

Cambio Climático 2001: Informe de síntesis

Resumen para Responsables de Políticas

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

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

Basado en un borrador preparado por:

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, Tomihiko Taniguchi, D. Zhou, y muchos otros autores y revisores del IPCC

Introducción

De conformidad con la decisión tomada en su XIIIª Reunión (Maldivas, 22 y 25–28 de septiembre de 1997) y otras decisiones posteriores, el IPCC decidió:

- Que se incluyera un Informe de síntesis como parte de su Tercer Informe de Evaluación.
- Que el Informe de síntesis aporte un resumen e integre la información contenida en el Tercer Informe de Evaluación, de importancia política pero sin carácter preceptivo, y se base en todos los informes anteriores del IPCC aprobados y aceptados que aborden una amplia serie de preguntas clave de importancia política pero sin carácter preceptivo.
- Que las preguntas se elaboren previa consulta con la Conferencia de las Partes (CdP) en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC).

Las siguientes nueve preguntas se basan en las contribuciones de los gobiernos y fueron aprobadas por el IPCC en su XVª Sesión (San José, Costa Rica, 15–18 de abril de 1999).

Pregunta 1

P1

¿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?

Las ciencias naturales, técnicas y sociales pueden proporcionar la información esencial y las pruebas necesarias para decidir qué es una ‘interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático’. Al mismo tiempo, dicha decisión constituye un juicio del valor determinado mediante procesos sociopolíticos, teniendo en cuenta factores como el desarrollo, la equidad y la sostenibilidad, además de la incertidumbre y el riesgo.

→ P1.1

Las bases para determinar lo que constituye una ‘interferencia antropogénica peligrosa’ varían según las regiones, y dependen tanto de la naturaleza y consecuencias locales de los impactos del cambio climático como de la capacidad de adaptación disponible para hacer frente a ese cambio. También dependen de la capacidad de mitigación, ya que tanto la magnitud como la velocidad del cambio son factores importantes. No hay un conjunto ideal de políticas que pueda ser aplicado 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.

→ P1.2

El Tercer Informe de Evaluación (TIE) proporciona una evaluación de nuevos datos y pruebas científicas que puedan ayudar a los responsables de formulación de políticas que deben determinar lo que constituye una ‘interferencia antropogénica peligrosa en el sistema climático’. En primer lugar, proporciona unas nuevas proyecciones sobre las concentraciones futuras de gases de efecto invernadero en la atmósfera, pautas regionales y mundiales de cambios y la velocidad de los cambios en las temperaturas, las precipitaciones, el nivel del mar y 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. En segundo lugar, suministra una evaluación de los impactos biofísicos y socioeconómicos del cambio climático, en lo que se refiere a los riesgos a sistemas únicos y amenazados, los riesgos asociados con fenómenos meteorológicos extremos, la distribución de los impactos, los impactos agregados y los riesgos de fenómenos a gran escala y de grandes impactos. En tercer lugar, proporciona una

→ P1.3-6

evaluación sobre las posibilidades de lograr una amplia gama de niveles de concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero mediante medidas de mitigación, así como información sobre cómo se puede reducir la vulnerabilidad mediante la adaptación al cambio.

Un enfoque integrado del cambio climático tiene en cuenta la dinámica del ciclo completo de causas y efectos interrelacionados en todos los sectores afectados (véase la Figura RRP-1). El TIE proporciona información y pruebas de importancia política en lo que se refiere a todos los cuadrantes de la Figura RRP-1. Una importante nueva contribución del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE) fue el estudio de vías alternativas de desarrollo y las emisiones relacionadas de gases de efecto invernadero. El TIE evalúa el trabajo preliminar 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.

→ P1.7

La adopción de decisiones sobre el cambio climático es esencialmente un proceso secuencial que se desarrolla en condiciones de incertidumbre general. En este proceso se debe trabajar en condiciones de incertidumbre que incluyen los riesgos de cambios

→ P1.8

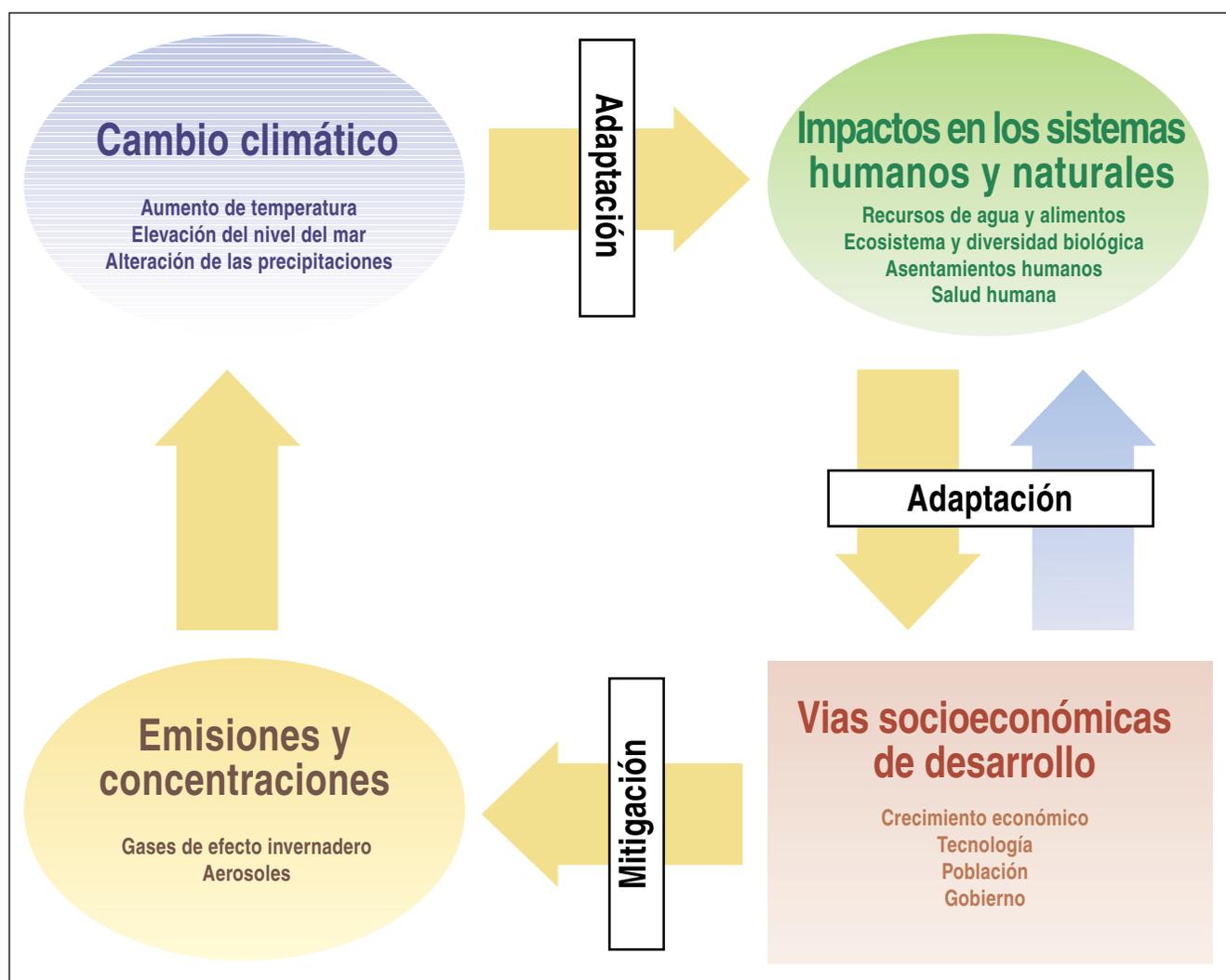


Figura RRP-1: Cambio climático—un marco integrado. Representación esquemática y simplificada de un marco de evaluación integrado para la consideración de los cambios climáticos antropogénicos. Las flechas amarillas muestran el ciclo de causa a efecto entre los cuatro cuadrantes mostrados en la figura, y la flecha azul indica la respuesta de la sociedad ante los impactos del cambio climático. Véase una descripción más detallada de este marco, al pie de la Figura 1-1.

