología).</p> <p>Aumentar el suministro de agua, o la fiabilidad en su suministro, con una gestión “desde la perspectiva de la oferta” (por ejemplo, la construcción de nuevas infraestructuras para almacenamiento y distribución).</p> <p>Modificar el marco institucional y jurídico para facilitar la transferencia de agua entre los usuarios (por ejemplo, la creación de mercados de agua).</p> <p>Reducir las cargas de nutrientes en los ríos y proteger/aumentar la vegetación en las orillas para compensar los efectos eutróficos de una mayor temperatura de las aguas.</p> <p>Modificar los planes de gestión de las inundaciones para reducir los máximos alcanzados en inundaciones; reducir las superficies pavimentadas e introducir vegetación para reducir las escorrentías después de las tormentas y aumentar la infiltración del agua.</p> <p>Reevaluar los criterios en el diseño de diques, presas y otras infraestructuras para la protección contra inundaciones.</p>
Alimentos y fibras [TIE GTII Secciones 5.3.4-5; GTII SIE Secciones 2.9, 4.4.4, 13.9, y 15.6; IECMTTT Sección 11.2.1]	<p>Cambiar la época de siembra, cosecha y otras actividades de gestión agrícola.</p> <p>Emplear un mínimo de prácticas de labranza y otras, para mejorar los nutrientes y retención de humedad en suelos y prevenir su erosión.</p> <p>Cambiar la proporción de animales en los pastizales.</p> <p>adoptar cultivos o variedades que precisen menor cantidad de agua y tengan una mayor tolerancia al calor, las sequías y las plagas.</p> <p>Realizar investigaciones para el desarrollo de nuevos cultivos.</p> <p>Promover la agrosilvicultura en zonas áridas, por ejemplo, mediante la creación de zonas boscosas y el empleo de arbustos y árboles para forraje.</p> <p>Replantar una mezcla de especies de árboles para aumentar la diversidad y flexibilidad. Fomentar iniciativas de revegetación y reforestación.</p> <p>Ayudar a la migración natural de especies de árboles mediante la creación de zonas protegidas y transplantes.</p> <p>Mejorar la formación y educación de la mano de obra rural.</p> <p>Establecer o ampliar programas para proporcionar reservas seguras de alimentos, como salvaguarda frente a las perturbaciones en el suministro local.</p> <p>Reformar las políticas que fomentan las prácticas agrícolas y de pastoreo no eficientes, no sostenibles o que tengan un alto grado de riesgo (como las subvenciones para los cultivos, seguros para cultivos, o el agua).</p>
Áreas costeras y pesquerías marinas [TIE GTII Secciones 6.6 y 7.5.4; GTII SIE Sección 16.3; IECMTTT Sección 15.4]	<p>Prevenir o eliminar gradualmente el desarrollo en zonas costeras vulnerables a la erosión, a inundaciones o anegaciones por mareas de tempestad.</p> <p>Emplear estructuras “duras” (diques, presas, malecones) o “blandas” (relleno con arena en las playas, restablecimiento de dunas y humedales, forestación) para la protección de las costas.</p> <p>Aplicar sistemas de alerta en casos de tormentas y planes de evacuación.</p> <p>Proteger y restaurar los humedales, estuarios, cauces de avenidas para conservar el hábitat natural de las pesquerías.</p> <p>Modificar y fortalecer las políticas e instituciones de ordenación de las pesquerías, para fomentar su conservación.</p> <p>Investigar y vigilar para apoyar mejor la gestión integrada de las pesquerías.</p>
Salud humana [TIE GTII Secciones 7.5.4 y 9.11; GTII SIE Sección 12.5; IECMTTT Sección 14.4]	<p>Reconstruir y mejorar la infraestructura de salud pública.</p> <p>Mejorar la preparación frente a epidemias y desarrollar las capacidades para la previsión y alerta temprana de estas enfermedades.</p> <p>Vigilar el estado ambiental, biológico y de la salud.</p> <p>Mejorar las viviendas, el saneamiento y la calidad del agua.</p> <p>Integrar el diseño urbano para reducir el efecto de las islas de calor (por ejemplo, empleando la vegetación y superficies en colores claros).</p> <p>Impartir educación pública para promover comportamientos que reduzcan los riesgos para la salud.</p>
Servicios financieros [TIE GTII Sección 8.3.4]	<p>Repartir los riesgos, a través de seguros y reaseguros públicos y privados.</p> <p>Reducir los riesgos mediante códigos y otras normas sobre edificación establecidos o influenciados por el sector financiero como requisitos para un seguro o crédito.</p>

3.28 Un cambio climático mayor y más rápido puede plantear mayores problemas de adaptación y mayores riesgos que un cambio más lento y menos marcado.

Las características clave del cambio climático que hay que tomar en cuenta incluyen la magnitud y velocidad de los cambios en fenómenos extremos climáticos, la variabilidad y las condiciones media. Los sistemas naturales y humanos han desarrollado la capacidad de tolerar una gama de condiciones climáticas, dentro de cuyos límites el riesgo de daños es relativamente bajo y hay una alta capacidad de recuperación. Sin embargo, los cambios climáticos que dan como resultado una creciente frecuencia de fenómenos que se sitúan fuera de los niveles históricos registrados por dichos sistemas, aumentan el riesgo de



GTII TIE Secciones 18.2.2,
18.3.3, & 18.3.5

daños graves y de una recuperación incompleta o incluso un desmoronamiento del sistema. Los cambios en las condiciones media (por ejemplo, los aumentos en la temperatura media), incluso cuando no producen cambios de variabilidad, pueden llevar a aumentos en la frecuencia de algunos fenómenos (por ejemplo, las olas de calor) que sobrepasan los límites de la tolerancia, y la disminución de la frecuencia de otros (por ejemplo, los períodos fríos) (véase la Pregunta 4 y la Figura 4–1).

- 3.29 **La mejora de la capacidad de adaptación puede ampliar o desplazar la gama de acciones para afrontar la variabilidad y los extremos climáticos y para generar beneficios actuales y futuros.** Muchas de las opciones de adaptación incluidas en la lista del Cuadro 3–6 ya se emplean para hacer frente a la variabilidad y a los extremos climáticos actuales, y su uso extendido podrá mejorar la capacidad presente y futura para abordar estos fenómenos. Pero estas acciones pueden no ser tan eficaces en el futuro, conforme el cambio climático crece en cantidad y velocidad.



GTII TIE Secciones 18.2.2 & 18.3.5

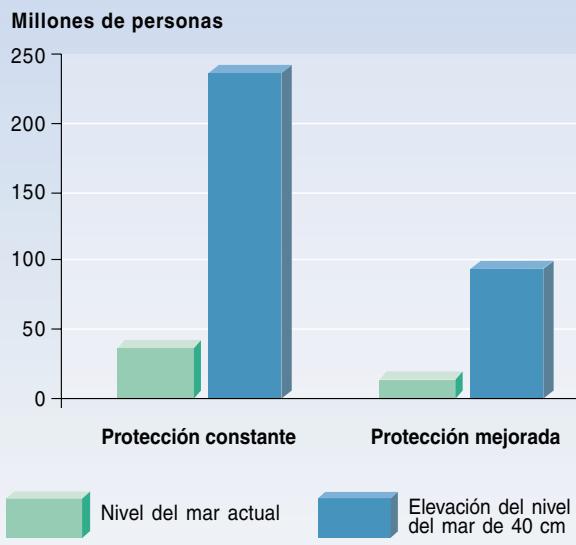
- 3.30 **Los beneficios directos potenciales de la adaptación son importantes y pueden reducir los efectos adversos y mejorar los efectos positivos del cambio climático.**

Los resultados de los estudios sobre los impactos futuros del cambio climático indican posibilidades de adaptación para reducir en gran medida muchos de los efectos adversos y mejorar los beneficiosos. Por ejemplo, de los análisis sobre los riesgos de inundaciones costeras producidas por mareas de tempestad repentinas se desprende que, si la protección costera contra las inundaciones no cambia respecto a la situación actual, la elevación del nivel del mar impulsada por el cambio climático podría multiplicar varias veces el número medio anual de personas afectadas por inundaciones. En cambio, si los niveles actuales de protección costera contra las inundaciones mejoran en proporción al crecimiento futuro del PIB, el aumento proyectado se podría reducir hasta de dos tercios (véase la Figura 3–6). Sin embargo, estimaciones como éstas indican sólo los beneficios posibles, y no los beneficios probables, de la adaptación, ya que los análisis suelen basarse en suposiciones bastante arbitrarias sobre las opciones de adaptación y los obstáculos, a menudo omiten considerar los cambios en valores extremos y variabilidad del clima, y no toman en cuenta las previsiones imperfectas.



GTII TIE Secciones 5.3.4, 6.5.1, & 18.3.2

La adaptación y el número medio de personas afectadas por inundaciones causadas por mareas de tempestad: proyecciones para el decenio del 2080



TIE GTII Sección 6.5.1

Figura 3–6: La adaptación y el número medio de personas afectadas por inundaciones causadas por mareas de tempestad en las costas: proyecciones para el decenio del 2080. Las dos barras de la izquierda muestran el número de personas afectadas por inundaciones debidas a mareas de tempestad costeras en el año 2080 respecto al nivel del mar actual y para una elevación del nivel del mar de ~40 cm, suponiendo que la protección costera no cambie a partir de ahora y que haya un aumento demográfico moderado. Las dos barras a la derecha muestran lo mismo, pero suponiendo que la protección costera se mejora en proporción al crecimiento del PIB.

3.31 **Las estimaciones de los costos de la adaptación son escasas; las que están disponibles indican que éstos dependen en gran medida de los criterios de decisión para la selección y oportunidad de aplicación de las medidas específicas de adaptación.** Los mejores estudiados hasta la fecha son quizá los costos de las medidas de protección de las zonas costeras ante a la elevación del nivel del mar. Las medidas evaluadas incluyen la construcción de ‘estructuras duras’ como diques, atracaderos y malecones, y el empleo de ‘estructuras blandas’ como el llenado de playas con arena y el restablecimiento de las dunas. Las estimaciones de los costos de la protección costera varían según las hipótesis que se escojan en el momento de decidir la extensión costera que hay que proteger, los tipos de estructuras utilizadas, la fecha de la aplicación de las medidas (que depende a su vez de la velocidad de la elevación del nivel del mar), y los tipos de descuento aplicables. Las diferentes hipótesis sobre estos factores permiten estimaciones de los costos de la protección de las costas de los Estados Unidos frente a una elevación del nivel del mar de 0,5 m para el año 2100, que varían entre USD 20 mil millones y USD 150 mil millones en su valor actual.

→ GTII TIE Secciones 6.5.2 & 18.4.3

3.32 **Se espera que el cambio climático tenga un impacto negativo sobre el desarrollo, la sostenibilidad y la equidad.**

3.33 **Los impactos del cambio climático han de afectar de forma desproporcionada a los países en desarrollo y a la población más pobre dentro de todos los países, con el consiguiente aumento de las desigualdades en materia de acceso a la salud y los alimentos, agua limpia y otros recursos.** Como ya se ha comentado, se prevé de forma general que las poblaciones en los países en desarrollo se encuentren expuestas a los riesgos relativamente elevados que plantean los impactos adversos del cambio climático sobre la salud humana, el suministro de agua, la productividad agrícola, los bienes y otros recursos. La pobreza, la ausencia de formación y educación, la falta de infraestructura, la falta de acceso a tecnologías, la falta de diversidad en las fuentes de ingresos, una base degradada de recursos naturales, los incentivos poco racionales, un marco legal inadecuado y unas instituciones públicas y privadas agobiadas con muchos problemas, crean las condiciones propicias para una escasa capacidad de adaptación en la mayoría de los países en desarrollo. La combinación de la exposición a un riesgo alto y una escasa capacidad de adaptación ponen a la población de los países en desarrollo en una posición generalmente más vulnerable a los problemas climáticos que la de los países desarrollados.

→ GTII TIE Secciones 18.5.1–3

3.34 **El empleo de recursos no sostenibles agrava la vulnerabilidad frente al cambio climático.** La transformación de los hábitat naturales para aplicaciones de la actividad humana, los grandes niveles de consumo de recursos provenientes del medio ambiente, las actividades de cultivos y pastoreo que no protegen los terrenos de la degradación, y la contaminación del aire y del agua pueden reducir la solidez de los sistemas para hacer frente a las variaciones o cambios climáticos, además de disminuir la capacidad de estos sistemas para recuperarse de su degradación. Debido a dichas presiones, los sistemas, y las poblaciones que extraen de ellos bienes, servicios y medios de subsistencia, son muy vulnerables al cambio climático. Estas presiones se encuentran presentes tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo, pero éstos últimos se enfrentan al dilema de cómo alcanzar sus objetivos de desarrollo sin ejercer una presión no sostenible sobre los sistemas.

→ GTII TIE Secciones 1.2.2, 4.7, 5.1, 6.3.4, & 6.4.4

3.35 **Los problemas asociados con el cambio climático pueden socavar el avance hacia un desarrollo sostenible.** Las sequías más frecuentes y más intensas pueden aumentar en gran medida la degradación de las tierras. Los aumentos de la intensidad de las precipitaciones pueden incrementar las inundaciones y los deslizamientos de tierras y lodos, y causar una destrucción que, en algunos casos, puede retrasar el desarrollo durante años. Los avances en la salud y la nutrición se pueden retrasar en algunas zonas, debido a los impactos de los cambios climáticos sobre la salud humana y la agricultura. Estos problemas podrían verse agravados por nuevas obras de infraestructura en zonas intrínsecamente dinámicas

→ GTII TIE Sección 18.6.1

e inestables (por ejemplo, cauces de avenidas, playas que actúan como barreras, zonas costeras bajas y laderas escarpadas desforestadas).

- 3.36 **Si no se toma en cuenta, el cambio climático puede afectar la eficacia de los proyectos de desarrollo.** Los proyectos de desarrollo a menudo incluyen inversiones en infraestructuras, instituciones y capital humano para la gestión de recursos sensibles al clima, como el agua, la energía hidráulica, las tierras agrícolas y los bosques. Aunque estos factores no se tienen muy en cuenta en el diseño de los proyectos, el rendimiento de dichos proyectos se puede ver afectado por el cambio climático y el aumento de la variabilidad climática. Los análisis han mostrado que en algunos casos conviene incorporar en semejantes proyectos, con sólo un pequeño costo incremental, cierto grado de flexibilidad que permita obtener un buen rendimiento en una amplia variedad de condiciones climáticas y, debido a los riesgos presentes en la actual variabilidad climática, esa mayor flexibilidad tiene un valor inmediato.



GTII TIE Sección 18.6.1

- 3.37 **Muchos de las condiciones para mejorar la capacidad para la adaptación ante un cambio climático son similares a las que requiere el fomento del desarrollo sostenible.** Entre los ejemplos de requisitos comunes para mejorar la capacidad de adaptación y el desarrollo sostenible figuran un mayor acceso a los recursos y la reducción de desigualdades para acceder a ellos, la mitigación de la pobreza, el mejoramiento de la educación y formación, la inversión en infraestructuras, la participación de las partes interesadas en la gestión de recursos locales, y el aumento de capacidad y eficiencia institucionales. Además, las iniciativas para reducir el ritmo de la conversión del hábitat natural, la gestión de prácticas para mejorar la protección de recursos, la incorporación de prácticas de cultivo y pastoreo que protejan el suelo, y la mejor regulación de contaminantes pueden reducir nuestra vulnerabilidad frente a los cambios climáticos, a la vez que nos orientamos hacia un uso más sostenible de los recursos.



GTII TIE Sección 18.6.1

P4

Pregunta 4

¿Qué se sabe sobre la influencia, en los planos regional y mundial, de la creciente concentración atmosférica de gases de efecto invernadero y aerosoles, y del cambio antropogénico del clima proyectado, en:

- a. La frecuencia y magnitud de las fluctuaciones climáticas, incluida la variabilidad diaria, estacional, interanual y a lo largo de los decenios de fenómenos como los ciclos de El Niño/Oscilación meridional y otros?
- b. La duración, localización, frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, tales como olas de calor, sequías, inundaciones, fuertes precipitaciones, avalanchas, tormentas, tornados y ciclones tropicales?
- c. El riesgo de cambios repentinos/no lineales en, por ejemplo, las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero, la circulación de los océanos y la extensión de las capas de hielo y del permafrost? En caso afirmativo, ¿se puede cuantificar el riesgo?
- d. El riesgo de cambios repentinos/no lineales en los sistemas ecológicos?

4.1 Esta respuesta se centra en los cambios proyectados en la frecuencia y magnitud de las fluctuaciones climáticas como resultado de unas crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero y de aerosoles. Se pone un énfasis particular en los cambios en la frecuencia, magnitud y duración de los fenómenos climáticos extremos, que conllevan riesgos importantes derivados del cambio climático para los sistemas ecológicos y los sectores socioeconómicos. Aquí nos ocupamos de los cambios repentinos u otros cambios no lineales proyectados en el sistema biofísico; los cambios graduales en los sistemas físicos, biológicos y sociales se tratan en la Pregunta 3.

4.2 Las simulaciones proyectan que un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero ha de traer como resultado unas variabilidades diaria, estacional, interanual y a lo largo de los decenios. Se espera que en muchas regiones disminuyan las temperaturas diurnas, y las temperaturas mínimas nocturnas aumenten más que las temperaturas máximas diurnas. De las simulaciones se desprende una reducción de la variabilidad diaria de la temperatura del aire en invierno, y un aumento de dicha variabilidad en verano en las zonas terrestres del Hemisferio Norte. Las proyecciones actuales muestran pocos cambios o un pequeño aumento en la amplitud de los fenómenos asociados con El Niño durante los próximos 100 años. Muchas simulaciones muestran una respuesta media muy parecida a la de El Niño en el Pacífico tropical, y se proyecta que las temperaturas de la superficie del mar en las zonas central y oriental del Pacífico ecuatorial sean más cálidas que las de la zona occidental del Pacífico ecuatorial, lo que se traducirá en un desplazamiento hacia el este de las precipitaciones. Es probable que, incluso con un cambio nulo o muy débil en la fuerza de El Niño, el calentamiento mundial lleve a mayores episodios extremos de sequías y fuertes precipitaciones, y que aumente el riesgo de sequías e inundaciones que acompañan los fenómenos asociados con El Niño en muchas partes del mundo. No se está claramente de acuerdo sobre los cambios en la frecuencia o estructura de pautas oceánicas-atmosféricas que tienen lugar de manera natural, como la Oscilación Atlántica Norte (NAO).



GTI TIE Secciones 9.3–6, & GTII TIE Sección 14.1.3

4.3 Es probable o muy probable que cambie la duración, localización, frecuencia e intensidad de los fenómenos extremos meteorológicos y climáticos, lo que podría traducirse en unos impactos, en su mayoría adversos, en los sistemas biofísicos.

4.4 Las pautas naturales de circulación, como ENOM y NAO, tienen un papel fundamental en el clima mundial y en la variabilidad a corto plazo (diaria, dentro del año y entre los años) y a más largo plazo (de un decenio a varios decenios). El cambio climático puede manifestarse tanto en el desplazamiento de los valores medios como en un cambio en la preferencia de pautas climáticas específicas de circulación que podrían producir unos cambios en la varianza y frecuencia de los extremos de las variables climáticas (véase la Figura 4–1).

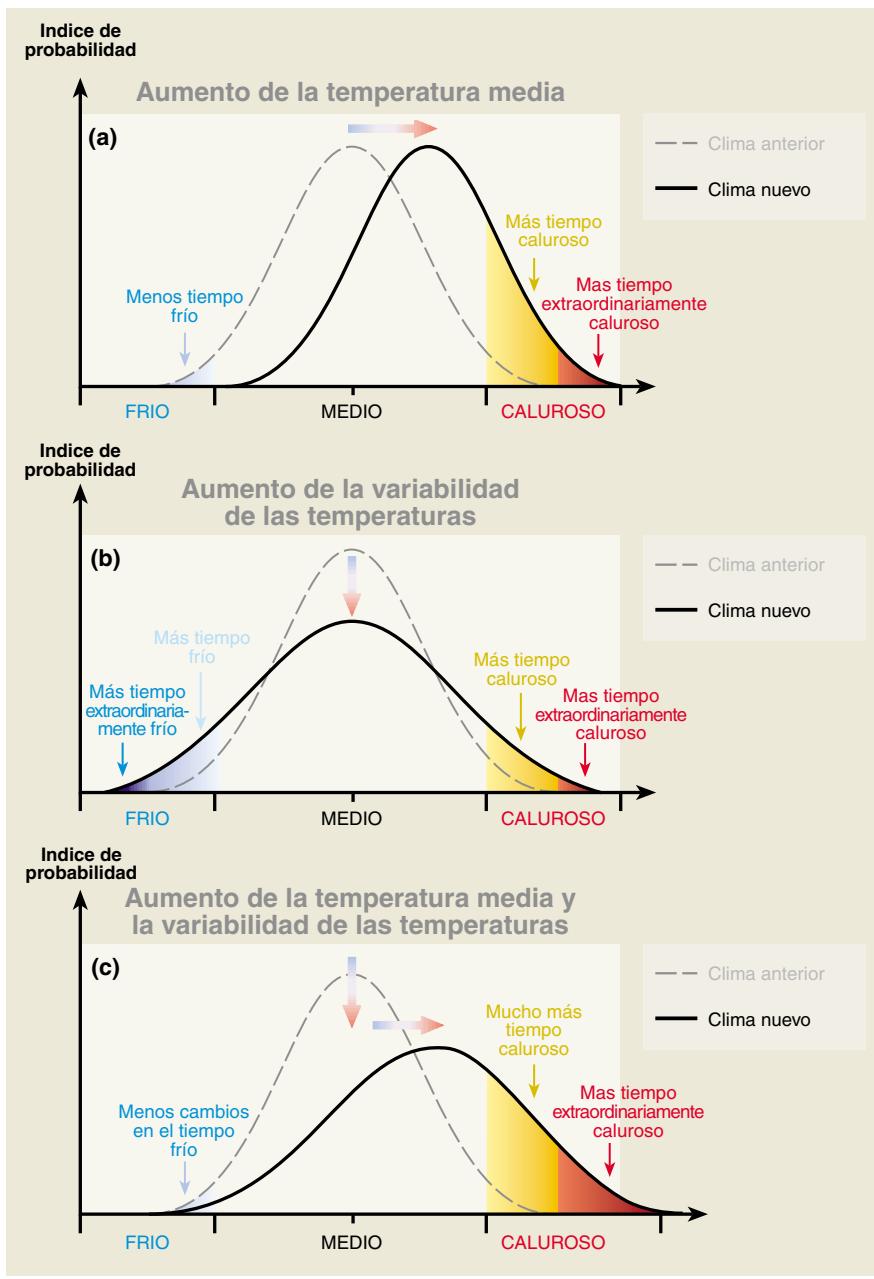


GTI TIE Secciones 1.2 & 2.7

4.5 Es muy probable que tengamos más días calurosos y olas de calor y menos días fríos y días con heladas en casi todas las zonas terrestres. Los aumentos de la temperatura media van a traer un aumento de días cálidos y de temperaturas máximas, con menos heladas y olas de frío (véase la Figura 4–1a,b). Una serie de simulaciones muestran un descenso generalizado en la variabilidad diaria de la temperatura media del aire en la superficie durante el invierno en las zonas terrestres del Hemisferio Norte, y un aumento de esa variabilidad en verano. Es probable que los cambios en las temperaturas extremas tengan como resultado mayores pérdidas en las cosechas y la ganadería, un mayor consumo de energía para refrigeración y un menor consumo para calefacción, y un aumento de la morbilidad y la mortalidad humana debido al estrés asociado con el calor (véase el Cuadro 4–1). El descenso de las heladas producirá una disminución de la morbilidad y mortalidad humanas asociadas con el frío y una disminución del riesgo de daños para algunos cultivos, aunque con un posible aumento del riesgo para otros. Las ventajas de un ligero incremento de las temperaturas para la agricultura podrían reflejarse en un pequeño incremento del PIB en los países situados en zonas templadas.



GTI TIE Secciones 9.3.6 & 10.3.2, & GTII TIE Secciones 5.3, 9.4.2, & 19.5



→ TIE GTI Figura 2-32

Figura 4-1: Diagramas esquemáticos que muestran los efectos sobre temperaturas extremas cuando a) aumenta la media, produciendo un clima extraordinariamente caliente, b) aumenta la varianza, y c) aumentan tanto la media como la varianza, produciendo un aumento mucho más marcado en las temperaturas.

- 4.6 **Es muy probable que la amplitud y la frecuencia de las precipitaciones extremas aumente en muchas regiones** y que disminuyan los intervalos entre los episodios de precipitaciones extremas. Esto podría originar inundaciones y deslizamientos de tierra más frecuentes, con las consiguientes pérdidas de vidas humanas, impactos sobre la salud (por ejemplo, epidemias, enfermedades infecciosas, intoxicaciones por alimentos), daños a los bienes, pérdida de infraestructuras y viviendas, erosión del suelo, mayores cargas de contaminación, y pérdidas en seguros y rendimiento agrícola. Es posible que un clima más seco en verano produzca un aumento de las sequías veraniegas y un incremento del riesgo de incendios en muchas zonas continentales. Esta sequía generalizada se debe a un aumento de las temperaturas y la evaporación potencial, no compensado por un aumento de las precipitaciones. Es probable que en el verano asiático, el calentamiento mundial produzca una mayor variabilidad de las precipitaciones durante la época monzónica.

→ GTI TIE Sección 9.3.6 & GTII TIE Secciones 4.3.8, 9.5.3, 9.7.10, & 9.8

- 4.7 **Algunas simulaciones de alta resolución indican la probabilidad de que en algunas zonas aumente la intensidad máxima del viento de los ciclones tropicales**

→ GTI TIE Recuadro 10.2

Cuadro 4-1	Ejemplos de variabilidad climática y fenómenos climáticos extremos, y ejemplos de sus impactos (TIE GTII, Cuadro RRP-1).
<i>Cambios proyectados durante el siglo XXI en fenómenos climáticos extremos y su probabilidad</i>	<i>Ejemplos representativos de los impactos proyectados^a (todos con confianza alta de producirse en algunas zonas)</i>
Temperaturas máximas más altas, más días calurosos y olas de calor ^b en casi todas las zonas terrestres (<i>muy probable</i>)	Aumento de la incidencia de muertes y enfermedades graves en ancianos y la población urbana pobre. Aumento de problemas producidos por el calor en el ganado y la fauna silvestre. Cambio de destinos turísticos. Aumento de riesgo de daños en varios cultivos. Aumento de la demanda de energía para aparatos de refrigeración y disminución de la fiabilidad del suministro eléctrico.
Temperaturas mínimas más altas (en progresión), menos días fríos o con heladas, y menos olas de frío ^b en casi todas las zonas terrestres (<i>muy probable</i>)	Disminución de la morbilidad y mortalidad producida por problemas relacionados con el frío. Disminución del riesgo de daños en algunos cultivos, y aumento del riesgo en otros. Ampliación del área de distribución y actividad de algunas plagas y enfermedades transmitidas por vectores. Menor demanda de electricidad para calentamiento.
Episodios de precipitaciones más intensas (<i>muy probable</i>) en muchas zonas	Aumento de los daños ocasionados por inundaciones, deslizamiento de tierras, avalanchas y lodo. Aumento de la erosión del suelo. Aumento de las escorrentías tras inundaciones, que podría aumentar la recarga de agua, de algunos acuíferos en cauces de avenidas. Aumento de la presión en los sistemas oficiales y privados de seguros contra inundaciones y socorro en casos de desastre..
Aumento del clima seco estival en la mayor parte del interior continental en latitudes medias, con los consiguientes riesgos de sequías (<i>probable</i>)	Disminución del rendimiento de las cosechas. Aumento de los daños en los cimientos de edificios, debido a la contracción del suelo. Disminución de la calidad y cantidad de los recursos hídricos. Aumento del riesgo de incendios forestales.
Aumento de la intensidad máxima de los vientos en los ciclones tropicales y de la intensidad máxima y media de las precipitaciones (<i>probable</i> , sobre algunas zonas) ^c	Aumento del riesgo a la vida humana, riesgo de epidemias de enfermedades infecciosas y muchos otros tipos de riesgos. Aumento de la erosión costera y daños en edificios e infraestructuras en las costas. Aumento de los daños en ecosistemas costeros, tales como arrecifes de coral y manglares.
Intensificación de sequías e inundaciones asociadas con El Niño en muchas regiones diferentes (<i>probable</i>) (véase también sequías y episodios de precipitaciones intensas)	Disminución de la productividad agrícola y ganadera en regiones propensas a sequías e/o inundaciones. Disminución de potencial de energía hidroeléctrica en zonas propensas a las sequías.
Aumento de la variabilidad de las lluvias monzónicas en el verano en Asia (<i>probable</i>)	Aumento de la magnitud de las inundaciones y sequías en zonas templadas y tropicales de Asia.
Aumento de la intensidad de tormentas en latitudes medias (poca coincidencia entre las simulaciones actuales) ^b	Aumento de los riesgos en la vida y salud humanas. Aumento de las pérdidas de bienes e infraestructuras. Aumento de los daños en ecosistemas costeros.

^a Estos impactos se pueden atenuar con medidas apropiadas de respuesta.
^b Información del Resumen Técnico del TIE GTI (Sección F.5).
^c Es posible que haya cambios en distribución regional de los ciclones tropicales, pero ello aún no se ha confirmado.

entre un 5 y un 10 por ciento y que se incremente la cantidad de precipitación entre un 20 y un 30 por ciento, pero ninguno de los estudios sugiere que cambie la localización de los ciclones tropicales. Existen pocas pruebas coherentes basadas en simulaciones que muestren cambios en la frecuencia de los ciclones tropicales.

- 4.8 **No se dispone de suficiente información sobre los posibles cambios de los fenómenos a muy pequeña escala.** Los fenómenos a muy pequeña escala, como las tormentas, tornados, granizo y granizadas y rayos no son objeto de simulación en los modelos climáticos mundiales.



GTI TIE Sección 9.3.6

- 4.9 **El forzamiento de los gases de efecto invernadero en el siglo XXI podría poner en marcha cambios potencialmente repentinos, a gran escala, no lineales y de graves resultados en sistemas físicos**

y biológicos tanto en los próximos decenios como a lo largo de los milenios, con una amplia gama de probabilidades asociadas.

- 4.10 El sistema climático incluye muchos procesos que interactúan de forma compleja y no lineal, y que pueden originar niveles críticos en el sistema climático (y por consiguiente cambios repentinos). Dichos niveles se podrían exceder si el sistema se viese suficientemente desestabilizado. Estos cambios repentinos y no lineales incluyen unos grandes aumentos de origen climático en los gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres, el colapso de la circulación termohalina (THC; véase la Figura 4–2), y la desintegración de las capas de hielo de Groenlandia y el Ártico. Algunos de estos cambios tienen una escasa probabilidad de ocurrencia durante el siglo XXI; sin embargo, el forzamiento debido a los gases de efecto invernadero durante el siglo XXI podría poner en marcha cambios que produzcan dichas transiciones en siglos siguientes (véase la Pregunta 5). Algunos de estos cambios (como el de la THC) podrían ser irreversibles durante siglos o milenios. Existe una gran incertidumbre sobre los mecanismos implicados y sobre la probabilidad o escalas temporales de estos cambios; sin embargo, existen pruebas extraídas de testigos de hielo en los polos de que los regímenes atmosféricos pueden

GTI TIE Secciones 7.3,
9.3.4, & 11.5.4; GTII TIE
Secciones 5.2 & 5.8; &
IEUTCS Capítulos 3 & 4

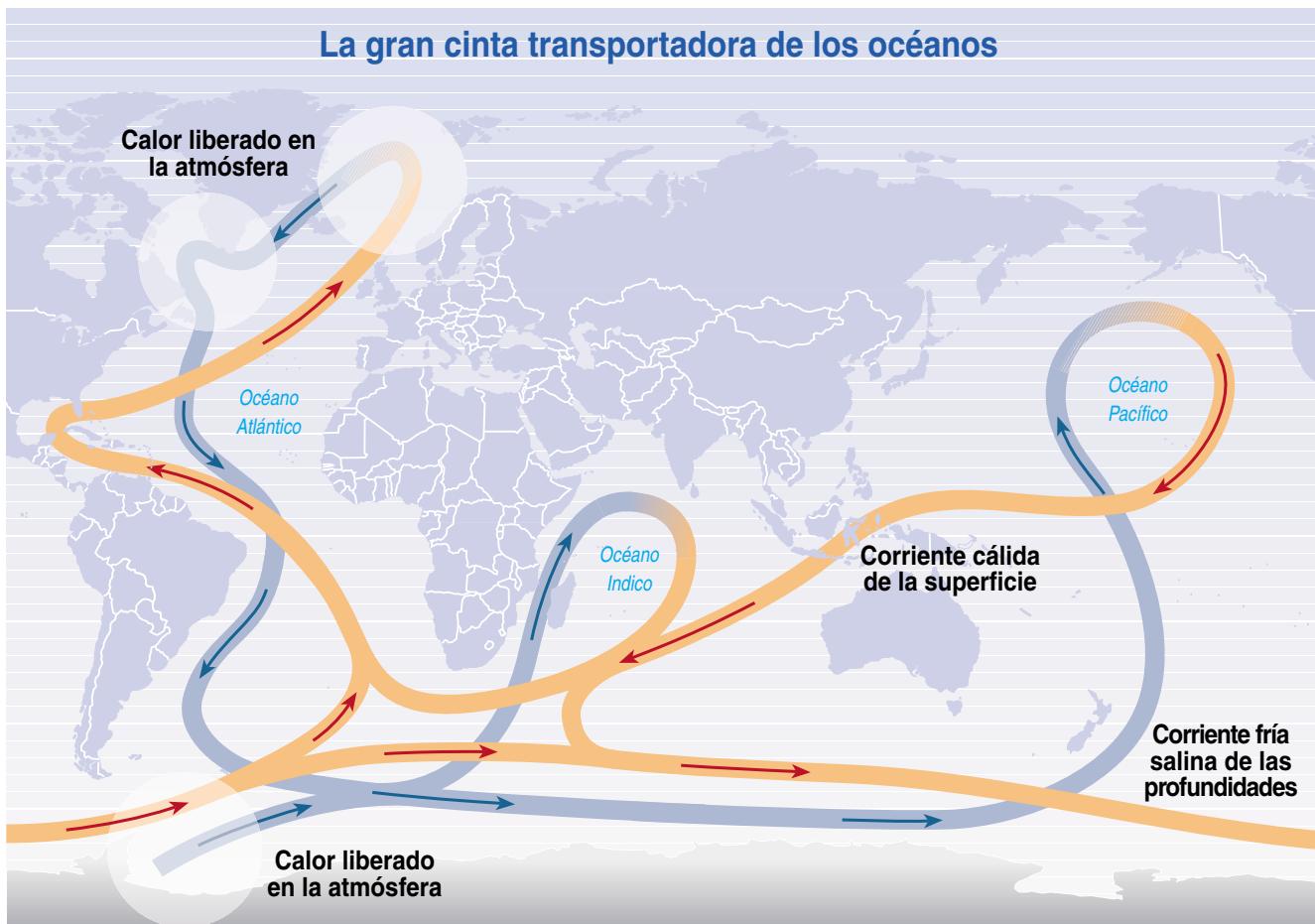


Figura 4–2: Ilustración esquemática del sistema mundial de circulación oceánica, formado por las principales vías de circulación termohalina Norte-Sur en cada cuenca oceánica, que se juntan en la circulación circumpolar antártica. Las corrientes cálidas de la superficie y las frías en la profundidad se conectan en las escasas zonas de formación de aguas profundas en latitudes altas del Atlántico y alrededor del Antártico (azul), en donde tienen lugar las principales transferencias de calor del océano a la atmósfera. Este sistema de corrientes contribuye en gran medida al transporte y redistribución del calor (como las corrientes que fluyen hacia el Polo en el Atlántico Norte, que aumentan la temperatura en el Noroeste de Europa hasta en 10°C). Las simulaciones indican que la rama de este sistema de circulación correspondiente al Atlántico Norte es especialmente vulnerable a cambios en la temperatura atmosférica y en el ciclo hidrológico. Dichas perturbaciones causadas por el calentamiento mundial podrían desestabilizar el sistema actual, lo que tendría graves impactos en el clima regional o incluso hemisférico. Conviene observar que se trata de un diagrama esquemático y no proporciona los emplazamientos exactos de las corrientes de agua que forman parte de la THC.

alterarse dentro de unos pocos años y de que cambios hemisféricos a gran escala han ocurrido dentro de sólo unos decenios ocasionando graves daños al sistema biofísico.

- 4.11 **Es posible que en el siglo XXI haya un gran aumento en las tasas de emisión de gases de efecto invernadero como resultado de factores climáticos producidos por cambios a gran escala en los suelos y la vegetación.** La interacción del calentamiento mundial con otros problemas ambientales y con la actividad humana podría producir un colapso rápido de los ecosistemas existentes. Entre los factores que pudieran ocasionar semejante colapso se incluyen el secamiento de la tundra y los bosques boreales y tropicales, y de las turberas asociadas con dichas zonas; un secamiento de este tipo haría que estas zonas estuviesen propensas a incendios. Estos colapsos podrían provocar unos mayores cambios climáticos con el incremento de las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero de plantas y suelos, y con los cambios en las propiedades de la superficie y el albedo.



- 4.12 **Parece muy improbable la aparición de grandes y rápidos cambios en el CH₄ atmosférico proveniente de las reducciones en el sumidero químico atmosférico o de la liberación de fuentes sepultadas de CH₄.** El rápido aumento del tiempo de vida del CH₄ debido a grandes emisiones de contaminantes troposféricos no se prevé dentro de la gama de los escenarios del IEE. Las fuentes de CH₄ sepultadas en los depósitos de hidratos sólidos debajo del permafrost y de los sedimentos oceánicos son enormes, mil veces más grandes que la cantidad actual en la atmósfera. Si dichos hidratos se descompusieran debido al calentamiento, se pudiera producir una respuesta climática en la que se emitiera grandes cantidades de CH₄; sin embargo, la mayor parte del CH₄ gaseoso liberado desde la forma sólida la descomponen las bacterias en los sedimentos y en la columna de agua, limitando de esta manera la cantidad emitida a la atmósfera, a menos que se trate de unas emisiones explosivas y efervescentes. Esta respuesta no se ha cuantificado, pero el registro del CH₄ atmosférico durante los pasados 50.000 años no revela ninguna emisión rápida y enorme de CH₄.



- 4.13 **La mayoría de las simulaciones muestran una reducción en la fuerza de la circulación termohalina oceánica, lo que produce una reducción del calor transportado a latitudes altas de Europa (véase la Figura 4-2).** Sin embargo, incluso en simulaciones en las que la THC se debilita, se produce el calentamiento sobre Europa debido al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Las actuales proyecciones no sugieren una paralización definitiva de la THC para finales del año 2100. Más allá de esta fecha, algunas simulaciones sugieren que la THC pueda paralizarse completamente y quizás irreversiblemente en ambos hemisferios si el cambio en el forzamiento radiativo es lo suficientemente grande y está en vigor durante el tiempo necesario. Las simulaciones indican que una disminución de la THC reduce su capacidad de recuperación ante las perturbaciones (es decir, una THC reducida parece ser menos estable y por lo tanto es más probable que se produzca un colapso total).



- 4.14 **Es probable que la placa de hielo del Antártico aumente en general su masa durante el siglo XXI. Sin embargo, la placa de hielo del Oeste del Antártico podría agotarse durante los próximos mil años, produciendo una elevación del nivel del mar de varios metros, aunque nuestros conocimientos sobre algunos de los procesos subyacentes son insuficientes.** Se han expresado preocupaciones sobre la estabilidad de la placa de hielo del Antártico Oeste, ya que sus capas inferiores están por debajo del nivel del mar. Sin embargo, existe una coincidencia sobre la improbabilidad de pérdidas de hielo que produzcan una gran elevación del nivel del mar debida a esta fuente durante el siglo XXI. Las simulaciones dinámicas actuales del clima y del comportamiento de las capas de hielo proyectan que durante los próximos 100 años, la placa de hielo del Antártico puede que aumente en general su masa debido al incremento previsto de las precipitaciones, lo que contribuiría a una disminución relativa de varios centímetros en el nivel del mar.



Durante los próximos 1.000 años, dichas simulaciones proyectan que la *placa de hielo* del Antártico Oeste podría contribuir a una elevación del nivel de mar de hasta 3 metros.

- 4.15 **Es probable que la placa de hielo de Groenlandia pierda masa durante el siglo XXI y contribuya con unos centímetros a la elevación del nivel del mar.** Durante el siglo XXI, es probable que la placa de hielo de Groenlandia pierda masa debido a que el aumento previsto de escorrentía ha de superar el aumento de las precipitaciones, con un incremento máximo de 10 cm en la elevación mundial del nivel del mar. Las capas de hielo van a continuar reaccionando al calentamiento climático, contribuyendo a la elevación del nivel del mar durante miles de años después de estabilizarse del clima. Las simulaciones climáticas indican que es probable que el calentamiento local sobre Groenlandia sea de entre una y tres veces el de la media mundial. Las simulaciones de las capas de hielo proyectan que si un calentamiento local de más de 3°C se mantiene durante miles de años, podría llevar a la fusión completa de la placa de hielo de Groenlandia, con una consiguiente elevación del nivel del mar de 7 m. Si un calentamiento local de 5,5°C se mantuviera durante 1.000 años, podría tener como consecuencia probable una contribución de unos 3 m a la elevación del nivel del mar por parte de la placa de hielo de Groenlandia (véase la Pregunta 3).



GTI TIE Sección 11.5.4

- 4.16 **Durante el siglo XXI se esperan unos acusados cambios en la temperatura, en la morfología superficial y en la distribución del permafrost.** El permafrost ocupa en estos momentos un 24,5 por ciento del área terrestre al descubierto en el Hemisferio Norte. En virtud del calentamiento climático, la mayor parte de estas tierras podrían ser vulnerables al hundimiento, sobre todo en zonas relativamente cálidas de permafrost discontinuo. Las zonas del Hemisferio Norte cubiertas de permafrost se podrían ver reducidas entre un 12 y un 22 por ciento respecto a su extensión actual, y podrían incluso desaparecer en la mitad de la región canadiense actual de permafrost. Los cambios que ocurrán en el límite sur puede que se hayan manifestado para finales del siglo XXI, pero algunas zonas en las que el permafrost es muy espeso y rico en hielo podrían permanecer durante siglos o milenarios. La fusión del permafrost espeso y rico en hielo podría verse acompañada por movimientos y hundimientos masivos de la superficie, aumentando las cargas de sedimentos en cursos de agua y causando daños a las infraestructuras en las regiones desarrolladas. Dependiendo de las precipitaciones y de las condiciones de desagüe, la degradación del permafrost podría liberar unos gases de efecto invernadero, transformar los bosques en ciénagas, praderas o humedales, y causar unos grandes problemas de erosión y deslizamientos de tierras.



GTII TIE Secciones 16.1–2

- 4.17 **Muchos ecosistemas naturales y gestionados pueden cambiar repentinamente o de forma no lineal durante el siglo XXI. Cuanto mayor sea la magnitud y la velocidad del cambio, mayor será el riesgo de impactos adversos.**

- 4.18 **Los cambios en el clima podrían aumentar el riesgo de cambios repentinos y no lineales en muchos ecosistemas, lo que podría afectar su diversidad biológica, productividad y funcionamiento.** Por ejemplo, un incremento sostenido de la temperatura del agua de apenas 1°C, ya solo o en combinación con otros problemas (como la contaminación o el encenagamiento excesivos), podría hacer que los corales expulsen sus algas (decoloración de los corales; véase la Figura 4–3 y la Pregunta 2), ocasionar la muerte de los corales, y causar una posible pérdida de la diversidad biológica. El cambio climático también podría provocar el desplazamiento de los hábitat idóneos para muchos organismos terrestres y marinos hacia los polos, o de los hábitat en zonas montañosas hacia mayores altitudes. La mayor perturbación, junto con el desplazamiento de los hábitat y las condiciones más restrictivas necesarias para el establecimiento de las especies, podrían ocasionar un desequilibrio rápido y repentino en los ecosistemas terrestres y marinos y la aparición de nuevas agrupaciones de plantas y animales menos diversas y más débiles, y por lo tanto, más propensas a la extinción (véase la Pregunta 3).



GTII TIE Secciones 5.2, 6.4.5, & 17.2.4

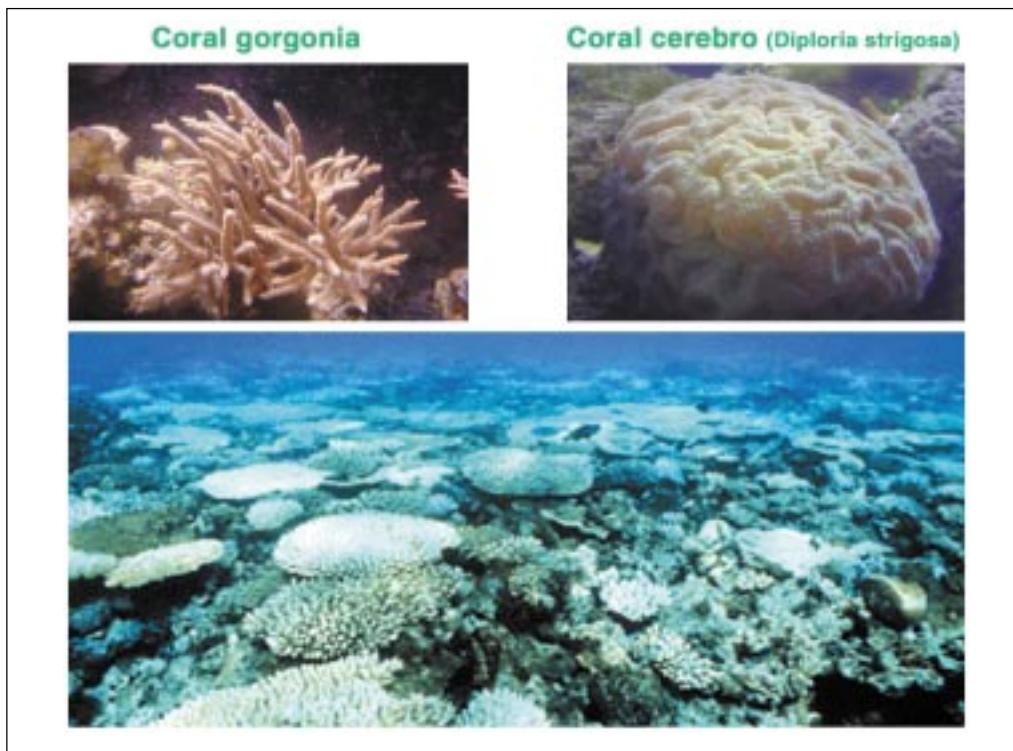


Figura 4-3: La diversidad de los corales se podría ver afectada, con una disminución de los tipos de corales de tipo gorgonia (como los corales de cuerno de asta) o incluso la desaparición total, a medida que se vean más gravemente afectados por la temperatura de la superficie del mar, mientras aumenten los tipos de grandes corales (como los corales cerebro).



TIE GTII Sección 17.2.4

4.19 Los sistemas ecológicos tienen muchos procesos no lineales que interactúan y les hacen vulnerables a cambios repentinos o los efectos de umbral derivados de cambios relativamente pequeños en las variables generadoras, entre las que figura el clima. Por ejemplo:

- El aumento de las temperaturas por encima de un valor de umbral crítico, que varía en cada cultivo y en cada variedad, puede afectar etapas fundamentales del desarrollo de algunos cultivos, y producir graves pérdidas en su rendimiento. Como ejemplos de esas etapas fundamentales en el desarrollo y sus valores de umbral críticos pueden mencionarse los casos de la esterilidad de la espiguilla, en el arroz (una temperatura por encima de los 35°C durante más de una hora durante el proceso de floración y polinización reduce considerablemente la formación de la flor y, por lo tanto, la producción de grano), la pérdida de viabilidad del polen, en el maíz ($>35^{\circ}\text{C}$), la inversión de la aclimatación al frío, en el trigo ($>30^{\circ}\text{C}$ durante más de 8 horas), y la reducción en la formación y tamaño de los tubérculos, en la patata ($>20^{\circ}\text{C}$). Las pérdidas de rendimiento de estos cultivos pueden ser grandes si las temperaturas sobrepasan estos valores críticos, incluso durante cortos períodos.
- Los manglares ocupan una zona de transición entre el mar y la tierra firme, que se establece debido al equilibrio entre los procesos de erosión causada por los mares y los procesos de encenagamiento que ocurren en la tierra. Se puede esperar que los procesos de erosión aumenten con la elevación del nivel del mar debida al cambio climático y a otras actividades humanas (por ejemplo el desarrollo de las zonas costeras). Por esto, el impacto sobre los bosques de manglares dependerá del equilibrio entre estos dos procesos, que determinará si los sistemas de manglares migran hacia tierra firme o hacia el mar.



GTII TIE Secciones 13.2.2 & 13.6.2

4.20 Los cambios a gran escala en la cubierta de vegetación podrían afectar al cambio climático regional. Los cambios en las características de la superficie terrestre, como las creadas por la cubierta terrestre, pueden modificar los flujos de energía, agua y gases, y afectar la composición atmosférica, generando alteraciones en el clima local/regional y,



GTII TIE Secciones 5.3, 10.2.2, 15.2, & 17.2



GTII TIE Secciones 1.3.1, 5.2, 5.9, 10.2.6.3, 13.2.2, 13.6.2, & 14.2.1

por lo tanto, afectando al régimen de perturbaciones (como sucede en el Ártico). En zonas sin agua superficial (normalmente zonas áridas o semiáridas) la evapotranspiración y el albedo afectan al ciclo hidrológico local, por lo que una reducción de la cubierta vegetal podría producir una disminución de las precipitaciones a escala local/regional, y cambiar la frecuencia y persistencia de las sequías.

P5

Pregunta 5

¿Qué se sabe sobre la inercia y las escalas temporales asociadas con los cambios en los sistemas climáticos y ecológicos y los sectores socioeconómicos, así como sus interacciones?

Recuadro 5-1	Escala temporal e inercia.
Los términos “escala temporal” e “inercia” no tienen un significado con una aceptación generalizada en las distintas disciplinas que abarca el TIE. En esta respuesta se utilizan las siguientes definiciones:	
<ul style="list-style-type: none"> “Escala temporal” es el tiempo necesario para que una perturbación en un proceso muestre al menos la mitad de sus efectos finales. En la Figura 5-1 se muestran las escalas temporales de algunos procesos del sistema de la Tierra. “Inercia” es el retraso, lentitud o resistencia en la respuesta de sistemas climáticos, biológicos o humanos ante factores que alteran su ritmo de cambio, incluida la continuación del cambio en el sistema una vez que se haya retirado la causa de este cambio. 	
Estos son sólo dos de los varios conceptos utilizados en los documentos para describir las respuestas de los sistemas complejos y no lineales de adaptación al forzamiento externo.	

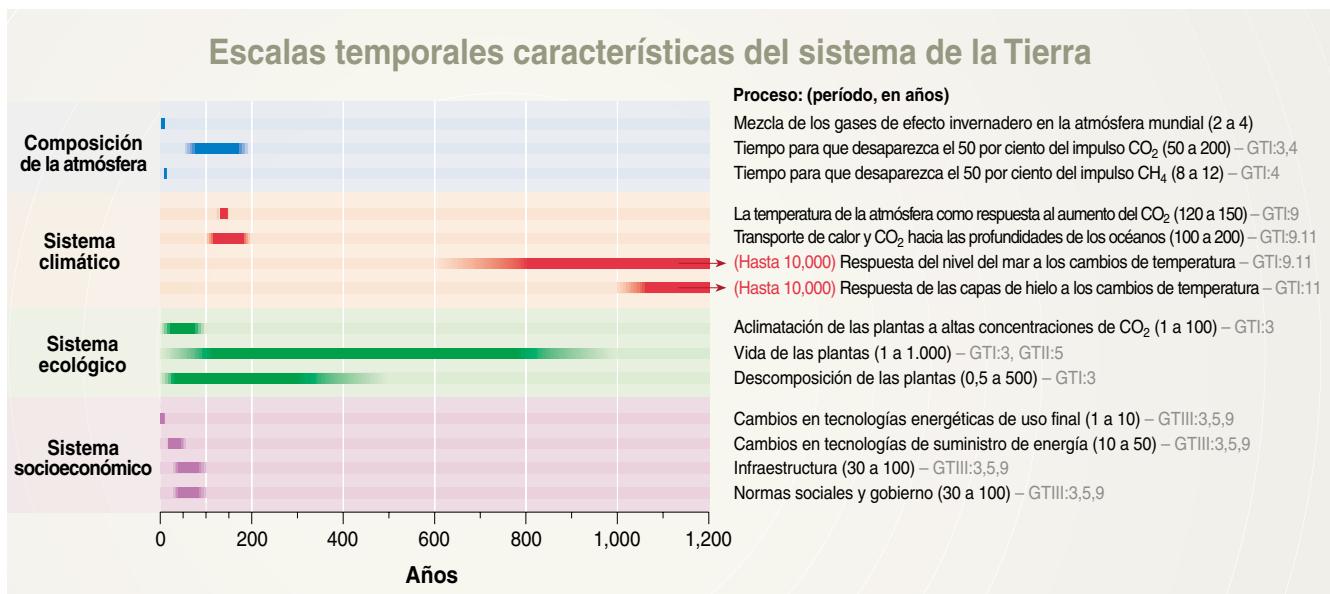


Figura 5-1: Las escalas temporales características de algunos procesos clave en el sistema de la Tierra: composición atmosférica (azul), sistema climático (rojo), sistema ecológico (verde), y sistema socioeconómico (violeta). Por ‘escala temporal’ se entiende el tiempo necesario para que se muestren al menos la mitad de las consecuencias de un cambio en un elemento que impulsa el proceso. Los problemas de la adaptación surgen cuando los procesos de respuesta (como la longevidad de algunas plantas) son mucho más lentos que los procesos impulsores (el cambio de temperatura). Surgen problemas de equidad intergeneracional en todos los procesos con escalas temporales que duran más de una generación humana, ya que una gran parte de las consecuencias de las actividades de una generación determinada han de pasar a generaciones futuras.



TIE GTI Capítulos 3, 4, 7, y 11, TIE GTII Capítulo 6, y TIE GTIII Capítulos 5, 6, y 10

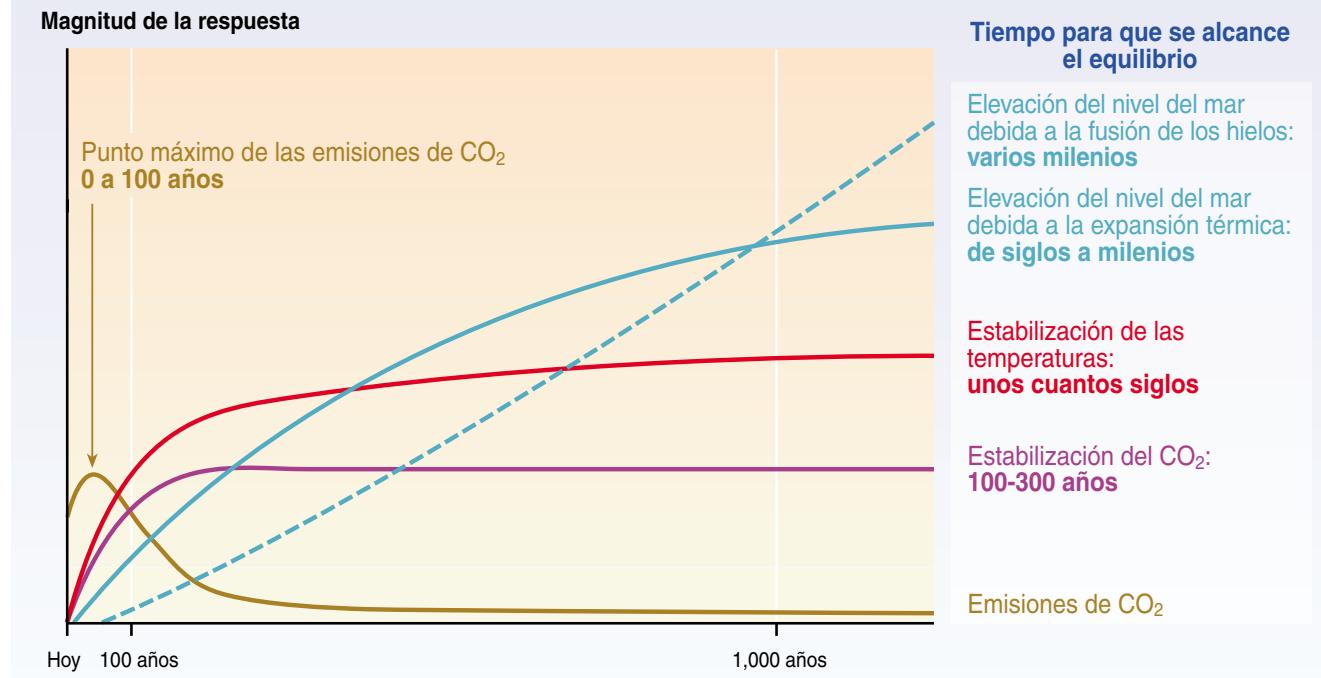
- 5.1 Esta respuesta aborda e ilustra la inercia y las diferentes escalas temporales asociadas con importantes procesos en los sistemas climático, ecológico y socioeconómico y sus interacciones. También trata de los cambios potencialmente irreversibles—es decir, las situaciones en que una parte de los sistemas climático, ecológico o socioeconómico puede no volver a su estado anterior dentro de una escala temporal equivalente a varias generaciones humanas, después que se hayan reducido o retirado las fuerzas impulsoras de dichos cambios. Por último, investiga la influencia de los efectos de la inercia en las decisiones sobre mitigación o adaptación al cambio climático.
- 5.2 **La inercia es una característica inherente y extendida de los sistemas climáticos, ecológicos y socioeconómicos que interactúan entre sí. Por lo tanto, puede pasar mucho tiempo antes de que algunos impactos del cambio climático antropogénico se pongan de manifiesto, y algunos de estos impactos pueden ser irreversibles si no se limita el ritmo y la magnitud del cambio climático antes de que se sobrepasen ciertos límites de umbral asociados, de los que se conoce muy poco.**

- 5.3 **El efecto combinado de la interacción de las inercias de los diferentes procesos componentes es tal que la estabilización del clima y de los sistemas climáticos que reciben los impactos climáticos sólo se logrará mucho después de que se hayan reducido las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero.** La perturbación de la atmósfera y de los océanos producida por el CO₂ emitido debido a actividades humanas desde el año 1750 ha de persistir durante siglos debido a la lenta redistribución del carbono entre los grandes depósitos oceánicos y terrestres en que la renovación es lenta (véanse las Figuras 5–2 y 5–4). Se proyecta que la concentración atmosférica futura de CO₂ continúe cerca de los niveles máximos alcanzados, ya que los procesos naturales sólo pueden volver la concentración a niveles preindustriales dentro de escalas temporales geológicas. En cambio, la estabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero de corta vida, como el CH₄, permite una estabilización de las concentraciones atmosféricas dentro de unos decenios. También debido a la inercia, la falta de emisiones de gases de efecto invernadero de larga vida tendrá beneficios duraderos.

5.4 **Los océanos y la criósfera (capas y placas de hielo, glaciares, y permafrost) son las principales fuentes de inercia física en el sistema climático para escalas temporales de hasta 1.000 años.** Debido a la gran masa, espesor y capacidad térmica de los océanos y la criósfera, y la lentitud del proceso de transporte térmico, las simulaciones oceánicas-climáticas predicen que la temperatura media de la atmósfera cerca de la superficie del planeta ha de tardar siglos en acercarse finalmente al nuevo ‘equilibrio’ de temperatura tras un cambio del forzamiento radiativo. La penetración de calor desde la

GTI TIE Secciones 3.2, 3.7, & 4.2, & GTI TIE Figura 9.16

Las concentraciones de CO₂, la temperatura y el nivel del mar seguirán subiendo mucho después de reducirse las emisiones



GTI TIE Secciones 7.3,
7.5, & 11.5.4, & GTI TIE
Figuras 9.1, 9.24, & 11.16

Figura 5–2: Después que se reduzcan las emisiones de CO₂ y que se estabilicen las concentraciones atmosféricas, la temperatura de la atmósfera en la superficie del planeta ha de continuar incrementándose en unas cuantas décimas partes de un grado C por siglo durante un siglo o más. La expansión térmica de los océanos ha de continuar incluso mucho después de haberse reducido las emisiones de CO₂, y la fusión de las capas de hielo continu r  contribuyendo durante muchos siglos a la elevación del nivel del mar. Esta figura es una ilustración genérica de la estabilización a cualquier nivel entre 450 y 1.000 ppm y, por lo tanto, no incluye unidades en el eje de respuestas. Las respuestas a las trayectorias de estabilización en esta serie muestran unos períodos similares, pero los impactos son progresivamente más acuciantes cuando existen mayores concentraciones de CO₂.

TIE GTI Secciones 2.7,
9.3, y 11.5, y TIE GTI
Figuras 3.13., 9.16, 9.19,
11.15, y 11.16

atmósfera en la ‘capa mezclada’ superior del océano se produce en decenios, pero el transporte de calor en las profundidades del océano tarda siglos en producirse. Una consecuencia asociada es que la elevación del nivel del mar por actividades antropogénicas continúe inexorablemente durante muchos siglos después de que la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero se haya estabilizado.

5.5 Cuanto menor sea el objetivo de estabilización para el CO₂ atmosférico, más pronto se deberán disminuir las emisiones de CO₂, para cumplir dicho objetivo.

Si las emisiones se mantuvieran a los niveles actuales, las simulaciones del ciclo de carbono indican que la concentración atmosférica de CO₂ continuaría en ascenso (véase la Figura 5–3).

- La estabilización de las concentraciones de CO₂ en un nivel determinado requiere una reducción definitiva de las emisiones netas mundiales a una pequeña fracción de las emisiones actuales.
- La estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂ a 450, 650, o 1.000 ppm requiere que las emisiones antropogénicas mundiales de CO₂ se reduzcan por debajo de los niveles de 1990, en unos decenios, en un siglo, o en dos siglos, respectivamente, y continúen disminuyendo constantemente desde entonces (véase la Figura 6–1).

Estas limitaciones temporales son en parte debidas a la velocidad de la absorción del CO₂ por los océanos, la que se ve limitada por la lentitud del transporte de carbono entre la superficie y las aguas profundas. Existe en los océanos una capacidad suficiente de absorción como para incorporar entre un 70 y un 80 por ciento de las emisiones antropogénicas proyectadas de CO₂ en la atmósfera, pero se precisarán varios siglos para que dicha absorción se produzca. Las reacciones químicas con los sedimentos oceánicos tiene un potencial de secuestro de un 15 por ciento más en un período de 5.000 años.

5.6 El intervalo que se produce entre la absorción biosférica del carbono y su emisión se manifiesta como una absorción neta temporal de carbono. Los principales flujos en el ciclo mundial de carbono tienen muy diferentes escalas temporales

GTI TIE Secciones 3.2.3.2, 3.7.3, & 9.3.3.1

GTI TIE Secciones 3.2.2–3 & 3.7.1–2, & GTI TIE Figura 3.10

Impacto de la estabilización de emisiones en relación con la estabilización de las concentraciones de CO₂

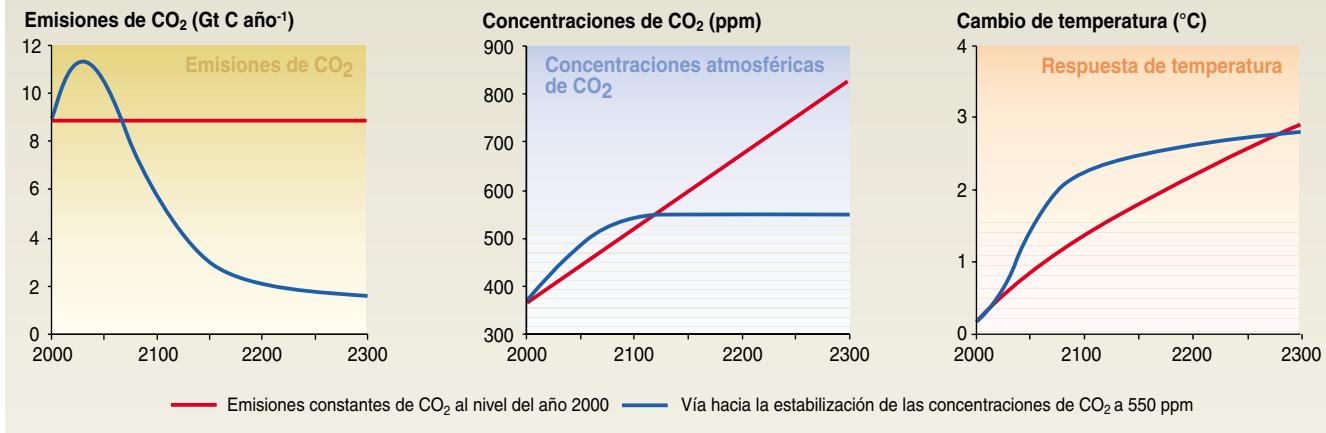


Figura 5–3: La estabilización de las emisiones de CO₂ a los niveles actuales ha de tener como resultado un aumento continuo de las concentraciones atmosféricas de CO₂ y de las temperaturas. Para la estabilización del CO₂ atmosférico y del cambio de temperaturas sería necesario que las emisiones desciendan muy por debajo de los niveles actuales. En los tres paneles, las curvas rojas muestran el resultado de las emisiones cuando se mantienen constantes al nivel recomendado por el perfil WRE 550 para el año 2000 (que es ligeramente mayor que las emisiones actuales para el año 2000), mientras que las curvas azules son el resultado de las emisiones sugeridas en el perfil de estabilización WRE 550. Ambos casos son únicamente ilustrativos: unas emisiones mundiales constantes no son realistas a corto plazo, y no se expresa ninguna preferencia por el perfil WRE 550 en relación con los otros. En la Figura 6–1 se muestran otros perfiles de estabilización. La Figura 5–3 se desarrolló utilizando las simulaciones descritas en los Capítulos 3 y 9 del TIE del GTI.

TIE GTI Secciones 3.7 y 9.3

características (véanse las Figuras 5–1 y 5–4). La absorción neta de carbono terrestre desarrollada durante los últimos decenios ha sido en parte el resultado del intervalo entre la absorción fotosintética de carbono y la emisión de carbono cuando la planta muere y se descompone. Por ejemplo, la absorción que resulta de la regeneración de los bosques sobre tierras agrícolas abandonadas durante el último siglo en el Hemisferio Norte, ha de disminuir a medida que los bosques alcancen la madurez en su biomasa, disminuya su ritmo de crecimiento y haya más muertes de especímenes. El mejoramiento de la absorción de carbono por las plantas, debido a una sedimentación elevada de CO₂ o nitrógeno, llegará a un punto de saturación, para luego acompañarse con la mayor descomposición de biomasa. Es probable que el cambio climático aumente los niveles de alteración y descomposición en el futuro. Algunas simulaciones proyectan que la creciente absorción neta de carbono terrestre que se ha registrado en años recientes alcance su nivel máximo, para luego equilibrarse o disminuir. Algunas de ellas proyectan que estos niveles máximos se alcancen durante el siglo XXI. Las proyecciones del intercambio neto mundial de carbono entre la tierra y la atmósfera después de algunos decenios siguen siendo inciertas (véase la Figura 5–5).

- 5.7 Aunque el calentamiento reduce la absorción de CO₂ por los océanos, se proyecta que la absorción oceánica neta del carbono persista con el incremento de CO₂ en la atmósfera, al menos durante el siglo XXI. El transporte del carbono desde la superficie hasta el fondo



GTI TIE Secciones 3.2.3 &
3.7.2, & GTI TIE Figuras
3.10c,d

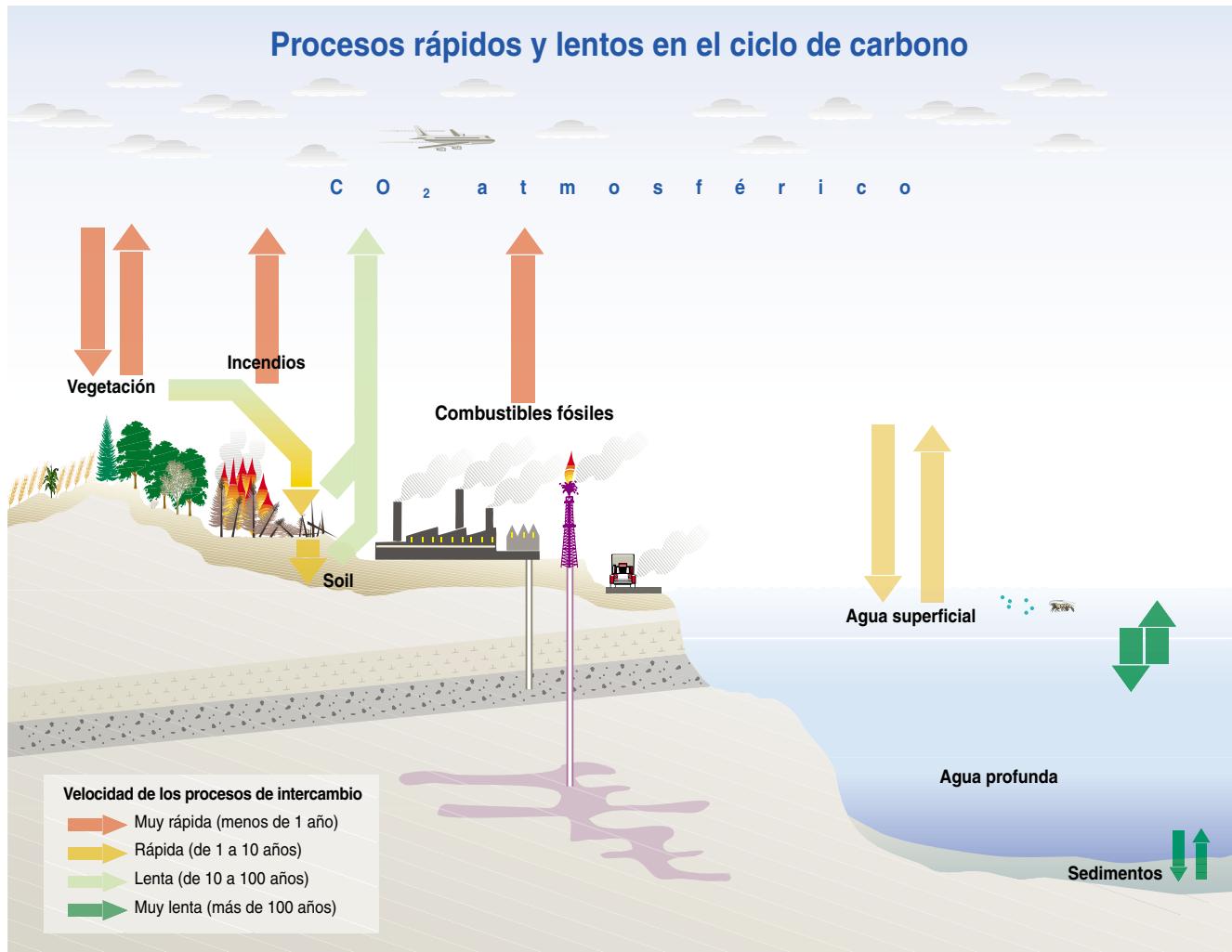


Figura 5–4: La gama de escalas temporales de los principales procesos dentro del ciclo de carbono lleva a una gama de tiempos de respuesta para perturbaciones de CO₂ en la atmósfera, y contribuye al desarrollo de sumideros temporales, por ejemplo, cuando la concentración atmosférica de CO₂ sube por encima de su nivel de equilibrio de antes del año 1750.

de los océanos tarda muchos siglos en producirse, y se necesitarán varios milenios hasta que se deposite en los sedimentos oceánicos.

- 5.8 **Es probable que cuando se encuentran sujetos a un rápido cambio climático los sistemas climáticos se desestabilicen como consecuencia de los distintos ritmos de las respuestas dentro del sistema.** La resultante pérdida de capacidad del ecosistema para suministrar servicios como alimentos, maderas y el mantenimiento de la diversidad biológica sobre unas bases sostenibles puede no manifestarse inmediatamente. El cambio climático puede crear condiciones desfavorables para el establecimiento de especies fundamentales, pero la respuesta lenta y retrasada de las plantas de larga vida oculta la importancia del cambio hasta que individuos ya establecidos mueren a raíz de una alteración. Por ejemplo, para el posible cambio climático del siglo XXI, es probable que en algunas zonas de bosque se produzca una perturbación por incendios, vientos, plagas o cosechas, las comunidades no se regeneren, como antes, sino que las especies se pierdan o sean sustituidas por otras diferentes.

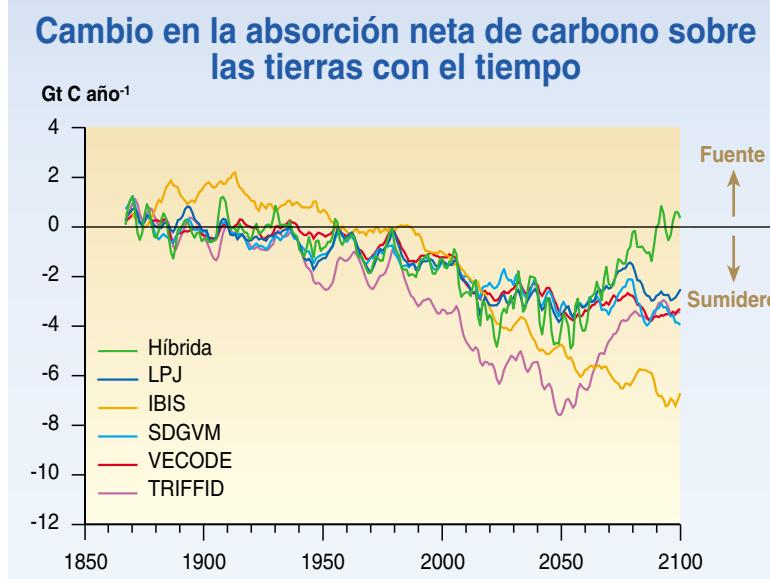
GTII TIE Sección 5.2

- 5.9 **El ser humano ha mostrado su capacidad para adaptarse a condiciones climáticas medias a largo plazo, pero no es lo mismo cuando se trata de adaptarse a fenómenos extremos y a variaciones interanuales en las condiciones climáticas.** Se proyecta que los cambios climáticos durante los próximos 100 años sobrepasan cualquier otro experimentado por el hombre durante, al menos, los últimos 5 milenios. La magnitud y la velocidad de estos cambios han de plantear un grave problema para la humanidad. El tiempo necesario para la adaptación socioeconómica varía entre años y decenios, y en función del sector y de los recursos disponibles para ayudar a esta transición. El proceso de adopción y aplicación de decisiones en materia de adaptación y mitigación adolece de una inercia, que a veces dura varios decenios. Como generalmente las entidades que adoptan las decisiones sobre adaptación y mitigación no son las mismas, ello agrava las dificultades inherentes a la identificación y aplicación de la mejor combinación posible de estrategias, y por lo tanto contribuye al retraso de la respuesta frente al cambio climático.

GTII TIE RRP 2.7, GTI
TIE Secciones 4.6.4,
18.2–4, & 18.8, & GTIII
TIE Sección 10.4.2

- 5.10 **Normalmente percibir la necesidad de responder a un problema grave, planificar, investigar, desarrollar una solución, y ponerla en práctica conlleva una demora de años, y hasta de decenios.** Este retraso se puede acortar anticipando las necesidades mediante la previsión, y por lo tanto, el desarrollo de tecnologías por adelantado. La respuesta de la tecnología a cambios en el precio de la energía ha sido un proceso histórico rápido

GTII TIE Secciones 1.4.1,
12.8.4, & 18.3.5, & GTIII
TIE Secciones 3.2, 5.3.1,
& 10.4



TIE GTI Figura 3.10b

Figura 5–5: La absorción neta reciente de carbono sobre las tierras se debe en parte a la mejora de la absorción de CO₂ con el crecimiento de las plantas, con un intervalo antes de que este carbono vuelva a la atmósfera mediante la descomposición de dichas plantas y la materia orgánica del suelo. Varios procesos contribuyen a la mejora en el crecimiento de las plantas: los cambios en la gestión y uso del suelo, el efecto fertilizante de cantidades elevadas de CO₂ y nitrógeno, y algunos cambios climáticos (como una mayor temporada de crecimiento de las plantas en altas latitudes). Una gama de simulaciones (identificadas por sus siglas en la figura) proyectan un continuo aumento en la fuerza de la absorción neta de carbono sobre las tierras durante algunos decenios, para luego estabilizarse o incluso disminuir a finales del siglo XXI por razones explicadas en el texto. Los resultados simulados ilustrados se obtienen a partir del escenario IS92a, pero se extraen conclusiones parecidas con el empleo de otros escenarios.

(normalmente, menos de 5 años entre un aumento abrupto de los precios y su respuesta en términos de patente e introducción de nuevas soluciones), pero su difusión necesita mucho más tiempo. La velocidad de difusión está a menudo en función de la velocidad con que se retiran los equipos instalados. La rapidez con que se implantan mejores tecnologías permite una reducción en la curva de aprendizaje (aprendizaje activo sobre la marcha), y no incorporar prematuramente tecnologías existentes y poco eficientes. El ritmo de difusión tecnológica depende en gran medida no sólo de las posibilidades económicas, sino también de las presiones socioeconómicas. Para algunas tecnologías, como la incorporación de nuevas variedades de cultivos, la disponibilidad y la información sobre opciones preexistentes de adaptación permite una adaptación rápida. En muchas regiones, sin embargo, las presiones de la población sobre tierras y recursos hídricos escasos, las políticas gubernamentales que impiden el cambio, y el poco acceso a la información o a recursos financieros, dificultan y frenan el proceso de adaptación. La adaptación óptima a las tendencias de cambio climático, por ejemplo, a sequías más frecuentes, se puede retrasar si se piensa que obedecen a una variabilidad natural, siendo que en realidad están relacionadas con el cambio climático. A la inversa, puede producirse una mala adaptación si la variabilidad climática se confunde con una tendencia.