→ P1 Figura 1-1

irreversibles y/o no lineales, ponderar los riesgos de 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.

El cambio climático forma parte de la cuestión más general del desarrollo sostenible. Por esto, las políticas climáticas pueden ser más eficaces cuando se integran en estrategias más amplias concebidas para hacer más sostenibles las vías de desarrollo nacional y regional. Esto sucede porque los impactos de la variabilidad y los cambios del clima, las respuestas de política al problema, y el desarrollo socioeconómico asociado afectan a la capacidad de los países para alcanzar objetivos sostenibles de desarrollo. De manera inversa, 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 determinarán en gran medida las emisiones, la velocidad y magnitud del cambio climático, sus impactos, la capacidad para adaptarse y la capacidad para mitigar sus consecuencias.

→ P1.9-10

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 con otros, puedan reducir los costos de mitigación y adaptación, y asegurar los beneficios asociados con el desarrollo sostenible.

→ P1.11

Pregunta 2

P2

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

El sistema climático del planeta 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.

→ P2.2

Las actividades humanas han hecho aumentar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y aerosoles desde la época preindustrial. Las concentraciones atmosféricas de los principales gases antropogénicos de efecto invernadero — como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), y el ozono (O₃) troposférico— alcanzaron los niveles más altos jamás registrados durante el decenio de 1990, debido principalmente al consumo de combustibles fósiles, la agricultura, y cambios en el uso de las tierras (véase el Cuadro RRP-1). El forzamiento radiactivo proveniente de los gases antropogénicos de efecto invernadero es positivo, aunque queda una pequeña gama de incertidumbre; el de los efectos directos de los aerosoles es negativo y más reducido y el forzamiento negativo procedente de los efectos indirectos de los aerosoles en las nubes puede que ser elevado, aunque aún no se ha cuantificado bien.

→ P2.4-5

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 RRP-1).

→ P2.6

Cuadro RRP-1 Cambios en la atmósfera, clima y sistema biológico terrestre durante el siglo XX. ^a	
Indicador	Cambios observados
<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).
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.
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).
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).
Concentración troposférica de O ₃	Aumento del 35 ± 15 por ciento entre los años 1750- 2000, con variaciones según las regiones.
Concentración estratosférica del O ₃	Una disminución en los años 1970- 2000, con variaciones según la altitud y latitud.
Concentraciones atmosféricas de HFC, PFC, y SF ₆	Aumento en todo el mundo durante los últimos 50 años.
<i>Indicadores meteorológicos</i>	
Temperatura media mundial de la superficie	Aumento en el 0,6 ± 0,2° C en el siglo XX; la superficie de la Tierra se ha calentado más que los océanos (<i>muy probable</i>).
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>).
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>).
Días calurosos/índice de calor	Aumento (<i>probable</i>).
Días de frío/heladas	Disminución en casi todas las zonas terrestres durante el siglo XX (<i>muy probable</i>).
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).
Precipitaciones fuertes	Aumento en latitudes medias y altas en el Norte (<i>probable</i>).
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.


Recuadro RRP-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: prácticamente cierto (más de un 99 por ciento de posibilidad que el resultado sea verdadero); muy probable (90-99 por ciento de posibilidad); probable (66-90 por ciento de posibilidad); medianamente probable (33-66 por ciento de posibilidad); improbable (10-33 por ciento de posibilidad); muy improbable (1-10 por ciento de posibilidad); y excepcionalmente improbable (menos del 1 por ciento de posibilidad). Una gama explícita de incertidumbre (±) es una gama probable. Las estimaciones de confianza relacionadas con las conclusiones del GTII son: 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). No se han asignado niveles de confianza en el GTIII.

P2 Recuadro 2-1

Es muy probable que, a escala mundial, el decenio de 1990 fuera el período más cálido, y 1998, el año más caluroso, según los registros instrumentales (1861–2000) (véase el Recuadro RRP–1). El aumento de la temperatura de la superficie terrestre durante el siglo XX en el Hemisferio Norte ha sido probablemente superior al de cualquier otro siglo en los últimos mil años (véase el Cuadro RRP–1). En el Hemisferio Sur, los datos para los años antes de 1860 son muy incompletos, por lo que es difícil comparar el calentamiento reciente

P2.7

Cuadro RRP-1 Cambios en la atmósfera, clima y sistema biológico terrestre durante el siglo XX. ^a (continued)	
Indicadores	Cambios observados
<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.
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>).
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.
Glaciares no polares	Retiro generalizado durante el siglo XX.
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>).
Permafrost	Fusión, calentamiento y degradación en las zonas polares, subpolares y regiones montañosas.
Fenómenos asociados con El Niño	Mayor frecuencia, persistencia e intensidad durante los últimos 20-30 años, en relación con los últimos 100 años.
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.
Área de distribución de plantas y animales	Desplazamiento de plantas, insectos, pájaros y peces hacia los polos o hacia altitudes más altas.
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.
Decoloración de arrecifes de coral	Aumento de la frecuencia, especialmente durante los fenómenos asociados con El Niño.
<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.
^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. Un cuadro idéntico en el Informe de síntesis del TIE contiene referencias cruzadas a los informes del GTI y del GTII.	

con los cambios producidos en los últimos 1.000 años. Los cambios de temperatura no se han producido de manera homogénea en todo el mundo, sino que han variado según las diferentes regiones y diferentes partes de la baja atmósfera.

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

→ P2.9-11

Los estudios de detección y atribución han encontrado sistemáticamente pruebas de señales antropogénicas en los registros climáticos de los últimos 35 a 50 años. Estos estudios tienen en cuenta las incertidumbres sobre el forzamiento antropogénico producido por los aerosoles de sulfato y por otros factores naturales (volcanes y radiación solar), pero no recogen los impactos de otros tipos de aerosoles antropogénicos y de cambios en el uso de las tierras. El forzamiento debido a los sulfatos y a fenómenos naturales es negativo en este período y no puede explicar el calentamiento, mientras que la mayoría de estos estudios determinan que, durante los últimos 50 años, la velocidad y la magnitud estimadas del calentamiento debido únicamente a los gases de efecto invernadero son comparables con el calentamiento observado, o incluso lo superan. La mejor correspondencia entre las simulaciones y las observaciones durante los últimos 140 años se encuentra cuando se combinan todos los factores naturales y antropogénicos, como se desprende de la Figura RRP-2.