- 5.11 Las estructuras sociales y los valores personales interactúan con la infraestructura física de la sociedad, las instituciones y las tecnologías incorporadas en ella, y el sistema combinado avanza de una manera relativamente lenta.** Esto resulta obvio, por ejemplo, en relación con los impactos del diseño urbano y de las infraestructuras en el consumo de energía para calefacción, aire acondicionado y transporte. A veces los mercados se ‘encierran’ en tecnologías y prácticas que no son óptimas, debido a la inversión económica hecha en apoyo de la infraestructura, lo que puede bloquear las alternativas. La difusión de muchas innovaciones se topa con las preferencias tradicionales de las personas y otros obstáculos sociales y culturales. A menos que las ventajas sean muy claras, los cambios de comportamiento o sociales de los usuarios de tecnologías pueden llevar decenios. El uso de la energía y la mitigación de gases de efecto invernadero tienen un interés secundario en la vida diaria de la mayoría de las personas. Sus hábitos de consumo están impulsados no sólo por cambios demográficos, económicos y tecnológicos, la disponibilidad de recursos, la infraestructura y las limitaciones temporales, sino también por la motivación, los hábitos, la necesidad, la coacción, las estructuras sociales y otros factores.



GTIII TIE Secciones 3.2, 3.8.6, 5.2–3, & 10.3;
IECMTT RRP, &
IECMTT Capítulo 4RE

- 5.12 Las escalas temporales sociales y económicas no son fijas; son sensibles a fuerzas sociales y económicas, y pueden cambiarse gracias a las políticas y a las decisiones individuales de cada persona.** En condiciones económicas difíciles, los cambios de comportamiento y tecnológicos pueden ser rápidos. Por ejemplo, la crisis petrolera del decenio de 1970 sensibilizó a la sociedad sobre la conservación y las fuentes alternativas de energía, y en la mayoría de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) la economía se apartó en gran medida de los nexos tradicionales entre los índices de crecimiento del consumo de energía y el desarrollo económico (véase la Figura 5–6). Otro ejemplo es la reducción observada de emisiones de CO₂ causada por las conmociones económicas de los países de la ex Unión Soviética en 1988. La respuesta en ambos casos fue muy rápida (tan sólo unos años). Al parecer, también ocurre lo contrario; en situaciones en donde la presión al cambio es pequeña, existe una gran inercia. Esta ha sido la hipótesis implícita en los escenarios del IEEE, en los que no se toman en cuenta tensiones importantes, como la recesión económica, los conflictos a gran escala o la desaparición de las reservas de alimentos, ni tampoco el consiguiente sufrimiento humano, por ser muy difíciles de predecir.



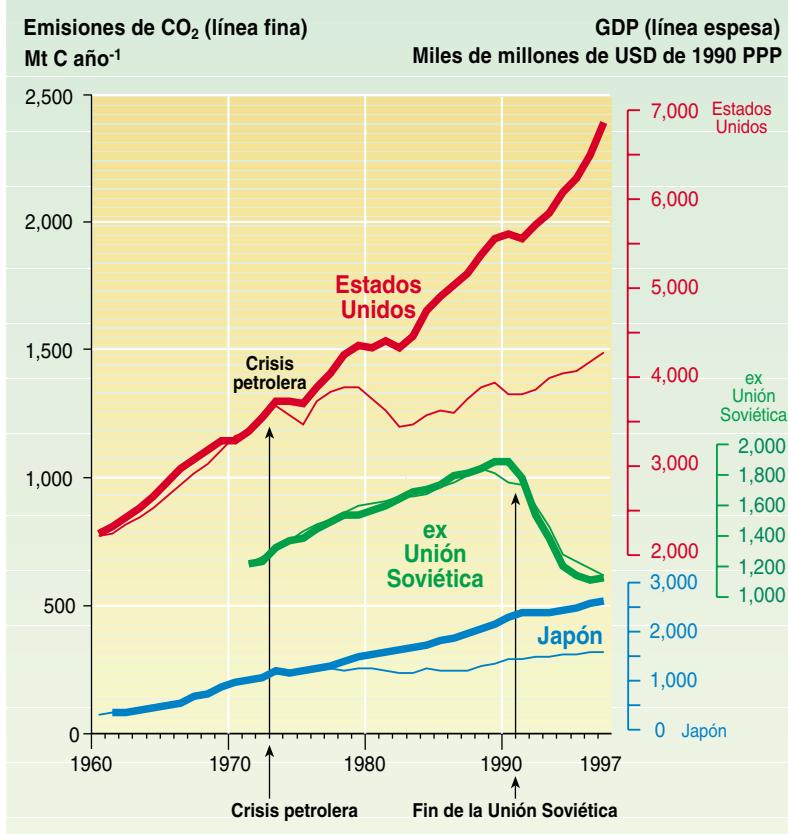
GTIII TIE Capítulo 1,
GTIII TIE Secciones 3.2 & 10.1.4.3, & GTIII SIE Sección 20.1

- 5.13 La estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂ a niveles por debajo de 600 ppm sólo es posible con una reducción del coeficiente de carbono y/o de energía utilizado, muy superior al que se ha logrado históricamente.**



GTI TIE Sección 3.7.3.4,
GTIII TIE Sección 2.5, &
IEEE Sección 3.3.4

Comparación entre PIB y emisiones de CO₂ en países seleccionados



TIE GTIII Cuadro 3.1 y
GTII SIE Figura 20-1

Figura 5-6: La respuesta del sistema energético, indicada por la emisión de CO₂ (expresado como carbono), frente a cambios económicos, indicados por el PIB (expresado en términos de Poder Adquisitivo). La respuesta puede ser casi sin inercia si el impacto es muy grande. La ‘crisis petrolera’, durante la cual los precios de la energía experimentaron una gran subida en un período breve, provocó una divergencia casi inmediata y continua de las emisiones y del PIB—elementos antes muy vinculados en la mayoría de los países desarrollados. Japón y Estados Unidos se muestran como ejemplos. Cuando la ex Unión Soviética estaba a punto de desmembrarse, los dos indicadores estaban muy vinculados, por lo que las emisiones se redujeron rápidamente junto con un declive del PIB.

Esto implica un desplazamiento hacia vías alternativas de desarrollo con nuevas configuraciones sociales, institucionales y tecnológicas, que aborden los problemas ambientales. Los bajos niveles históricos de mejoramiento del coeficiente de energía utilizado (uso de energía por unidad de PIB) reflejan la prioridad relativamente baja que dan a la eficiencia energética la mayoría de productores y usuarios de tecnologías. Por el contrario, la productividad en el trabajo aumentó a una velocidad mayor en el período 1980–1992. Para lograr la estabilización de las concentraciones de CO₂ a 600 ppm o incluso menos, sería preciso aumentar y mantener los niveles mundiales de mejoramiento del coeficiente energético registrados históricamente (de 1 a 1,5 por ciento por año) durante mucho tiempo (véase la Figura 5–7). Los niveles de la reducción del coeficiente de carbono utilizado (carbono por unidad de energía producida) tendrían que cambiar incluso más (hasta un 1,5 por ciento por año: la tasa base histórica es de 0,3 a 0,4 por ciento por año). En realidad, es probable que tanto el coeficiente energético como el coeficiente del carbono continúen mejorando, pero para la estabilización de los gases de efecto invernadero a niveles por debajo de 600 ppm es necesario que, al menos, uno de estos factores lo haga a un ritmo mayor que hasta ahora. Cuanto menor sea el objetivo de estabilización y mayor el nivel de emisiones de referencia, mayor será la diferencia entre el CO₂ y la cantidad de referencia, y más pronto deberá corregirse.

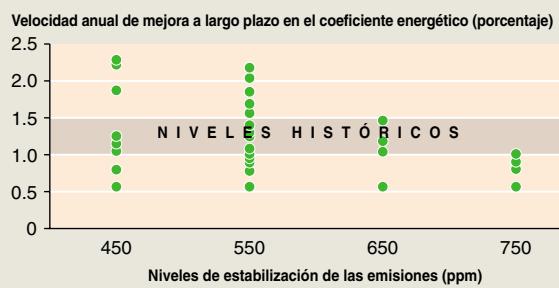
5.14 Algunos cambios en los sistemas climáticos, ecológicos, y socioeconómicos son irreversibles efectivamente durante varias generaciones, y otros son irreversibles intrínsecamente.

5.15 Existen dos tipos de irreversibilidad manifiesta. La ‘irreversibilidad efectiva’ proviene de procesos que pueden volver al estado anterior a la perturbación, pero que precisan entre siglos y milenios para que suceda. Un ejemplo es la fusión parcial de la

GTI TIE Capítulo 11, GTII
TIE Capítulo 5, & GTII
TIE Secciones 16.2.1 &
17.2.5

Aceleración del cambio en el sistema energético

- (a) Gama de velocidad del cambio en el **coeficiente energético**, en distintos escenarios de mitigación, a partir de diferentes simulaciones: años 1990-2100



- (b) Gama de velocidad del cambio en el **coeficiente de CO₂**, en distintos escenarios de mitigación, a partir de diferentes simulaciones: años 1990-2100



TIE GTIII Figuras 2.8 y 2.18

Figura 5-7: a) La velocidad del cambio en el coeficiente energético (energía por unidad de PIB) necesaria para alcanzar los objetivos determinados para la estabilización de concentraciones de CO₂ se sitúa dentro de la gama de niveles logrados históricamente para la estabilización por encima de 550 ppm, y posiblemente incluso a 450 ppm, pero b) el nivel requerido para la mejora en el coeficiente de carbono (las emisiones de carbono por unidad de energía) para estabilizar los niveles por debajo de 600 ppm es mayor que los niveles logrados históricamente. Como consecuencia de ello, el costo de la mitigación aumenta a medida que el nivel de estabilización decrece, y lo hace en mayor medida por debajo de un objetivo de unos 600 ppm que por encima de este valor (véase la Figura 7-3).

placa de hielo de Groenlandia. Otro es la elevación proyectada en el nivel medio del mar, en parte como resultado de la fusión de la círosfera, pero sobre todo debida al aumento de las temperaturas en los océanos. El mundo ya da por sentado cierta elevación del nivel del mar como consecuencia del calentamiento atmosférico de la superficie durante el siglo pasado. La ‘irreversibilidad intrínseca’ es el resultado del traspaso de un valor de umbral, más allá del cual el sistema ya no puede volver de forma espontánea a su estado previo. Un ejemplo de un cambio intrínsecamente irreversible, por haberse sobrepasado este valor de umbral, es la extinción de especies a raíz de la combinación de cambio climático y pérdida de hábitat.

- 5.16 **La situación del valor de umbral y la resistencia al cambio en sus proximidades, pueden verse afectados por la velocidad de acercamiento a dicho valor de umbral.** Los resultados obtenidos de simulaciones indican que puede haber un valor de umbral en la circulación termohalina (véase la Pregunta 4) de forma que, si el mundo se calentara rápidamente, se podría provocar una transición a una nueva circulación oceánica, tal como ocurrió al salir de la última era glaciar. Es muy improbable que esta transición se produzca durante el siglo XXI, pero algunas simulaciones sugieren que si ocurriera podría ser irreversible (la nueva circulación podría persistir incluso después de que la perturbación desapareciese). Si el ritmo de calentamiento es más lento, la circulación termohalina (THC) podría ajustarse gradualmente, sin que se sobreponga el valor de umbral. Esto implica que la trayectoria de las emisiones de gases de efecto invernadero es importante para determinar la evolución de la THC. Cuando un sistema se acerca a su valor de umbral, como es el caso del debilitamiento de la THC por calentamiento mundial, disminuye su capacidad de recuperación ante perturbaciones.



GTI TIE Secciones 2.4.3, 7.3.7, & 9.3.4.3, & GTI TIE Sección 1.4.3.5

5.17 El mayor ritmo de calentamiento y los efectos combinados de múltiples tensiones aumentan la probabilidad de que se sobrepase el valor de umbral.

Un ejemplo de un umbral ecológico aparece en la migración de especies de plantas como respuesta al cambio climático. Los registros fósiles indican que el nivel máximo al que la mayoría de las especies de plantas han migrado en el pasado ha sido de 1 km por año. Las conocidas limitaciones que impone el proceso de dispersión (como el período medio entre germinación y producción de semillas, y la distancia media que una semilla particular puede viajar) sugieren que, sin intervención humana, muchas especies no podrán estar a la par del ritmo con que, según las proyecciones, ha de modificarse su espacio climático preferido durante el siglo XXI, incluso cuando existieran los obstáculos a su migración impuestos por el uso de las tierras. Un ejemplo de umbral socioeconómico lo proporcionan los conflictos en condiciones ya problemáticas—por ejemplo una cuenca fluvial compartida por varios países, que compiten por unos recursos hídricos escasos. Una mayor presión ocasionada por un problema ambiental, como una reducción del flujo de caudal, podría provocar mayores conflictos. Si no se conocen plenamente los sistemas afectados, es posible que la presencia de un valor de umbral no resulte manifiesta hasta que se alcanza.



GTII TIE Secciones
1.2.1.2, 4.7.3, & 5.2,
GTIII TIE RT 2.3, IEEE
Recuadro 4.2, & GTII SIE
A.4.1

5.18 La inercia en los sistemas climáticos, ecológicos y socioeconómicos hace que la adaptación sea inevitable y necesaria en algunos casos, y la inercia afecta la combinación óptima de estrategias de mitigación y adaptación.



GTIII TIE Sección 8.4.2

5.19 Como consecuencia de las demoras y la inercia inherentes en el sistema terrestre, incluidos sus componentes sociales, algunas de las consecuencias de las medidas que se adopten, o no se adopten, sólo se manifestarán dentro de muchos años. Por ejemplo, las diferencias en las trayectorias iniciales de los diferentes escenarios del IEEE y de estabilización son pequeñas, pero los resultados para el clima del año 2100 son enormes. La elección de la vía de desarrollo tiene consecuencias a todas las escalas temporales afectadas; por lo tanto, los costos y beneficios totales a largo plazo pueden variar considerablemente de los de a corto plazo.

5.20 Cuando hay inercia, las medidas bien fundamentadas para adaptarse o mitigar las consecuencias del cambio climático son más eficaces y, en algunas circunstancias, pueden incluso ser más económicas, si se adoptan sin demora.



GTII TIE Secciones 1.3.4 & 2.7.1, GTIII TIE Capítulo 2, GTIII TIE Secciones 10.1 & 10.4.2–3, & GTIII TIE Cuadro 10.7

Los retrasos entre las emisiones y sus impactos proporcionan un espacio que da tiempo para una adaptación planificada. La inercia del adelanto tecnológico y la sustitución de los bienes de capital es un importante punto a favor para la mitigación gradual. El aspecto esencial de la inercia en las estructuras y los procesos económicos es que la desviación de una tendencia determinada tiene sus costos, y que estos costos aumentan con la velocidad de estas desviaciones (por ejemplo, los costos de un pronto desmantelamiento de instalaciones con un alto coeficiente de carbono). Las medidas de mitigación, si se adoptan con prontitud, pueden reducir el riesgo de impactos graves, duraderos o irreversibles, y atenuar al mismo tiempo la necesidad de una mitigación más rápida ulteriormente. Si las medidas se aceleran, se pueden reducir los costos de la mitigación y adaptación a largo plazo, al acelerar el adelanto tecnológico y la pronta obtención de beneficios que ahora están ensombrecidos por las imperfecciones del mercado. La reducción de emisiones durante los próximos años es económicamente valiosa si existe una probabilidad importante de tener que permanecer por debajo de unos valores máximos que, de otra forma, se alcanzarían dentro de las escalas temporales características de los sistemas que producen gases de efecto invernadero. Las decisiones sobre la mitigación del cambio climático dependen del juego entre la inercia y la incertidumbre, lo que da como resultado un proceso de adopción de decisiones secuenciales. La previsión y la pronta adaptación serán sobre todo ventajosas en sectores con infraestructuras de larga vida, como puentes y presas, y una gran inercia social, como los derechos de propiedad mal distribuidos. Las medidas de adaptación anticipadas pueden ser muy económicas si la tendencia prevista se materializa.

5.21 Como consecuencia de los retrasos, la inercia y la irreversibilidad en los sistemas de la Tierra, una medida de mitigación o para el desarrollo de tecnologías pueden tener diferentes resultados, según cuándo se aplique.

Por ejemplo, en una simulación del efecto hipotético de la reducción a un nivel de cero de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en el año 1995, sobre la elevación del nivel del mar durante el siglo XXI en el Pacífico, mostró que la elevación del nivel del mar que inevitablemente ocurriría debido al calentamiento que tuvo lugar antes del 1995 (entre 5 y 12 cm), sería mucho menor que si la misma reducción de emisiones sucediera en el año 2020 (entre 14 y 32 cm). Esto muestra la creciente inevitabilidad de una elevación del nivel del mar en el futuro debida a emisiones de gases actuales y pasadas, y el efecto de un retraso en las reducciones hipotéticas de emisiones.



GTII TIE Secciones 2.7.1 & 17.2.1

5.22 La inercia tecnológica en los países menos adelantado se puede reducir con un 'salto tecnológico' (es decir, la adopción de estrategias preventivas para evitar los problemas que hoy en día debe afrontar la sociedad industrial).

No cabe suponer que los países en desarrollo vayan a seguir automáticamente las vías de desarrollo que tomaron los países industrializados en el pasado. Por ejemplo, algunos países en desarrollo han obviado la instalación de líneas terrestres para comunicaciones, y han pasado directamente a las comunicaciones móviles. Los países en desarrollo podrían evitar las prácticas pasadas de los países desarrollados basadas en un uso ineficiente de la energía, y adoptar tecnologías que utilizan la energía de forma más sostenible, reciclando más residuos y productos, y ocupándose de los desechos residuales de manera más aceptable. Esto se podría lograr más fácilmente en nuevas infraestructuras y sistemas energéticos que se adopten en los países en desarrollo, pues de todos modos se necesitan grandes inversiones. La transferencia de tecnología entre países y regiones puede reducir la inercia tecnológica.



GTII TIE Capítulo 2, GTIII TIE Sección 10.3.3, IEEE Sección 3.3.4.8, & IECMTT RRP

5.23 La inercia y la incertidumbre en los sistemas climáticos, ecológicos y socioeconómicos imponen prever determinados márgenes de seguridad a la hora de establecer estrategias, objetivos y calendarios para evitar niveles peligrosos de interferencias en el sistema climático. Los niveles de estabilización fijados, por ejemplo, para la concentración de CO₂ en la atmósfera, la temperatura o el nivel del mar, se pueden ver afectados por:

- La inercia del cambio climático, que ha de prolongar el cambio climático durante un período después de haberse aplicado las medidas para mitigar los efectos de dicho fenómeno
- La incertidumbre sobre la situación de los posibles valores de umbral, a partir de los cuales los cambios sean irreversibles y el comportamiento del sistema en la zona próxima a dicho umbral
- El intervalo entre la adopción de los objetivos de mitigación y el momento en el que se alcanzan.



GTII TIE Sección 2.7.1 & GTIII TIE Secciones 10.1.4.1-3

Análogamente, la adaptación se ve afectada por el intervalo entre la identificación de los impactos del cambio climático, el desarrollo de estrategias eficaces y la aplicación de medidas de adaptación. Las estrategias de protección y la adopción de decisiones secuenciales (medidas iterativas, evaluación y revisión de las medidas) pueden ser apropiadas cuando se combina la inercia y la incertidumbre. La inercia tiene consecuencias diferentes para la adaptación y para la mitigación, ya que la adaptación está orientada principalmente a los impactos del cambio climático localizados, mientras que la mitigación se ocupa de los impactos en todo el sistema climático. En ambos casos hay retrasos e inercia, y es esta última la que más subraya en general la urgencia de medidas de mitigación.

5.24 La omnipresencia de la inercia y la posibilidad de irreversibilidad en la interacción de los sistemas climáticos, ecológicos y socioeconómicos son la principal explicación de los beneficios de adoptar medidas preventivas para la mitigación y la adaptación al cambio. Si la aplicación de estas medidas se demora se pueden perder una serie de oportunidades para poner en práctica opciones de mitigación y adaptación.

P6

Pregunta 6

- a) ¿De qué manera la magnitud y oportunidad de introducción de una gama de medidas para reducir las emisiones determinan y afectan la velocidad, la magnitud y los impactos del cambio climático, y repercuten en la economía regional y mundial, teniendo en cuenta las emisiones presentes y pasadas?
- b) ¿Qué se conoce, a partir de estudios de sensibilidad, sobre las consecuencias climáticas, ambientales y socioeconómicas, a escala regional y mundial, si las concentraciones de gases de efecto invernadero (en equivalentes al dióxido de carbono) se estabilizaran en niveles que varíen entre los actuales y el doble o incluso más, teniendo en cuenta en la medida de lo posible los efectos de los aerosoles? Para cada escenario de estabilización, incluidas las diferentes vías hacia la estabilización, evalúe los niveles de costos y beneficios relacionados con los escenarios tratados en la Pregunta 3, en cuanto a:
- Los cambios proyectados en las concentraciones atmosféricas, el clima y el nivel del mar, incluyendo los cambios producidos después de 100 años
 - Los impactos, costos y beneficios económicos de los cambios en el clima y en la composición atmosférica sobre la salud humana, la diversidad y la productividad de los sistemas ecológicos, y los sectores socioeconómicos (especialmente agricultura y agua)
 - La gama de opciones para la adaptación, incluyendo los costos y beneficios y los problemas que se planteen
 - La gama de tecnologías, políticas y prácticas que se podrían utilizar para lograr cada uno de estos niveles de estabilización, con una evaluación de los costos y beneficios nacionales y mundiales, y una comparación de dichos costos y beneficios, ya sea de forma cualitativa o cuantitativa, con el daño ambiental que se podría evitar con la reducción de las emisiones
 - Los problemas de desarrollo, sostenibilidad y equidad asociados con los impactos, la adaptación y la mitigación del cambio climático a nivel regional y mundial.

6.1 En la Pregunta 3 se evaluaron las consecuencias climáticas, ambientales y socioeconómicas de las emisiones de gases de efecto invernadero para escenarios que no incluían ninguna intervención climática de tipo político. En la Pregunta 6 se abordan los mismos asuntos, pero esta vez se evalúan los beneficios que podrían resultar de un conjunto de intervenciones climáticas de tipo político. Entre los escenarios para la reducción de emisiones considerados figuran los que pudieran lograr la estabilización de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. También se evalúa el papel de la adaptación como un complemento de la mitigación y las contribuciones de la reducción de emisiones para lograr los objetivos de desarrollo sostenible y equidad. La Pregunta 7 se ocupa de las políticas y tecnologías que se podrían utilizar para poner en práctica la reducción de emisiones y sus costos.

6.2 La velocidad y la magnitud del calentamiento y de la elevación del nivel del mar proyectados se pueden disminuir con una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.



6.3 **Cuanto mayores sean las reducciones de las emisiones y cuanto antes se introduzcan, menor y más lento se proyecta que sean el calentamiento y la elevación del nivel del mar.** El cambio climático futuro se determina a partir de las emisiones actuales, las pasadas y las futuras. Se han realizado estimaciones de la temperatura media mundial y de los efectos de la elevación del nivel del mar para una reducción anual de emisiones de CO₂ de un 2 por ciento en los países desarrollados durante el período 2000–2100, suponiendo que los países en desarrollo no reduzcan sus emisiones.⁶ Bajo esta hipótesis, las emisiones mundiales y la concentración atmosférica de CO₂ aumentan durante todo el siglo, pero a una velocidad decreciente en comparación con los escenarios que suponen que no se tomen medidas para reducir las emisiones en los países desarrollados. Los efectos de la limitación de las emisiones se muestran lentamente, pero se consolidan con el tiempo. Hacia el año 2030, la concentración proyectada de CO₂ en la atmósfera se reduce en un 20 por ciento en comparación con el escenario IS92a, basado en una no reducción de emisiones, lo que disminuye el calentamiento y la elevación del nivel del mar en una pequeña cantidad dentro de este marco temporal. Hacia el año 2100, la proyección de la concentración de CO₂ se reduce en un 35 por ciento en comparación con el escenario IS92a, el calentamiento mundial medio proyectado se reduce en un 25 por ciento, y la elevación proyectada del nivel del mar se reduce en un 20 por ciento. Los análisis de la reducción anual de emisiones de CO₂ de un 1 por ciento en los países desarrollados indican que si esa reducción fuera menor, también sería menor la reducción de las concentraciones de CO₂, el cambio de temperatura y la elevación del nivel del mar. Si se aplicaran ahora medidas de este tipo, los efectos en el año 2100 serían mayores que si las mismas reducciones de emisiones se llevaran a cabo más adelante.

6.4 La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y de los gases que controlan su concentración podría ser necesaria para estabilizar los forzamientos radiactivos. Por ejemplo, en el caso de los más importantes gases de efecto invernadero antropogénicos, las simulaciones del ciclo de carbono indican que para estabilizar las concentraciones de CO₂ a 450, 650 o 1.000 ppm se precisaría que las emisiones antropogénicas de CO₂ mundiales se redujeran por debajo de los niveles del año 1990 en unos decenios, un siglo o cerca de dos siglos, respectivamente, y que siguieran decreciendo constantemente en adelante (véase la Figura 6–1). Dichas simulaciones muestran que las emisiones podrían alcanzar sus niveles máximos dentro de uno o dos decenios (450 ppm) y aproximadamente dentro de un siglo (1.000 ppm) a partir de



⁶ En estos análisis, las emisiones de CH₄, N₂O, y SO₂ por parte de los países desarrollados se mantienen constantes en sus valores de 1990, y los halocarbonos siguen un escenario coherente con la versión de Copenhague del Protocolo de Montreal. Las emisiones de CO₂ de los países en desarrollo y de otros gases de efecto invernadero se supone que sigan las proyecciones del escenario IS92. Las proyecciones de temperaturas se realizaron con una simulación climática sencilla. Los escenarios IS92 se describen en el Informe Especial del IPCC *Forzamiento radiativo del cambio climático*.

hoy (véase el Cuadro 6–1). A largo plazo, podría ser necesario que las emisiones de CO₂ también se redujeran a una fracción muy pequeña de las emisiones actuales. Los beneficios de los diferentes niveles de estabilización se tratan con más detalle en la Pregunta 6, y los costos de estos niveles de estabilización se abordan en la Pregunta 7.

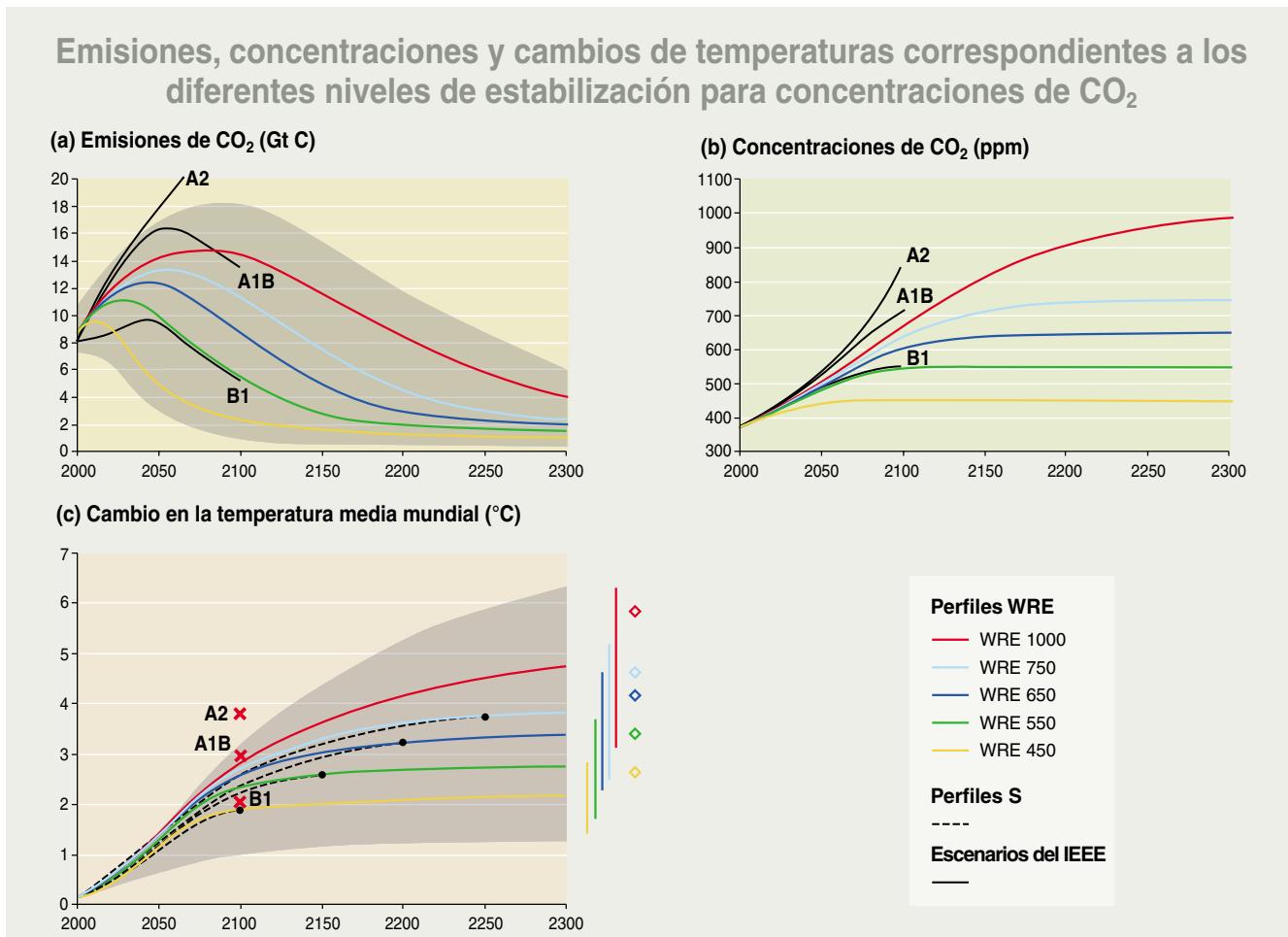


Figura 6–1: La estabilización de las concentraciones de CO₂ requeriría importantes reducciones de las emisiones por debajo de los niveles actuales, y frenaría la velocidad del calentamiento.

TIE GTI Secciones 3.7.3
y 9.3.3, & IPCC DT3

- Emisiones de CO₂:** El calendario de emisiones de CO₂ que permitiría una estabilización de las concentraciones atmosféricas CO₂ a varios niveles para los perfiles de estabilización WRE se ha determinado utilizando simulaciones del ciclo de carbono. La zona sombreada muestra el nivel de incertidumbre al estimarse las emisiones de CO₂ correspondientes a vías temporales específicas de concentración, representadas en las simulaciones del ciclo del carbono. A los fines de comparación, se muestran también las estimaciones de concentraciones de CO₂ que resultarían de tres de las proyecciones de emisiones del IEEE (A1B, A2 y B1).
- Concentraciones de CO₂:** se muestran las concentraciones de CO₂ especificadas para los niveles estabilizados del enfoque gradual de los perfiles del WRE, que varían entre 450 y 1.000 ppm.. A los fines de comparación, se muestran también las emisiones de CO₂ para tres de los escenarios IEEE (A1B, A2 y B1), que no incluyen límites a las emisiones de gases de efecto invernadero
- Cambios de la temperatura media mundial:** Los cambios de temperatura media mundial se estiman para los perfiles de estabilización WRE utilizando una simulación climática sencilla, afinada a su vez con cada una de varias simulaciones más complejas. El calentamiento estimado se frena a medida que se frena el crecimiento en las concentraciones de CO₂, y el crecimiento continúa después de la estabilización del CO₂ (que se indican con puntos negros), pero a un nivel cada vez menor. Se supone que las emisiones de otros gases que no son CO₂ sigan la proyección A1B del IEEE hasta el año 2100, y que posteriormente sean constantes. Este escenario se eligió por situarse en el punto medio de la gama de escenarios del IEEE. Las líneas de puntos muestran los cambios de temperatura proyectados para los perfiles S (que no se muestran en los paneles a) y b)). El área sombreada ilustra el efecto de una serie de sensibilidades climáticas en los cinco casos de estabilización. Las barras coloreadas en la parte derecha muestran, para cada perfil WRE, la gama en el año 2300, debidas a los diferentes afinamientos de la simulación climática, y los rombos en la parte derecha muestran el punto medio de equilibrio para el calentamiento (a muy largo plazo) en cada nivel de estabilización de CO₂. A los efectos de la comparación también se muestran (con cruces rojas) los cambios de temperatura en el año 2100 estimados para los escenarios de emisiones del IEEE.

Cuadro 6-1 Concentraciones proyectadas de CO ₂ para los escenarios de emisiones del IEEE y emisiones deducidas de los perfiles WRE que conducen a la estabilización del CO ₂ atmosférico. ^a								
	<i>Emisiones de CO₂ (Gt C año⁻¹)</i>		<i>Emisiones acumuladas de CO₂</i>	<i>Año en el que las emisiones alcanzan su punto máximo</i>		<i>Concentración atmosférica (ppm)</i>		<i>Año de la estabilización de las concentraciones</i>
	<i>2050</i>	<i>2100</i>		<i>descienden por debajo de los niveles de 1990^b</i>	<i>2050</i>	<i>2100</i>		
Escenarios de emisiones del IEEE								
A1B	16.4	13.5	1,415			490–600	615–920	
A1T	12.3	4.3	985			465–560	505–735	
A1FI	23.9	28.2	2,105			520–640	825–1,250	
A2	17.4	29.1	1,780			490–600	735–1,080	
B1	11.3	4.2	900			455–545	485–680	
B2	11.0	13.3	1,080			445–530	545–770	
Perfiles de estabilización WRE								
450	3.0–6.9	1.0–3.7	365–735	2005–2015	<2000–2045	445	450	2090
550	6.4–12.6	2.7–7.7	590–1,135	2020–2030	2030–2100	485	540	2150
650	8.1–15.3	4.8–11.7	735–1,370	2030–2045	2055–2145	500	605	2200
750	8.9–16.4	6.6–14.6	820–1,500	2040–2060	2080–2180	505	640	2250
1,000	9.5–17.2	9.1–18.4	905–1,620	2065–2090	2135–2270	510	675	2375

^a texto en azul = recomendado y texto en negro = resultados obtenidos a partir de simulaciones; se toman en cuenta tanto los combustibles fósiles como los cambios en el uso de las tierras. Las gamas se han obtenido de dos simulaciones sencillas del ciclo de carbono: la gama de la simulación ISAM se basa en los resultados de una simulación compleja, mientras que la de la simulación BERN-CC se basa en las incertidumbres sobre las respuestas y reacciones del sistema. Los resultados del IEEE se pueden encontrar en el Apéndice II.1.1 del TIE GTI. El calendario exacto para las emisiones WRE depende de la vía escogida hacia la estabilización.

^b Se consideran que las emisiones en 1990 son 7,8 Gt C; este valor es incierto, sobre todo por la incertidumbre sobre el tamaño de las emisiones ocasionadas por cambios en el uso de las tierras, que aquí suponen de 1,7 Gt C, es decir, valor anual medio en todo el decenio del 1980.

6.5 **Existe una gran incertidumbre sobre la cantidad de calentamiento que podría resultar tras una estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero.** La Figura 6-1c muestra estimaciones de los cambios de la temperatura media mundial para escenarios que estabilizan las concentraciones de CO₂ a niveles diferentes, y las mantienen constantes en adelante. La incertidumbre sobre la sensibilidad climática proporciona una amplia gama de estimaciones del cambio de temperaturas que podrían ser resultado de las emisiones correspondientes a los niveles de concentración seleccionados.⁷

GTI TIE Sección 9.3.3

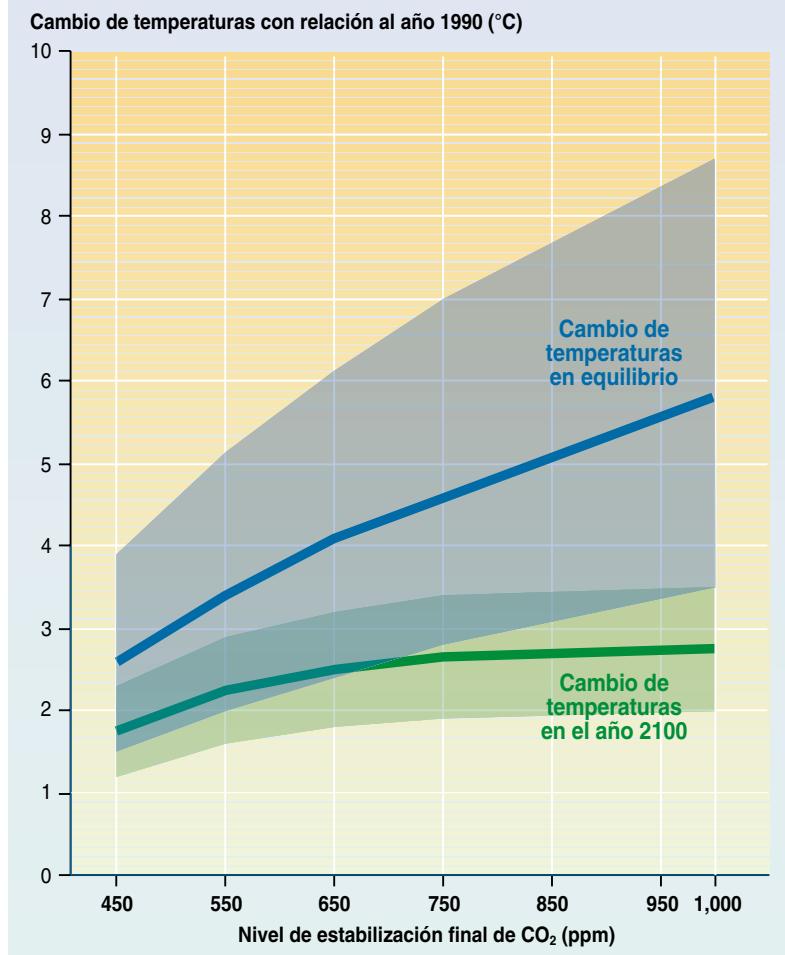
Esto se ve con más claridad en la Figura 6-2, que muestra los niveles de estabilización de concentraciones de CO₂ y la correspondiente gama de cambio de temperaturas que se estima se ha de producir en el año 2100 y en equilibrio a largo plazo. Para estimar los cambios de temperatura para estos escenarios, se supone que las emisiones de gases de efecto invernadero que no son CO₂ podrían seguir lo que se muestra en el escenario IEEE A1B hasta el año 2100, y que las emisiones de estos gases se mantendrían constantes en adelante. Las diferentes suposiciones sobre otros gases de efecto invernadero podrían producir diferentes estimaciones del calentamiento para cada nivel de estabilización de CO₂.

6.6 **Se estima que las reducciones de emisiones que permitirían con el tiempo estabilizar la concentración del CO₂ atmosférico a un nivel por debajo de 1.000 ppm, basándose en los perfiles mostrados en la Figura 6-1, y suponiendo que las emisiones de otros gases que no sean CO₂ siguen la proyección A1B del IEEE hasta el año 2100 y se mantienen constantes posteriormente, limitarían el incremento de la temperatura media mundial a 3,5°C o incluso menos hasta el año 2100.** Se estima que la temperatura media de la superficie del

GTI TIE Sección 9.3.3 &
GTI TIE Cuadro 9.3

⁷ La respuesta en equilibrio de la temperatura media mundial a la multiplicación por dos del CO₂ atmosférico se utiliza a menudo como una medida de sensibilidad climática. Las temperaturas mostradas en las Figuras 6-1 y 6-2 se extraen de una simulación simple calibrada para dar la misma respuesta que una serie de simulaciones complejas que tienen una sensibilidad climática comprendida entre 1,7 y 4,2°C. Esta gama es muy similar a la gama comúnmente aceptada (entre 1,5 y 4,5°C).