Los cambios en nivel del mar, las zonas cubiertas por las nieves, la extensión de las capas de hielo y la precipitación guardan relación con un clima cada vez más

→ P2.12-19

Comparación entre las simulaciones y las observaciones del aumento de temperatura desde el año 1860

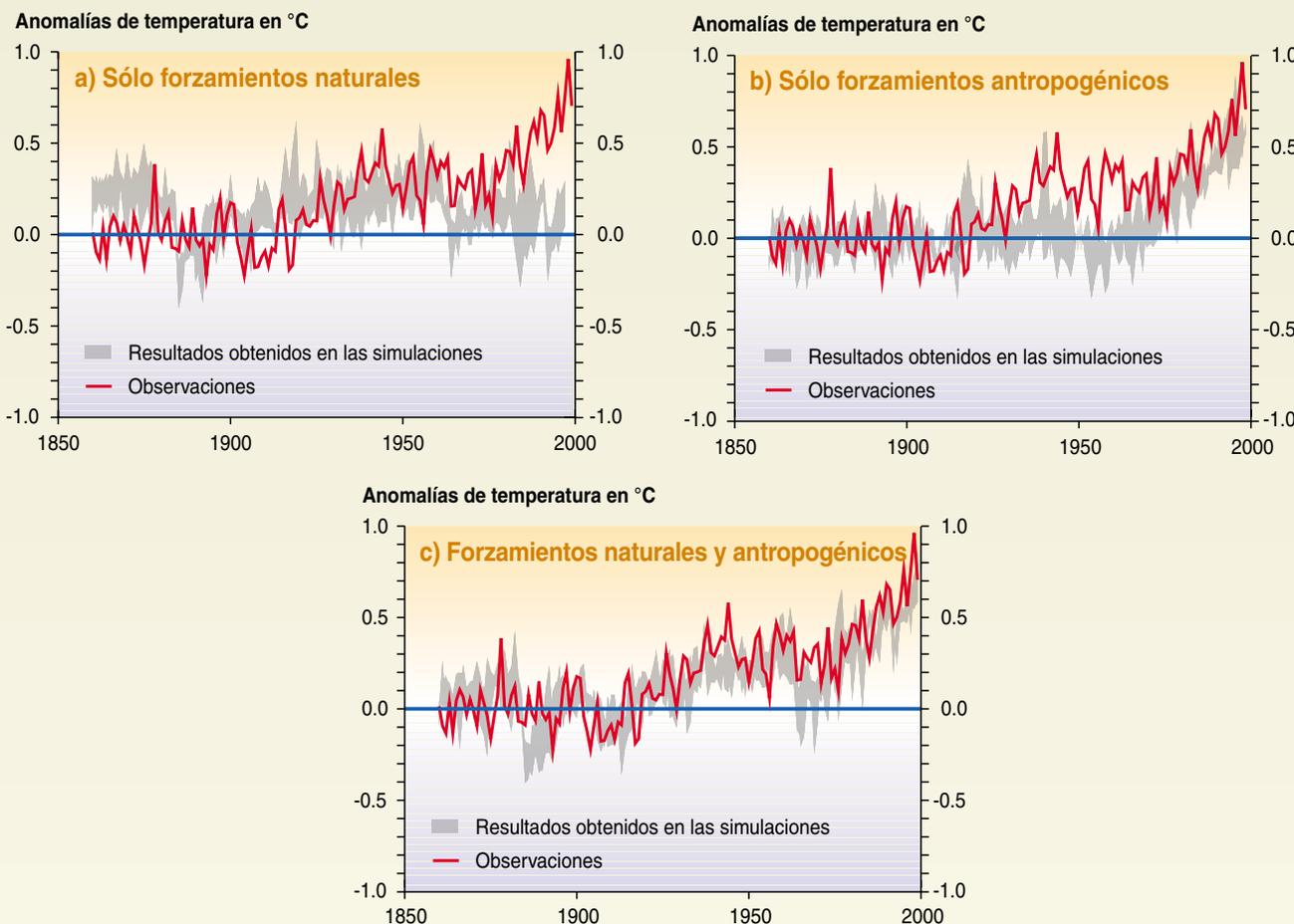


Figura RRP-2: La simulación de la variación de temperaturas (°C) y la comparación de los resultados con los cambios registrados nos permiten comprender mejor las causas que producen los principales cambios.

[P2 Figura 2-4](#)

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 las abarcadas por la banda c) se basaron 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 en alguna manera.

caliente cerca de la superficie terrestre. Entre los ejemplos de este fenómeno se incluyen un ciclo hidrológico más activo, con precipitaciones más intensas y con distintas pautas, la retirada generalizada de glaciares no polares, el ascenso del nivel del mar y un aumento de la temperatura marina, y una disminución de las superficies nevadas y de las capas de hielo marino, tanto en su extensión como en su espesor (véase el Cuadro RRP-1). Por ejemplo, es muy probable que el calentamiento del siglo XX haya contribuido de manera importante a la elevación observada en el nivel del mar, a través de la expansión térmica de los océanos y la fusión generalizada de los hielos terrestres. Con los límites de las incertidumbres actuales, las simulaciones y las observaciones coinciden en la falta de una aceleración importante en la elevación del nivel del mar durante el siglo XX. No se ha registrado ningún cambio en la extensión general de los hielos marinos en la región antártica entre 1978 y 2000. Además, debido a los análisis contradictorios y

la información insuficiente, no es posible evaluar los cambios en la intensidad de los ciclones tropicales y extratropicales, y ni de las tormentas locales en latitudes medias. Algunos de los cambios observados son de tipo regional, y otros pueden ser fruto de variaciones climáticas internas, forzamientos naturales, o actividades humanas regionales, y no pueden atribuirse exclusivamente a la influencia humana a escala mundial.

Los cambios observados en los climas regionales han afectado a muchos sistemas biológicos y físicos, y existen indicios preliminares que sugieren que los sistemas sociales y económicos también se han visto afectados.

→ P2.20 & P2.25

Los recientes cambios regionales en el clima, sobre todo los aumentos de temperatura, han afectado ya a los sistemas hidrológicos, así como a los ecosistemas terrestre y marítimo en muchas partes del mundo (véase el Cuadro RRP-1). Los cambios observados en estos sistemas¹ guardan coherencia en las diferentes localidades y/o regiones y coinciden con los efectos proyectados de los cambios de temperaturas regionales. La probabilidad de que los cambios observados en la dirección esperada (sin referirse a su magnitud) puedan producirse por pura casualidad es ínfima.

→ P2.21-24

El incremento de los costos socioeconómicos relacionados con los daños ocasionados por fenómenos meteorológicos y variaciones regionales del clima indica que somos cada vez más vulnerables a los cambios climáticos. Unas indicaciones preliminares sugieren que algunos sistemas sociales y económicos se han visto afectados por los aumentos recientes en inundaciones y sequías, y ha habido mayores pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos catastróficos. Sin embargo, como estos sistemas también se ven afectados por los cambios en los factores socioeconómicos, tales como los desplazamientos demográficos y los cambios en el uso de las tierras, resulta difícil cuantificar los impactos relacionados con el cambio climático (ya sea antropogénico o natural) y con los factores socioeconómicos.

→ P2.25-26

Pregunta 3

P3

¿Qué se conoce sobre las 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 la gama de emisiones de gases de efecto invernadero que se proyectan en los escenarios descritos en el TIE (en caso que no hubiera intervenciones de política climática)?

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 y 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 para la adaptación, al cambio incluidos los costos, beneficios y los retos que se presentan
- Los temas de desarrollo, sostenibilidad y equidad asociados con los impactos y con la adaptación a nivel regional y mundial.

¹ Existen 44 estudios regionales sobre más de 400 plantas y animales, sobre todo en América del Norte, Europa y en la región polar Sur, por períodos que varían 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, y cubren períodos de 20 a 150 años.

En todos los escenarios de emisiones proyectados por el IPCC se prevé que tanto las concentraciones de dióxido de carbono como la temperatura media de la superficie del planeta y el nivel del mar aumenten durante el siglo XXI.²

→ P3.2

Para los seis escenarios ilustrativos de emisiones del IEEE, 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. Las diferentes hipótesis socioeconómicas (demográficas, sociales, económicas y tecnológicas) den como resultado niveles diferentes de gases de efecto invernadero y aerosoles en el futuro. Una mayor incertidumbre, sobre todo respecto 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, produce una variación de -10 ± 30 por ciento en la concentración estimada en cada escenario para el año 2100. 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). Se proyecta que las concentraciones de los gases principales de efecto invernadero que no son CO₂ hacia el año 2100 varíen considerablemente en los seis escenarios ilustrativos del IEEE (véase la Figura RRP-3).