Existe una amplia zona de incertidumbre sobre el grado de calentamiento que podría resultar de cualquier concentración estabilizada de gases de efecto invernadero



→ TIE GTI Sección 9.3.3

Figura 6–2: Los cambios de temperatura con relación al 1990 en: a) el año 2100, y b) en equilibrio, se estiman utilizando una simulación climática sencilla para los perfiles WRE, como en la Figura 6–1. Las estimaciones mínimas y máximas para cada nivel de estabilización suponen una sensibilidad climática de 1,7 y 4,2°C, respectivamente. La línea central es una media de las estimaciones máximas y mínimas.

planeta puede aumentar en un 1,2 a 3,5°C hasta el año 2100 para los perfiles en que las concentraciones de CO₂ se estabilicen a niveles de 450 a 1.000 ppm. Así pues, aunque todos los perfiles de estabilización de la concentración de CO₂ analizados podrían evitar, durante el siglo XXI, que se produzcan los niveles más altos de las proyecciones de calentamiento del IEEE (1,4–5,8°C para el año 2100), debe decirse que en la mayoría de esos perfiles las concentraciones de CO₂ continuarán incrementándose más allá del año 2100. Debido a la gran inercia térmica de los océanos (véase la Pregunta 5), se prevé que las temperaturas han de continuar subiendo incluso después de la estabilización de CO₂ y de las concentraciones de otros gases de efecto invernadero, aunque más lentamente de lo que se proyecta para el período anterior a la estabilización, disminuyendo posteriormente con el tiempo. Puede ser que tarde muchos siglos en producirse la subida de la temperatura del equilibrio final, que está comprendida entre 1,5 y 3,9°C por encima de los niveles de 1990 para una estabilización a 450 ppm, y entre 3,5 y 8,7°C por encima de los niveles de 1990 para una estabilización a 1.000 ppm.⁸ Además, para un objetivo específico de estabilización de la temperatura existe una amplia gama de incertidumbres asociadas con el nivel requerido de estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero

⁸ Para todos estos escenarios, la contribución al calentamiento en equilibrio de otros gases de efecto invernadero y aerosoles es de 0,6°C para una sensibilidad baja climática y de 1,4°C para una sensibilidad alta climática. El aumento resultante del forzamiento radiativo es equivalente al que ocurre con un 28 por ciento adicional en las concentraciones finales de CO₂.

(véase la Figura 6-2). El nivel necesario de estabilización de las concentraciones de CO₂ para obtener un objetivo determinado de temperatura también depende de los niveles de otros gases que no sean CO₂. Los resultados de la única simulación climática completa que se ha utilizado para analizar los efectos regionales de la estabilización de las concentraciones de CO₂ proyectan que los cambios medios de la temperatura regional podrían ser parecidos en su perfil geográfico pero menores en magnitud que los previstos para un escenario de base que suponga un aumento anual de emisiones de CO₂ de 1 por ciento desde el año 1990.⁹

- 6.7 Las diferentes pautas temporales de emisiones que producen un nivel común para la estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero dan como resultado diferentes pautas temporales del cambio de temperaturas.** Para niveles de estabilización de CO₂ de 450, 550, 650, y 750 ppm, se han analizado en anteriores informes del IPCC dos grupos de pautas temporales de emisión, a los que se han denominado perfiles S y perfiles WRE.¹⁰ Los perfiles WRE permiten en los primeros decenios mayores emisiones que los perfiles S, pero luego exigen menos emisiones en los decenios posteriores, para lograr un nivel de estabilización determinado. Se estima que esta diferencia en la reducción de emisiones en los perfiles WRE ha de reducir los costos de mitigación (véase la Pregunta 7) pero podría tener como resultado un calentamiento inicial más rápido. La diferencia en las proyecciones de temperaturas para los conjuntos de pautas es de 0,2°C o menos en el año 2050, cuando la diferencia sea más marcada. Más allá del 2100, los cambios de temperatura de los perfiles WRE y S convergen. En la Figura 6-1c se comparan las proyecciones de temperaturas para los perfiles S y WRE.
- 6.8 El nivel del mar y las capas de hielo continuarán respondiendo al calentamiento durante muchos siglos después de que se estabilicen las concentraciones de gases de efecto invernadero (véase la Pregunta 5).** La elevación proyectada del nivel del mar debido a la expansión térmica en equilibrio es de 0,5 a 2m para un aumento en concentraciones de CO₂ desde el nivel preindustrial de 280 a 560 ppm, y de 1 a 4 m para un aumento de concentraciones de CO₂ de 280 a 1.120 ppm. El aumento observado en el siglo XX fue de 0,1 a 0,2 m. La elevación del nivel del mar proyectada sería mayor si se tuviera en cuenta el efecto del aumento de las concentraciones de otros gases de efecto invernadero. Existen otros factores que contribuyen a la elevación del nivel del mar en escalas temporales de siglos a milenios (véase la Pregunta 5). Las simulaciones evaluadas en el TIE predicen una elevación del nivel del mar de varios metros debido a la fusión de las capas de hielo polares (véase la Pregunta 4) y del hielo terrestre incluso para niveles de estabilización de CO₂ equivalente a 550 ppm.
- 6.9 La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero para estabilizar su concentración atmosférica podría retrasar y reducir los daños causados por el cambio climático.**
- 6.10 La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (mitigación) podría atenuar las presiones que reciben los sistemas naturales y humanos debido al cambio climático.** Si se reduce la velocidad del aumento de la temperatura media mundial y la elevación del nivel del mar, podríamos conseguir más tiempo para la adaptación. Por ello, las acciones de mitigación podrían retrasar y reducir los daños causados por el cambio climático y, por lo tanto, producir unos beneficios ambientales y socioeconómicos. En las respuestas a la Pregunta 7 se evalúan las medidas de mitigación y sus costos asociados.
- 6.11 Las medidas de mitigación para estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero podrían generar mayores beneficios, al reducir los daños.** La estabilización en niveles inferiores reduce el riesgo de sobrepasar los

⁹ Esta tasa de crecimiento de las emisiones es muy similar a la del escenario de emisiones IS92a.

¹⁰ Los perfiles S y WRE se tratan en el GTI del SIE y se describen con más detalle en el DT3 del IPCC.



GTI TIE Sección 9.3.3.1



GTI TIE RRP & GTI TIE Sección 11.5.4



GTII TIE Secciones 1.4.3, 18.8, & 19.5



GTI TIE Sección 9.3.3 & GTII TIE Secciones 1.4.3.5, 5.2, 5.4, & 19.3–6

umbrales de temperatura en los sistemas biofísicos en que existan. Se estima, por ejemplo, que la estabilización de CO₂ en 450 ppm puede producir en el año 2100 un aumento en la temperatura media mundial de unos 0,75–1,25°C menos de lo proyectado para una estabilización a 1.000 ppm (véase la Figura 6-2). En equilibrio, la diferencia sería de 2–5°C. La extensión geográfica del daño o pérdida de los sistemas naturales y el número de sistemas afectados—que aumenta con la magnitud y la velocidad del cambio climático—podrían ser menores a un nivel inferior de estabilización. De forma parecida, a un nivel inferior de estabilización se prevé que la gravedad de los impactos debidos a cambios climáticos extremos sea inferior, que menos regiones sufran impactos netos adversos en el sector comercial, que los efectos agregados mundiales sean menores y que se reduzcan los fenómenos a gran escala y de grandes consecuencias. La Figura 6-3 muestra un resumen de los riesgos y motivos de preocupación asociados con el cambio climático (véase el Recuadro 3-2) junto con las gamas de cambios de la temperatura media mundial en el año 2100 estimadas para los diferentes escenarios.¹¹

- 6.12 **Aún no existen unas estimaciones completas y cuantitativas de los beneficios de la estabilización a varios niveles de concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero.** Se han realizado avances para entender el carácter cualitativo de los impactos de un cambio climático futuro, pero no se han cuantificado totalmente los impactos que podrían resultar con los diferentes escenarios. Debido a la incertidumbre sobre la sensibilidad climática y sobre las pautas geográficas y estacionales de los cambios de las temperaturas, precipitaciones y otras variables y fenómenos climáticos, no se pueden determinar los impactos del cambio climático únicamente para escenarios específicos de emisiones. También existe una gran incertidumbre sobre los procesos claves y la sensibilidad y las capacidades de adaptación de los sistemas ante los cambios climáticos. Además, algunos impactos como los cambios en la composición y funcionamiento de los sistemas ecológicos, la extinción de especies y cambios en la salud humana, y la disparidad en la distribución de los impactos en diferentes regiones y poblaciones, no se pueden fácilmente expresar en unidades monetarias o de otro tipo. Debido a estas limitaciones, no se han determinado de forma completa los beneficios de las diferentes medidas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, incluidas las orientadas a estabilizar las concentraciones de estos gases en niveles determinados y, por lo tanto, no se pueden comparar directamente esos beneficios con los costos de la mitigación, a los fines de estimar los efectos económicos netos de dicha mitigación.
- 6.13 **La adaptación es una estrategia necesaria a todas las escalas para complementar los esfuerzos de mitigación del cambio climático. Si ambos elementos se utilizan de forma conjunta, pueden ayudar a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible.**

- 6.14 **La adaptación puede servir de complemento a la mitigación, en una estrategia económica para reducir los riesgos derivados del cambio climático.** Las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero, incluso la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a bajos niveles, no han de prevenir completamente el cambio climático ni el ascenso del nivel del mar, ni evitar algunos de sus impactos. Como respuesta a los cambios climáticos y a la elevación del nivel del mar se producirán muchas adaptaciones reactivas, y algunas ya han ocurrido. Además, el desarrollo de estrategias de adaptación planificadas para abordar los riesgos y aprovechar de las oportunidades puede servir de complemento a las medidas de mitigación para atenuar los efectos del cambio climático. Sin embargo, la adaptación puede suponer algunos costos, y no siempre se evitan todos los daños. La



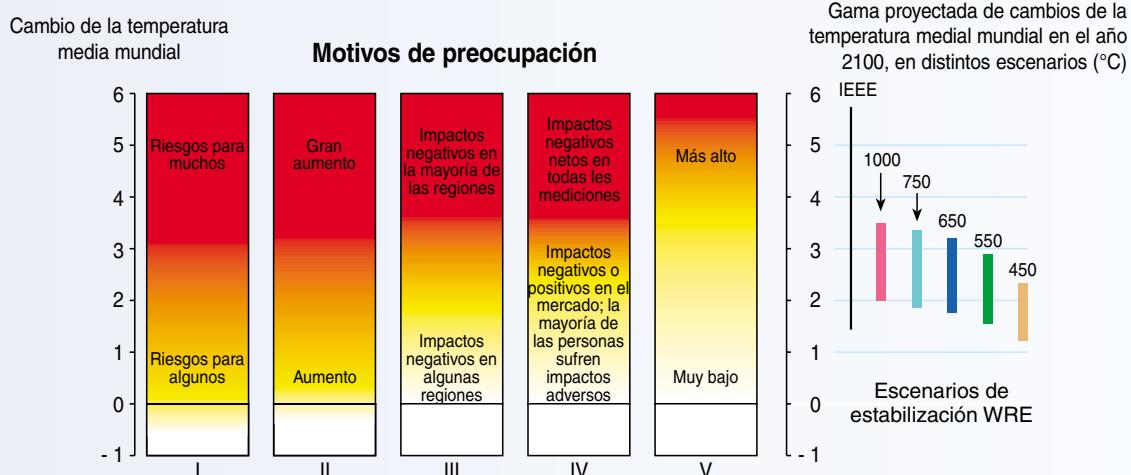
GTII TIE Secciones 19.4–5



GTII TIE Secciones 1.4.4.2, 18.3.5, & 18.4.1

¹¹ Los impactos del cambio climático varían según regiones, sectores y sistemas, y dichos impactos se verán influenciados por cambios regionales y estacionales en temperaturas y precipitaciones medias, variabilidad climática, frecuencias e intensidad de fenómenos climáticos extremos, y elevación del nivel del mar. El aumento de la temperatura media mundial se utiliza como una medida que resume las presiones ejercidas por el cambio climático.

Los riesgos de daños provocados por el cambio climático se reducirían con la estabilización de las concentraciones del CO₂



I Sistemas únicos y amenazados

- Extinción de especies.
- Pérdida de hábitat únicos, zonas húmedas costeras.
- Decoloración y muerte de los arrecifes de coral.

II Fenómenos climáticos extremos

Impactos sobre la salud, los bienes y el medio ambiente ocasionados por la mayor frecuencia e intensidad de algunos fenómenos climáticos extremos.

III Distribución de los impactos

- Cambios en el rendimiento de cultivos de cereales, que varían de aumentos a descensos según las regiones, pero que según las estimaciones descenderían en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales.
- Mayores impactos sobre la salud humana en países en desarrollo que en países desarrollados.
- Pérdidas netas proyectadas en el sector del mercado para muchos países en desarrollo; impactos mixtos en países desarrollados, con un calentamiento de unos pocos °C, e impactos negativos con un calentamiento mayor.

IV Impactos mundiales agregados

- Los impactos netos mundiales agregados estimados en sectores del mercado son positivos y negativos con un calentamiento de unos pocos °C, y negativos con un calentamiento mayor.
- Se prevé que haya más personas afectadas adversamente que beneficiadas, incluso con un calentamiento de menos de unos pocos °C.

V Riesgos de fenómenos de gran impacto y a gran escala

- Possible disminución importante de la circulación termohalina para el 2100.
- Fusión y ruptura de las capas de hielo, que contribuye a una importante elevación del nivel del mar (probabilidad muy baja antes de 2100; probabilidad más alta a lo largo de varios siglos).

Figura 6–3: Los riesgos de daños provocados por el cambio climático se reducirían con la estabilización de las concentraciones de CO₂. Se muestran los riesgos de impactos adversos debidos al cambio climático para diferentes magnitudes de aumento de la temperatura media mundial, utilizando el aumento de la temperatura media mundial como dato para representar la magnitud del cambio climático. Las estimaciones del aumento de la temperatura media mundial para el año 2100 con relación al año 1990 se muestran a la derecha de la figura para los escenarios que producirían una estabilización de las concentraciones atmosféricas del CO₂ y para el conjunto completo de proyecciones del IEEE. Muchos riesgos asociados con un calentamiento por encima de 3,5°C para el año 2100 se evitarían con la estabilización de las concentraciones de CO₂ a un nivel igual o inferior a 1.000 ppm. La estabilización a un nivel inferior reduciría aún más los riesgos. El color blanco indica impactos o riesgos neutros o pequeños (positivos o negativos); el amarillo denota impactos negativos en algunos sistemas o pequeños riesgos; y el rojo se emplea para impactos o riesgos negativos más extendidos y/o de mayor magnitud. La evaluación de los efectos o riesgos tiene en cuenta sólo la magnitud del cambio y no su velocidad. El aumento de la temperatura media mundial se utiliza como dato para representar la magnitud del cambio climático, pero los impactos estarían en función de la magnitud y velocidad de los cambios regionales y mundiales en el clima medio, la variabilidad climática y los fenómenos climáticos extremos, las condiciones sociales y económicas, y las medidas de adaptación, entre otros factores.



TIE GTI Sección 9.3.3, y
TIE GTII Sección 19.8.2

aplicación de medidas de adaptación junto con medidas de mitigación para reducir los impactos del cambio climático puede ser un enfoque más económico que si ambas se aplicaran de forma independiente. En la Pregunta 3 se evaluaron las posibilidades que ofrece la adaptación para reducir en gran medida muchos de los impactos adversos del cambio climático. Como existen gamas imbricadas de aumentos de la temperatura mundial asociados con los diferentes niveles de estabilización (véase la Figura 6–1c), hay varias opciones para adaptación que son apropiadas para cualquier gama de niveles de estabilización. Si se mejoran los conocimientos, es posible reducir las incertidumbres asociadas con los niveles particulares de estabilización y la identificación de estrategias de adaptación apropiadas.

- 6.15 Los problemas y costos de la adaptación se pueden disminuir con la mitigación del cambio climático.** La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero podría reducir la magnitud y velocidad de los cambios a los que es preciso adaptarse, lo que posiblemente incluye cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos. Cuanto más pequeños sean los cambios a los que se exponen los sistemas, y menor sea la velocidad de aumento de la tensión, habrá más tiempo para la adaptación y menos se necesitará modificar las prácticas actuales para soportar la variabilidad y los extremos climáticos (véase la Pregunta 3). Si se hacen esfuerzos más activos de mitigación, menores serán los costos de adaptación para lograr un nivel de eficacia específico.



GTII TIE Sección 18.2.2,
18.3, & 18.8

- 6.16 Las medidas mitigación y adaptación, si se diseñan correctamente, pueden impulsar los objetivos del desarrollo sostenible.** Tal como se ha descrito en la Pregunta 3, los riesgos asociados con el cambio climático pueden debilitar el progreso hacia el desarrollo sostenible (por ejemplo, daños producidos por fenómenos climáticos extremos, escasez y degradación del agua, problemas asociados con el suministro de alimentos y hambre, degradación de las tierras, y deterioro de la salud humana). Al disminuir estos riesgos, las políticas de adaptación y mitigación del cambio climático pueden mejorar las perspectivas del desarrollo sostenible.¹²



GTII TIE Sección 18.6.1,
& GTIII TIE Secciones
2.2.3 & 10.3.2

- 6.17 Se proyecta que el cambio climático tenga diferentes efectos tanto dentro de un país determinado como entre distintos países. El reto del cambio climático plantea un tema de equidad muy importante.** Las presiones provocadas por el cambio climático pueden agravar las desigualdades entre los países desarrollados y los en desarrollo; si se reducen estas presiones gracias a la mitigación y mejora de la capacidad de adaptación, es posible atenuar las desigualdades. Se estima que los habitantes de los países en desarrollo, especialmente los más pobres, son más vulnerables al cambio climático que los habitantes de los países desarrollados (véase la Pregunta 3). La reducción de la velocidad del calentamiento y de la elevación del nivel del mar y el incremento de la capacidad para adaptarse al cambio climático podrían redundar en beneficio de todos los países, especialmente los países en desarrollo.



GTII TIE Secciones 18.5.3
& 19.4

- 6.18 La reducción y freno del cambio climático también puede promover la equidad entre las generaciones.** Las emisiones producidas durante la generación actual van a afectar a muchas generaciones futuras debido a la inercia del sistema climático atmosférico-oceánico y a los efectos a veces irreversibles del cambio climático sobre el medio ambiente. En general, se prevé que las generaciones futuras sean más prósperas, instruidas e informadas, más avanzadas tecnológicamente que la generación actual y, por lo tanto, que en muchos respectos sean más capaces de adaptarse. Pero los cambios que se produzcan en los decenios venideros se han de acumular, y algunos de ellos podrían alcanzar proporciones que pongan a prueba la capacidad de muchas sociedades para soportarlos. En el caso de los efectos irreversibles, como la extinción de especies o la pérdida de ecosistemas únicos, no existen respuestas de adaptación para remediarlos. La mitigación del cambio climático también podría reducir los riesgos que presuponen para las generaciones futuras las actividades de la generación actual.



GTII TIE Secciones 1.2 &
18.5.2, & GTIII TIE Sección
10.4.3

¹² Las relaciones entre las acciones de mitigación, el desarrollo sostenible y la equidad se tratan en la Pregunta 7. Las relaciones entre la adaptación, el desarrollo sostenible y la equidad se tratan en la Pregunta 3.

P7

Pregunta 7

¿Qué se conoce sobre las posibilidades, los costos y beneficios y el marco temporal para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero?

- ¿Cuáles serían los costos sociales y económicos y las consecuencias, en términos de equidad, de las opciones sobre políticas y medidas, y de los mecanismos del Protocolo de Kyoto que se deberían considerar para abordar los cambios climáticos a nivel regional y mundial?
- ¿Qué opciones de investigación y desarrollo, inversiones y otras políticas se podrían considerar como las más eficaces para mejorar el desarrollo e implementación de tecnologías para hacer frente al cambio climático?
- ¿Qué tipos de opciones económicas y políticas se podrían considerar para superar los obstáculos actuales y potenciales, y para estimular la transferencia de tecnología de los sectores públicos y privados y su implantación en diferentes países, y qué efectos tendrían sobre las emisiones proyectadas?
- ¿Cómo afectaría la aplicación oportuna de las opciones indicadas a los costos y beneficios asociados y a las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero en el próximo siglo, o incluso después?

7.1 Esta pregunta se centra en las posibilidades y los costos de medidas de mitigación a corto y a largo plazo. En las Preguntas 5 y 6 se abordan la cuestión de los beneficios primarios de la mitigación (los costos y daños evitados gracias a la atenuación del cambio climático), y en esta respuesta y en la respuesta a la Pregunta 8 se tratan los beneficios secundarios de esa mitigación. Esta respuesta describe una serie de factores que contribuyen a importantes discrepancias e incertidumbres en las estimaciones cuantitativas sobre los costos de las opciones de mitigación. El SIE describe dos tipos de estudios para la estimación de los costos: el enfoque de abajo arriba, que a menudo evalúa los costos y potenciales a corto plazo, y se desarrolla a partir de evaluaciones de tecnologías y sectores específicos; y el enfoque de arriba abajo, que parte de relaciones macroeconómicas. Estos dos enfoques producen diferencias en la estimación de costos, que se han corregido hasta cierto punto desde la labor del SIE. La respuesta que se muestra a continuación informa sobre las estimaciones de costos para ambos enfoques a corto plazo, y para el enfoque de arriba abajo a largo plazo. En primer lugar se tratan las opciones de mitigación y su potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y secuestro de carbono. A continuación se muestran los costos para lograr la reducción de emisiones que permita cumplir con las restricciones de emisiones a corto plazo, los objetivos para la estabilización a largo plazo, y el calendario de reducciones para alcanzar dichos objetivos. Por último, en la respuesta se abordan los problemas de equidad asociados con la mitigación del cambio climático.

Posibilidades, obstáculos, oportunidades, políticas y costos de la reducción a corto plazo de las emisiones de gases de efecto invernadero

7.2 **Existe un importante potencial tecnológico y biológico para la mitigación a corto plazo.**

7.3 **Desde el SIE se ha realizado un importante progreso tecnológico en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y dicho progreso ha sido más rápido de lo que se había anticipado.** Se están haciendo avances en una amplia gama de tecnologías en diferentes etapas de desarrollo—por ejemplo, la introducción en el mercado de turbinas eólicas; la rápida eliminación de gases que son subproductos industriales, como el N₂O resultante de la producción de ácido adipílico y los perfluorocarbonos a partir de la producción de aluminio; coches con motores híbridos eficientes; el desarrollo de la tecnología de células energéticas; y la demostración del almacenamiento subterráneo de CO₂. Entre las opciones tecnológicas para la reducción de emisiones figura la mejor eficiencia de dispositivos para los usuarios finales y las tecnologías de conversión energética, la adopción de tecnologías energéticas con un consumo muy bajo o nulo de carbono, la mejora de la gestión energética, la reducción de las emisiones de gases y subproductos industriales, y la retirada y almacenamiento de carbono. El Cuadro 7-1 resume los resultados de muchos estudios sectoriales, sobre todo a nivel regional, nacional y de proyecto, y algunos a nivel mundial, que nos ofrecen unas estimaciones de las reducciones potenciales de emisiones de gases de efecto invernadero para el marco cronológico 2010 y 2020.



GTIII TIE Secciones 3.3-8, & GTIII TIE Capítulo 3 Apéndice

7.4 **Los bosques, las tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen muchas posibilidades de mitigación del carbono. La conservación y secuestro de carbono, aunque no necesariamente con carácter permanente, pueden dar tiempo para que se desarrollem y pongan en práctica otras medidas.** La mitigación biológica puede producirse mediante tres estrategias: a) la conservación de los yacimientos de carbono ya existentes, b) el secuestro mediante un aumento de la capacidad de los yacimientos de carbono¹³ y c) el uso de productos biológicos obtenidos de manera sostenible (por ejemplo, la madera como sustituto de productos en la industria de la



GTIII TIE Secciones 3.6.4 & 4.2-4, & IEUTCS

¹³ El cambio del uso de las tierras podría influenciar la concentración atmosférica de CO₂. Hipotéticamente, si todo el carbono emitido por los cambios históricos del uso de las tierras se pudiera poner de nuevo en la biosfera terrestre durante lo que queda del siglo (por ejemplo, mediante la reforestación) las concentraciones de CO₂ se reducirían en unos 40–70 ppm.

Cuadro 7-1	Estimaciones del potencial de reducciones mundiales de emisiones de gases de efecto invernadero el año 2010 y 2020 (GTIII RRP Cuadro RRP-1).				
Sector	Emisiones históricas en el año 1990 [Mt C _{eq} año ⁻¹]	Nivel histórico de crecimiento anual del C _{eq} en el período 1990-95 [porcentaje]	Reducciones potenciales de emisiones en el año 2010 [Mt C _{eq} año ⁻¹]	Reducciones potenciales de emisiones en el año 2020 [Mt C _{eq} año ⁻¹]	Costo neto directo por tonelada de carbono evitado
Construcción ^a sólo CO ₂	1,650	1.0	700–750	1,000–1,100	La mayoría de las reducciones se obtienen con costos netos directos negativos.
Transporte sólo CO ₂	1,080	2.4	100–300	300–700	La mayoría de los estudios muestran costos netos directos de menos de USD 25 por t C pero dos sugieren que los costos netos directos han de superar los USD 50 por t C.
Industria sólo CO ₂ – eficiencia energética – eficiencia de materiales	2,300	0.4	300–500 ~200	700–900 ~600	Más de la mitad se obtienen con un costo neto directo negativo. Los costos son inciertos.
Industria gases que no son CO ₂	170		~100	~100	Los costos de la reducción de emisiones de N ₂ O son de USD 0–10 por t C _{eq} .
Agricultura ^b sólo CO ₂ gases que no son CO ₂	210 1,250–2,800	n/a	150–300	350–750	La mayoría de las reducciones han de costar entre USD 0–100 por t C _{eq} , con oportunidades limitadas para opciones de costos netos directos negativos.
Residuos ^b sólo CH ₄	240	1.0	~200	~200	Cerca del 75 por ciento de los ahorros, como recuperación de CH ₄ de vertederos a costo neto directo negativo; 25 por ciento a un costo de USD 20 por t C _{eq} .
Aplicaciones de sustitución en virtud del Protocolo de Montreal gases que no son CO ₂	0	n/a	~100	n/a	Cerca de la mitad de las reducciones debidas a la diferencia en los datos de referencia de los estudios y valores de referencia del IEEE. La mitad restante de las reducciones se obtienen con costos netos directos negativos por debajo de USD 200 por t C _{eq} .
Suministro de energía y reconversión ^c sólo CO ₂	(1,620)	1.5	50–150	350–700	Existen opciones con costos netos directos negativos; hay muchas opciones disponibles por menos de USD 100 por t C _{eq} .
Total	6,900–8,400 ^d		1,900–2,600 ^e	3,600–5,050 ^e	

^a Los edificios incluyen aparatos, edificios y armazones de edificios.

^b La gama para la agricultura se debe principalmente a un gran número de incertidumbres sobre las emisiones de CH₄ y N₂O y las emisiones de CO₂ relacionadas con los suelos. Entre los residuos predominan los vertidos de metano, y los otros sectores se podrían estimar con más precisión, ya que predomina el CO₂ de origen fósil.

^c Incluido en los valores de sectores supra. Las reducciones incluyen sólo las opciones para generación de electricidad (sustitución del combustible por gas/nuclear, captura y almacenamiento de CO₂, mejora de la eficiencia en las centrales eléctricas, y formas renovables de energía).

^d El total incluye todos los sectores estudiados en el Capítulo 3 del TIE GTIII para los seis gases. Excluye las fuentes de CO₂ no relacionadas con la energía (producción de cemento, 160 Mt C; faroles de gas, 60 Mt C; y cambio en el uso de las tierras, 600–1,400 Mt C) y la energía utilizada para el cambio de combustibles en los totales del sector de usos finales (630 Mt C). Si se añadiera el refinado de petróleo y los gases de hornos de coque, las emisiones de CO₂ mundiales en el 1990 de 7,100 Mt C habrían ascendido en un 12 por ciento. Conviene observar que no se incluyen las emisiones por silvicultura y sus opciones de mitigación con sumideros de carbono.

^e Los escenarios del IEEE de referencia (para los seis gases incluidos en el Protocolo de Kyoto) proyectan una gama de emisiones de 11.500–14.000 Mt C_{eq} para el año 2010 y de 12.000–16.000 Mt C_{eq} para el 2020. Las estimaciones de reducciones de emisiones son sumamente compatibles con las tendencias de emisiones de referencia del escenario B2 del IEEE. Las reducciones potenciales tienen en cuenta el giro normal del capital. No se limitan a opciones económicas, pero excluyen las opciones con costos superiores a USD 100 t C_{eq} (excepto para los gases del Protocolo de Montreal) y las opciones que no se han de adoptar mediante el empleo de políticas generalmente aceptadas.

construcción que precisan una gran cantidad de energía y la biomasa como sustituto de los combustibles fósiles). La conservación de los yacimientos de carbono amenazados puede ayudar a evitar emisiones, si se previenen las fugas, pero sólo será sostenible cuando se hayan abordado las fuerzas socioeconómicas que impulsan la deforestación y la pérdida de otros yacimientos de carbono. El secuestro refleja la dinámica biológica del crecimiento, que a menudo comienza lentamente, para pasar a un punto máximo antes de decaer durante decenios o siglos. Las posibilidades de las opciones biológicas para la mitigación se sitúan en el orden de 100 Gt C (acumulado) para el año 2050, lo que es equivalente a un 10 a 20 por ciento de las emisiones proyectadas provenientes de combustibles fósiles durante ese mismo período, aunque existen grandes incertidumbres en relación con estas cifras. La consecución de este potencial depende de la disponibilidad de tierras y agua, además de la rapidez con que se incorporen prácticas de gestión de dichas tierras. Las mayores posibilidades para la mitigación biológica del carbono atmosférico se dan en las regiones tropicales y subtropicales.

7.5 Si se quiere aprovechar las oportunidades, entre las que figuran tecnologías y medidas para la reducción de gases de efecto invernadero, se tendrá que aplicar medidas de política para superar los obstáculos.

- 7.6 Para que la aplicación de las opciones para la mitigación de gases de efecto invernadero sea satisfactoria se deberán superar los obstáculos técnicos, económicos, políticos, culturales, sociales, de comportamiento y/o institucionales que impiden aprovechar completamente las oportunidades tecnológicas, económicas y sociales de dichas opciones (véase la Figura 7-1).** Las oportunidades potenciales de mitigación y los tipos de obstáculo varían según las regiones, los sectores y el tiempo. La mayoría de los países se podrían beneficiar de formas innovadoras de financiación, aprendizaje social, innovación, reformas institucionales, la supresión de obstáculos comerciales y la erradicación de la pobreza. Esto se debe a la gran variación en la capacidad de mitigación. La población pobre de cualquier país cuenta con limitadas oportunidades para la incorporación de tecnologías o cambios en su comportamiento social, sobre todo



Cuadro 7-2 Estimaciones de la reducción potencial de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero en el año 2010: uso de las tierras, cambio del uso de las tierras y silvicultura.			
<i>Categorías de las opciones de mitigación</i>	<i>Reducciones potenciales de emisiones en el año 2010 [Mt C año⁻¹]</i>	<i>Reducciones potenciales de las emisiones [Mt C]</i>	
Forestación/reforestación (FR) ^a	197–584		Incluye el carbono contenido en la biomasa por encima y por debajo del suelo. Excluye el carbono contenido en suelos y en materia orgánica muerta.
Reducción de la deforestación (RD) ^b		1,788	El potencial para la reducción de la deforestación es muy incierto para los trópicos y podría tener un error de hasta ±50 por ciento.
Mejora de la gestión en un uso de las tierras (MGU) ^c	570		Se supone que se trata del mejor conjunto de prácticas de gestión para cada uso de la tierra y zona climática.
Cambio del uso de las tierras (CUT) ^c	435		
Total	1,202–1,589	1,788	

^a Fuente: IEUTCS Cuadro RRP-3. Basado en el escenario de definición del IPCC. No se dispone de información para otros escenarios de definición. El potencial se refiere a la gama estimada de cambio medio de existencias contabilizadas durante el período 2008–2012 (Mt C año⁻¹).

^b Fuente: IEUTCS Cuadro RRP-3. Basado en el escenario de definición del IPCC. No se dispone de información para otros escenarios de definición. El potencial se refiere al cambio medio de existencias (Mt C).

^c Fuente: IEUTCS Cuadro RRP-4. El potencial se refiere al cambio neto estimado de existencias de carbono en el año 2010 (Mt C año⁻¹). La lista de actividades no es excluyente ni completa, y es poco probable que todos los países ejecuten todas las actividades. Algunas de estas estimaciones reflejan un elevado grado de incertidumbre.

Conceptos de potencial de mitigación

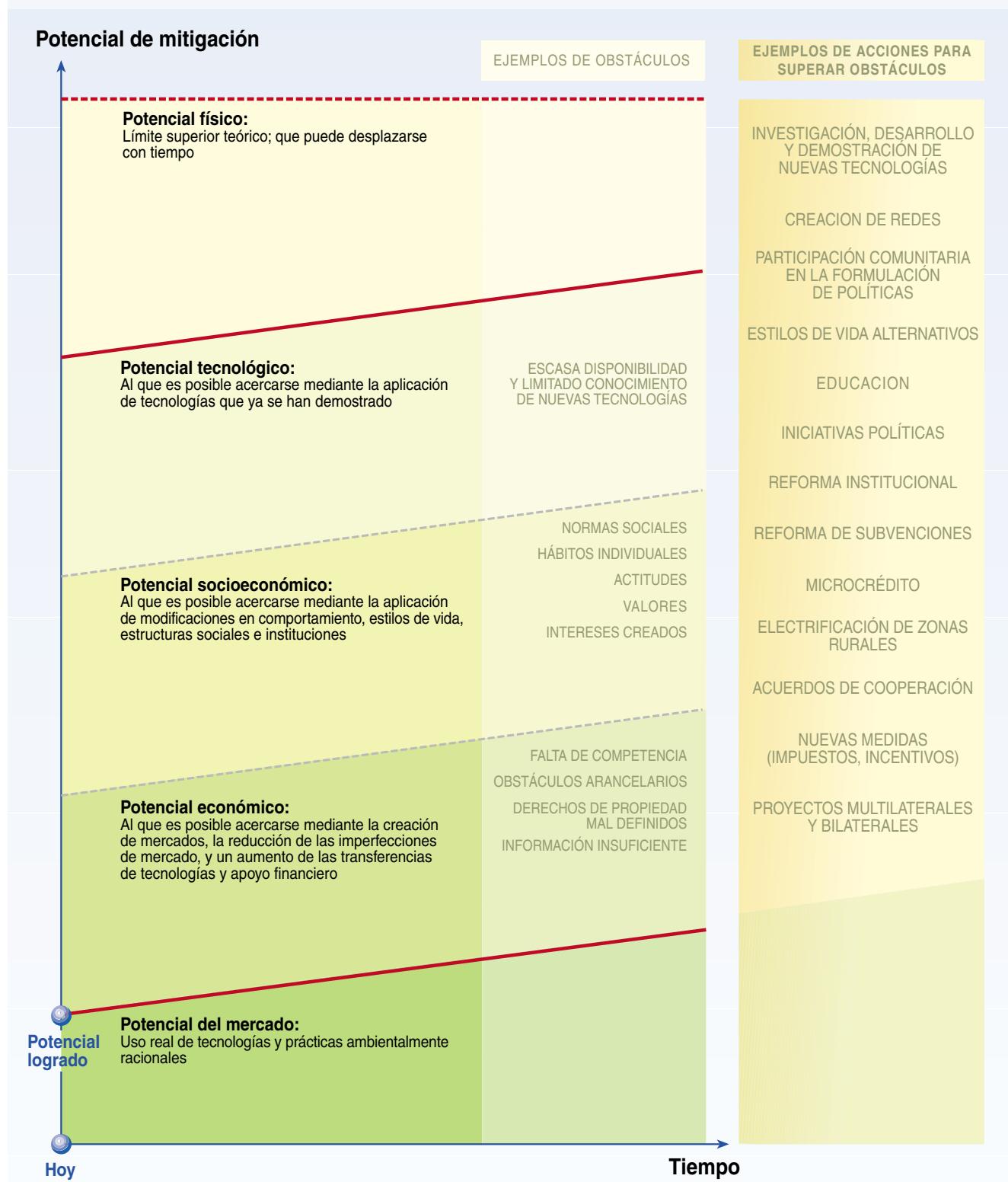


Figura 7-1: Penetración de tecnologías (incluidas prácticas) ambientalmente racionales: marco conceptual.

Diversos obstáculos impiden la realización de los diferentes potenciales. Existen oportunidades para superar dichos obstáculos mediante proyectos, programas y acuerdos financieros innovadores. Una medida puede servir para abordar más de un obstáculo. Se pueden adoptar medidas para abordar obstáculos a todos los niveles simultáneamente. Su aplicación puede exigir políticas, medidas e instrumentos políticos. El potencial socioeconómico puede situarse en cualquier punto entre el potencial económico y el tecnológico.

si no forman parte de la economía monetaria. La mayoría de los países se podrían beneficiar de formas innovadoras de financiación, reformas institucionales, y la supresión de obstáculos comerciales. Además, las oportunidades futuras dependen principalmente, en los países industrializados, de la eliminación de obstáculos sociales y de comportamiento; en los países con economías en transición, de la racionalización de precios; y en países en desarrollo, de la racionalización de precios, unida a un mayor acceso a datos e información, la disponibilidad de tecnologías avanzadas y de recursos financieros, y el desarrollo de la formación y las capacidades. Sin embargo, en un país determinado, la supresión de cualquier combinación de obstáculos puede crear oportunidades.

- 7.7 Las respuestas nacionales a los cambios climáticos pueden ser más eficaces si en la práctica adoptan la forma de una serie de instrumentos políticos para limitar o reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero.** Estos instrumentos políticos nacionales pueden consistir—según las circunstancias nacionales—en impuestos sobre emisiones/carbono/energía, permisos comercializables o no comercializables, políticas sobre el uso de las tierras, concesión y/o eliminación de subvenciones, sistemas de depósitos/devoluciones, normas de tecnología o rendimiento, obligaciones de una combinación de energía, la prohibición de productos, acuerdos voluntarios, etiquetado ecológico, gasto e inversión por parte del gobierno, y apoyo a la investigación y el desarrollo (I y D). La documentación sobre este tema no da en general ninguna preferencia a un instrumento político en particular.



GTIII TIE Secciones 1.5.3,
5.3-4, & 6.2

- 7.8 Las medidas coordinadas entre países y sectores pueden ayudar a reducir los costos de mitigación, al abordar las cuestiones de competitividad, los posibles conflictos con normas del comercio internacional y las fugas de carbono. Un grupo de países que deseé limitar sus emisiones colectivas de gases de efecto invernadero podría acordar la aplicación de instrumentos internacionales bien diseñados.** Los instrumentos evaluados en el GTIII TIE, y que se desarrollan en el Protocolo de Kyoto, son el comercio de derechos de emisiones, la aplicación conjunta (JI), y el Mecanismo para un desarrollo limpio (CDM). Otros instrumentos internacionales también evaluados en el GTIII TIE incluyen los impuestos coordinados o armonizados sobre emisiones/carbono/energía, normas sobre tecnologías o productos, acuerdos voluntarios con los sectores industriales, transferencias directas de recursos financieros y tecnología, y la creación coordinada de condiciones favorables (por ejemplo la reducción de subvenciones para combustibles fósiles). Hasta la fecha sólo se han tenido en cuenta algunos de estos mecanismos en algunas regiones.



GTIII TIE Secciones 6.3-4
& 10.2

- 7.9 La transferencia de tecnologías entre países y regiones podría ampliar el abanico de opciones a nivel regional. Las economías de escala y aprendizaje podrán reducir el costo de su incorporación.**

- 7.10 Una capacidad humana y organizativa adecuada en cada etapa puede aumentar el flujo y la calidad de la tecnología que se transfiere tanto dentro como entre los países.** La transferencia de tecnologías ambientalmente apropiadas se ha llegado a percibir como un elemento esencial en las estrategias mundiales para lograr el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático. La disponibilidad local de conocimientos técnicos, empresariales, de gestión y normativos puede mejorar el flujo de capital internacional, ayudando a la promoción de transferencias tecnológicas. Los conocimientos técnicos se mejoran con la creación de competencias en servicios asociados, conocimientos y experiencia organizativa y una mejora de la capacidad para formular y hacer cumplir las normas. El fomento de capacidad es un proceso constante que necesita seguir el ritmo de la evolución de las opciones de mitigación a medida que respondan a cambios tecnológicos y técnicos.



GTIII TIE Secciones 2.4.5
& 10.3.3, & IECMTTT RRP

- 7.11 Con unas políticas económicas positivas, unos marcos normativos, y con transparencia y estabilidad política, los gobiernos pueden crear el entorno**



GTIII TIE Sección 10.3.3
& IECMTTT RRP

propicio para la transferencia de tecnología en los sectores público y privado.

A un macrónivel, se pueden considerar medidas como la reforma del sistema jurídico, la protección de los derechos de propiedad intelectual, mercados abiertos y competitivos, la reducción de la corrupción, disuasión de prácticas empresariales restrictivas, la reforma de créditos a la exportación, el seguro de riesgo político, la reducción de la asistencia condicionada, el desarrollo de infraestructuras físicas y de comunicaciones, y la mejora de la estabilidad macroeconómica. A niveles sectorial y de proyecto, las medidas podrían consistir en la racionalización de los precios de combustibles y electricidad, la reforma institucional del sector energético, la mejora de la titularidad de las tierras, procesos transparentes para la aprobación de proyectos, la garantía que se evaluarán las necesidades locales en tecnología y el impacto social de estas tecnologías, iniciativas transnacionales de investigación y desarrollo sobre tecnologías innovadoras, y programas de demostración.

- 7.12 **La transferencia efectiva de tecnologías se ve favorecida por la constitución de redes entre partes interesadas privadas y públicas, y un enfoque centrado en productos y técnicas con múltiples ventajas secundarias que satisfagan o se adapten a las necesidades y prioridades de desarrollo local.** Los sistemas nacionales de innovación (NSI) pueden contribuir a este objetivo mediante actividades como a) el fortalecimiento de las instituciones educativas; b) el acopio, evaluación y difusión de información técnica, comercial, financiera y jurídica; c) la evaluación de tecnologías, proyectos de demostración y servicios de divulgación; d) el apoyo a las organizaciones de mercado intermediarias; y e) mecanismos innovadores de financiación. El aumento de los flujos de ayuda nacional y multilateral puede ayudar a movilizar y multiplicar los recursos financieros adicionales, incluida la ayuda oficial para el desarrollo, en apoyo de las actividades de los NSI.



- 7.13 **En los países participantes, un aumento de la cooperación internacional, por ejemplo, el comercio de derechos de emisiones¹⁴ y la transferencia tecnológica, reducirá los costos de mitigación.**

- 7.14 Un gran número de estudios apoyados en enfoques de arriba abajo y de abajo arriba (véanse las definiciones en el Recuadro 7–1) informan sobre los costos de la mitigación de los gases de efecto invernadero. Las estimaciones sobre los costos de limitación de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de combustibles fósiles varían bastante y dependen de las metodologías elegidas, las hipótesis subyacentes, los escenarios de emisiones, los instrumentos políticos, el año del informe y otros criterios.

- 7.15 **Los estudios de abajo arriba indican que existen unas importantes oportunidades de mitigación a bajo costo.** Según los estudios de base hacia arriba (véase el Recuadro 7–1) sobre tecnologías y sectores específicos, la mitad de esa reducción potencial de emisiones se podría lograr para el año 2020, con beneficios directos (energía ahorrada) que sobrepasan los costos directos (capital neto, costos de explotación y mantenimiento); la otra mitad se lograría a un costo neto directo de hasta USD 100 por t C_{eq} (a precios de 1998). Sin embargo, por razones que se describen a continuación, el potencial obtenido puede ser diferente. Estas estimaciones de costos netos directos se realizan utilizando unos tipos de descuento comprendidos entre el 5 y el 12 por ciento (comparables con los tipos de descuento del sector público). La tasa de rendimiento interna privada varía enormemente, y es a menudo mucho mayor, lo que afecta el ritmo de incorporación de estas tecnologías por parte de entidades privadas. Según los escenarios de emisiones, esto podría permitir reducir las emisiones mundiales por debajo de los



¹⁴ Un enfoque basado en el mercado para lograr unos objetivos ambientales que permite que aquellos países que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero por debajo de lo que se precisa, puedan utilizar o comercializar las reducciones en exceso para compensar las emisiones en otra fuente dentro o fuera del país. Aquí el término se utiliza ampliamente para incluir el comercio en asignación de emisiones, y colaboraciones basadas en proyectos.

Recuadro 7-1	Enfoques de arriba abajo y de abajo arriba para la estimación de costos: factores críticos e importancia de las incertidumbres.
---------------------	---

Por una serie de razones, las estimaciones cuantitativas específicas de los costos de mitigación se caracterizan por importantes diferencias e incertidumbres. La estimación de costos difiere debido a: a) la metodología utilizada en el análisis, y b) los factores e hipótesis subyacentes incorporadas en el análisis. Las simulaciones de abajo arriba incorporan estudios detallados de los costos de ingeniería de una amplia variedad de tecnologías disponibles y previstas, y describen con todo detalle el consumo de energía. Sin embargo, utilizan normalmente relativamente poca información sobre el comportamiento del consumidor en temas no relacionados con la energía y las interacciones con otros sectores de la economía. Los costos estimados por los enfoques de abajo arriba pueden variar desde valores negativos (debido a la incorporación de opciones de “medidas útiles en todo caso”) a valores positivos. Los costos negativos indican que los beneficios energéticos directos de una opción de mitigación superan sus costos directos (costos netos de capital, explotación y mantenimiento). Sin embargo, los obstáculos de mercado e institucionales pueden impedir, retrasar o encarecer la adopción de estas opciones. La inclusión de los costos de aplicación y de políticas se añadiría a los costos estimados por las simulaciones de abajo arriba.

Las simulaciones de arriba abajo son simulaciones agregadas de la economía que a menudo se basan en el análisis de tendencias y relaciones históricas para predecir las interacciones de gran escala entre sectores de la economía, especialmente las interacciones entre el sector de la energía y el resto de la economía. Las simulaciones de arriba abajo incorporan normalmente poca información sobre el consumo de energía y los cambios tecnológicos. Los costos estimados por las simulaciones de arriba abajo normalmente varían entre cero y valores positivos. Ello se debe a la hipótesis de que en los escenarios de referencia y en los de políticas se adoptan las opciones sobre costos estimadas en las simulaciones de abajo arriba. Este es un factor importante a la hora de evaluar las diferencias de las estimaciones en estos dos tipos de simulaciones.

La incorporación de algunos factores llevará a unas estimaciones de costos menores, y la incorporación de otros, a estimaciones mayores. La incorporación de múltiples gases de efecto invernadero, sumideros, cambios técnicos inducidos y el comercio de derechos de emisiones pueden reducir los costos. Además, los estudios sugieren que en algunas fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero se puede limitar el costo social a cero o negativo, en la medida en que las políticas aprovechen las oportunidades de medidas útiles en todo caso, tales como la corrección de imperfecciones de mercado, los beneficios secundarios, y el reciclado eficaz de los ingresos fiscales. La cooperación internacional que facilite una reducción económica de las emisiones puede reducir los costos de mitigación. Por otra parte, si se toman en cuenta los macroimpactos potenciales a la economía a corto plazo, las limitaciones sobre el uso de mecanismos de mercado nacionales e internacionales, los altos costos de las transacciones, la inclusión de costos suplementarios y medidas ineficaces en el reciclado de impuestos, ello puede aumentar los costos estimados. Como ningún análisis incorpora todos los factores de importancia que afectan a los costos de mitigación, los costos estimados pueden no reflejar los costos reales de la aplicación de medidas de mitigación.



TIE GTIII Secciones 3.3–8,
7.6.3, 8.2–3, y 9.4, y TIE
GTIII, Recuadro RRP–2

niveles del año 2000 en el período 2010–2020, con los costos directos netos estimados. La consecución de estos niveles de reducción supone costos adicionales de aplicación, que en algunos casos pueden ser enormes, así como la posible necesidad de políticas de apoyo, un aumento de investigación y desarrollo, una transferencia eficaz de tecnología y la superación de otros tipos de obstáculos. Los diferentes estudios mundiales, regionales, nacionales, sectoriales y de proyectos evaluados en el GTII TIE tienen diferente alcance y parten de diferentes hipótesis. No existen estudios realizados para cada sector y región.

- 7.16 **Las estimaciones de costos basadas en análisis de abajo arriba comunicados hasta la fecha sobre la mitigación biológica varían en gran medida y no toman en cuenta todos los elementos de importancia en esos costos.** Las estimaciones de costos que utilizan los análisis de abajo arriba realizados hasta la fecha sobre mitigación biológica varían enormemente desde USD 0,1 hasta USD 20 por t C en varios países tropicales y de USD 20 a USD 100 por t C en países no tropicales. Los métodos de análisis financiero y del cálculo del carbono no han podido compararse. Además, en muchos casos, los cálculos de costos no abarcan, entre otras cosas, los costos infraestructurales, los tipos de descuento apropiados, la vigilancia, los costos de la recopilación y aplicación de datos, los costos de oportunidad de tierras y mantenimiento, y otros costos recurrentes, que a menudo se han excluido o pasado por alto. La parte inferior de la gama se ha evaluado con una tendencia a la baja, aunque nuestros conocimientos y el tratamiento de los costos están mejorando con el tiempo. Las opciones para mitigación biológica pueden reducir o incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero que no son CO₂.



GTIII TIE Secciones 4.3–4

7.17 Las proyecciones de los costos de reducción de emisiones que suponen las opciones políticas a corto plazo aplicadas sin comercio de derechos de emisiones del Anexo B para alcanzar un objetivo de emisiones de CO₂ a corto plazo, tal y como informan varias simulaciones¹⁵ de la economía mundial (simulaciones de arriba abajo), varían entre las diferentes regiones (tal y como muestran las líneas marrones en la Figura 7-2a para zonas del Anexo II y el Cuadro 7-3a). Los motivos de la diferenciación entre las simulaciones dentro de una región determinada radican en las distintas hipótesis adoptadas sobre el crecimiento futuro del PIB y los cambios en coeficiente de utilización del carbono y de la energía (diferentes vías de desarrollo socioeconómico). Lo mismo se puede decir de las diferencias entre regiones. Estas simulaciones parten de la base que los instrumentos políticos nacionales son eficientes y coherentes con los instrumentos políticos internacionales. Es decir, suponen que dentro de cada región se realizan las reducciones mediante el empleo de mecanismos de mercado (como límites y comercio). En la medida en que las regiones emplean una combinación de mecanismos de mercado y políticas de mando y control, es probable que los costos sean mayores. Por otra parte, la inclusión de sumideros de carbono, gases de efecto invernadero que no son CO₂, cambios técnicos inducidos, beneficios secundarios, o reciclado de ingresos con una orientación específica podrían reducir los costos.



GTIII TIE Secciones 8.2–3

7.18 Las simulaciones utilizadas en este estudio muestran que los mecanismos de Kyoto son importantes para controlar los riesgos de altos costos en determinados países y, por lo tanto, podrían servir de complemento a los mecanismos de política nacionales y minimizar los riesgos de impactos internacionales poco equitativos. Por ejemplo, las líneas marrones y azules en la Figura 7-2b y en el Cuadro 7-3b muestran que los costos marginales nacionales para alcanzar los objetivos de Kyoto oscilan entre USD 20 y USD 600 por t C, sin comercio de derechos de emisión del Anexo B, y entre USD 15 y USD 150 por t C con ese comercio, respectivamente. Cuando se realizaron estos estudios, la mayoría de las simulaciones no incluían los sumideros, los gases de efecto invernadero que no eran CO₂, el Mecanismo para un desarrollo limpio, opciones de costos negativos, beneficios secundarios, o reciclado de ingresos con orientación específica, que reducen los costos estimados. Por otra parte, estas simulaciones se basan en hipótesis que subestiman los costos, porque suponen un uso completo del comercio de derechos de emisiones sin costos de transacción, tanto dentro como entre países del Anexo B, y que las medidas de mitigación sean perfectamente eficientes y que las economías empiecen a ajustarse entre 1990 y 2000 a la necesidad de cumplir con los objetivos de Kyoto. Las reducciones de costo provenientes del comercio de derechos del Anexo B dependerán de los detalles de la aplicación, incluida la compatibilidad de los mecanismos nacionales e internacionales, las limitaciones, y los costos de transacción. Lo siguiente revela las amplias variaciones en el cambio del PIB estimado para los países del Anexo B:

- Para países del Anexo II, los estudios de simulación citados muestran reducciones del PIB, en relación con los niveles proyectados para el año 2010. La Figura 7-2 indica que, sin comercio de derechos de emisiones por partes de los países del Anexo B, las pérdidas oscilan entre un 0,2 y un 2 por ciento del PIB. Con dicho comercio, las pérdidas oscilan entre un 0,1 y un 1 ciento del PIB. Los estudios nacionales, que exploran un conjunto más diverso de conjuntos de medidas de política y tienen en cuenta circunstancias nacionales específicas, varían incluso más.
- Para la mayoría de los países con economías en transición, los efectos en el PIB varían entre un aumento insignificante y de varios puntos porcentuales, lo que refleja oportunidades para mejorar la eficiencia energética que no existen para los países del

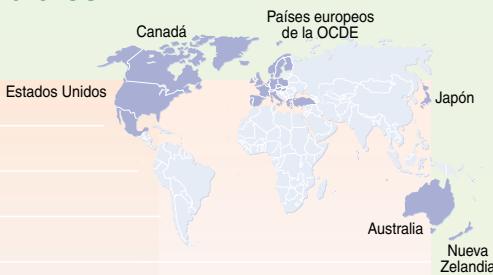
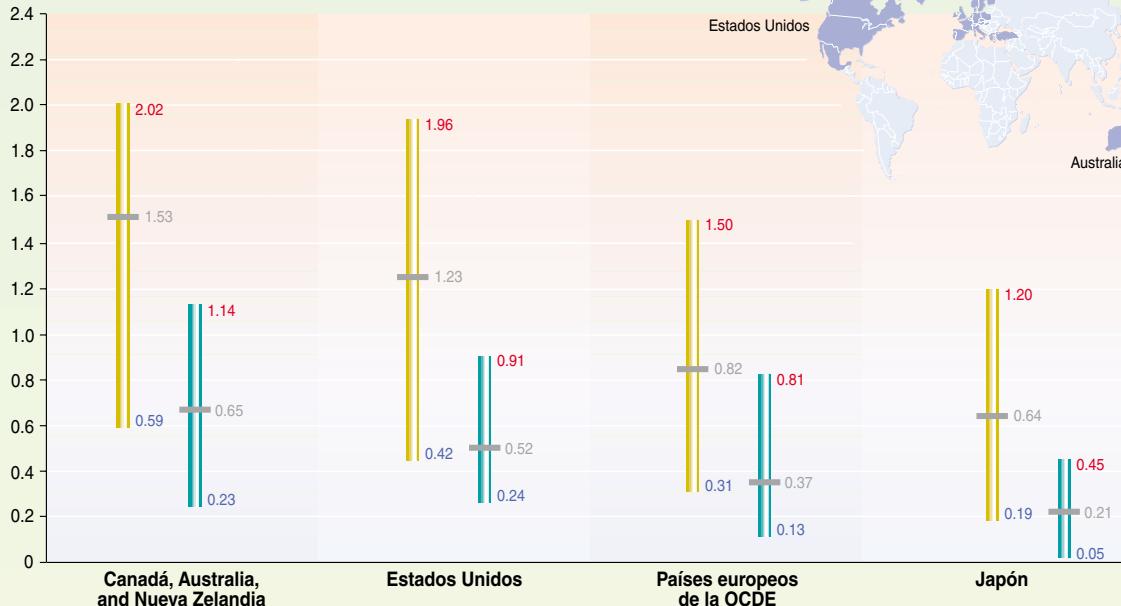
GTIII TIE Secciones RT
8.3, 7.3, 8.3, 9.2, & 10.2

¹⁵ Las simulaciones a las que se hicieron referencia anteriormente muestran los resultados del Energy Modeling Forum y examinan los beneficios del comercio de derechos de emisiones. Para los análisis de los que aquí se informa, estas simulaciones excluyen los sumideros, gases múltiples, beneficios secundarios, impactos macroeconómicos y cambios técnicos inducidos pero incluyen el reciclado de ingresos tributarios como una suma global. En la cantidad base de la simulación, se incluyen opciones adicionales de medidas “útiles en todo caso” que no se encuentran en la lista anterior.

Proyecciones de pérdidas del PIB y costos marginales en al año 2010 a partir de simulaciones mundiales

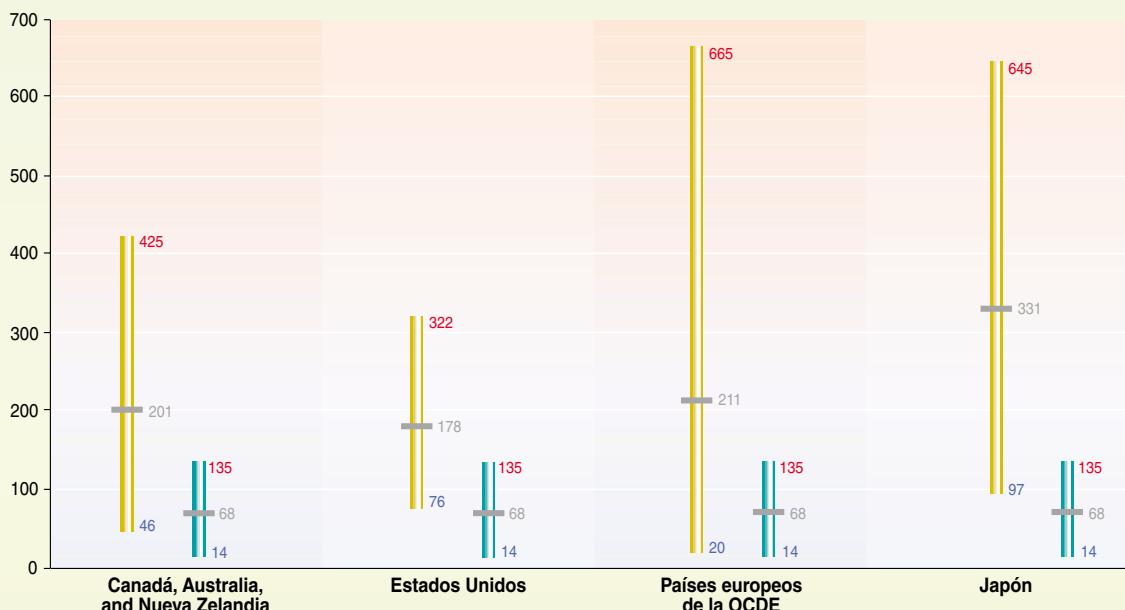
(a) Pérdidas del PIB

Porcentaje de pérdidas del PIB en el año 2010



(b) Costos marginales

USD de 1990 por t C



Gama de resultados para los dos escenarios

Ausencia de comercio internacional en derechos de emisiones de carbono: cada zona debe adoptar su reducción recomendada

Comercio total de derechos permitidos de emisiones de carbono en países del Anexo B

Los tres números en cada barra representan las proyecciones más altas, medias y más bajas del conjunto de simulaciones.

Figura 7-2: Proyecciones de pérdidas de PIB y costos marginales en países del Anexo II en el año 2010, a partir de simulaciones mundiales: a) pérdidas de PIB y b) costos marginales. Las reducciones en PIB para el año 2010 están en relación con el PIB de la simulación de referencia. Estas estimaciones se basan en los resultados de un estudio del Energy Modeling Forum. Las proyecciones que muestran las figuras corresponden a las cuatro regiones que forman parte del Anexo II. En las simulaciones se examinaron dos escenarios. En el primero, cada región lleva a cabo la reducción recomendada únicamente con comercio de derechos de emisiones de carbono en el plano nacional. En el segundo, se permite el comercio de derechos con los países del Anexo B y, por lo tanto, los costos marginales son idénticos en todas las regiones. Véase los factores clave, hipótesis e incertidumbres en los estudios, en el Recuadro 7-1.



Anexo II. Suponiendo una mejora drástica de la eficiencia energética y/o una recesión económica constante en algunos países, las cantidades atribuidas pueden exceder las emisiones proyectadas en el primer período de compromiso. En este caso, las simulaciones muestran un aumento del PIB debido a ingresos provenientes del comercio de cantidades asignadas. Sin embargo, para algunas economías en transición, la aplicación del Protocolo de Kyoto ha de tener en el PIB un impacto similar al de los países del Anexo II.

Cuadro 7-3 Resultados de la comparación de simulaciones del Energy Modeling Forum. ^a								
Simulación	<i>Sin comercio de derechos de emisiones</i>				<i>Comercio de derechos de emisiones del Anexo I</i>			
	<i>CANZ</i>	<i>Estados Unidos</i>	<i>OCDE Europa</i>	<i>Japón</i>	<i>CANZ</i>	<i>Estados Unidos</i>	<i>OCDE Europa</i>	<i>Japón</i>
ABARE-GTEM	1.96	1.96	0.94	0.72	0.23	0.47	0.13	0.05
AIM	0.59	0.45	0.31	0.25	0.36	0.31	0.17	0.13
CETA		1.93				0.67		
G-Cubed	1.83	0.42	1.50	0.57	0.72	0.24	0.61	0.45
GRAPE			0.81	0.19			0.81	0.10
MERGE3	2.02	1.06	0.99	0.80	1.14	0.51	0.47	0.19
MS-MRT	1.83	1.88	0.63	1.20	0.88	0.91	0.13	0.22
RICE	0.96	0.94	0.55	0.78	0.54	0.56	0.28	0.30

(b) Costos marginales de reducción (en 1990 USD por t C: objetivo de Kyoto para el año 2010).								
Simulación	<i>CANZ</i>	<i>Estados Unidos</i>	<i>OCDE Europa</i>	<i>Japón</i>	<i>Comercio de derechos de emisiones del Anexo I</i>			
					<i>CANZ</i>	<i>Estados Unidos</i>	<i>OCDE Europa</i>	<i>Japón</i>
ABARE-GTEM	425	322	665	645	106			
AIM	147	153	198	234	65			
CETA		168			46			
Fund					14			
G-Cubed	157	76	227	97	53			
GRAPE			204	304	70			
MERGE3	250	264	218	500	135			
MIT_EPPA	247	193	276	501	76			
MS-MRT	213	236	179	402	77			
RICE	145	132	159	251	62			
SGM	201	188	407	357	84			
WorldScan	46	85	20	122	20			

(c) Costos de aplicación del Protocolo de Kyoto para países exportadores de petróleo según varias simulaciones. ^b								
Simulación^c	<i>Sin comercio de derechos de emisiones^d</i>			<i>Con comercio de derechos de emisiones del Anexo I</i>		<i>Con “Comercio de derechos de emisiones a nivel mundial”</i>		
	<i>CANZ</i>	<i>Estados Unidos</i>	<i>OCDE Europa</i>	<i>CANZ</i>	<i>Estados Unidos</i>	<i>OCDE Europa</i>	<i>CANZ</i>	<i>Estados Unidos</i>
G-Cubed	-25 por ciento de ingresos por petróleo			-13 por ciento de ingresos por petróleo			-7 por ciento de ingresos por petróleo	
GREEN	-3 por ciento de ingresos reales			“reducción considerable de pérdidas”			n/d	
GTEM	0,2 por ciento de pérdida del PIB			<0,05 por ciento de pérdida del PIB			n/d	
MS-MRT	1,39 por ciento de pérdida de bienestar			1,15 por ciento de pérdida de bienestar			0,36 por ciento de pérdida de bienestar	
OPEC	-17 por ciento de ingresos de la OPEP			-10 por ciento de ingresos de la OPEP			-8 por ciento de ingresos de la OPEP	
CLIMOX	n/d			-10 por ciento de ingresos de algunos países exportadores de petróleo			n/d	

^a El cuadro 7-3a se extrae del TIE GTIII Cuadro RT-5, Cuadro 7-3b del TIE GTIII Cuadro RT-4, y Cuadro 7-3c del TIE GTIII Cuadro RT-6.

^b La definición de país exportador de petróleo varía. Para las simulaciones de G-Cubed y OPEP, son los países de la OPEP; para GREEN, un grupo de países exportadores de petróleo; para el GTEM, México e Indonesia; para el MS-MRT, los países de la OPEP más México; y para CLIMOX, los países exportadores de petróleo de Asia occidental y Norte de África.

^c Las simulaciones muestran el impacto sobre la economía mundial en el año 2010, habiéndose conseguido la mitigación, con arreglo a los objetivos del Protocolo de Kyoto (normalmente en las simulaciones aplicadas a la mitigación del CO2 para el año 2010, más que a las emisiones de gases de efecto invernadero en el período 2008-2012) mediante la imposición de impuestos sobre el carbono o la subasta de permisos de emisiones, y el reciclado de los ingresos a través del pago de sumas a tanto alzado a los consumidores. No se toman en cuenta en los resultados los beneficios secundarios tales como la reducción del daño local por contaminación de la atmósfera.

^d “Comercio de derechos de emisiones” significa el uso de permisos de comercio de emisiones entre países.

n/d = no disponible.

7.19 Las limitaciones de emisiones en países del Anexo I tienen impactos indirectos bien establecidos¹⁶, aunque variados, sobre los países que no forman parte del Anexo I.

- Los países exportadores de petróleo no incluidos en el Anexo I: Los análisis indican reducciones en el PIB proyectado y en los ingresos proyectados de los países exportadores de petróleo que no forman parte del Anexo I. El estudio que muestra los costos más bajos indica una reducción del 0,2 por ciento del PIB proyectado, sin comercio de emisiones, y menos del 0,05 por ciento del PIB proyectado, con comercio de emisiones de países del Anexo B en el año 2010.¹⁷ El estudio que muestra los costos más altos indica para el mismo año una reducción del 25 por ciento de los ingresos proyectados por petróleo sin comercio de derechos de emisiones, y un 13 por ciento de los ingresos por petróleo proyectados con ese comercio en países del Anexo B en el año 2010 (véase el Cuadro 7–3c). Estos estudios no toman en cuenta otras políticas y medidas¹⁸ distintas al comercio de emisiones entre países del Anexo B, que podrían disminuir los impactos en países que no forman parte del Anexo I y que son exportadores de petróleo y, por lo tanto, tenderán a sobreestimar tanto los costos a estos países y los costos generales. Los impactos sobre estos países se pueden reducir aún más si se retiran las subvenciones a los combustibles fósiles, se reestructuran los impuestos sobre energía para que reflejen el contenido de carbono, se aumentan el empleo de gas natural, y se diversifican las economías de países exportadores de petróleo no incluidos en el Anexo I.
- Otros países que no forman parte del Anexo I pueden verse afectados de forma adversa por la reducción de la demanda de sus exportaciones a países de la OCDE, y por la subida de los precios de productos que se deben importar y precisan una gran cantidad de carbono para su fabricación y otros productos que deseen continuar importando. Estos países se pueden beneficiar de la reducción en los precios de los combustibles, del aumento de las exportaciones de productos que precisan una gran cantidad de carbono para su fabricación, y de la transferencia de conocimientos y tecnologías que no perjudican el medio ambiente. El balance neto para un país específico depende de cuál de estos factores domina. Dadas esta complejidad, la división entre ganadores y perdedores permanece incierta.
- Fuga de carbono: El posible traslado de algunas industrias que precisan una gran cantidad de carbono a países no incluidos en el Anexo I y los efectos más amplios sobre los flujos de emisiones como respuesta a las fluctuaciones de los precios pueden producir una fuga del orden de un 5–20 por ciento.¹⁹ Las exenciones (por ejemplo, para las industrias que precisan una gran cantidad de carbono) hacen poco probables las estimaciones simuladas de fugas de carbono más elevadas, pero podrían elevar los costos agregados. La transferencia de tecnologías ambientalmente racionales y de experiencia y conocimientos puede reducir las fugas y, especialmente a largo plazo, puede incluso compensar con creces dichas fugas.

7.20 Es posible limitar algunas fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero a un costo social neto nulo o incluso negativo, en la medida en que las políticas pueden aprovechar las oportunidades de medidas “útiles en todo caso”. Esto puede lograrse suprimiendo las imperfecciones del mercado, tomando en



GTIII TIE Secciones 8.3.2
& 9.3.1–2



GTIII TIE Secciones 5.3–5,
7.3.3, 8.2.2, 8.2.4, 9.2.1–
2, 9.2.4, 9.2.8, & 10.4

¹⁶ Estos impactos secundarios incorporan sólo efectos económicos, no los ambientales.

¹⁷ Estos costos estimados se pueden expresar como diferencias en los niveles de crecimiento del PIB en el período 2000–2010. Sin comercio de derechos de emisiones, el nivel de crecimiento anual del PIB se reduce en un 0,02 por ciento; con comercio de derechos de emisiones en países del Anexo B, dicho crecimiento se reduce en menos del 0,005 por ciento.

¹⁸ Estas políticas y medidas incluyen las de los gases que no son CO₂ y las fuentes no energéticas de todos los gases; compensaciones de sumideros; reestructuración de la industria (por ejemplo, desde el productor de energía al suministrador de servicios de energía); empleo del poder mercantil de la OPEP; y las acciones (como las de las Partes en el Anexo B) relacionadas con la financiación, los seguros y la transferencia de tecnología. Además de esto, los estudios no incluyen normalmente las siguientes políticas e impactos que puedan reducir el costo total de la mitigación: el empleo de ingresos tributarios para reducir la carga fiscal o la financiación de otras medidas de mitigación; los beneficios secundarios ambientales de la reducción del empleo de combustibles fósiles; y los cambios técnicos inducidos a partir de las políticas de mitigación.

¹⁹ La fuga de carbono se define aquí como un aumento de emisiones en países que no son Partes en el Anexo B debido a la aplicación de reducciones en países del Anexo B, expresados como un porcentaje de las reducciones en países del Anexo B.

cuenta los beneficios secundarios (véase la Pregunta 8), y utilizando el reciclado de ingresos para financiar las reducciones de impuestos distorsionantes (“doble dividendo”).

- *Imperfecciones del mercado:* La corrección de los fallos existentes en el mercado o a nivel institucional, así como de otros obstáculos que impiden la adopción de medidas para la reducción económica de las emisiones puede ayudar a reducir los costos privados, en relación con las prácticas actuales. Puede también reducir los costos privados generales.
- *Beneficios secundarios:* Las medidas de mitigación del cambio climático tendrán repercusiones en otras cuestiones de la sociedad. Por ejemplo, la reducción de las emisiones de carbono dará muchas veces como resultado una disminución simultánea en la contaminación atmosférica a nivel local y regional. Es probable que las estrategias de mitigación también afecten al transporte, la agricultura, las prácticas en el uso de las tierras y la gestión de residuos y otros asuntos sociales, como el empleo y la seguridad energética. Sin embargo, no todos los efectos han a ser positivos; una cuidadosa selección de políticas y un buen diseño pueden garantizar mejor unos efectos positivos y minimizar los efectos negativos. En algunos casos, la magnitud de los beneficios secundarios de la mitigación se puede comparar con los costos de las medidas de mitigación, añadiendo el potencial de las medidas “útiles en todo caso”, si bien las estimaciones son difíciles de hacer y varían enormemente.
- *Doble dividendo:* Algunos instrumentos (como los impuestos o las subastas de permisos) proporcionan ingresos para el gobierno. Esos ingresos, si se utilizan para financiar la reducción de impuestos distorsionantes existentes ('reciclado de ingresos'), disminuyen los costos económicos de la reducción de gases de efecto invernadero. La magnitud de esta compensación depende de la estructura fiscal existente, el tipo de reducción fiscal, las condiciones del mercado de trabajo y el método de reciclado. En algunas circunstancias, es posible que los beneficios económicos puedan sobrepasar los costos de mitigación.

Possibilidades, obstáculos, oportunidades, políticas y costos de la estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero a largo plazo

7.21 El costo de la estabilización depende del objetivo y de la vía elegida en materia de emisiones.

7.22 No existe una única vía para la reducción de las emisiones en el futuro, y los países y regiones tendrán que elegir sus propias vías. La mayor parte de los resultados de las simulaciones indican que con las opciones tecnológicas conocidas²⁰ se podría lograr una amplia gama de niveles de estabilización atmosférica de CO₂, como 550 ppmv, 450 ppmv, o incluso por debajo de estas cifras en los próximos 100 años o incluso más, pero su aplicación podría precisar unos cambios socioeconómicos e institucionales. Para lograr una estabilización a estos niveles, los escenarios indican la necesidad de una reducción muy importante de las emisiones mundiales de carbono por unidad de PIB de los niveles de 1990. En el caso del sector energético, que es esencial, casi todos los escenarios de estabilización y mitigación de concentraciones de gases de efecto invernadero se caracterizan por la introducción de tecnologías eficientes para el uso y abastecimiento de energía, así como de energías con un coeficiente bajo o nulo de carbono. Sin embargo, ninguna opción tecnológica permitirá por sí sola lograr todas las reducciones de emisiones necesarias para la estabilización. Las opciones de reducción basadas en fuentes que no consumen energía o en gases de efecto invernadero que no son CO₂ ofrecen también muchas posibilidades para la reducción de emisiones.



GTIII TIE Secciones 2.3.2, 2.4.5, 2.5.1–2, 3.5, & 8.4, & GTIII TIE Capítulo 3 Apéndice

²⁰ Por ‘opciones tecnológicas conocidas’ nos referimos a las tecnologías que ya existen o que se emplean en plantas piloto, tales y como se muestran en los escenarios de mitigaciones tratados en este informe. No se incluye ninguna nueva tecnología que requiera drásticas innovaciones tecnológicas. De esta manera, se puede considerar como una estimación conservadora, teniendo en cuenta la longitud del período del escenario.

7.23 El desarrollo y la difusión de una nueva tecnología económicamente competitiva y ambientalmente racional puede reducir en gran medida los costos de la estabilización de las concentraciones en un nivel determinado. Un gran número de investigadores han estudiado las consecuencias del desarrollo y la difusión de la tecnología en los costos de la consecución de niveles alternativos de estabilización. La principal conclusión ha sido que los costos de la mitigación de emisiones dependen esencialmente de la capacidad para desarrollar y aplicar nuevas tecnologías. El valor de la difusión satisfactoria de la tecnología parece muy elevado, y depende de la magnitud y la oportunidad de las medidas de mitigación de las emisiones, el escenario de referencia adoptado, y la competitividad económica de la tecnología.


GTIII TIE Sección 10.3.3

7.24 La vía elegida para la estabilización puede ser tan importante para la determinación de los costos de mitigación como los propios niveles de estabilización. Las simulaciones económicas realizadas desde el SIE indican que la transición gradual a corto plazo desde los sistemas actuales energéticos del mundo hacia una economía que emita menos carbono minimiza los costos asociados con el retiro prematuro de una inversión en capital existente. También deja tiempo para invertir en el desarrollo y la difusión de tecnología, y puede reducir el riesgo de ‘quedarse encerrado’ con la adopción de las primeras versiones de tecnologías con bajo nivel de emisiones, que se perfeccionan con gran rapidez. En cambio, si se toman medidas más rápidas a corto plazo, ello podría dar más flexibilidad para avanzar hacia la estabilización, disminuir los riesgos humanos y ambientales, y los costos asociados con los cambios proyectados en el clima, disminuir los riesgos humanos y ambientales asociados con unos cambios climáticos rápidos y, al mismo tiempo, minimizar las consecuencias potenciales de la inercia en los sistemas climáticos y ecológicos (véase la Pregunta 5). También puede estimular un despliegue más rápido de las tecnologías existentes con un bajo nivel de emisiones y crear importantes incentivos a corto plazo para futuros cambios tecnológicos que puedan ayudar a reducir los riesgos de ‘quedar encerrado’ en tecnologías con un alto coeficiente de carbono. Podría además ofrecer más margen para establecer metas más estrictas, si pareciera conveniente a la luz de la evolución de los conocimientos científicos.


GTIII TIE Secciones 2.3.2, 5.3.1, 8.4, & 10.4.2–3

7.25 Los estudios sobre economía, con una escala temporal de un siglo, permiten estimar que los costos de mitigación para la estabilización de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera aumenten a medida que disminuyan los niveles de concentración para la estabilización. Las diferentes pautas de referencia que se utilicen pueden tener gran influencia en los costos absolutos. Si bien cuando se pasa de un nivel de concentración de 750 a 550 ppmv para la estabilización el aumento en los costos es moderado, dichos costos son mayores cuando se pasa de 550 a 450 ppmv (véase la Figura 7–3) a menos que las emisiones en los escenarios de referencia sean muy bajas (véase la Figura 7–4). Aunque las previsiones de las simulaciones indican que las vías mundiales de crecimiento a largo plazo del PIB no se van a ver afectadas en gran medida por las medidas de mitigación tendientes a la estabilización, no muestran las variaciones mayores que tienen lugar en períodos más breves, ni en regiones o sectores determinados. Estos estudios no incorporan el secuestro de carbono ni examinan los posibles efectos de metas más ambiciosas en el cambio tecnológico inducido. Los costos asociados con cada nivel de concentración dependen de numerosos factores, entre los que figuran el tipo de descuento, la distribución de las reducciones de emisiones en el tiempo, las políticas y medidas empleadas, y sobre todo, la elección del escenario de referencia. En los escenarios que se centran en el desarrollo sostenible local y regional, los costos globales de la estabilización a un nivel determinado son mucho más bajos que en otros escenarios. Además, el problema de la incertidumbre asume una importancia creciente cuando se amplía el marco cronológico.


GTIII TIE Secciones 2.5.2, 8.4.1, 8.4.3, & 10.4.6

7.26 La investigación y desarrollo sobre energía y aprendizaje social pueden contribuir al flujo y la adopción de mejores tecnologías en materia de energía a lo largo del siglo XXI.