→ P3.3-5

Las proyecciones que utilizan los escenarios de emisiones del IEEE en una gama de simulaciones climáticas den como resultado un aumento de la temperatura media de la superficie del planeta de 1,4–5,8 °C en el período 1990–2100. 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. Se proyecta que los aumentos de temperatura sean mayores que los estimados en el Segundo Informe de Evaluación (SIE), que estaban comprendidos entre 1,0 a 3,5°C y se extrajeron de seis escenarios del IS92. Las mayores temperaturas proyectadas y la gama más amplia se deben principalmente a las emisiones inferiores de dióxido de azufre (SO₂) proyectadas en los escenarios del IEEE en comparación con los escenarios IS92. Durante los períodos 1990–2025 y 1990–2050, los aumentos proyectados son de 0,4–1,1°C y 0,8–2,6°C respectivamente. Para el año 2100, la gama de las respuestas de la temperatura de la superficie del planeta en las diferentes simulaciones climáticas para el mismo escenario de emisiones es comparable a la gama de los diferentes escenarios de emisiones del IEEE para una simulación climática única. La Figura RRP-3 indica que los escenarios del IEEE que dan como resultado emisiones más importantes muestran las mayores proyecciones de aumento de temperatura. Es muy probable que casi todas las zonas terrestres se calienten más rápidamente que la media mundial, especialmente durante las zonas situadas en latitudes septentrionales altas en invierno.

→ P3.6-7 & P3.11

Se proyecta que durante el siglo XXI, aumente la precipitación media anual en todo el mundo pero que a escala regional los aumentos y las disminuciones sean generalmente de un 5–10 por ciento. Es probable que las precipitaciones aumenten en las

→ P3.8 & P3.12

→ **Figura RRP-3: Las diferentes hipótesis socioeconómicas de los escenarios del IEEE tienen como resultado niveles diferentes de emisiones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles.** Estas emisiones

→ P3 Figura 3-1

alteran a su vez las concentraciones de dichos gases y aerosoles en la atmósfera, lo que lleva a unos cambios de los forzamientos radiativos del sistema climático. Los forzamientos radiativos producidos por los escenarios del IEEE llevan a un aumento de la temperatura y una elevación del nivel del mar, lo que tiene a su vez otra serie de efectos secundarios. Los escenarios del IEEE no incluyen iniciativas climáticas adicionales ni la probabilidad de que se produzcan. Como los escenarios del IEEE sólo estuvieron disponibles muy poco tiempo antes de la finalización del TIE, la evaluación de los impactos se funda aquí en simulaciones climáticas que tienden a basarse en escenarios de cambios climáticos en equilibrio (por ejemplo 2xCO₂), y sólo una serie relativamente pequeña de experimentos utilizan un escenario provisional de aumento anual de CO₂ del 1 por ciento, o los escenarios utilizados por el SIE (como la serie IS92). Los impactos pueden, a su vez, afectar las vías de desarrollo socioeconómico, por ejemplo, a través de la adaptación y la mitigación. Los recuadros marcados con un tono más oscuro en la parte superior de la Figura muestran cómo se relacionan los diferentes aspectos con el marco de evaluación integrado para el examen del cambio climático (véase la Figura RRP-1).

² Las proyecciones de la variabilidad del clima, fenómenos extremos y cambios repentinos/no lineales se tratan en la Pregunta 4.

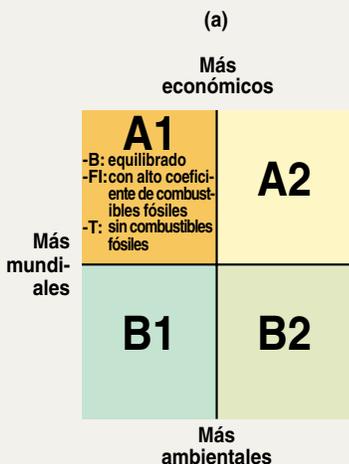
Escenarios socioeconómicos



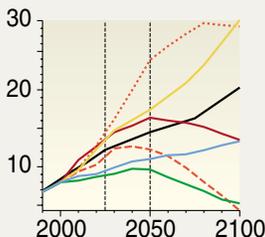
Emisiones



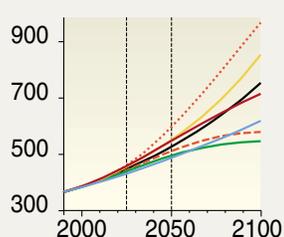
Concentraciones



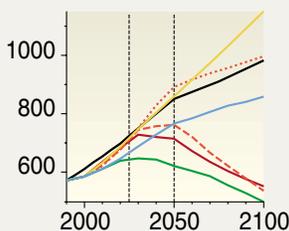
(b) Emisiones de CO₂ (Gt C)



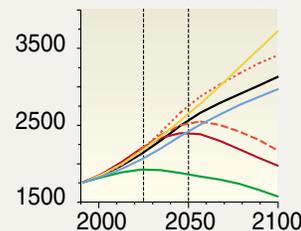
(f) Concentraciones de CO₂ (ppm)



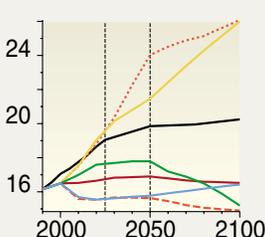
(c) Emisiones de CH₄ (Tg CH₄)



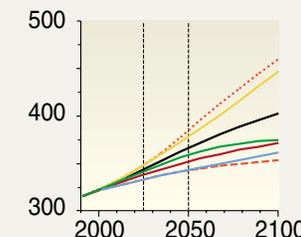
(g) Concentraciones de CH₄ (ppb)



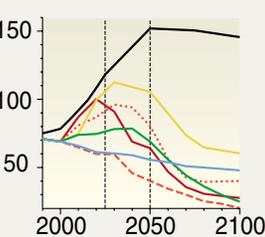
(d) Emisiones de N₂O (Tg N)



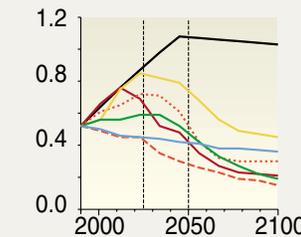
(h) Concentraciones de N₂O (ppb)



(e) Emisiones de SO₂ (Tg S)



(i) Aerosoles de sulfato (Tg S)



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 capita. 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).

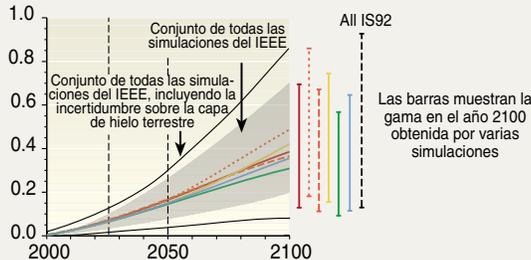
Forzamientos radiativos

Cambio de temperatura y nivel del mar

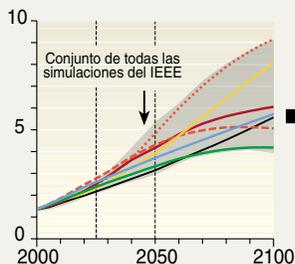
Reasons for Concern



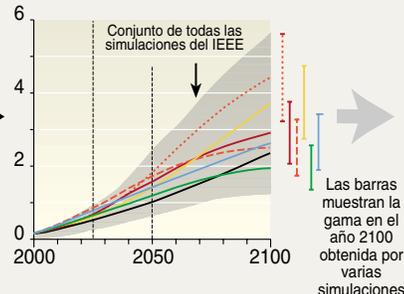
(I) Elevación del nivel del mar (m)



(j) Forzamiento radiativo (Wm^{-2})



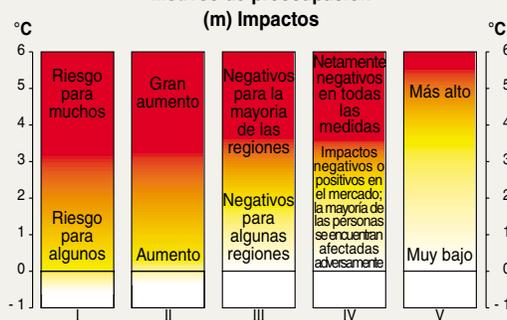
(k) Cambio de temperatura ($^{\circ}C$)



Escenarios

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

Motivos de preocupación



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 capita 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.

regiones situadas en latitudes altas tanto en verano como en invierno. También se proyectan aumentos en latitudes septentrionales medias, en la zona tropical de África y en el Antártico durante el invierno, y en el Asia meridional y oriental 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 mayores variaciones de precipitaciones de un año a otro.