¿Cuánto costará estabilizar las concentraciones de CO₂?

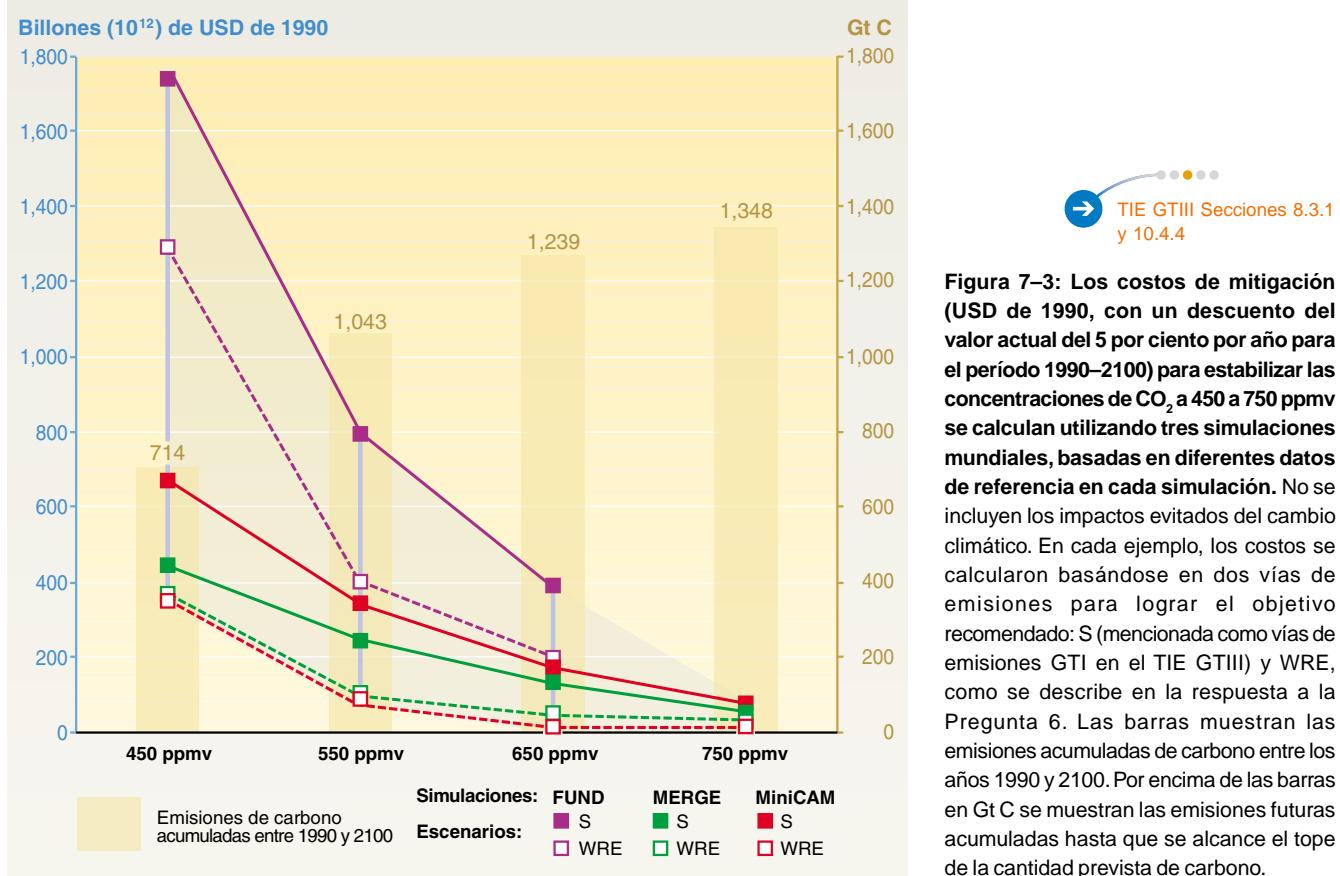


Figura 7–3: Los costos de mitigación (USD de 1990, con un descuento del valor actual del 5 por ciento por año para el período 1990–2100) para estabilizar las concentraciones de CO₂ a 450 a 750 ppmv se calculan utilizando tres simulaciones mundiales, basadas en diferentes datos de referencia en cada simulación. No se incluyen los impactos evitados del cambio climático. En cada ejemplo, los costos se calcularon basándose en dos vías de emisiones para lograr el objetivo recomendado: S (mencionada como vías de emisiones GTI en el TIE GTIII) y WRE, como se describe en la respuesta a la Pregunta 6. Las barras muestran las emisiones acumuladas de carbono entre los años 1990 y 2100. Por encima de las barras en Gt C se muestran las emisiones futuras acumuladas hasta que se alcance el tope de la cantidad prevista de carbono.

7.27 Los escenarios basados en emisiones más bajas precisan diferentes modelos de desarrollo de los recursos energéticos, y más investigación y desarrollo en materia de energía para apoyar la aceleración del desarrollo y aplicación de tecnologías energéticas adecuadas y ambientalmente racionales. Es prácticamente seguro que las emisiones de CO₂ debidas a la combustión de combustibles fósiles tengan una influencia dominante en las tendencias de las concentraciones atmosféricas de CO₂ durante el siglo XXI. Según los datos sobre recursos evaluados en el TIE, puede haber durante el siglo un cambio en la combinación energética y la introducción de nuevas fuentes de energía. Los recursos de combustibles fósiles no limitarán las emisiones de carbono durante el siglo XXI (véase la Figura 7–5). El carbono en las reservas convencionales de petróleo y gas que se han descubierto hasta la fecha es mucho menor que el conjunto de emisiones asociadas con la estabilización de CO₂ a niveles de 450 ppmv o incluso más.²¹ La combinación energética y las inversiones y tecnologías asociadas que se elijan—ya sean en el sentido de la explotación de los recursos petrolíferos y de gases no convencionales, o de una tecnología basada en fuentes de energía no fósiles, o fósiles pero con captura y almacenamiento de carbono—ha de determinar si, y a qué nivel y costo, se pueden estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero.

→ GTIII TIE Secciones 2.5.1–2, 3.8.4, & 8.4.5

7.28 La disminución de gastos en investigación y desarrollo de energías es incompatible con el objetivo de la aceleración del desarrollo y la aplicación de tecnologías avanzadas desde el punto de vista energético. Los gastos en I y D de energías dedicados por gobiernos del Anexo II aumentaron en gran medida después de la subida del precio del petróleo a partir de 1970, pero en conjunto descendieron en términos reales

→ GTIII TIE Secciones 10.3.3 & IECMTTT Sección 2.3

²¹ La referencia a cierto nivel de concentración no implica ningún acuerdo sobre la conveniencia de la estabilización a este nivel.

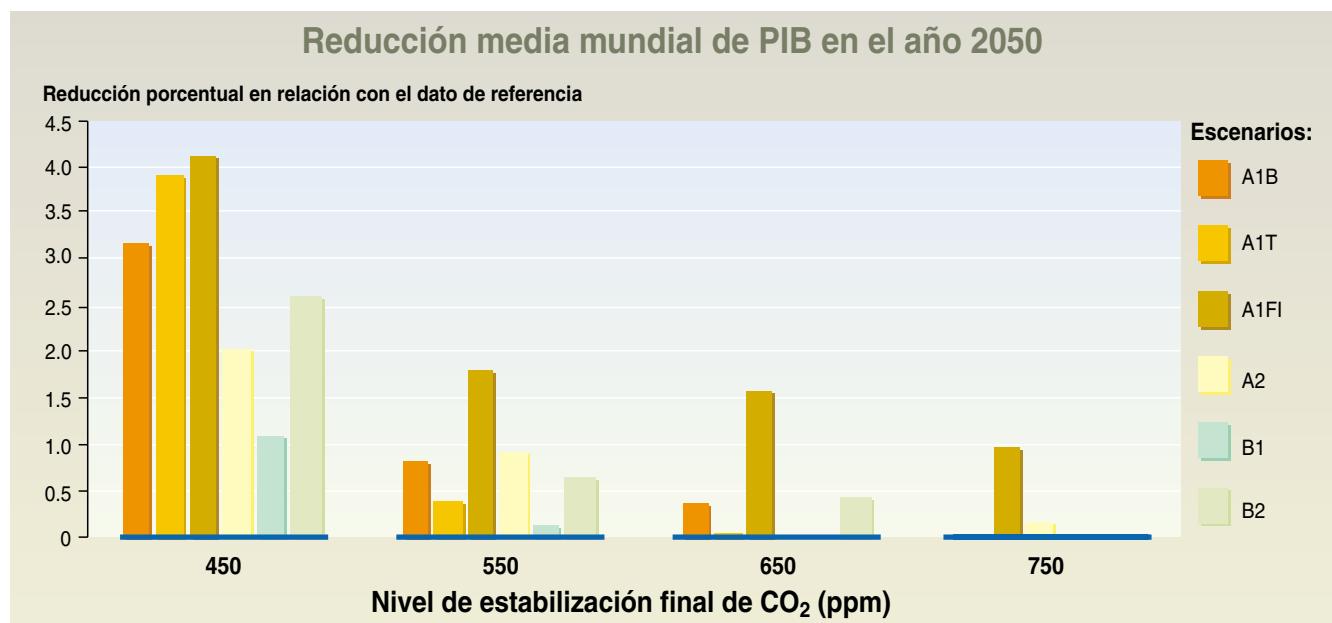


Figura 7-4: Relación indicativa en el año 2050 entre la reducción relativa de PIB causada por actividades de mitigación, los escenarios del IEEE y el nivel de estabilización. La reducción de PIB tiende a aumentar con un mayor rigor en los niveles de estabilización, pero los costos son muy sensibles al escenario de referencia que se elija. Estos costos de mitigación proyectados no tienen en cuenta los beneficios potenciales del cambio climático evitado.



TIE GTIII Figura 8-18

desde principios del decenio de 1980. En algunos países la reducción ha sido de hasta un 75 por ciento. Ha aumentado el apoyo a la investigación y desarrollo y los proyectos de conservación de la energía y energía renovable. Sin embargo, otras interesantes tecnologías energéticas relacionadas con el cambio climático, como, por ejemplo, la biomasa comercial y la captura y el almacenamiento de carbono, ocupan todavía un lugar poco importante en la cartera de I y D para energía.

7.29 El aprendizaje social y la innovación y los cambios en las estructuras institucionales podrían contribuir a la mitigación del cambio climático. Los cambios en las normas colectivas y en el comportamiento individual pueden tener unos importantes efectos sobre las emisiones de los gases de efecto invernadero, pero tienen lugar dentro de un complejo entorno institucional, normativo y jurídico. Varios estudios sugieren que los sistemas actuales de incentivos pueden fomentar pautas de producción y consumo con un elevado coeficiente de recursos, con el consiguiente aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores (por ejemplo, el transporte y la vivienda). A más corto plazo, existen oportunidades para influir en los comportamientos de los individuos y las organizaciones a través de innovaciones sociales. A más largo plazo, dichas innovaciones, en combinación con el cambio tecnológico, pueden mejorar aún más el potencial socioeconómico, sobre todo si las preferencias y las normas culturales se desplazan hacia comportamientos que precisan menores emisiones y fomenten el desarrollo sostenible. Estas innovaciones a menudo tropiezan con cierta resistencia, lo que se puede resolver fomentando una mayor participación del público en la adopción de decisiones. Esto puede contribuir a nuevos enfoques de la sostenibilidad y la equidad.



GTIII TIE Secciones 1.4.3, 5.3.7, 10.3.2, & 10.3.4

Integración de las perspectivas a corto y largo plazo

7.30 La adopción de decisiones sobre el cambio climático es un proceso secuencial que se desarrolla en condiciones de incertidumbre. En cualquier momento la adopción de decisiones conlleva ponderar los riesgos de tomar medidas insuficientes o excesivas.

Carbono en reservas y recursos de combustibles fósiles, comparado con las emisiones históricas de carbono de combustibles fósiles, y con las emisiones acumuladas de carbono, sobre la base de una gama de escenarios del IEEE y de escenarios de estabilización del TIE hasta el año 2100

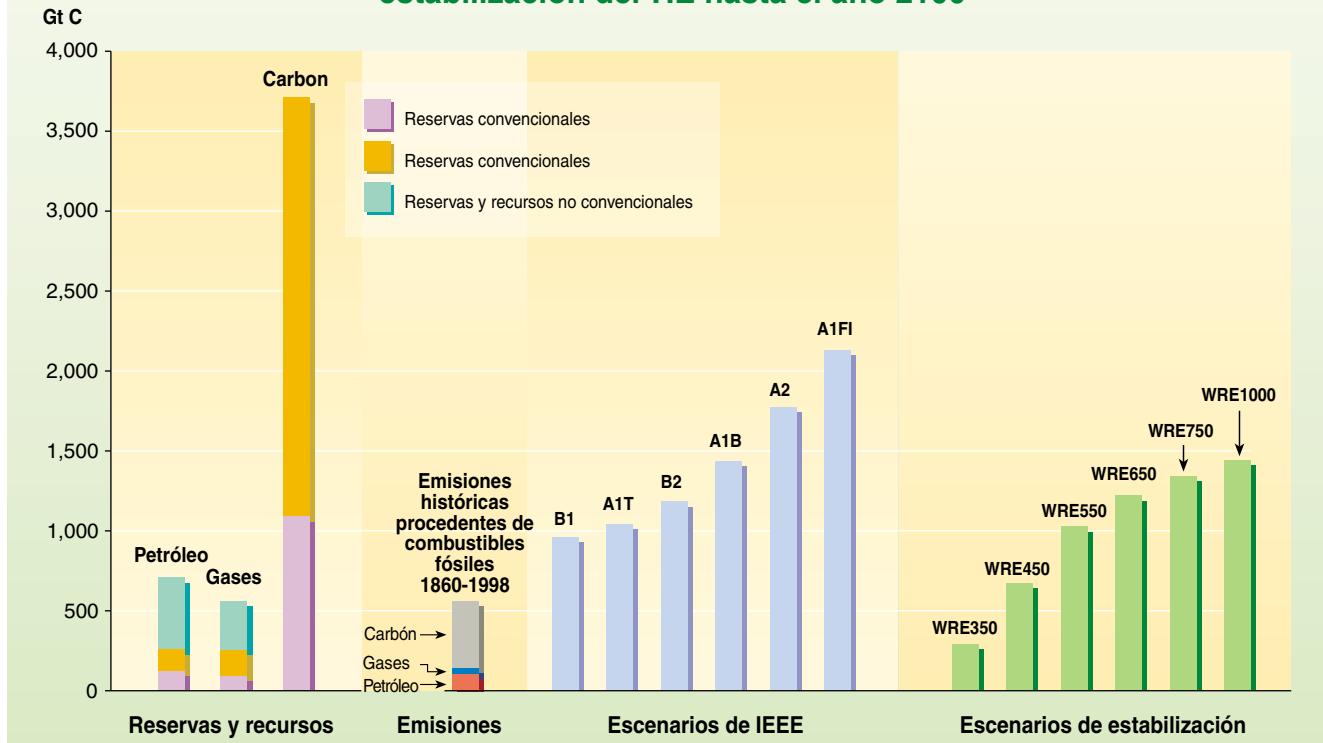


Figura 7-5: El carbono contenido en las reservas y recursos de petróleo, gas y carbón se compara con las emisiones históricas de carbono de combustibles fósiles durante el período 1860–1998, y con las emisiones acumuladas de carbono de una gama de escenarios del IEEE y escenarios de estabilización TIE hasta el año 2100. En las columnas de la izquierda se muestran los datos para las reservas y recursos actuales. El gas y el petróleo no convencionales incluyen arenas asfálticas, esquistos de petróleo, otros aceites pesados, metano en lechos de carbón, gas geopresurizado, gas en acuíferos, etc. No se muestran los hidratos de gas (clatratos) que ascienden a una cantidad estimada de 2.000 Gt C. Las columnas del escenario muestran los escenarios de referencia del IEEE y los escenarios que llevan a una estabilización de las concentraciones de CO₂ a una gama de niveles. Conviene observar que si para el año 2100 las emisiones acumuladas asociadas con los escenarios del IEEE son iguales o menores a las de los escenarios de estabilización, ello no implica que estos escenarios lleven igualmente a la estabilización.

7.31 El desarrollo de una estrategia prudente de gestión del riesgo incluye considerar cuidadosamente las consecuencias (ambientales y económicas), su probabilidad, y la actitud de la sociedad hacia el riesgo. Es probable que esto último varíe de un país a otro, e incluso de una generación a otra. Por lo tanto, este informe confirma las conclusiones del SIE sobre la gran conveniencia de obtener la mejor información posible sobre los procesos e impactos del cambio climático y las reacciones de la sociedad. Las decisiones sobre las políticas climáticas a corto plazo se están adoptando en estos momentos, mientras que aún se debaten los objetivos para la estabilización de las concentraciones. La bibliografía sobre el tema propone una solución paso a paso, con el objeto de estabilizar las concentraciones de los gases de efecto invernadero. Esto también incluye ponderar los riesgos de medidas insuficientes o excesivas. Lo que interesa no es ‘¿cuál es la mejor vía para seguir durante los próximos 100 años?’, sino ‘¿cuál es la mejor vía a corto plazo, dado el cambio climático esperado a largo plazo y las incertidumbres que lo acompañan?’.

→ TIE GTIII Sección 3.8.1

7.32 La estabilización de las concentraciones atmosféricas dependería de reducciones de emisiones que se hagan más allá de lo acordado en virtud del Protocolo de Kyoto. La mayoría de los análisis basados en escenarios que se han llevado a cabo después

→ GTIII TIE Sección 10.4.3

→ GTIII TIE Secciones 2.5.2 & 8.4

del IEEE sugieren que, para lograr una estabilización a 450 ppmv, se necesitarían reducciones de emisiones en los Países del Anexo I, durante el período 2008–2012, mucho mayores que los compromisos asumidos en virtud del Protocolo de Kyoto. Dichos análisis también sugieren que el cumplimiento del conjunto de los compromisos asumidos en Kyoto puede ser coherente con las trayectorias para lograr una estabilización a 550 ppmv o incluso más. Otros análisis sugieren una desviación más gradual de las cantidades de referencia de emisiones, incluso para conseguir una estabilización a 450 ppmv, seguida de reducciones mayores en ejercicios presupuestarios siguientes. La trayectoria se ve influenciada por la representación de la inercia en el escenario escogido y las expectativas sobre cómo establecer un nexo entre las reducciones iniciales de los Países del Anexo I y la fuerza y el alcance de la limitación de las emisiones en los períodos siguientes.

7.33 La mitigación del cambio climático plantea consideraciones sobre equidad interregional e intertemporal.

7.34 **Las diferencias de recursos tecnológicos, naturales y financieros, entre y dentro de las naciones y regiones, así como entre generaciones, además de las diferencias en costos de mitigación, son a menudo consideraciones clave en el análisis de las opciones de mitigación del cambio climático.** En una gran parte del debate sobre la diferenciación futura de las contribuciones de los países a la mitigación y las cuestiones de equidad asociadas también se tienen en cuenta estas circunstancias.²² El problema del cambio climático plantea una importante cuestión de equidad, concretamente, hasta qué punto los impactos de las políticas sobre cambio climático o mitigación puedan mejorar o agravar las desigualdades, tanto dentro como entre las naciones y regiones, y entre las generaciones. Entre las conclusiones relativas a estos diferentes aspectos de la equidad figuran:

- *Equidad dentro de las naciones: La mayoría de los estudios muestran que los efectos distributivos de un impuesto sobre carbono son regresivos, a menos que los ingresos fiscales se utilicen directa o indirectamente en favor de los grupos con ingresos más bajos. Este aspecto regresivo se puede compensar de forma total o parcial por una política de reciclado de ingresos.*
- *Equidad entre naciones y regiones: Los escenarios de estabilización de gases de efecto invernadero evaluados en este informe suponen que los países desarrollados y los que tienen economías en transición sean los primeros en limitar y reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero.*²³ Otro aspecto de la equidad entre naciones y regiones es que la mitigación del cambio climático puede compensar la exacerbación de las desigualdades por los impactos del cambio climático (véase la Pregunta 6).
- *Equidad entre generaciones: La estabilización de las concentraciones depende más de las emisiones acumuladas que de las anuales; las reducciones de emisiones en una generación atenuarán la necesidad de reducirlas en generaciones futuras.*²⁴ Se puede fomentar la equidad intergeneracional reduciendo los impactos del cambio climático mediante a la mitigación de ese cambio en cualquier generación, ya que no sólo se reducirían los impactos—que, según las proyecciones, afectarían sobre todo a las personas con menos recursos—sino también el grado de cambio climático al que deberán adaptarse las generaciones futuras (véase la Pregunta 6).



GTIII TIE Secciones 1.3, 2.5.2, 8.2.2, 10.2, & 10.4.5

²² Los enfoques sobre equidad se han clasificado en una serie de categorías que incluyen las basadas en reparto, resultado, proceso, derechos, responsabilidad, pobreza y oportunidad. Estas categorías reflejan las expectativas diversas de justicia utilizadas para juzgar los procesos políticos y los resultados correspondientes.

²³ Las emisiones de todas las regiones se separan de las cantidades base en algún momento. Las emisiones mundiales se separan antes y más cuando más bajos sean los niveles de estabilización o mayores sean los escenarios subyacentes. Dichos escenarios son inciertos, y no proporcionan información sobre implicaciones y equidad ni sobre cómo se deben lograr dichos cambios y quién debe correr con los costos incurridos.

²⁴ Véase lo indicado anteriormente en otros aspectos sobre la oportunidad de la aplicación de las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero.

P8

Pregunta 8

¿Qué se sabe sobre las interacciones entre los cambios climáticos proyectados inducidos por el hombre y otros problemas ambientales (como la contaminación del aire en las ciudades, el depósito de ácidos en algunas zonas, la pérdida de diversidad biológica, el agotamiento del ozono estratosférico, y la desertificación y degradación de las tierras)? ¿Qué se sabe sobre los costos y beneficios ambientales, sociales y económicos, así como sobre las implicaciones de estas interacciones para integrar las estrategias de respuesta al cambio climático de manera equitativa en las estrategias más generales de desarrollo sostenible a nivel mundial, regional y local?

8.1 La respuesta a esta pregunta tiene en cuenta dos aspectos principales. El primero es que los impactos de la actividad humana en el medio ambiente se manifiestan en varios problemas, muchos de los cuales están generados por factores comunes asociados con la satisfacción de las necesidades humanas. El segundo aspecto es que muchos de estos problemas—sus causas e impactos—están interrelacionados desde el punto de vista biogeofísico y socioeconómico. Esta respuesta, centrada principalmente en el cambio climático, evalúa el conocimiento actual de las interrelaciones entre las causas y los impactos de los principales problemas ambientales en la actualidad. A esto se añade un resumen sobre las políticas que se han desarrollado para abordar estos problemas, la mayoría de las cuales hasta la fecha se han diseñado y aplicado por separado. En la respuesta se muestra cómo las decisiones asociadas con un problema pueden influir de manera positiva o negativa en otro. Una vez que se reconozcan estas relaciones mutuas, es posible llevar a cabo unos estudios eficientes e integrados.

8.2 Los problemas ambientales locales, regionales y mundiales se combinan a menudo de forma que afectan la satisfacción sostenible de las necesidades humanas.

8.3 **La satisfacción de las necesidades humanas está degradando el medio ambiente de muchas maneras, y la degradación ambiental obstaculiza la satisfacción de las necesidades humanas.** La sociedad tiene una serie de vías socioeconómicas para el desarrollo; sin embargo, estas vías sólo serán sostenibles si tienen en cuenta debidamente el medio ambiente. La degradación ambiental es ya evidente a escala local, regional y mundial, en la contaminación del aire, la escasez de agua dulce, la deforestación, la desertificación, los depósitos ácidos, la pérdida de diversidad biológica y cambios a nivel genético y de especies, la degradación de las tierras, el agotamiento del ozono estratosférico y el cambio climático. Muy frecuentemente, la satisfacción de las necesidades humanas causa o agrava varios problemas ambientales, lo que puede aumentar la vulnerabilidad frente a los cambios climáticos. Por ejemplo, para favorecer una mayor producción agrícola, existe un creciente uso de fertilizantes nitrogenados, de riegos y transformación de praderas y bosques en terrenos de cultivo. Estas actividades agrícolas pueden afectar al clima del planeta debido a la emisión de gases de efecto invernadero, la degradación de la tierra por la erosión y salinización, y la reducción de la diversidad biológica. A su vez, un cambio ambiental puede afectar la satisfacción de las necesidades humanas. Por ejemplo, la productividad agrícola puede verse afectada adversamente por los cambios en la magnitud y pautas de las precipitaciones, y la salud humana en un entorno urbano puede verse afectada por olas de calor.



GTI TIE Secciones 3.4, 4.1, & 5.2, GTII TIE Secciones 4.1 & 5.1–2, & GTIII TIE Secciones 3.6 & 4.2

8.4 **De la misma manera en que los diferentes problemas ambientales son causados a menudo por las mismas fuerzas impulsoras subyacentes (crecimiento económico, cambios tecnológicos generales, modificaciones de estilos de vida, cambios demográficos—tamaño de la población, estructura de edad y migraciones—y estructuras y formas de gobierno), hay obstáculos comunes que inhiben soluciones para una serie de problemas ambientales y socioeconómicos.** Los enfoques para mejorar los problemas ambientales se pueden ver obstaculizados por muchos de los mismos problemas, entre los que figuran:

- El aumento de la demanda de recursos naturales y energía
- Imperfecciones en el mercado, incluidas las subvenciones que conducen a un uso ineficiente de recursos y obstaculizan la penetración en el mercado de tecnologías ambientales racionales; la falta de reconocimiento del valor real de los recursos naturales; la falta de identificación con el valor mundial de los recursos naturales en el plano local; y la no internalización de los costos de la degradación ambiental en el precio de mercado de un recurso
- La escasa disponibilidad y transferencia de tecnología, un uso ineficiente de las tecnologías y una inversión insuficiente en la investigación y el desarrollo de tecnologías futuras
- La falta de una gestión adecuada del uso de los recursos naturales y la energía.



GTIII TIE Capítulo 5, IEEE Capítulo 3, & IECMTT RT 1.5

- 8.5 **Varios problemas ambientales que se han percibido tradicionalmente como independientes están vinculados con el cambio climático, a través de procesos biogeoquímicos y socioeconómicos comunes.**

- 8.6 La Figura 8–1 muestra cómo el cambio climático se encuentra interrelacionado con otros problemas ambientales.

Contaminación de la atmósfera en la superficie por el ozono y cambio climático

- 8.7 **La contaminación de la atmósfera en la superficie por el ozono y las emisiones que la impulsan son contribuyentes de forma decisiva al cambio climático mundial.**

Los mismos contaminantes que generan la contaminación por ozono en la superficie (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, y compuestos orgánicos volátiles) también contribuyen al aumento del ozono troposférico mundial, y representan el tercer factor más importante de los forzamientos radiativos, después del CO₂ y del CH₄ (véase la Figura 2–2). En



GTI TIE Secciones 4.2.3–4

Vínculos entre el cambio climático y otros problemas ambientales



Figura 8–1: El clima se controla por procesos y ciclos geoquímicos que son el producto de la interacción entre los componentes ambientales que intervienen, tal como se ven afectados por la actividad humana. El esquema muestra alguno de estos problemas. En aras de la sencillez, las flechas en ambos sentidos trazadas entre los problemas representan algunos de los vínculos de que se trata. Por ejemplo, los procesos ecológicos y biológicos tienen un papel importante en la modulación del clima terrestre a escala regional y mundial, al controlar las cantidades de vapor de agua y de otros gases de efecto invernadero que penetran la atmósfera o salen de ella. Los cambios en el clima afectan a las fronteras, composición y funcionamiento de sistemas ecológicos, como los bosques, y los cambios en la estructura y funcionamiento de los bosques afectan al sistema climático del planeta a través de los cambios en los ciclos biogeoquímicos, sobre todo en los ciclos del carbono, del nitrógeno y del agua. Existen otros vínculos—por ejemplo la conexión entre la calidad de la atmósfera y la silvicultura, ya sea directamente o mediante la precipitación ácida, que no se incluyen por razones de simplicidad.

algunas regiones las emisiones de sustancias precursoras del ozono se controlan por medio de tratados ambientales regionales (véase el Cuadro 8–3) y otras normas.

- 8.8 **Los cambios climáticos mundiales y el aumento de los niveles troposféricos del ozono pueden agravar los problemas de contaminación de la atmósfera en las ciudades.** Las proyecciones basadas en algunos escenarios del IEEE muestran aumentos en el ozono troposférico en más de 40 ppb en la mayor parte de las latitudes medias del Hemisferio Norte. Dichos aumentos podrían representar aproximadamente el doble de los niveles de referencia de ozono que penetran en muchas zonas metropolitanas, degradando enormemente la calidad del aire. El cambio climático afectaría las condiciones meteorológicas (temperatura regional, capas de nubes, y viento en la superficie) que influyen en la fotoquímica, y la producción de episodios de gran contaminación. Si bien las temperaturas más cálidas contribuirían en general a un aumento del ozono urbano, no se ha evaluado el cambio en la frecuencia e intensidad de los episodios de contaminación. Los efectos adversos en la salud atribuibles a la calidad del aire en las ciudades se podrían exacerbar por un incremento en las olas de calor que podrían acompañar al cambio climático antropogénico.



GTI TIE Secciones 4.4.4 & 4.5–6, & GTII TIE Secciones 7.2.2.3 & 9.6

Depósitos ácidos y cambio climático

- 8.9 **Los aerosoles de sulfato formados por las emisiones de azufre a partir de combustibles fósiles producen depósitos ácidos y un enfriamiento del sistema climático.** Los depósitos ácidos tienen efectos adversos en los ecosistemas terrestres y acuáticos y causan daños a la salud humana, además de una gran cantidad de perjuicios materiales. Algunos de estos efectos se podrían ver aumentados por el cambio climático (por el aumento en humedad y temperatura). En muchos países se han adoptado medidas para reducir las emisiones de azufre, y en algunas zonas se han observado en los últimos años disminuciones en las deposiciones de sulfatos (véase el Cuadro 8–3). En los escenarios del IEEE, esta situación se ha reflejado en proyecciones sobre la abundancia futura de aerosoles de sulfato que son inferiores a las previsiones del SIE. A su vez, esto ha producido unas previsiones menores del forzamiento radiativo debido a sulfatos y, por lo tanto, un menor efecto de enfriamiento para compensar el calentamiento provocado por gases de efecto invernadero.



GTI TIE Secciones 5.2.2.6, 5.5.3, 6.7, & 6.15, GTII TIE Secciones 5.6, 5.7.2, & 15.2.4.2, & IEEE Sección 3.6.4

Agotamiento del ozono estratosférico y cambio climático

- 8.10 **El agotamiento de la capa de ozono estratosférico produce una mayor penetración de la radiación UV-B y un enfriamiento del sistema climático.** El agotamiento del ozono permite una mayor penetración de radiaciones UV-B, con efectos perjudiciales sobre la salud animal y humana, las plantas, etc. Durante los últimos dos decenios, las pérdidas observadas de ozono estratosférico han reducido las emisiones infrarrojas descendentes desde la estratosfera inferior (ahora más fría) a la troposfera. El agotamiento del ozono estratosférico ha alterado también las concentraciones troposféricas de ozono y, al permitir una mayor penetración de luz solar ultravioleta en la troposfera, ha causado una destrucción fotoquímica de CH_4 más rápida, reduciendo así los forzamientos radiativos. Estos efectos también producen un enfriamiento del sistema climático.



GTI TIE Secciones 4.2.2 & 6.4

- 8.11 **Muchos de los halocarbonos que causan el agotamiento de la capa de ozono son también importantes gases de efecto invernadero.** Los clorofluorocarbonos, por ejemplo, aportan una contribución importante a los forzamientos radiativos totales desde la época preindustrial. El forzamiento radiativo negativo proveniente del agotamiento del ozono estratosférico asociado (comentado anteriormente) reduce este efecto a la mitad. En el marco del Protocolo de Montreal se prevé eliminar estas dos contribuciones a los forzamientos radiativos. Sin embargo, un sustituto de los clorofluorocarbonos, ahora prohibidos, son los hidrofluorocarbonos, que se encuentran entre los gases de efecto invernadero incluidos en la lista del Protocolo de Kyoto. Esta coincidencia puede dar lugar a un conflicto entre las metas de los dos Protocolos.



GTI TIE Secciones 4.2.2 & 6.3.3

- 8.12 **El cambio climático ha de alterar las pautas de temperatura y vientos de la estratosfera, aumentando posiblemente el agotamiento del ozono estratosférico debido a los clorofluorocarbonos en los próximos 50 años.** El aumento de los gases de efecto invernadero ha de producir un enfriamiento de la estratosfera, lo que altera la química estratosférica. Algunos estudios predicen que, debido a los niveles actuales de cambio atmosférico, se ha de observar un mayor agotamiento de la capa de ozono estratosférica en el Ártico durante el próximo decenio, antes de que las concentraciones de clorofluorocarbonos hayan disminuido en gran medida. Aunque se han identificado muchas reacciones mutuas entre el clima y la capa de ozono, en esta evaluación no se ha llegado a consenso de tipo cuantitativo.

→ GTI TIE Secciones 4.5, 6.4, & 7.2.4.2

Diversidad biológica, agricultura y silvicultura, y cambio climático

- 8.13 **Los cambios en los ecosistemas terrestres y marinos están muy vinculados a los cambios en el clima y viceversa.** Los cambios en el clima y en las concentraciones atmosféricas de CO₂ causan daños en la diversidad biológica y en la función de algunos ecosistemas. A su vez, los cambios en los ecosistemas influyen en el intercambio de gases de efecto invernadero (como CO₂, CH₄, y N₂O) y de agua y energía entre la tierra y la atmósfera, y modifican el albedo de la superficie. Por lo tanto, para evaluar el estado futuro de la atmósfera, de los sistemas naturales y de su diversidad biológica, se necesitan conocer estos efectos y reacciones combinadas.

→ GTI TIE Sección 4.5.3

- 8.14 **Las variaciones climáticas naturales han mostrado los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas naturales y gestionados.** Los efectos de las inundaciones, sequías y olas de calor están grabados en la historia de la humanidad. Además, los fenómenos de calentamiento asociados con El Niño muestran que los cambios en las pautas climáticas afectan adversamente a los peces, los mamíferos marinos y la diversidad biológica oceánica y costera. Los ecosistemas costeros—como los arrecifes de coral, las marismas de agua salada, y los bosques de manglares—se ven afectados por la elevación del nivel del mar, las crecientes temperaturas oceánicas, las mayores concentraciones de CO₂, y los cambios en la frecuencia e intensidad de las tormentas. El Cuadro 8–1 resume las principales consecuencias del cambio climático para los ecosistemas naturales a escala regional.

→ GTII TIE Capítulos 5 & 6

- 8.15 **El cambio climático es uno de las muchas tensiones que afectan a los ecosistemas gestionados y no gestionados.** El cambio en el uso de las tierras, la demanda de recursos, el depósito de nutrientes y contaminantes, la recogida de cosechas, el pastoreo, la fragmentación y pérdida del hábitat, y las especies invasoras son los principales factores de tensión en los ecosistemas. Pueden provocar la extinción de las especies, dando como resultado pérdidas de la diversidad biológica. Por lo tanto, el cambio climático constituye un problema adicional, que podría alterar o poner en peligro los ecosistemas y los muchos servicios que proporcionan. Por ello, el impacto del cambio climático ha de verse influenciado por la gestión de los recursos naturales, la adaptación y la interacción con otras presiones. La Figura 8–2 ilustra de qué manera el cambio climático interactúa con otros factores en la oferta y demanda de alimentos.

→ GTII TIE Capítulos 5 & 6, & GTIII TIE Secciones 4.1–2

- 8.16 **El cambio climático puede influir en la distribución y migración de especies en los ecosistemas no gestionados.** Las poblaciones de muchas especies ya están amenazadas de extinción y se prevé que estén expuestas a un mayor riesgo debido a problemas asociados con el cambio climático, que han de convertir partes de su hábitat natural actual en lugares poco adaptados a su supervivencia. Las simulaciones de distribución de la vegetación efectuadas desde el SIE sugieren que es poco probable que ocurra un movimiento masivo de ecosistemas o de biomasa porque las diferentes especies tienen diferentes tolerancias climáticas y diferentes capacidades de migración, y se ven afectadas diferentemente por la llegada de nuevas especies. Por último, en el mismo sentido, el cambio climático puede fomentar la propagación de plagas y enfermedades, afectando por lo tanto a los ecosistemas naturales, los cultivos y el ganado (por ejemplo, los cambios en los

→ GTII TIE Capítulo 5

Cuadro 8-1	Ejemplos de las consecuencias regionales observadas y proyectadas del cambio climático para los ecosistemas, la diversidad biológica y el suministro de alimentos.	
Region	Impactos	Sección de referencias en TIE GTII
África	Las pérdidas irreversibles de diversidad biológica pueden acelerarse con el cambio climático. Se proyectan una extinción importante de especies animales y vegetales, que podrían afectar los medios de subsistencia rurales, el turismo y los recursos genéticos (<i>confianza media</i>).	RT 5.1.3 y Sección 10.2.3.2
Asia	La disminución de la productividad agrícola y acuicultura debido a problemas térmicos y de agua, elevación del nivel del mar, inundaciones y sequías, y los ciclones tropicales podría reducir la seguridad alimentaria en muchos países asiáticos áridos, tropicales y templados; la agricultura se ampliaría e incrementaría su productividad en regiones del Norte (<i>confianza media</i>). El cambio climático agravaría las amenazas a la diversidad biológica debido al cambio del uso de la tierra y de la cubierta de las tierras, y la presión demográfica (<i>confianza media</i>). La elevación del nivel del mar podría crear riesgos en la seguridad ecológica, incluyendo los manglares y arrecifes de coral (<i>confianza alta</i>).	RT 5.2.1-2 y Secciones 11.2.1-2
Australia y Nueva Zelандia	Un calentamiento de 1°C podría poner en peligro la supervivencia de especies que en estos momentos se encuentran en el límite superior de su gama de temperaturas, sobre todo en las regiones marginales alpinas. Algunas especies con espacios climáticos limitados que no pueden migrar debido a la fragmentación del entorno, las diferencias del suelo o la topografía, podrían verse en peligro o incluso extinguirse (<i>confianza alta</i>). Los ecosistemas australianos que son particularmente vulnerables al cambio climático incluyen los arrecifes de coral, los hábitat áridos y semiáridos del suroeste y del interior de Australia, y los sistemas alpinos australianos. Los humedales de agua dulce en las zonas costeras de Australia y Nueva Zelanda son también vulnerables, y algunos ecosistemas de Nueva Zelanda son vulnerables a una invasión acelerada de malezas.	RT 5.3.2 y Secciones 12.4.2, 12.4.4-5, y 12.4.7
Europa	Los sistemas naturales han de cambiar debido a un aumento de temperatura y de la concentración atmosférica de CO ₂ . La diversidad en las reservas naturales está expuesta a un cambio rápido. La pérdida de hábitat importantes (humedales, tundra, y hábitat aislados) podrían poner en peligro a algunas especies, incluyendo algunas especies amenazadas y aves migratorias raras/endémicas. Han de existir algunos efectos en general positivos sobre la agricultura en Europa septentrional (<i>confianza media</i>); la productividad ha de descender en Europa meridional y oriental (<i>confianza media</i>).	RT 5.4.2-3 y Secciones 13.2.1.4, 13.2.2.1, 13.2.2.3-5, y 13.2.3.1
América Latina	Está bien establecido que América Latina cuenta con una de las mayores concentraciones de diversidad biológica, y puede preverse que los efectos del cambio climático aumenten los riesgos de pérdida de diversidad biológica (<i>confianza alta</i>). Se proyecta que la producción de importantes cultivos disminuya en muchos lugares, aun si se tienen en cuenta los efectos del CO ₂ ; los cultivos de subsistencia en algunas regiones se podrían ver amenazados (<i>confianza alta</i>).	RT 5.5.2 y 5.5.4, y Secciones 14.2.1-2
América del Norte	Existen pruebas concluyentes de que el cambio climático puede producir la pérdida de tipos específicos de ecosistemas, por ejemplo las altas zonas alpinas y ciertos humedales (marismas saladas y "baches" en los humedales en las praderas del interior) (<i>confianza alta</i>). Un ligero calentamiento acompañado de un aumento de CO ₂ , podría beneficiar a algunos cultivos, pero los efectos pueden variar entre cosechas y regiones (<i>confianza alta</i>), lo que incluye una disminución debido a sequías en algunas zonas de las Praderas del Canadá y de las Grandes Planicies de estados Unidos, un aumento potencial de la producción de alimentos en zonas de Canadá situadas al Norte de las zonas actuales de producción, y un aumento de la productividad de bosques mixtos en zonas cálidas y templadas (<i>confianza media</i>). Sin embargo, con un calentamiento mayor los beneficios para los cultivos podrían disminuir a una velocidad cada vez mayor, convirtiéndose posiblemente en una pérdida neta (<i>confianza media</i>). Algunos ecosistemas naturales únicos tales como los humedales en praderas, la tundra alpina, y los ecosistemas de aguas frías estarán sujetos a riesgo, y una adaptación eficaz es improbable (<i>confianza media</i>).	RT 5.6.4-5 y Secciones 15.2.2-3
Ártico	El Ártico es muy vulnerable al cambio climático, y se proyecta que aparezcan rápidamente importantes efectos físicos, ecológicos y económicos.	RT 5.7 y Secciones 16.2.7-8
Antártico	En el Antártico, el cambio climático proyectado ha de generar impactos que se percibirán muy lentamente (<i>confianza alta</i>).	RT 5.7 y Secciones 16.2.3 y 16.2.4.2
Islas pequeñas	Las temperaturas más cálidas y la reducción de la extensión del hielo llevarán probablemente a cambios a largo plazo en la oceanografía física y la ecología del Océano Austral, con una intensificación de la actividad biológica y un aumento del nivel de crecimiento de los peces. Los cambios climáticos futuros proyectados y la elevación del nivel del mar han de afectar a los cambios en la composición y competencia de las especies. Se estima que una de cada tres (30 por ciento) de las plantas amenazadas conocidas son endémicas de las islas, mientras que un 23 por ciento de las especies de aves se encuentran amenazadas. Los arrecifes de coral, manglares, y bancos de algas que a menudo dependen de condiciones ambientales estables se han de ver afectadas adversamente por un aumento de las temperaturas de la atmósfera y del mar y una elevación del nivel del mar (<i>confianza media</i>). La degradación de los ecosistemas costeros podría afectar negativamente a los peces de arrecifes y perjudicar las pesquerías de arrecifes (<i>confianza media</i>).	RT 5.8 y Secciones 17.2.4-5 y 17.2.8.2

El cambio climático y los alimentos



Figura 8–2: Esta figura muestra los vínculos entre el **cambio climático y otros factores ambientales en la demanda y oferta de alimentos**. La creciente demanda de alimentos para una población mundial cada vez mayor exige un aumento de la producción de dichos alimentos. Esto, a su vez, tiene una serie de consecuencias en el uso de las tierras, como la conversión de terrenos vírgenes en terrenos de cultivo (extensificación), y el empleo de fertilizantes químicos y/o el uso de riegos para aumentar la producción (intensificación) o para permitir el cultivo en terrenos que no se destinarían a otros usos. La ampliación de las tierras cultivables produce una pérdida de diversidad biológica, ya que los ecosistemas se convierten en tierras que sólo producen unas pocas especies (normalmente exóticas). La conversión de bosques en tierras agrícolas tiene como consecuencia una pérdida neta de carbono en la atmósfera, en la medida en que los bosques se transforman en terrenos de cultivo o de pastoreo. Esta tala de bosques también hace aumentar la probabilidad de inundaciones, ya que los sistemas agrícolas retienen menos las precipitaciones que los bosques. La intensificación de la producción de cultivos puede incluir una serie de tratamientos químicos, la mayoría de ellos con fertilizantes de nitrógeno que tienen el efecto secundario de liberar a la atmósfera compuestos de gases nitrogenados (algunos de los cuales son fuertes gases de efecto invernadero) y verter residuos líquidos nitrogenados en cuencas hidrológicas, con muchas consecuencias para la salud y el medio ambiente. La expansión de los riegos afecta al suministro de agua dulce para otros usos, lo que produce restricciones y conflictos sobre los derechos del uso de las aguas. La satisfacción de los requisitos para el aumento de la producción agrícola tiene un potencial de incremento de los niveles mundiales de pérdida de diversidad biológica, cambio climático, y desertificación. Existen interrelaciones, sobre todo con el agua, que subyacen en todas estas cuestiones, pero que no se muestran en esta figura en aras de la sencillez.

valores de umbral de la temperatura y la humedad permiten que las plagas y enfermedades se desplacen a nuevas zonas).

- 8.17 La capacidad de almacenamiento de carbono de los ecosistemas gestionados y no gestionados, sobre todo los bosques, tiene influencia en los impactos y reacciones ante el cambio climático.** Por ejemplo, los bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen un importante potencial para la mitigación de carbono. Aunque no es necesariamente de carácter permanente, la conservación y secuestro de carbono pueden dar tiempo para desarrollar y aplicar otras opciones. La degradación del ecosistema terrestre se puede ver agravada por el cambio climático, lo que afectaría al almacenamiento de carbono, además de aumentar los problemas resultantes de las prácticas actuales de deforestación. También conviene observar que, si no se aplican prácticas de gestión apropiadas, las emisiones futuras de CO₂ podrían ser mayores. Por ejemplo, el abandono de la gestión de incendios forestales o la sustitución de la siembra directa por



Cuadro 8-2 Ejemplos de impactos regionales del cambio climático en recursos hídricos, degradación de la tierra y desertificación.		
Región	Proyecciones	Sección de Referencia en TIE GTII
África	Los cambios en las precipitaciones y la intensificación del uso de las tierras podrían agravar los procesos de desertificación. La desertificación se podría exacerbar por la reducción en las precipitaciones medias anuales, la escorrentía y la humedad del suelo en países del Sahel del África occidental, y en África del Norte y meridional (<i>confianza media</i>). El aumento de las sequías y otros fenómenos extremos podrían agravar los problemas asociados con los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y la salud humana, y podrían limitar el desarrollo en la región (<i>confianza alta</i>).	RT 5.1.6, Capítulo 10 RE, Secciones 10.2.1 y 10.2.6, y Cuadro RRP-2
Asia	La escasez de agua-que es ya un factor de limitación para los ecosistemas, la producción de alimentos y de fibras, los asentamientos humanos y la salud humana-se puede ver agravada por el cambio climático. La escorrentía y la disponibilidad de agua podrían disminuir en zonas áridas y semiáridas de Asia, pero aumentar en el Norte de Asia (<i>confianza media</i>). La reducción de la humedad del suelo en verano podría agravar la degradación de las tierras y la desertificación en regiones áridas y semiáridas.	RT 5.2.3 y Secciones 11.1.1 y 11.2.3
Australia y Nueva Zelanda	La variabilidad interanual debida al ENOM producirá fuertes inundaciones y sequías en Australia y Nueva Zelanda. Se proyecta que dichas variaciones continúen en condiciones de mayores concentraciones de gases de efecto invernadero, aunque posiblemente con unos mayores extremos hidrológicos. El agua es probablemente un problema clave (<i>confianza alta</i>) debido a la tendencia hacia un clima seco en la mayor parte de la región y un cambio hacia un estado de fenómenos parecidos a los de El Niño. La calidad del agua se vería también afectada, y la mayor intensidad de las precipitaciones incrementaría la escorrentía rápida, la erosión del suelo y las cargas de sedimentos. La eutrofización es uno de los principales problemas para la calidad del agua en Australia.	RT 5.3 y Secciones 12.1.5.3 y 12.3
Europa	La escorrentía, la disponibilidad de agua y la humedad del suelo en verano han de disminuir en el Europa meridional, lo que subrayaría las diferencias entre el Norte y el Sur (<i>confianza alta</i>). Los peligros de inundaciones se han de agravar en la mayor parte de Europa (<i>confianza entre media y alta</i>); el riesgo sería importante en las zonas costeras, en que las inundaciones aumentarán la erosión y provocarán una pérdida de humedales. La mitad de los glaciares alpinos y grandes zonas de permafrost podrían desaparecer para finales del siglo XXI (<i>confianza media</i>).	RT 5.4.1, Capítulo 13 RE, y Sección 13.2.1
América Latina	Algunos estudios basados en simulaciones sugieren que, debido al cambio climático, el ciclo hidrológico podría intensificarse, con cambios en la distribución de precipitaciones intensas, períodos húmedos, y períodos secos. Las sequías frecuentes y graves experimentadas en México durante el último decenio siguen algunas de las conclusiones de estas simulaciones. El Niño se encuentra relacionado con las condiciones secas del Nordeste de Brasil, Norte de Amazonas y el altiplano de Perú-Bolivia. El Sur de Brasil y el Noroeste de Perú han mostrado unas condiciones húmedas anómalas durante estos períodos.	RT 5.5.1, Capítulo 14 RE, y Sección 14.2.4
América del Norte	La pérdida y retirada de los glaciares podría tener un efecto adverso en la escorrentía y el suministro de agua en zonas en que la fusión de la nieve representa un recurso hídrico importante (<i>confianza alta</i>). Las cuencas dependientes de la fusión de las nieves en el Oeste de América del Norte han de experimentar una anticipación de los caudales máximos primaveriles (<i>confianza alta</i>) y una reducción del caudal estival (<i>confianza media</i>); las respuestas de adaptación pueden compensar algunos, pero no todos los impactos sobre los recursos hídricos y ecosistemas acuáticos (<i>confianza media</i>).	RT 5.6.2, Sección 15.2.1, y Cuadro RRP-2
Islas pequeñas	Las islas con un abastecimiento muy limitado de agua son muy vulnerables a los impactos del cambio climático sobre el equilibrio acuático (<i>confianza alta</i>).	RT 5.8.4, Sección 17.2.6, y Cuadro RRP-2

cultivos intensivos agrícolas puede dar como resultado una pérdida rápida, por lo menos, de una parte del carbono acumulado.

Degradación y desertificación de las tierras y el cambio climático

- 8.18 **Los niveles proyectados de cambio climático podrían agravar la continua degradación y desertificación de las tierras que ha tenido lugar en muchas zonas en los últimos siglos.** La transformación del uso de las tierras y el uso intensivo de las tierras, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas del planeta, han producido una disminución de la fertilidad del suelo y un aumento de la degradación y desertificación de dichas tierras. Los cambios han sido lo suficientemente grandes como para ser visibles desde satélites espaciales. La degradación de las tierras ha afectado ya a más de 900 millones de personas en 100 países, y a una cuarta parte de los suelos del mundo, la mayoría de ellos en países en desarrollo. Las pérdidas anuales registradas de millones de hectáreas socavan considerablemente las economías y crean algunas situaciones irreversibles. Las proyecciones del TIE basadas en los escenarios del IEEE indican un aumento de las sequías, una mayor intensidad de las precipitaciones, unas pautas de precipitación más irregulares y unas sequías tropicales más frecuentes en verano en las zonas interiores continentales a latitudes medias. Los sistemas que probablemente han de recibir los impactos son las praderas y los que sufren escasez de agua y problemas de hundimiento (véase el Cuadro 8–2).



GTI TIE Secciones 2.7.3.3,
9.3, & 10.3, GTII TIE
Sección 5.5, & GTII TIE
Cuadro RRP-1

- 8.19 **Los tres tipos de problemas relacionados con el agua dulce—la escasez, la sobreabundancia y la suciedad—pueden verse agravados por el cambio climático.** El agua dulce es esencial para la salud humana, la producción de alimentos y el saneamiento, así como para usos en la fabricación y otros sectores industriales y en los ecosistemas que sostienen la vida. Existen varios indicadores de los problemas que están afectando los recursos hídricos. Cuando el consumo representa más del 20 por ciento de los recursos renovables totales, el problema del agua es a menudo un factor que frena el desarrollo. Si se consume un 40 por ciento o más, el problema es grave. Análogamente, el problema del agua puede ser acuciante si un país o región tiene menos de $1.700 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ de agua per cápita. En el año 1990, aproximadamente un tercio de la población mundial vivía en países que consumían más del 20 por ciento de sus recursos hídricos, y para el año 2025, cerca del 60 por ciento del total, que sería superior, podría estar residiendo en países sujetos a estas condiciones de tensión, sólo debido al crecimiento demográfico. Las mayores temperaturas podrían agravar esos problemas. Sin embargo, las medidas de adaptación, a través de prácticas de gestión de los recursos hídricos, podrían reducir los impactos adversos. El cambio climático es sólo uno de los problemas que afectan los recursos hídricos en este mundo cada vez más poblado, pero está claro que es uno de los más importantes (véase el Cuadro 8–2). Las proyecciones del TIE basadas en los escenarios del IEEE de clima futuro indican una tendencia a crecientes riesgos de inundaciones y sequías en muchas zonas en la mayoría de escenarios. Se prevé una disminución de las reservas de agua en las zonas más cálidas del planeta como África meridional y los países alrededor del Mediterráneo. Debido a la elevación del nivel del mar, muchos sistemas costeros deberán hacer frente a la intrusión de agua salada en el agua dulce subterránea y la invasión de las aguas de mareas en los sistemas de estuarios y ríos, con los consiguientes efectos sobre la disponibilidad de agua dulce.



GTI TIE Secciones 4.1,
4.4.3, 4.5.2, & 4.6.2

- 8.20 **Los encargados de la gestión del agua en algunos países están empezando a considerar de forma explícita el cambio climático, si bien aún no se han definido bien las metodologías para hacerlo.** Por su índole, la gestión del agua se basa en la reducir al mínimo los riesgos y adaptarse a la evolución de las circunstancias, y ahora también, del clima. Se ha observado una sustitución gradual de los enfoques ‘desde la perspectiva de la oferta’ (como el abastecimiento de agua para satisfacer la demanda, aumentando la capacidad de las reservas o las defensas estructurales frente a inundaciones) por enfoques



GTII TIE Sección 4.2.4

'desde la perspectiva de la demanda' (como el recorte adecuado de la demanda para ajustarse a la disponibilidad de agua, la utilización más eficaz del agua, y medios no estructurales de preparación frente a sequías e inundaciones).

8.21 Las interacciones entre el cambio climático y otros problemas ambientales ofrecen oportunidades para captar sinergias en la elaboración de opciones de respuesta, el mejoramiento de los beneficios y la reducción de los costos (véase la Figura 1–1).

8.22 Si se aprovechan las sinergias, algunas medidas de mitigación de los gases de efecto invernadero pueden producir grandes beneficios secundarios para varios otros problemas ambientales, pero también puede haber efectos negativos.

Entre los ejemplos se incluyen, entre otros, la reducción de los efectos ambientales negativos como la contaminación del aire y los depósitos ácidos; la protección de bosques, suelos y cuencas hidrológicas; la reducción de subvenciones e impuestos distorsionantes; y la inducción de un cambio y difusión tecnológicos más eficiente, lo que contribuirá al objetivo más amplio del desarrollo sostenible. Sin embargo, según cómo se aborde el cambio climático y otros problemas ambientales, y el grado en que se tomen en cuenta las cuestiones interrelacionadas, pueden surgir importantes efectos negativos y costos imprevistos. Por ejemplo, las opciones de política para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores de energía y el uso de las tierras, pueden tener efectos positivos y negativos sobre otros problemas ambientales:

- En el sector de la energía, se podrían reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes a nivel local y regional, mediante un uso más eficiente y ambientalmente racional de la energía y de una mayor proporción de combustibles fósiles que emiten poco carbono, unas tecnologías avanzadas para el consumo de combustibles fósiles (por ejemplo, turbinas muy eficientes de ciclos de gases combinados, células energéticas y combinaciones de calor y electricidad), y tecnologías de energías renovables (por ejemplo, un mayor uso de biocombustibles ambientalmente racionales, energía hidroeléctrica y energía solar, marina y eólica). Un mayor empleo de la biomasa como sustituto de los combustibles fósiles podría tener efectos positivos o negativos sobre los suelos, la diversidad biológica y la disponibilidad del agua, según el tipo de uso de las tierras al que sustituya y del régimen de gestión.
- En el sector del uso de las tierras, la conservación de yacimientos biológicos de carbono no sólo impide que el carbono se emita a la atmósfera, sino que también puede tener un efecto favorable en la productividad de los suelos, prevenir la pérdida de diversidad biológica y reducir los problemas de contaminación del aire provenientes de la combustión de biomasa. El secuestro de carbono mediante la silvicultura de plantación puede favorecer los sumideros de carbono y proteger los suelos y las cuencas hidrológicas, pero si se desarrolla de manera impropia puede tener también efectos negativos sobre la diversidad biológica y la disponibilidad del agua. Por ejemplo, en algunas aplicaciones, las plantaciones en monocultivo podrían menoscabar la diversidad biológica local.



GTIII TIE Secciones 3.6.4,
4.4, 8.2.4, & 9.2.2–5

8.23 A la inversa, al abordar problemas ambientales distintos al cambio climático, pueden surgir beneficios secundarios en el clima, pero los vínculos entre los diversos problemas también pueden producir efectos contraproducentes.

Por ejemplo:

- Es probable que las políticas tendentes a reducir la contaminación de la atmósfera produzcan importantes beneficios en materia de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, el aumento de contaminación a menudo está asociado con un rápido crecimiento en todas las regiones del sector de los transportes, que suponen emisiones de partículas y precursores de la contaminación por el ozono. Si se abordan estas emisiones, para reducir los efectos sobre la salud humana, la agricultura y la silvicultura, mediante una creciente eficiencia energética o la introducción de energías no basadas en combustibles fósiles, se podrá también reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.



GTIII TIE Secciones 2.4,
9.2.8, & 10.3.2, & IEEE

- El control de las emisiones de azufre tiene efectos positivos sobre la salud humana y la vegetación, pero los aerosoles de sulfato contrarrestan parcialmente el efecto de calentamiento de los gases de efecto invernadero y, por lo tanto, el control de tales emisiones puede ampliar el posible cambio climático. Si las emisiones de azufre se controlan mediante la desulfurización de los gases de combustión en centrales eléctricas, se está desaprovechando la energía, además del aumento asociado de las emisiones de gases de efecto invernadero.

8.24 La adopción de tecnologías y prácticas ambientalmente racionales ofrecen oportunidades especiales para un buen desarrollo económico, ambiental y social, a la vez que se evitan las actividades con un alto coeficiente de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, la aplicación, desde las perspectivas de la demanda y la oferta, de tecnologías eficientes desde el punto de vista energético, reducen simultáneamente varios efectos ambientales relacionados con la energía, y pueden disminuir la presión sobre las inversiones en energía y las inversiones públicas, mejorar la competitividad de las exportaciones, y aumentar las reservas de energía. La adopción de prácticas agrícolas más sostenibles (en África, por ejemplo) muestra los efectos mutuamente beneficiosos de la mitigación del cambio climático, la protección ambiental y los beneficios económicos a largo plazo. La introducción o expansión de la agrosilvicultura y de una agricultura con un uso equilibrado de fertilizantes puede mejorar la seguridad de los alimentos y, al mismo tiempo, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Las pautas de desarrollo basadas en una mayor descentralización de las funciones hacia las ciudades pequeñas y medianas pueden contribuir a frenar la migración de la población rural a los centros urbanos, reducir las necesidades de transporte, y permitir el uso de tecnologías ambientalmente racionales (biocombustibles, energía solar y eólica, y energía hidroeléctrica a pequeña escala) cuando se exploten las grandes reservas de recursos naturales.



GTII TIE Sección 7.5.4 &
GTIII TIE Sección 10.3.2

8.25 La reducción de la vulnerabilidad al cambio climático puede a menudo reducir la vulnerabilidad a otros problemas ambientales y viceversa. Como ejemplos pueden mencionarse:

- *Protección de ecosistemas amenazados:* La eliminación de las tensiones sociales y la gestión sostenible de recursos pueden ayudar a que sistemas únicos y amenazados puedan soportar los problemas adicionales impuestos por el cambio climático. Si se tienen en cuenta los cambios climáticos potenciales y se los integra en las necesidades socioeconómicas y planes de desarrollo, las medidas para la adaptación al cambio climático y las estrategias para la conservación de la diversidad biológica pueden ser más eficaces.
- *Gestión del uso de las tierras:* Si se aborda o evita la degradación de las tierras, también se disminuye la vulnerabilidad al cambio climático, especialmente cuando las estrategias de respuesta tienen en cuenta los factores sociales y económicos que definen las prácticas del uso de las tierras, junto con los riesgos adicionales impuestos por el cambio climático. En regiones en que la deforestación está avanzando y produciendo una pérdida de carbono y niveles máximos de escorrentía se puede ayudar a combatir la desertificación mediante el restablecimiento de la vegetación a través de la forestación (y cuando sea posible la reforestación) y la revegetación.
- *Gestión del agua dulce:* Los problemas de disponibilidad, sobreabundancia y contaminación del agua dulce, muchas veces causados por presiones demográficas y de desarrollo, pueden verse agravados por el cambio climático. La reducción de la vulnerabilidad frente a las tensiones relacionadas con el agua (por ejemplo, mediante la conservación del agua, la gestión de la demanda de agua, y un uso más eficiente) también reduce la vulnerabilidad frente a otros problemas ocasionados por el cambio climático.



GTII TIE Secciones 4.1-2
& 7.5.4

8.26 Los enfoques que explotan las sinergias entre las políticas ambientales y los principales objetivos socioeconómicos nacionales, como el crecimiento y la equidad, podrían ayudar a mitigar y reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático, además de promover un desarrollo sostenible. El desarrollo sostenible



GTIII TIE Secciones
1.3.4, 2.2.3, & 10.3.2, &
DES DR

está estrechamente vinculado con los componentes ambientales, sociales y económicos que definen el estado de cada comunidad. La Figura 8–3 ilustra los nexos entre esos componentes del desarrollo sostenible y muestra que cuestiones importantes como el cambio climático, la sostenibilidad, la pobreza y la equidad pueden estar relacionadas con cada uno de los tres componentes. Así como las políticas centradas en el clima pueden aportar beneficios secundarios que mejoran el bienestar, las políticas socioeconómicas no centradas en el clima también pueden producir beneficios climáticos. Si se aprovechan dichos beneficios secundarios, se puede reforzar el desarrollo sostenible. Existen interacciones complejas entre los problemas ambientales, sociales y económicos y, por lo tanto, ninguno de estos tres tipos de problemas se puede resolver por separado.

- 8.27 **Los países con recursos económicos limitados, niveles bajos de tecnología, sistemas de información mediocres, infraestructura insuficiente, instituciones débiles e inestables, una atribución de medios y de acceso poco equitativo a los recursos, son muy vulnerables, no sólo al cambio climático, sino también a otros problemas ambientales y, al mismo tiempo, tienen una capacidad limitada para adaptarse a la evolución de las circunstancias y/o mitigarlas.**

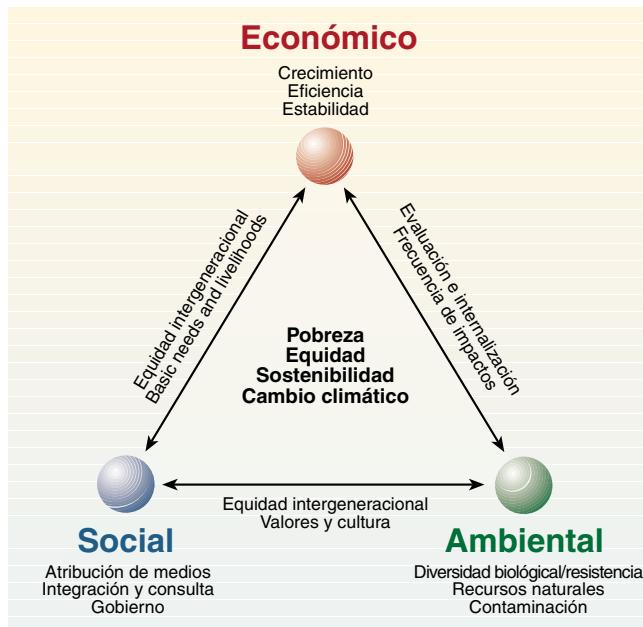
La capacidad de estos países para adaptarse y mitigar los cambios se puede mejorar si las políticas climáticas se integran con los objetivos no relacionados con el clima en la política nacional de desarrollo, y se convierte a esas políticas en estrategias generales de transición, para lograr los cambios sociales y tecnológicos a largo plazo necesarios para el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático.

→ GTII TIE Capítulo 18 &
GTIII TIE Secciones 1.5.1,
2.4.4, 10.3.2, & 10.3.4

- 8.28 **Existe una gran interacción entre las cuestiones ambientales abordadas en los acuerdos multilaterales sobre medio ambiente, y es posible explotar las sinergias con motivo de la aplicación de dichos acuerdos.** Una serie de convenios y acuerdos independientes tratan los problemas ambientales de nuestro mundo—la Convención de Viena y su Protocolo de Montreal, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, y el Foro de las Naciones Unidas sobre Bosques—además de una serie de acuerdos regionales, como el Convenio

→ GTIII TIE Sección 10.3.2

Componentes clave del desarrollo sostenible y sus relaciones mutuas



→ DES DR

Figura 8–3: Los vértices del triángulo representan las tres principales dimensiones o ámbitos del desarrollo sostenible: económico, social y ambiental. El ámbito económico está orientado principalmente hacia la mejora del bienestar humano, sobre todo a través del aumento del consumo de bienes y servicios. El ámbito ambiental se centra en la protección de la integridad y resistencia de los sistemas ecológicos. El ámbito social hace hincapié en el fortalecimiento de las relaciones humanas y el logro de las aspiraciones individuales y colectivas. En los lados del triángulo se muestran ejemplos de vínculos entre los tres ámbitos. Algunas cuestiones importantes como el cambio climático, la pobreza, la equidad y la sostenibilidad, se sitúan dentro del triángulo e interactúan con los tres ámbitos.

sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia. El Cuadro 8–3 proporciona una lista de ejemplos seleccionados de dichos convenios e instrumentos. Estos tratados pueden contener, entre otras cosas, requisitos similares en lo que se refiere a instituciones civiles o gubernamentales coordinadas o compartidas de forma común, para la consecución de los objetivos generales—por ejemplo, la formulación de estrategias y planes de acción como un marco para la aplicación a nivel nacional; la recopilación y procesamiento de datos o capacidades nuevas y mejoradas para los recursos humanos y las estructuras institucionales; así como obligaciones de presentación de informes. También proporcionan un marco dentro del que se puedan utilizar las sinergias en evaluaciones científicas (véase el Recuadro 8–1).

Cuadro 8-3 Tratados internacionales seleccionados sobre el medio ambiente.	
<i>Convenio y acuerdo</i>	<i>Lugar y fecha de adopción</i>
El Tratado Antártico - Protocolo Antártico sobre la Protección del Medio Ambiente (Tratado Antártico)	Washington, 1959 Madrid, 1991
Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas - Protocolo para enmendar la Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas	Ramsar, 1971 París, 1982
Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques	Londres, 1973
Convención sobre el comercio internacional de especies amenazadas de fauna y flora silvestres	Washington, 1973
Convenio sobre prevención de la contaminación marina de fuentes con base terrestre	París, 1974
Convención sobre la conservación de especies migratorias de animales silvestres	Bonn, 1979
Convenio Naciones Unidas/CEE sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza a Larga Distancia - Protocolo sobre Financiación a largo plazo del Programa cooperativo de vigilancia y evaluación del transporte de contaminantes atmosféricos a larga distancia en Europa (EMEP) - Protocolo relativo al control de las emisiones de azufre o de sus corrientes transfronterizas al menos en un 30 por ciento - Protocolo relativo al control de las emisiones de óxidos de nitrógeno o sus flujos transfronterizos - Protocolo sobre el control de emisiones de compuestos orgánicos volátiles o sus flujos transfronterizos - Protocolo sobre reducciones adicionales de las emisiones de azufre - Protocolo sobre metales pesados - Protocolo sobre contaminantes orgánicos persistentes - Protocolo para la reducción de la acidificación, eutrofización y el ozono a nivel del suelo	Ginebra, 1979 Ginebra, 1984 Helsinki, 1985 Sofía, 1988 Ginebra, 1991 Oslo, 1994 Aarhus, 1998 Aarhus, 1998 Gotenburgo, 1999
Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar	Montego Bay, 1982
Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono - Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono	Viena, 1985 Montreal, 1987
Convenio de Basilea sobre la gestión ambientalmente racional de los desechos peligrosos y particularmente sobre el control de sus movimientos transfronterizos - Enmienda al Convenio de Basilea sobre la gestión ambientalmente racional de los desechos peligrosos y particularmente sobre el control de sus movimientos transfronterizos	Basilea, 1989 Ginebra, 1995
Convenio Naciones Unidas/CEE sobre la protección y uso de corrientes de agua y lagos internacionales e interfronterizas	Helsinki, 1992
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático - Protocolo de Kyoto relativo al Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	Nueva York, 1992 Kyoto, 1997
Convenio sobre la Diversidad Biológica - Protocolo de Cartagena sobre la seguridad de la biotecnología, relativo al Convenio sobre la Diversidad Biológica	Río de Janeiro, 1992 Montreal, 2000
Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los Países afectados por Sequía o Desertificación Graves, en particular en África	París, 1994
Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes	Estocolmo, 2001
Foro de las Naciones Unidas sobre bosques ^a	Nueva York, 2001

^a Esta referencia se incluye habida cuenta de la importancia de los esfuerzos internacionales para alcanzar un tratado sobre el problema de los bosques y su valor ambiental.

Recuadro 8-1 Evaluación del cambio climático y del agotamiento del ozono estratosférico.

El Grupo de Expertos para Evaluación Científica del Ozono del Protocolo de Montreal y el IPCC han llevado a cabo actividades integradas para evaluar el estado de nuestros conocimientos sobre la interacción de la capa de ozono estratosférico y el sistema climático. En los últimos años, las Evaluaciones Científicas sobre el Agotamiento del Ozono han incluido la importancia de los gases que agotan la capa de ozono en el clima. Además, en estas evaluaciones se examina de qué manera los cambios climáticos actuales y futuros y la abundancia de gases de efecto invernadero pueden influir en la recuperación de la capa de ozono. El IPCC ha evaluado la tendencia al enfriamiento climático debido al agotamiento de la capa de ozono. Además se han llevado a cabo actividades conjuntas, como la evaluación de los efectos de la aviación en el clima y la capa de ozono, y la manera en que las decisiones potenciales sobre las propiedades de los sustitutos de los gases que agotan el ozono (sobre todo los hidrofluorocarbonos) en relación con el calentamiento del planeta pueden tener los impactos en la necesidad de esos gases como parte de las medidas de mitigación en virtud del Protocolo de Montreal. Estas evaluaciones proporcionan información sobre la manera en que las medidas y decisiones adoptadas para abordar un problema pueden afectar al otro, y fomentan un diálogo eficaz entre los marcos de política.



TIE GTI Secciones 4.2,
5.5, 6.13, y 7.2.4, TIE GTIII
Capítulo 3 Apéndice, y
IEAAM Sección 4-2

P9

Pregunta 9

¿Cuáles son las conclusiones más sólidas y las principales incertidumbres en relación con la atribución del cambio climático y con las proyecciones basadas en simulaciones sobre:

- Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles?
- Las concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles?
- Los cambios futuros en el clima mundial y regional?
- Los efectos mundiales y regionales del cambio climático?
- Los costos y beneficios de las opciones de mitigación y adaptación?

Introducción

- 9.1 **La comprensión del cambio climático, sus impactos, y las opciones para su mitigación y adaptación se desarrolla a través de actividades multidisciplinarias e interdisciplinarias de investigaciones y vigilancia, en un marco de evaluación integrado.** A medida que se acrecienta el conocimiento, algunas conclusiones parecen más sólidas y algunas incertidumbres cobran de vital importancia para un proceso fundamentado de formulación de políticas. Algunas incertidumbres surgen a raíz de la falta de conocimientos sobre los procesos clave y de la discrepancia sobre lo que se sabe. O incluso sobre lo que se podría saber. Otras incertidumbres se encuentran asociadas a la predicción de los comportamientos sociales y personales como respuesta a información y acontecimientos. Las incertidumbres tienden a aumentar con la complejidad del problema, a medida que se introducen nuevos elementos que incorporan una gama más amplia de impactos físicos, técnicos, sociales y políticos y de respuestas de política. El clima reacciona ante la influencia humana de forma no deliberada ni por elección; pero la sociedad humana puede responder al cambio climático de forma deliberada, y decidir entre diferentes opciones. Un objetivo del TIE y de otros informes del IPCC es la investigación, evaluación, cuantificación y, si es posible, reducción de estas incertidumbres.
- 9.2 **En este informe, se entiende por conclusión sólida relacionada con el cambio climático la que resiste ante una serie de enfoques, métodos, simulaciones e hipótesis diversas, y relativamente poco afectada por incertidumbres.** En la bibliografía sobre el tema, una conclusión sólida debería pertenecer a alguna de determinadas categorías, que son *bien establecidas* (nivel alto de acuerdo y gran número de pruebas) o *establecidas pero incompletas* (nivel alto de acuerdo, pero pruebas incompletas). La solidez es diferente de la probabilidad: una conclusión de que algo sea ‘excepcionalmente improbable’ puede ser tan sólida como otra de que algo sea ‘prácticamente cierto’. Una importante contribución del TIE es la noción de vías alternativas múltiples para la emisión y la concentración de gases de efecto invernadero, tal como se representan en los escenarios del IEEE. Las conclusiones sólidas son aquellas que se mantienen en una amplia gama de estos posibles escenarios.
- 9.3 **Por incertidumbres clave se entiende en este contexto aquellas que, si se reducen, pueden producir conclusiones nuevas y sólidas en relación con las preguntas formuladas en este informe.** Estas conclusiones pueden, a su vez, producir mejor o más información que respalde la formulación de políticas. Las incertidumbres nunca se pueden resolver totalmente, pero a menudo se las puede circunscribir mediante más pruebas y conocimientos, sobre todo en la búsqueda de resultados coherentes o conclusiones sólidas.
- 9.4 **Las conclusiones sólidas y las incertidumbres clave pueden reunirse en el contexto de un marco integrado de evaluación.**
- 9.5 **El marco integrado de evaluación descrito en este informe se utiliza para reunir las conclusiones sólidas y las incertidumbres clave en proyecciones basadas en simulaciones.** Dicho marco puede abarcar todas las disciplinas necesarias para comprender el clima, la biosfera, y la sociedad humana. Hace hincapié en los vínculos entre los sistemas descritos en los diferentes informes de los Grupos de Trabajo del TIE, y considera además los vínculos entre el cambio climático y otros problemas ambientales, y ayuda a identificar las lagunas existentes en nuestros conocimientos. Indica cómo las incertidumbres clave pueden afectar todo el panorama general. La Figura 1–1 muestra cómo se pueden integrar la adaptación y la mitigación en la evaluación. Los sistemas humanos y naturales tendrán que adaptarse al cambio climático, y el desarrollo se verá afectado. La adaptación consistirá en medidas autónomas como iniciativas gubernamentales, y las medidas de adaptación reducirán (pero no lograrán evitar de forma completa) algunos de los impactos

del cambio climático sobre estos sistemas y sobre el desarrollo. Las medidas de adaptación proporcionarán beneficios pero también supondrán costos. La mitigación, a diferencia de la adaptación, reduce las emisiones al principio del ciclo. Disminuye las concentraciones—en relación con lo que ocurriría si no se aplicara—y reduce el cambio climático y los riesgos e incertidumbres asociados. Además atenúa la necesidad de adaptación, los impactos del cambio climático, y los efectos sobre el desarrollo socioeconómico. Otra diferencia es que la mitigación tiene como objetivo abordar los impactos sobre todo el sistema climático, mientras que la adaptación se orienta principalmente a los impactos locales y específicos del cambio. El principal beneficio de la mitigación es evitar el cambio climático, pero esto también supone costos. Además, la mitigación aumenta los beneficios secundarios (como la reducción de contaminación del aire, con las consiguientes mejoras en la salud humana). Un enfoque totalmente integrado de la evaluación del cambio climático consideraría de manera dinámica todo el ciclo que se muestra en la Figura 1–1, junto con todas las reacciones, pero esto no ha sido posible en el marco del TIE.

- 9.6 Muchas de las **conclusiones sólidas** incluidas en el Cuadro RRP–3 se refieren a la existencia de una reacción del clima a las actividades humanas, y las manifestaciones de dicha reacción. Muchas de las **incertidumbres clave** tienen que ver con la cuantificación de la magnitud y/o la oportunidad de la respuesta y los efectos que podrían producirse si se mejoraran los métodos y se aflojaran las hipótesis.

Atribución del cambio climático

- 9.7 **Existen actualmente pruebas más concluyentes sobre la influencia de la actividad humana en el clima mundial.**

- 9.8 **Un número creciente de observaciones ofrece una visión colectiva de un mundo cada vez más cálido, y los estudios de simulación indican la probabilidad de que, en su mayor parte, el calentamiento observado en la superficie terrestre durante los últimos 50 años se haya debido a actividades humanas.** A escala mundial, es probable que el decenio del 1990 fuera el más cálido desde que tenemos registros instrumentales (desde el año 1861). Para el Hemisferio Norte, es probable que la magnitud del calentamiento en los últimos 100 años sea la mayor de cualquier siglo durante los últimos 1.000 años. Las observaciones y las simulaciones proporcionan pruebas más sólidas de que, en gran parte, el calentamiento observado durante los últimos 50 años se puede atribuir a un aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero. Las observaciones también dan una mayor confianza sobre la capacidad de las simulaciones para ofrecer proyecciones sobre los cambios climáticos futuros. Para una mejor cuantificación de la influencia humana, es necesario reducir las **incertidumbres clave** relacionadas con la magnitud y carácter de la variabilidad natural y de la magnitud de las fuerzas naturales debidas a factores naturales y a los aerosoles antropogénicos (particularmente, los efectos indirectos) y la relación de tendencias regionales con el cambio climático antropogénico.