Se proyecta que los glaciares y las capas de hielo continúen su retirada generalizada durante el siglo XXI. Se prevé que en el Hemisferio Norte disminuyan aún más la capa de nieve, el permafrost, y la extensión del hielo marino. Es posible que la *placa de hielo* antártica aumente su masa, mientras que la de Groenlandia la pierda (véase la Pregunta 4).

→ P3.14

Se proyecta que el nivel medio mundial del mar se eleve en un 0,09–0,88 m entre los años 1990 y el 2100 para la gama completa de escenarios del IEEE, pero con importantes variaciones regionales. Esta elevación se debe en primer lugar al aumento de la temperatura de los océanos y la fusión de los glaciares y las capas de hielo. Para los períodos 1990–2025 y 1990–2050, la elevación proyectada es de 0,03–0,14 m y de 0,05–0,32, respectivamente.

→ P3.9 & P3.13

El cambio climático proyectado tendrá consecuencias ambientales y socioeconómicas positivas y negativas, pero cuanto mayores sean los cambios climáticos y su ritmo, predominarán los efectos negativos.

→ P3.15

Los impactos adversos serán más graves cuanto mayores sean las emisiones acumuladas de gases de efecto invernadero y sus consiguientes cambios climáticos (*confianza media*). Aunque en algunas regiones y sectores puede haber efectos positivos si el cambio climático es escaso, la magnitud de estos beneficios debería disminuir a medida que el cambio climático se agrave. Por el contrario, se proyecta que la gravedad y magnitud de los efectos adversos aumente junto con el grado de cambio climático. Si se considera por región, se proyecta que los efectos adversos predominen en gran parte del mundo, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales.

→ P3.16

Según las proyecciones, en general el cambio climático debería aumentar los peligros para la salud humana, sobre todo en la población con menores recursos económicos en países tropicales y subtropicales. El cambio climático puede afectar directamente a la salud humana (menos problemas relacionados con el frío en países cálidos, pero aumento de los problemas por el calor; pérdida de vidas humanas por inundaciones y tormentas) e indirectamente por cambios en la gama de enfermedades transmitidas por vectores (como las producidas por mosquitos),³ en los elementos patógenos del agua, la calidad del agua y del aire, y la disponibilidad y calidad de los alimentos (*confianza media a alta*). Los impactos reales sobre la salud estarán muy influidos por las condiciones ambientales locales y las circunstancias socioeconómicas, y por la gama de opciones de adaptación sociales, institucionales, tecnológicas y de comportamiento para disminuir las amenazas a la salud.

→ P3.17

La productividad ecológica y la diversidad biológica se verán alteradas por los cambios climáticos y la elevación del nivel del mar, con un riesgo creciente de extinción de algunas especies vulnerables (*confianza media a alta*). Se proyecta que aumenten los problemas graves en los ecosistemas debido a factores como incendios, sequías, plagas, invasión de especies, tormentas y descoloramiento de los corales. Los problemas causados por el cambio climático, cuando se añaden a otros que sufren los sistemas ecológicos, pueden causar daños muy significativos o incluso la pérdida total de algunos ecosistemas únicos y la

→ P3.18-20

³ Ocho estudios han realizado simulaciones de los efectos de cambios climáticos en este tipo de enfermedades—cinco sobre paludismo y tres sobre el dengue. Siete utilizan enfoques biológicos o basados en procesos, y uno utiliza un enfoque empírico o estadístico.

extinción de especies en peligro. El incremento de las concentraciones de CO₂ ha de aumentar la productividad neta de las plantas, pero los cambios climáticos y las variaciones en los regímenes asociadas con estos cambios pueden llevar a un aumento o descenso de la productividad neta de los ecosistemas (*confianza media*). Algunas simulaciones mundiales proyectan que la absorción neta de carbono por los ecosistemas terrestres aumente durante la primera mitad del siglo XXI, para estabilizarse o disminuir posteriormente.

Las simulaciones de cultivos de cereales indican que en algunas zonas templadas la producción potencial aumenta con pequeños aumentos de temperatura, pero disminuye si los cambios son grandes (*confianza de media a baja*). En la mayoría de las zonas tropicales y subtropicales, se proyecta que el rendimiento de las cosechas disminuya con la mayoría de los incrementos de temperatura previstos (*confianza media*). Si además existe una importante disminución de las precipitaciones en sistemas tropicales/subtropicales secos/húmedos, la disminución del rendimiento en las cosechas será aún más evidente. Estas estimaciones tienen en cuenta algunas respuestas adaptativas por parte de los cultivadores y los efectos beneficiosos de la fertilización con CO₂, pero no los impactos del aumento proyectado de las plagas y los cambios extremos de clima. Se sabe muy poco sobre la capacidad de los ganaderos para adaptar sus ganados a los problemas fisiológicos asociados con los cambios climáticos. Se proyecta que el aumento de varios °C hará que suba el precio de los alimentos en todo el mundo, lo que puede incrementar el riesgo de hambre en las poblaciones vulnerables.

→ P3.21

El cambio climático ha de agravar la escasez de agua en muchas zonas del mundo en que ese recurso ya es insuficiente. En general la demanda de agua está aumentando debido al crecimiento demográfico y al desarrollo económico, pero en algunos países está disminuyendo, gracias a una mayor eficacia en su utilización. Se proyecta que el cambio climático reduzca en gran medida las reservas de agua disponibles (como se refleja en las proyecciones de la escorrentía) en muchas de las zonas mundiales en que actualmente es insuficiente, pero que aumente en otras (*confianza media*) (véase la Figura RRP-4). La calidad del agua dulce se podría ver degradada por la subida de la temperatura del agua (*confianza alta*), en algunas regiones ello podría estar compensado con un aumento del caudal.

→ P3.22

Se estima que los efectos agregados en el sector comercial, medidos por los cambios en el Producto Interno Bruto (PIB), sean negativos en muchos países en desarrollo en todos los escenarios de un aumento de la temperatura media mundial (*confianza baja*), y se prevé que en los países desarrollados sean mixtos si el aumento de temperaturas es de tan sólo unos pocos °C (*confianza baja*), y negativos si el calentamiento es mayor (*confianza de media a baja*). En estas estimaciones generalmente no se tienen en cuenta los efectos de los cambios en la variabilidad climática y fenómenos extremos, no se contemplan los impactos de las diferentes velocidades del cambio climático y sólo se consideran parcialmente los impactos sobre bienes y servicios no comercializados en el mercado, y se incluyen las ganancias que pueden experimentar algunos como la compensación de las pérdidas sufridas por otros.

→ P3.25

La población que vive en pequeñas islas y/o en zonas costeras bajas corre un gran riesgo de sufrir graves consecuencias sociales y económicas derivadas del ascenso del nivel del mar y los episodios de tormentas. Muchos asentamientos humanos estarán más expuestos a un aumento de la erosión e inundaciones costeras, y decenas de miles de personas que viven en deltas, zonas costeras bajas o en pequeñas islas corren el riesgo de ser desplazadas de dichos lugares. También corren gran riesgo los recursos críticos para la supervivencia en costas o islas, como las playas, aguas dulces, pesquerías, arrecifes y atolones coralinos y los hábitat de especies silvestres.

→ P3.28

Los impactos del cambio climático recaerán de forma desproporcionada en los países en desarrollo y las poblaciones más desfavorecidas de todos los países, lo que ha de aumentar aún más las desigualdades en materia de salud y acceso

→ P3.33

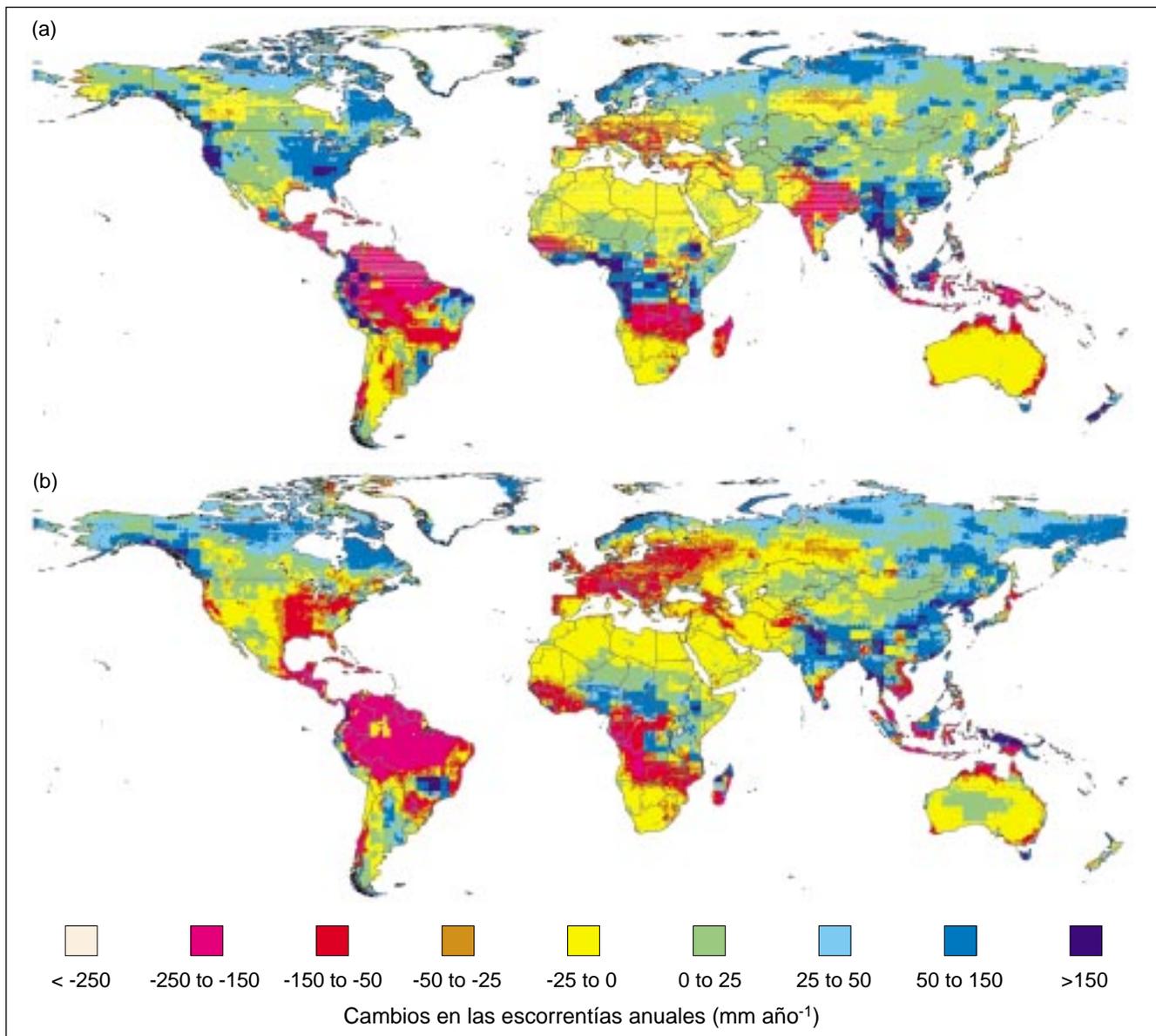


Figura SMP-4: Los cambios proyectados en la cantidad media anual de escorrentía para el año 2050, en relación con la cantidad media de escorrentías de los años 1961–1990, siguen en gran medida los cambios proyectados en las precipitaciones.

→ P3 Figura 3-5

Los cambios en las escorrentías 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 (AOGMC) para un escenario de un aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂ de un 1 por ciento: a) la media de conjunto 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, en el área mediterránea, 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.

a alimentos adecuados, agua limpia y otros recursos. La población de los países en desarrollo se encuentra expuesta de forma general a un riesgo relativamente elevado de sufrir los impactos adversos producidos por el cambio climático. Además, la pobreza y otros factores crean una serie de condiciones precarias para la adaptación en la mayoría de los países en desarrollo.

La capacidad de adaptación puede reducir los efectos adversos del cambio climático y, a menudo, producir efectos beneficiosos secundarios, pero no ha de evitar todos los daños.

→ P3.26

Como respuesta al cambio climático se han identificado numerosas opciones de adaptación que podrían reducir sus efectos adversos y mejorar sus efectos positivos, pero estas opciones pueden suponer costos. No se ha finalizado la cuantificación de los beneficios y costos y de su variación en las diferentes regiones y entidades.

→ P3.27

Un cambio climático más rápido y de mayores proporciones ha de plantear mayores problemas de adaptación y mayores riesgos que un cambio más lento y menos marcado. Los sistemas naturales y humanos han desarrollado la capacidad de adaptarse a una gama de condiciones climáticas, con un riesgo de daños relativamente bajo, y una alta capacidad de recuperación. Sin embargo, los cambios climáticos que tienen como resultado una mayor frecuencia en la producción de fenómenos, fuera de los niveles históricos registrados en dichos sistemas, aumentan el riesgo de daños graves y una recuperación incompleta o incluso un desmoronamiento del sistema.

→ P3.28

Pregunta 4

P4

¿Qué se sabe sobre la influencia regional y mundial de la creciente concentración atmosférica de gases de efecto invernadero y aerosoles, y del proyectado cambio del clima inducido por el hombre en:

- La frecuencia y magnitud de las fluctuaciones climáticas, incluyendo la variabilidad diaria, estacional, interanual y a lo largo de los decenios de fenómenos como El Niño/Oscilación meridional y otros?
- La duración, localización, frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, tales como olas de calor, sequías, inundaciones, fuertes precipitaciones, avalanchas, tormentas, tornados y ciclones tropicales?
- El riesgo de cambios repentinos/no lineales, por ejemplo, en 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?
- El riesgo de cambios repentinos/no lineales en los sistemas ecológicos?

Se proyecta un aumento en la variabilidad climática y algunos fenómenos extremos.

→ P4.2-8

Según las simulaciones, se proyecta que un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero tenga como resultado una variabilidad diaria, estacional, interanual y a lo largo de decenios. Se prevé que en muchas zonas disminuya la gama de temperaturas diurnas, y que haya una reducción de la variabilidad diaria de la temperatura del aire en invierno, y un aumento de la variabilidad diaria en verano en las zonas terrestres del Hemisferio Norte. Muchas simulaciones proyectan un aumento de las condiciones medias tipo El Niño en la zona tropical del Pacífico. No se está claramente de acuerdo sobre los cambios en la frecuencia o la estructura de las pautas oceánicas-atmosféricas que ocurren de manera natural, como la Oscilación del Atlántico Norte (OAN).