→ P2.7 & P2.10–11

Emisiones y concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles

- 9.9 **Las actividades humanas aumentan las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero.**

- 9.10 **Desde el año 1750 (es decir, desde el principio de la Revolución Industrial), la concentración atmosférica de CO₂ (el principal factor que contribuye a los forzamientos radiativos antropogénicos) ha aumentado en un 31 por ciento debido a las actividades humanas, y todos los escenarios del IEEE proyectan importantes aumentos en el futuro (Figura 9–1a).** Otros gases de efecto invernadero han aumentado también sus concentraciones desde el año 1750 (el

→ P2.4, P3.3, P3.5 & P5.3

CH_4 en un 150 por ciento, y el N_2O en un 17 por ciento). La concentración actual de CO_2 no tiene precedentes en los últimos 420.000 años (el espacio de tiempo cuantificable en los testigos de hielo más importantes) y probablemente, en los últimos 20 millones de años. La velocidad de este aumento no tiene precedentes si la relacionamos con cualquier cambio mundial sostenido durante al menos los últimos 20.000 años. En las proyecciones de gases de efecto invernadero basadas en el conjunto de escenarios del IEEE (véase el Recuadro 3-1), las concentraciones de CO_2 continúan creciendo hasta el año 2100. La mayoría de los escenarios del IEEE muestran reducciones en las emisiones de SO_2 (precursor de los aerosoles de sulfato) para el año 2100, en comparación con el año 2000. Algunos gases de efecto invernadero (como el CO_2 , el N_2O , y los perfluorocarbonos) tienen unos tiempos de vida muy largos (un siglo o más) en la atmósfera, mientras que el tiempo de vida de los aerosoles se mide por días. Las *incertidumbres clave* son inherentes en las hipótesis subyacentes de la amplia gama de emisiones futuras en los escenarios del IEEE y, por lo tanto, en la cuantificación de las concentraciones futuras. Estas incertidumbres se relacionan con el crecimiento de la población, el progreso tecnológico, el crecimiento económico y las estructuras de gobierno, que son especialmente difíciles de cuantificar. Además, los escenarios disponibles de las emisiones de precursores de aerosoles y del ozono atmosférico en la atmósfera inferior eran inadecuados. Surgen incertidumbres menores debido a la falta de conocimientos sobre todos los factores inherentes en la simulación del ciclo de carbono y

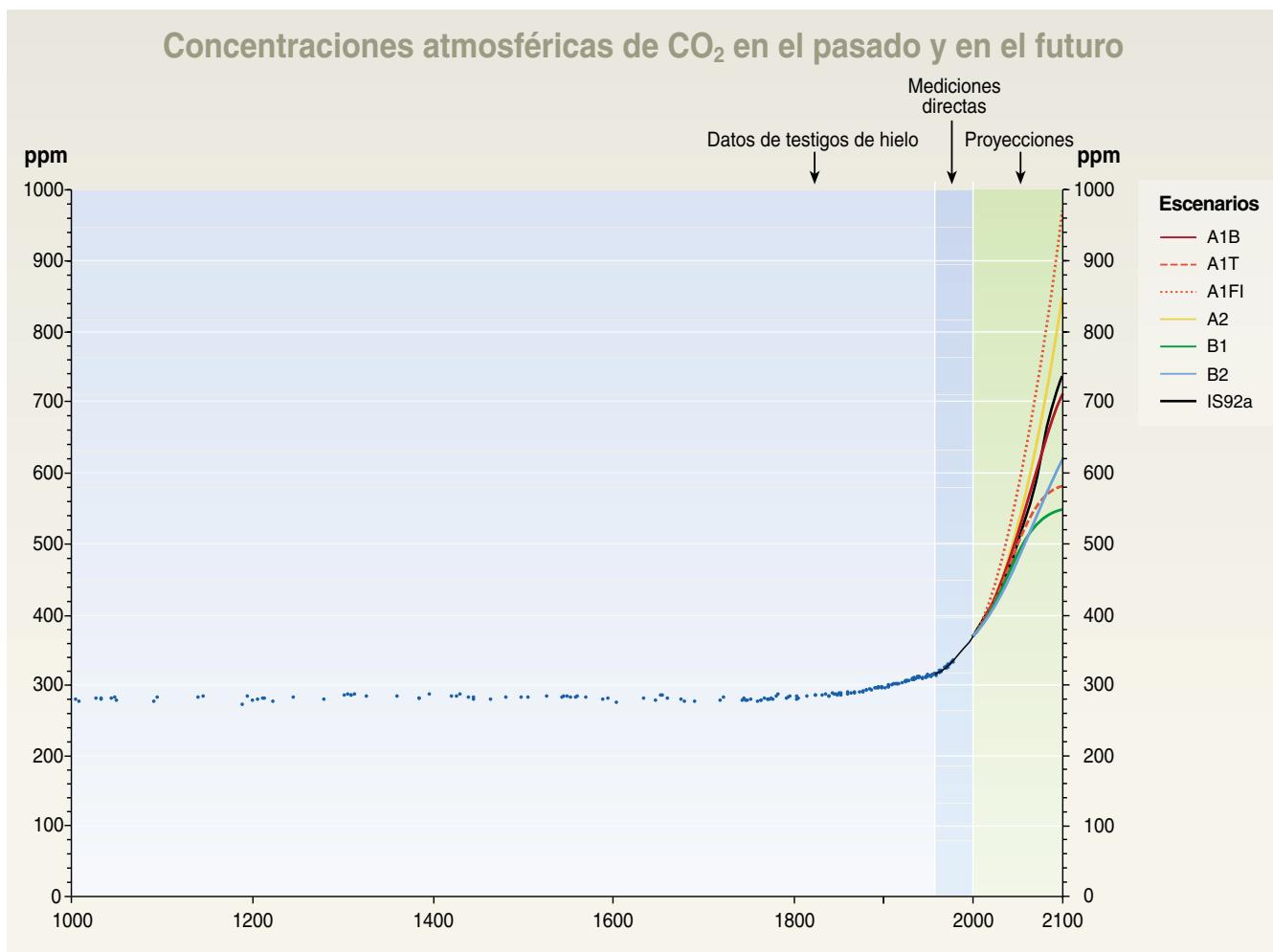


Figura 9-1a: Observaciones de las concentraciones atmosféricas de CO_2 desde el año 1000 al 2000 a partir de datos de testigos de hielo y mediciones atmosféricas directas durante los últimos decenios. Las proyecciones sobre concentraciones de CO_2 durante el período 2000–2100 están basadas en los seis escenarios ilustrativos del IEEE y el IS92a (para compararlos con el SIE).



TIE GTI RRP Figuras 2a
y 5b

sobre los efectos de las respuestas climáticas. Si se tienen en cuenta todas estas incertidumbres, se produce una gama de concentraciones de CO₂ en el año 2100 de unas 490–1.260 ppm (comparadas con las concentraciones preindustriales de unas 280 ppm y las 368 ppm del año 2000).

- 9.11 **Es prácticamente seguro que las emisiones de CO₂ procedentes de combustibles fósiles sean la influencia predominante en la tendencia de las concentraciones de CO₂ a lo largo del siglo XXI.** Esto se deduce de la gama de escenarios del IEEE en donde las emisiones proyectadas de combustibles fósiles exceden los sumideros y fuentes biosféricas previstos de CO₂. Se estima que, incluso si todo el carbono emitido hasta ahora por los cambios en el uso de las tierras se devolviera a la biosfera terrestre (por ejemplo, con la reforestación), la concentración de CO₂ se podría reducir en unas 40–70 ppm. Existen *incertidumbres clave* acerca de la influencia del cambio del uso de las tierras y las reacciones biosféricas en la absorción, almacenamiento y emisiones de carbono que, a su vez, podrían influir en las concentraciones de CO₂.

→ P4.11 & P7.4

Cambios futuros en el clima mundial y regional

- 9.12 **El clima ha cambiado durante el siglo XX; se esperan mayores cambios en el siglo XXI.**

- 9.13 **En todos los escenarios del IEEE, las proyecciones muestran que la temperatura media mundial de la superficie ha de continuar aumentando durante el siglo XXI a niveles que, muy probablemente, no tengan precedentes durante los últimos 10.000 años, a juzgar por datos paleoclimáticos (Figura 9–1b).** Es muy probable que casi todas las zonas terrestres se calienten más rápidamente que la media mundial, sobre todo las zonas en latitudes septentrionales altas durante la estación fría. Muy probablemente habrá más días calurosos, menos días fríos, olas de frío y días con heladas, y una reducción de la amplitud de las temperaturas diurnas.

→ P3.7, P3.11, & P4.5

- 9.14 **En un mundo más cálido, el ciclo hidrológico ha de ser más intenso.** Se prevé que aumente la media mundial de precipitaciones. Muy probablemente habrá precipitaciones más fuertes (y, por lo tanto, más inundaciones) en muchas zonas. Es muy probable que el clima sea más seco en verano y haya un más alto riesgo de sequías en la mayoría de las latitudes medias del interior de los continentes. Incluso con un cambio nulo o muy reducido en la amplitud de El Niño, es probable que el aumento de las temperaturas a nivel mundial produzca mayores fenómenos extremos tanto de clima seco como de precipitaciones, y un mayor riesgo de las sequías e inundaciones que acompañan los fenómenos derivados de El Niño en muchas regiones diferentes.

→ P2.24, P3.8, P3.12, P4.2, & P4.6

- 9.15 **En un mundo más cálido, el nivel del mar se elevará, debido principalmente a la expansión térmica y la pérdida de masa de los glaciares y de las capas de hielo, y esta subida continuará durante centenares de años, incluso después de la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero.**

Esto es debido a las grandes escalas temporales necesarias para que las profundidades del océano se ajusten al cambio climático. Las capas de hielo van a continuar reaccionando al cambio climático durante miles de años. Las simulaciones prevén que un aumento local de la temperatura media anual de más de 3°C, sostenido durante muchos milenios, produzca una fusión completa de la placa de hielo de Groenlandia, lo que conllevaría una elevación del nivel del mar de cerca de 7 m.

→ P3.9, P3.14, P4.15, & P5.4

- 9.16 Las *incertidumbres clave* que influyen la cuantificación y los detalles de las proyecciones futuras del cambio climático son las asociadas con los escenarios del IEEE, y también las asociadas con las simulaciones del cambio climático, en particular aquellas que tienen que ver con nuestros conocimientos de los procesos clave de respuesta en el

→ P3.6, P3.9, & P4.9–19

sistema climático, sobre todo los que suponen nubes, vapor de agua y aerosoles (y sus forzamientos indirectos). Si se tienen en cuenta estas incertidumbres, se produce una gama de proyecciones del aumento de temperaturas en la superficie durante el período 1990–2100, entre 1,4 y 5,8°C (véase la Figura 9–1b) y de la elevación del nivel del mar, entre 0,09 y 0,88 m.

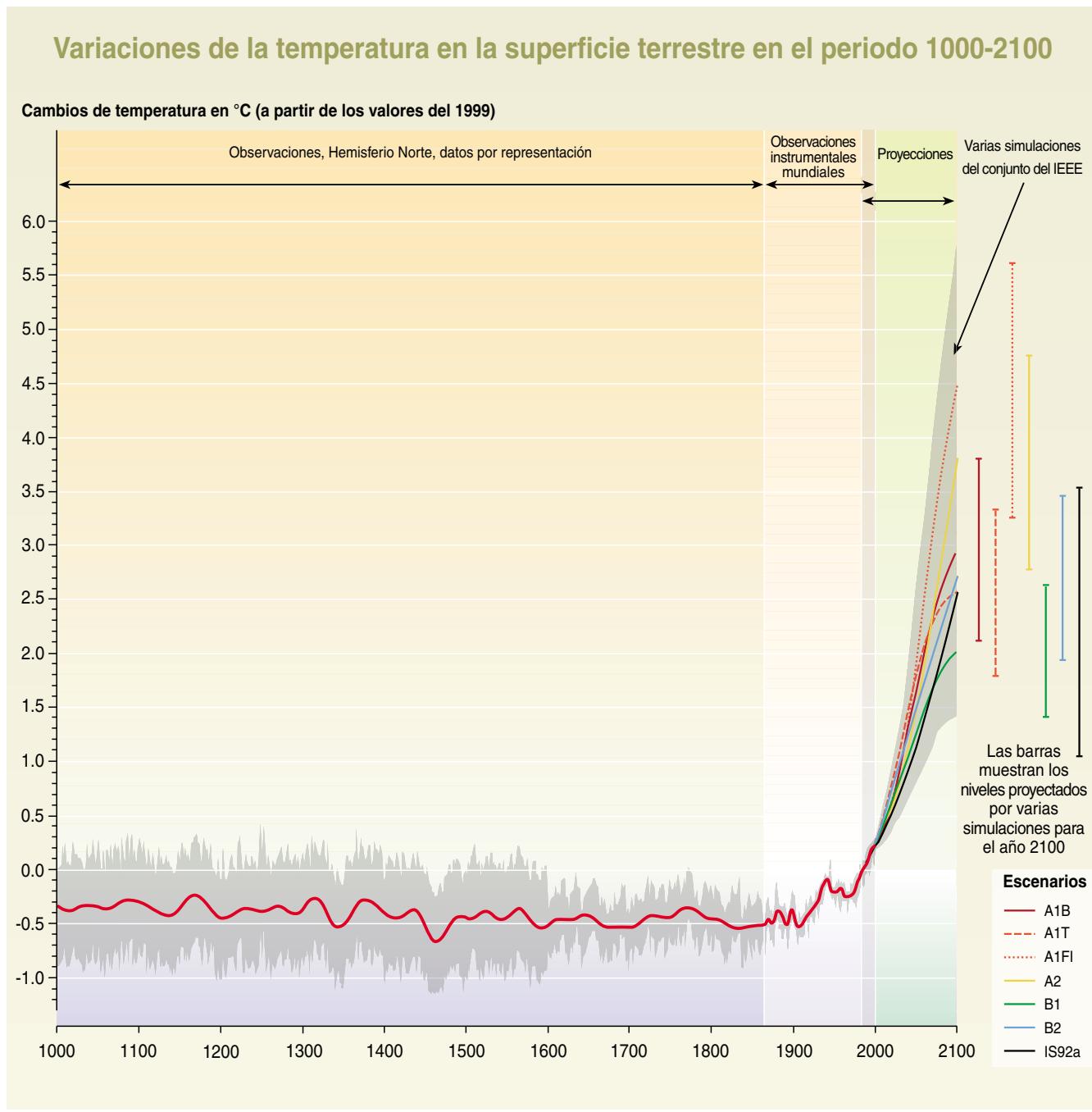


Figura 9–1b: Variaciones de la temperatura media de la superficie terrestre en el período 1000–2100. Se muestran observaciones de variaciones en la temperatura media de la superficie en el Hemisferio Norte durante el período 1000–1860 (no se dispone de datos correspondientes para el Hemisferio Sur), extraídas a partir de datos por representación (anillos de los árboles, corales, testigos de hielo y registros históricos). La línea muestra una media en 50 años, y la zona gris es el límite de confianza del 95 por ciento en los datos anuales. En el período 1860–2000 se muestran las observaciones de variaciones anuales y mundiales de la temperatura media de la superficie obtenidas del registro instrumental. La línea muestra la media por decenios. Para el período 2000–2100, se muestran las proyecciones de la temperatura media mundial de la superficie para los seis escenarios ilustrativos del IEEE y los del IS92a, estimadas mediante una simulación con sensibilidad climática media. La zona gris marcada ‘conjunto del IEEE en varias simulaciones’ muestra la gama de resultados de los 35 escenarios del IEEE además de los obtenidos de una gama de simulaciones con diferentes sensibilidades climáticas.



TIE GTI RRP Figuras 1b y 5d

Otra incertidumbre afecta el conocimiento de la distribución de probabilidad asociada con las proyecciones de temperaturas y nivel del mar para la gama de escenarios del IEEE. También hay *incertidumbres clave* en relación con los detalles sobre el cambio climático regional y sus impactos, debido a las capacidades limitadas de las simulaciones regionales, y de las simulaciones mundiales que las guían, y a las incoherencias en los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones, especialmente en algunas zonas y en precipitaciones. Otra incertidumbre clave se refiere a los mecanismos, la cuantificación, las escalas temporales y las probabilidades asociadas con cambios repentinos/no lineales a gran escala (como los de la circulación termohalina de los océanos).

Impactos regionales y mundiales del cambio climático

9.17 **El cambio climático proyectado tendrá efectos beneficiosos y adversos en los sistemas ambientales y socioeconómicos, pero cuanto mayor sea la importancia de los cambios en el clima, y la velocidad con que se producen, más predominarán los efectos adversos.**

9.18 **Los cambios regionales en el clima, sobre todo los aumentos de temperatura, ya han afectado y van a continuar afectando a un conjunto diverso de sistemas biológicos y físicos en muchas partes del mundo.** Entre los ejemplos de cambios observados se incluyen la contracción de los glaciares, la reducción de la cubierta estacional de nieve, la fusión del permafrost, el congelamiento tardío y la ruptura prematura del hielo en ríos y lagos, la pérdida del hielo marino en el Ártico, la prolongación de la época de cultivos en latitudes medias y altas, los desplazamientos en altitud y hacia los polos de una serie de animales y plantas, los cambios en la progresión estacional de algunos animales y plantas, la disminución de la población de varias plantas y animales, y el daño a los arrecifes de coral. Se puede prever que las tasas observadas de cambio aumenten en el futuro representado en cualquiera de los escenarios del IEEE, para el cual las tendencias de calentamiento para el siglo XXI serán de dos a diez veces superiores a las observadas durante el siglo XX. Muchos sistemas físicos son vulnerables al cambio climático: por ejemplo, el impacto de las mareas de tempestad repentinas en las costas se verá exacerbado por la elevación del nivel del mar, y los glaciares y el permafrost seguirán disminuyendo. En algunas latitudes medias a altas, la productividad de las plantas (los árboles y algunos cultivos agrícolas) podría aumentar con pequeños aumentos de temperatura. La productividad de las plantas disminuiría en la mayoría de las regiones del mundo con un calentamiento superior a unos pocos °C. En la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales, se proyecta que la producción prevista disminuya con prácticamente cualquier aumento de temperaturas.

→ P3.14 & P3.18–21

9.19 **Los ecosistemas y las especies son vulnerables al cambio climático y a otros problemas (tal como muestran los impactos observados de los cambios recientes de temperaturas regionales) y algunos resultarán dañados o incluso desaparecerán irreversiblemente.** Entre los sistemas naturales expuestos a riesgo figuran los arrecifes y atolones de coral, los manglares, los bosques boreales y tropicales, los ecosistemas polares y alpinos, los humedales en praderas, y los pastizales nativos subsistentes. Si bien puede aumentar el número o área de distribución de algunas especies, el cambio climático ha de agravar los riesgos actuales de extinción de algunas especies vulnerables y de pérdida de diversidad biológica. Está bien establecido que la extensión geográfica de los daños o pérdidas, y el número de sistemas afectados, aumentarán con la magnitud y la velocidad del cambio climático.

→ P3.18

9.20 **Se proyecta que los impactos adversos del cambio climático afecten desproporcionadamente a los países en desarrollo y los sectores más pobres de la población.** Los cambios previstos en los extremos climáticos podrían tener graves consecuencias, especialmente en la seguridad del agua y de los alimentos, y en la salud.

→ P3.17, P3.21–22, & P3.33

La vulnerabilidad de las sociedades humanas y de los sistemas naturales frente a los extremos climáticos queda demostrada con los daños, dificultades y muertes que causan fenómenos como sequías, inundaciones, olas de calor, avalanchas, deslizamientos de tierras y tormentas de viento, que han acusado una tendencia al alza durante los últimos decenios. Al mismo tiempo que se proyecta que aumente la cantidad total de precipitaciones, habrá probablemente cambios mucho mayores en su intensidad y frecuencia, lo que ha de incrementar la probabilidad de climas secos y precipitaciones extremas y, por consiguiente, de sequías e inundaciones durante el siglo XXI. Estos aumentos, cuando se combinan con una mayor tensión en los recursos hídricos (que ya está ocurriendo debido al aumento de la demanda), afectarán la seguridad de los alimentos y la salud, sobre todo en muchos países en desarrollo. En cambio, se proyecta que en el futuro disminuyan la frecuencia y magnitud de fenómenos extremos de temperaturas bajas, como épocas frías, con impactos tanto positivos como negativos.

- 9.21 **Las poblaciones que viven en pequeñas islas y en zonas costeras bajas están especialmente expuestas a graves efectos económicos y sociales debido a la elevación del nivel del mar y las mareas de tempestad.** Decenas de millones de personas que viven en deltas, zonas costeras bajas o pequeñas islas podrían tener que desplazarse. Los impactos negativos se agravarán por la intrusión de agua salada y las inundaciones debidas a las mareas de tempestad, la pérdida de zonas húmedas costeras y la disminución del caudal de los ríos.

→ P3.23-24

- 9.22 Las *incertidumbres clave* en la identificación y cuantificación de los impactos derivan de la carencia de información fidedigna y detallada sobre el cambio climático en los planos local y regional, especialmente en la proyección de fenómenos extremos, la falta de consideración, cuando se evalúan los impactos, de los efectos de los cambios extremos y los desastres, el escaso conocimiento de algunos procesos y respuestas no lineales, las incertidumbres en la fijación del costo de los daños debidos a los efectos climáticos, la falta de datos importantes y de conocimiento sobre procesos clave en diferentes regiones, y las incertidumbres en la evaluación y predicción de la respuesta de los sistemas ecológicos y sociales (por ejemplo, los impactos de enfermedades transmitidas por el agua y por vectores) y económicos frente al impacto combinado del cambio climático y de otros problemas como el cambio del uso de las tierras, la contaminación local, etc.

→ P3.13, P4.10, & P4.18–19

Costos y beneficios de las opciones de adaptación y mitigación

- 9.23 **La adaptación es una necesidad; su costo se puede reducir con la previsión, el análisis y la planificación.**

- 9.24 **La adaptación ya no es una opción, sino una necesidad, dado que el clima y los impactos relacionados con sus cambios ya están sucediendo. La adaptación preventiva y reactiva, que variará según el lugar y el sector, puede ayudar a reducir los impactos adversos del cambio climático, mejorar los efectos beneficiosos, y producir muchos efectos secundarios inmediatos, pero no ha evitar todos los daños.** Sin embargo, sus posibilidades son mucho más limitadas para los sistemas naturales que para los sistemas humanos. La capacidad de las diferentes regiones para adaptarse al cambio climático depende en gran medida del estado actual y futuro de su desarrollo socioeconómico y su exposición a los problemas climáticos. Por lo tanto, el potencial de las medidas de adaptación es más limitado para los países en desarrollo que, según se prevé, han de ser los más afectados. La adaptación parece más fácil si los cambios climáticos son modestos y/o graduales, y no importantes y/o repentinos. Si el clima cambia más rápidamente de lo proyectado en cualquier región, las posibilidades de las medidas de adaptación para disminuir la vulnerabilidad de los sistemas humanos serán menores.

→ P3.26–28 & P3.33

9.25 **Los costos de adaptación se pueden reducir con la prevención y medidas planificadas, y muchos costos pueden ser relativamente reducidos, especialmente cuando las políticas y medidas de adaptación contribuyen a otros objetivos de desarrollo sostenible.**

→ P3.31, & P3.36-37

9.26 Las *incertidumbres clave* en relación con la adaptación tienen que ver con la representación inadecuada de los cambios locales en las simulaciones, la falta de pronósticos, un conocimiento insuficiente de los costos y beneficios, los posibles efectos secundarios, incluida la aceptabilidad y velocidad de la aplicación de medidas, los diversos obstáculos a la adaptación, y las menores oportunidades y capacidades de adaptación en los países en desarrollo.

→ P3.27

9.27 **Los principales beneficios económicos de la mitigación son los costos que se evitan en relación con los impactos adversos del cambio climático.**

9.28 **Las medidas de reducción (mitigación) de las emisiones de gases de efecto invernadero atenuarían las presiones provenientes del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos.** No existen unas estimaciones exhaustivas y cuantitativas de los principales beneficios globales de la mitigación del cambio climático. En caso de aumentos de la temperatura media por encima de unos pocos °C con relación al año 1990, los impactos son predominantemente adversos, por lo que los beneficios primarios netos son positivos. Una incertidumbre clave es el balance neto de los impactos adversos y beneficiosos del cambio climático en caso de aumentos de temperatura por debajo de unos pocos °C. Estas medias no muestran amplias variaciones regionales.

→ P6.10

9.29 **La mitigación genera costos y beneficios secundarios.**

9.30 **Para lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero se necesitarían importantes reducciones en las emisiones mundiales.** Por ejemplo, en el caso del gas de efecto invernadero antropogénico más importante, las simulaciones del ciclo de carbono indican que para la estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂ a 450, 650, o 1.000 ppm se necesitaría que las emisiones mundiales antropogénicas de CO₂ descendieran por debajo de los niveles del año 1990 dentro de unos decenios, de un siglo o de dos siglos, respectivamente, y que continuaran descendiendo constantemente en adelante. Las emisiones alcanzarán unas cifras máximas dentro de 1 o 2 decenios (450 ppm) y aproximadamente un siglo (1.000 ppm) a contar desde ahora. Con el tiempo, para lograr la estabilización sería preciso que las emisiones de CO₂ se redujeran a una parte muy pequeña del nivel actual. Aquí, las incertidumbres clave se refieren a las posibilidades de reacciones y a las vías de desarrollo del cambio climático, y la manera en que éstas podrían afectar a los calendarios de las reducciones de emisiones.

→ P6.4

9.31 **Los costos y beneficios de la mitigación varían ampliamente según los sectores, países y vías de desarrollo.** En general, resulta más fácil identificar los sectores—como el del carbón y posiblemente del petróleo y del gas, y algunas industrias con alto coeficiente de energía que dependen de la energía producida a partir de estos combustibles fósiles—que muy probablemente van a sufrir una desventaja económica a raíz de las medidas de mitigación. Sus pérdidas económicas son más inmediatas, concentradas y seguras. Los sectores que probablemente se vean beneficiados incluyen los de energías renovables, servicios, y nuevas industrias cuyo desarrollo se vea estimulado por la demanda de combustibles y técnicas de producción con bajas emisiones. Como los diferentes países y vías de desarrollo corresponden a estructuras energéticas ampliamente diferentes, los costos y beneficios asociados con la mitigación también son diferentes. Los impuestos sobre carbono tienen efectos negativos en los ingresos en los grupos con ingresos bajos, a menos que los ingresos fiscales se utilicen directa o indirectamente para compensar dichos efectos.

→ P7.14, P7.17, & P7.34

9.32 **Las restricciones de emisiones impuestas a los Países del Anexo I tienen efectos indirectos bien establecidos, aunque variados, en los Países no incluidos en el Anexo I.** De los análisis de los efectos de esas restricciones en Países del Anexo I se desprende que las reducciones en el PIB proyectado y en los ingresos por petróleo en Países no incluidos en el Anexo I que son exportadores de petróleo estarían por debajo de lo que serían en caso de no haber limitaciones.

→ P7.19

9.33 **Los escenarios con menores emisiones requieren diferentes pautas de desarrollo de recursos energéticos y un aumento de la investigación y desarrollo en energía para acelerar el desarrollo y la implantación de tecnologías energéticas avanzadas y ambientalmente racionales.** Las emisiones de CO₂ producidas por la combustión de combustibles fósiles serán la influencia dominante en la tendencia de las concentraciones atmosféricas de CO₂ a lo largo del siglo XXI. Los datos sobre recursos evaluados en el TIE podrían implicar un cambio en la combinación energética y la introducción de nuevas fuentes de energía durante el siglo XXI. Los recursos de combustibles fósiles no limitarán las emisiones de carbono durante el siglo XXI. El carbono en reservas comprobadas y convencionales de petróleo y gas es mucho menor, sin embargo, que las emisiones acumulativas de carbono asociadas con la estabilización de CO₂ a niveles de 450 ppm o incluso más altos.²⁵ Estos datos sobre recursos pueden implicar un cambio en la mezcla energética y la introducción de nuevas fuentes de energía durante el siglo XXI. La combinación energética y las inversiones y tecnologías asociadas que se elijan—ya sean en el sentido de la explotación de los recursos petrolíferos y de gases no convencionales, o de una tecnología basada en fuentes de energía no fósiles, o fósiles pero con captura y almacenamiento de carbono—ha de determinar si, y a qué nivel y costo, se pueden estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero. Las *incertidumbres clave* tienen que ver con los precios futuros de la energía y de los combustibles basados en carbono, y el interés técnico y económico que susciten las fuentes de energía alternativas no basadas en combustibles fósiles, en relación con recursos no convencionales basados en petróleo y gas.

→ P7.27

9.34 **Desde 1995 se ha hecho muchos progresos en tecnologías que ahoran energía y con bajo coeficiente de carbono, y el progreso ha sido más rápido de lo anticipado en el SIE.** Se podrían lograr reducciones netas de emisiones mediante, entre otras cosas, mejores técnicas de producción y empleo de energía, la adopción de tecnologías con un coeficiente bajo o nulo de carbono, el secuestro y almacenamiento de CO₂, la mejora de los usos de las tierras y de las prácticas forestales, y cambios hacia estilos de vida más sostenibles. Está teniendo lugar un importante progreso en el desarrollo de turbinas eólicas, energía solar, coches de motores híbridos, células energéticas y almacenamiento subterráneo de CO₂. Las incertidumbres clave se refieren a: a) la probabilidad de adelantos técnicos que permitan importantes reducciones en costos y el rápido despegue de procesos y productos con bajos coeficientes de carbono, y b) la escala futura de los gastos privados y públicos en investigación y desarrollo para estas tecnologías.

→ P7.3

9.35 **Los estudios examinados en el TIE sugieren que hay unas grandes oportunidades tecnológicas y de otro tipo para la reducción de los costos de mitigación.** Las respuestas nacionales de mitigación frente al cambio climático pueden ser más eficaces si adoptan la forma de una cartera de instrumentos de política para limitar o reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero. Los costos de mitigación se encuentran muy afectados por las vías de desarrollo, ya que las basadas en grandes aumentos de las emisiones de gases de efecto invernadero requieren también mayores medidas de mitigación para alcanzar el objetivo de estabilización, lo que supone costos más elevados. Estos costos pueden reducirse en gran parte, o incluso transformarse en beneficios netos, con una cartera de instrumentos políticos (incluidos los que ayudan a superar obstáculos), en la medida en que

→ P7.6–7, P7.14–15, P7.20, P7.23, & P7 Recuadro 7–1

²⁵ La referencia a cierto nivel de concentración no implica ningún acuerdo sobre la conveniencia de la estabilización a este nivel.

las políticas puedan explotar las oportunidades de medidas “útiles en todo caso” en los ámbitos siguientes:

- *Opciones tecnológicas*: Las opciones tecnológicas podrían permitir lograr unas reducciones mundiales de emisiones de entre 1,9 y 2,6 Gt C_{eq} año-1 para el año 2010 y entre 3,6 y 5,0 Gt C_{eq} año-1 para el año 2020. La mitad de estas reducciones podrían conseguirse con un componente de sus costos económicos (costos netos de capital, mantenimiento y explotación) con beneficios directos que superen los costos directos, y la otra mitad con ese componente de su costo económico que oscila entre USD 0 y USD 100 por t C_{eq}.²⁶ Según los escenarios de emisión, las emisiones mundiales se podrían reducir por debajo de los niveles del año 2000 en el período 2010–2020. Las *incertidumbres clave* tienen que ver con la identificación, magnitud e índole de los obstáculos que impidan la adopción de las prometedoras tecnologías con emisiones bajas, y la estimación de los costos para superar dichos obstáculos.
- *Beneficios secundarios*: Según algunos factores (como la localización de las emisiones de los gases de efecto invernadero, el clima local predominante, y la densidad, composición y salud de la población), la magnitud de los beneficios secundarios de la mitigación puede ser comparable a los costos de las políticas y medidas de mitigación. Las *incertidumbres clave* se refieren a la magnitud y la localización de estos beneficios que incluyen la evaluación científica y apreciación de los riesgos de la contaminación del aire para la salud, sobre todo la derivada de aerosoles y partículas finas.
- *Doble dividendo*: Algunos instrumentos (como los impuestos o las subastas de permisos) proporcionan ingresos para el gobierno. Esos ingresos, si se utilizan para financiar la reducción de impuestos distorsionantes existentes ('reciclado de ingresos'), disminuyen los costos económicos de la reducción de gases de efecto invernadero. La magnitud de esta compensación depende de la estructura fiscal existente, el tipo de reducción fiscal, las condiciones del mercado de trabajo y el método de reciclado. En algunas circunstancias, es posible que los beneficios económicos puedan sobrepasar los costos de mitigación. Las *incertidumbres clave* en cuanto a los costos netos totales de la mitigación varían entre países, según la estructura fiscal existente, el alcance de la distorsión, y el tipo de reducciones fiscales que son aceptables.

9.36 Las simulaciones muestran que el comercio de derechos de emisiones reduce los costos de emisión para los que participan en el comercio. Los estudios de simulación a escala mundial, en los que los resultados dependen en gran medida de las hipótesis adoptadas, proyectan que probablemente los costos de mitigación basados en las metas de Kyoto se reduzcan gracias al comercio pleno de permisos sobre carbono dentro del grupo de países del Anexo B.²⁷ Los países de la OCDE y del Anexo I²⁸ pueden esperar una reducción de cerca de la mitad de los costos agregados durante todo el período de comercio total de permisos. Se proyecta que las economías en transición del Anexo I no resulten afectadas o que su PIB aumente en varios puntos porcentuales. Los países no incluidos en el Anexo I que son exportadores de petróleo pueden esperar unas reducciones parecidas de costos en virtud de ese comercio. Se proyecta que los efectos agregados del comercio sean positivos para otros países no incluidos en el Anexo I. Aquellos países que podrían prever unas pérdidas o ganancias sin el comercio de los países del Anexo I deberían asistir a pequeños cambios con ese comercio. Una incertidumbre clave se refiere a la amplitud de los costos subyacentes, que pueden variar mucho entre los países, y la manera

→ P7.18-19

²⁶ Estas estimaciones de costos en precios del año 1998 se extraen utilizando tipos de descuento comprendidos entre el 5 y el 12 por ciento, lo que guarda coherencia con los tipos de descuento del sector público. La rentabilidad interna privada varía enormemente y es a menudo mucho mayor.

²⁷ Países del Anexo B: Grupo de países incluidos en el Anexo B del Protocolo de Kyoto que han acordado un objetivo para sus emisiones de gases de efecto invernadero. Dicho grupo incluye todos los Países del Anexo I (tal y como se enmendó en el año 1998) excepto Turquía y Belarús.

²⁸ Países del Anexo I: Grupo de países incluidos en el Anexo I de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Este grupo incluye todos los países desarrollados de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y aquellos con economías en transición.

en que estas estimaciones de costos podrían cambiar a) si los métodos se mejoran y b) si se aflojan algunas de las hipótesis de las simulaciones. Dichas hipótesis se refieren a:

- Consideración de las exenciones en el comercio de permisos de emisiones, junto con otras políticas y medidas
- Consideración de diversas imperfecciones del mercado
- Consideración de los cambios técnicos inducidos
- Inclusión de beneficios secundarios
- Oportunidades para dobles dividendos
- Inclusión de políticas para gases de efecto invernadero que no son CO₂ y fuentes no energéticas de todos los gases de efecto invernadero (por ejemplo el CH₄ de la agricultura)
- Efecto compensatorio de los sumideros.

9.37 Aunque las previsiones de las simulaciones indican que las vías de crecimiento mundial del PIB a largo plazo no se ven afectadas en gran medida por las medidas de mitigación con miras a la estabilización, estas vías no muestran las variaciones más amplias que ocurren en períodos de tiempo más breves, en los sectores o en las regiones.

→ P7.25

9.38 Las políticas públicas no previstas ('arreglos rápidos') con efectos repentinos a corto plazo pueden costar a las economías mucho más que las políticas previstas con efectos graduales. Una *incertidumbre clave* en la magnitud de los costos deriva de la existencia de planes de contingencia bien diseñados en caso de cambios de política (como los ocasionados por un cambio repentino en la percepción pública del cambio climático). Otras *incertidumbres clave* respecto de los costos derivan de la posibilidad de efectos rápidos a corto plazo, que incluyen, o pueden incluir, reducciones repentinas en los costos de procesos y productos con bajas emisiones de carbono, la adopción de tecnologías con emisiones bajas y/o cambios hacia estilos de vida más sostenibles.

→ P7.24 & P7.31

9.39 Las medidas de mitigación y adaptación a corto plazo podrían reducir los riesgos. Debido a los grandes intervalos propios del sistema climático (~100 años para el CO₂ atmosférico) y de la respuesta humana, las medidas de mitigación y adaptación a corto plazo podrían reducir los riesgos. La inercia en la interacción de los sistemas climáticos, ecológicos y socioeconómicos es uno de los principales motivos de las ventajas de las medidas anticipadas de adaptación y la mitigación.

→ P5.19 & P5.24

9.40 La adaptación puede servir de complemento a la mitigación en una estrategia económica para reducir los riesgos asociados con el cambio climático; juntas pueden contribuir a lograr los objetivos del desarrollo sostenible. Algunas vías futuras que se centran en los componentes sociales, económicos y ambientales del desarrollo sostenible pueden dar como resultado emisiones de gases de efecto invernadero menores que las de otras vías, por lo que también podrían ser menores el grado de políticas y medidas adicionales necesario para alcanzar un nivel determinado de estabilización, y los costos asociados. Una *incertidumbre clave* deriva de la falta de conocimientos apropiados sobre las interacciones entre el cambio climático y otras cuestiones ambientales y las implicaciones socioeconómicas conexas. Un problema afín es la rapidez del cambio en la integración de los principales convenios y protocolos asociados con el cambio climático (como los que abordan el comercio mundial, la contaminación transfronteriza, la diversidad biológica, la desertificación, el agotamiento del ozono estratosférico, y la salud y seguridad alimentaria humanas). También existen incertidumbres sobre la rapidez con que cada uno de los países ha de integrar los conceptos del desarrollo sostenible en los procesos de formulación de políticas.

→ P1.9 & P8.21–28

9.41 Las vías de desarrollo que atienden a los objetivos de desarrollo sostenible pueden dar como resultado menores niveles de emisiones de gases de efecto invernadero. En la actualidad se están adoptando, en los países desarrollados y los países en desarrollo, las decisiones fundamentales sobre las vías futuras de desarrollo y el futuro

→ P5.22, P7.25, & P8.26

del clima. Se dispone de información para ayudar a los responsables de la adopción de decisiones a evaluar los beneficios y costos de la adaptación y mitigación sobre una gama de opciones y vías para el desarrollo sostenible. La adaptación preventiva podría tener costos menores que la adaptación reactiva. La mitigación del cambio climático puede reducir y retardar los efectos, disminuyendo los daños y dando a las sociedades humanas, los animales y las plantas más tiempo para adaptarse.

Labor futura

9.42 **Se ha avanzado mucho en el marco del TIE en muchos aspectos del conocimiento necesario para entender el cambio climático y las respuestas humanas frente a él.** Sin embargo, existen algunos aspectos importantes que necesitan seguirse estudiando, en particular:

- La detección y atribución del cambio climático
- El conocimiento y la predicción de los cambios climáticos a escala regional y de los fenómenos climáticos extremos
- La cuantificación de los impactos del cambio climático a nivel mundial, regional y local
- El análisis de las actividades de mitigación y adaptación
- La integración de todos los aspectos de la cuestión del cambio climático en estrategias para el desarrollo sostenible
- Unas investigaciones completas e integradas en apoyo de la definición lo que constituye exactamente una interferencia peligrosa antropogénica con el sistema climático’.



GTI TIE RRP, GTII TIE
RRP, & GTIII TIE RRP