→ P4.3-8

Las simulaciones proyectan que la creciente concentración atmosférica de gases de efecto invernadero tenga como resultado cambios en la frecuencia, intensidad y duración de fenómenos extremos, como un aumento de los días calurosos, las olas de calor y las precipitaciones fuertes, y una disminución de los días fríos.

→ P4.2-7

Muchos de estos cambios proyectados podrían provocar un aumento del riesgo de inundaciones y sequías en muchas regiones, e impactos predominantemente adversos en los sistemas ecológicos, los sectores socioeconómicos y la salud humana (véase el Cuadro RRP-2 para más información). Los estudios realizados con simulaciones de alta resolución sugieren que en algunas zonas podrían aumentar los vientos fuertes y la intensidad de las precipitaciones de los ciclones tropicales. No

existe suficiente información sobre cómo pueden cambiar los fenómenos meteorológicos extremos a muy pequeña escala (como las tormentas, tornados, granizo, tormentas de granizo y relámpagos).

El forzamiento de los gases de efecto invernadero en el siglo XXI podría poner en marcha cambios posiblemente repentinos, a gran escala, no lineales y de graves resultados en los sistemas físicos y biológicos en los próximos decenios como a lo largo de los milenios, con una amplia gama de probabilidades asociadas.



Algunos de los cambios proyectados repentinos y no lineales en los sistemas físicos y en las fuentes naturales y sumideros de gases de efecto invernadero podrían ser irreversibles, pero no conocen cabalmente algunos de los procesos subyacentes. Se prevé que la probabilidad de los cambios proyectados aumente con la velocidad,



Cuadro RRP-2	Ejemplos de fenómenos de variabilidad climática y episodios climáticos extremos, y ejemplos de sus impactos (Cuadro RRP-1 del TIE GTII).	
<i>Cambios proyectados durante el siglo XXI en fenómenos climáticos extremos y su probabilidad</i>	<i>Ejemplos representativos de impactos proyectados^a (todos con confianza alta de que se produzcan 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.	
Aumento (cada vez mayor) de las temperaturas mínimas, con menos días fríos, días con heladas y 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.	
Aumento de las precipitaciones 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 presión en los sistemas oficiales y privados de seguros contra inundaciones y socorro en casos de desastre.	
Aumento del clima seco estival en la mayoría de las zonas interiores continentales de latitud media, y del riesgo asociado 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 ciclones tropicales y de la intensidad media y máxima de las precipitaciones (<i>probable</i>) en algunas zonas ^c	Aumento del riesgo a la vida humana, debido a epidemias 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.	
Aumento de las sequías e inundaciones asociadas con El Niño en varias zonas (<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 en precipitaciones monzónicas 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.	
<p>^a Estos efectos pueden disminuirse con medidas de respuesta apropiadas. ^b Información del Resumen Técnico del TIE GTI (Sección F.5). ^c Es posible que haya cambios en la distribución regional de los ciclones tropicales, pero ello no se han confirmado.</p>		

magnitud y duración del cambio climático. Entre los ejemplos de estos tipos de cambio figuran los siguientes:

- Puede que se produzcan grandes cambios inducidos por el clima, en los suelos y la vegetación, y que ocurran otros debido a un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de plantas y suelos, y cambios en las propiedades de la superficie (por ejemplo, el albedo).
- La mayoría de las simulaciones proyectan un debilitamiento de la circulación termohalina en los océanos, con el resultado de una reducción del transporte de calor a las latitudes altas europeas, pero ninguna muestra una paralización definitiva para finales del siglo XXI. Sin embargo, más allá del 2100, algunas simulaciones sugieren que la circulación termohalina se podría paralizar completamente, y posiblemente de manera irreversible, en algunos de los hemisferios, si el cambio en el forzamiento radiactivo es lo suficientemente fuerte y dura el tiempo necesario.
- Es probable que la placa de hielo del Antártico aumente su masa durante el siglo XXI, pero tras un calentamiento sostenido podría perder una masa importante y, por consiguiente, contribuir a una elevación del nivel del mar de varios metros durante los próximos 1.000 años.
- En contraste con lo que ocurre con la placa de hielo del Antártico, 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. Las capas de hielo continuarán reaccionando al calentamiento climático, y contribuirán a la elevación del nivel del mar durante miles de años después de estabilizarse el clima. Las simulaciones climáticas indican que el calentamiento mundial sobre Groenlandia sea de una a tres veces la media mundial. Las simulaciones de las capas de hielo proyectan que si un calentamiento local de más de 3°C se mantiene durante milenios, podría producirse la fusión casi completa de la placa de hielo de Groenlandia, con una consiguiente elevación del nivel del mar de unos 7 m. Si un calentamiento mundial de 5,5° se mantuviera durante 1.000 años, la fusión de la placa de hielo de Groenlandia podría contribuir a la elevación del nivel del mar en unos 3 m.
- Un calentamiento continuo aumentaría la fusión del permafrost en las regiones polares, subpolares y montañosas y podría hacer este terreno vulnerable a hundimientos y deslizamientos, con los consiguientes efectos en las infraestructuras, los cursos hídricos y los ecosistemas de los humedales.

Los cambios en el clima podrían hacer aumentar el riesgo de cambios repentinos y no lineales en muchos ecosistemas, con efectos sobre su diversidad biológica, productividad, y funcionamiento. Cuanto mayor sea la magnitud y la velocidad del cambio,

mayor será el riesgo de impactos adversos. Por ejemplo:

- Los cambios en los regímenes de alteración y los desplazamientos de hábitat específicamente adaptados al clima pueden causar el desmoronamiento de ecosistemas terrestres y marinos, al cambiar radicalmente su composición y funcionamiento, y agravar el riesgo de extinción de especies.
- Un incremento sostenido de la temperatura del agua de sólo 1° C, ya sea solo o combinado con otros problemas (como la contaminación o el encenagamiento excesivos), podría hacer que los arrecifes de coral expulsen sus algas (y se descoloren), e incluso que con el tiempo mueran.
- El aumento de temperaturas por encima de un valor de umbral, que varía de cultivo en cultivo, puede afectar a etapas clave en el desarrollo de algunos cultivos (como la esterilidad de la espiguilla en el arroz, la pérdida de viabilidad del polen en el maíz, y el desarrollo de los tubérculos en las patatas) y menoscabar así el rendimiento de dichos cultivos. Las pérdidas económicas pueden ser de gran importancia si las temperaturas sobrepasan estos valores críticos, incluso durante períodos cortos.



P4.17-19

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 y sus interacciones?

P5

La inercia es una característica inherente y extendida de la interacción de los sistemas climáticos, ecológicos y socioeconómicos. Por lo



P5.1-4, P5.8, P5.10-12, & P5.14-17

tanto, algunos impactos del cambio climático antropogénico, pueden tomar mucho tiempo antes de manifestarse y algunos pueden ser irreversibles si el cambio climático no está limitado en velocidad y magnitud antes de que se sobrepasen pasen ciertos valores de umbral, de los que se tienen escasos conocimientos.

La inercia en los sistemas climáticos

La estabilización de las emisiones de CO₂ en niveles parecidos a los actuales no ha de llevar a la estabilización de la concentración atmosférica de CO₂, pero la estabilización de las emisiones de gases de corta vida y de efecto invernadero—por ejemplo, el CH₄—sí podría tener ese efecto dentro de unos decenios. La estabilización de las concentraciones de CO₂ en un nivel precisa una reducción final de las emisiones netas mundiales de CO₂ a un porcentaje mínimo de las emisiones actuales. Cuanto más bajo sea el nivel elegido para la estabilización, más pronto deben comenzar las reducciones de esas emisiones (véase la Figura RRP-5).

→ P5.3 & P5.5

Tras la estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, se proyecta que la temperatura del aire en la superficie terrestre continúe elevándose unas décimas de grado por siglo, durante un siglo o incluso más, mientras que el nivel del mar puede continuar ascendiendo durante muchos siglos (véase la Figura RRP-5). Debido al lento transporte de calor en los océanos y a la lenta respuesta de las capas de hielo, precisan largos períodos para llegar a un nuevo equilibrio del sistema climático.

→ P5.4

Algunos cambios en el sistema climático—que es perfectamente posible que ocurran después del siglo XXI—podrían ser irreversibles. Por ejemplo, una fusión importante de las capas de hielo (véase la Pregunta 4) y cambios fundamentales en las pautas de circulación de los océanos (véase la Pregunta 4) podrían no ser reversibles durante muchas generaciones. El valor de umbral clave para que ocurran cambios fundamentales en la circulación de los océanos podría situarse a un nivel de temperatura más bajo si el calentamiento fuera rápido, en vez de gradual.

→ P5.4 & P5.14-16

Inercia en los sistemas ecológicos

Algunos ecosistemas muestran los efectos del cambio climático de forma rápida, mientras que otros lo hacen más lentamente. Por ejemplo, la decoloración de los arrecifes de coral puede ocurrir en una estación excepcionalmente cálida, pero organismos de larga vida tales como los árboles pueden ser capaces de sobrevivir durante decenios a un cambio de clima, pero no de regenerarse. Ante un cambio climático (incluyendo cambios en la frecuencia de fenómenos extremos) los ecosistemas pueden deteriorarse como consecuencia de las diferencias en los tiempos de respuesta de las especies.

→ P5.8 & P3 Cuadro 3-2

Algunas simulaciones del ciclo de carbono proyectan que la absorción neta de carbono terrestre en el mundo puede alcanzar su punto máximo durante el siglo XXI, y luego descender o estabilizarse. La absorción neta reciente de CO₂ en los ecosistemas terrestres del mundo es resultado de desfase entre un mejor crecimiento de las plantas y su muerte y descomposición. El crecimiento de las plantas en la actualidad ha mejorado en parte como resultado de los efectos fertilizantes y de un uso elevado de CO₂ y la acumulación de nitrógeno, así como los cambios en el clima y en los usos de las tierras. Esta absorción va a disminuir a medida que los bosques alcancen su madurez, se saturen los efectos fertilizantes y la descomposición alcance el mismo nivel que el crecimiento. Es probable que el cambio climático reduzca aún más la absorción neta de carbono terrestre en el mundo. Aunque el calentamiento reduce la absorción de CO₂ por los océanos, se proyecta que los sumideros de carbono en los océanos persistan con el incremento del CO₂ atmosférico, al menos durante el siglo XXI. El transporte del carbono desde la superficie hasta el fondo de los océanos tarda muchos siglos en producirse, y se necesitan varios milenios hasta que se deposite en los sedimentos oceánicos.

→ P5.6-7

Las concentraciones de CO₂, las temperaturas y el nivel del mar seguirían subiendo mucho después de reducirse las emisiones

Magnitud de la respuesta

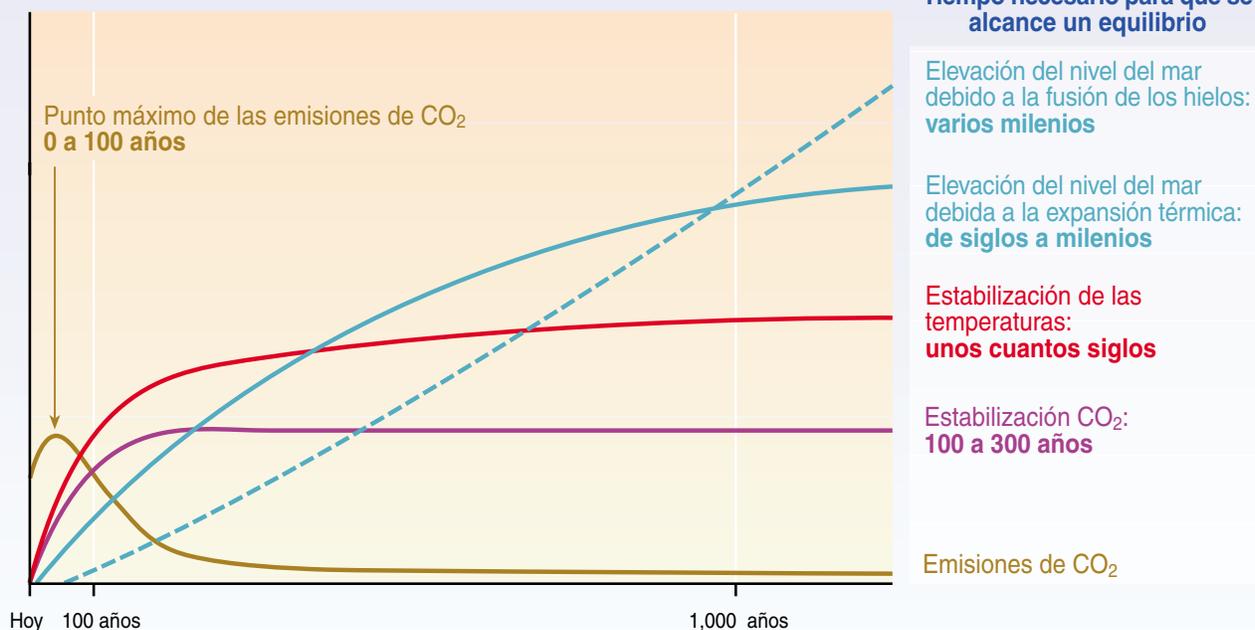


Figura RRP-5: Después de reducirse las emisiones de CO₂ y de que se establezcan las concentraciones atmosféricas, la temperatura de la atmósfera en la superficie terrestre ha de continuar incrementándose lentamente durante un siglo o más. La expansión térmica de los océanos continuará incluso mucho después de haberse reducido las emisiones de CO₂, y la fusión de las capas de hielo seguirá 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 en general similares, pero los efectos son progresivamente más importantes cuando existen mayores concentraciones de CO₂.

→ P5 Figura 5-2

Inercia en los sistemas socioeconómicos

Al contrario de lo que sucede en los sistemas ecológicos, la inercia en los sistemas humanos no es fija: se puede cambiar por las políticas y opciones individuales.

→ P5.10-13

La capacidad para aplicar políticas sobre el cambio climático depende de la interacción entre las estructuras sociales y económicas y los valores, las instituciones, las tecnologías y las infraestructuras establecidas. El sistema combinado generalmente se desarrolla de una forma relativamente lenta. Puede responder rápidamente bajo presión, aunque a veces esto tiene un alto costo (si, por ejemplo, los bienes de capital se retiran antes de tiempo). Si el cambio es más lento, los costos pueden ser menores debido a los avances tecnológicos o porque el valor del equipo de capital se amortiza totalmente. Desde que se percibe la necesidad de respuesta a un importante reto, y se planifica, estudia y desarrolla una solución, hasta que se pone en práctica, hay normalmente una demora que varía entre años y decenios. Las medidas preventivas, basadas en juicios informados, pueden mejorar la posibilidad de que se encuentre disponible una tecnología apropiada cuando se necesite.

Se puede acelerar el desarrollo e incorporación de nuevas tecnologías con la transferencia de tecnología y unas políticas favorables de investigación y fiscales.

→ P5.10 & P5.22

El cambio de tecnología se puede ver retrasado por sistemas ‘cerrados’ que disfrutaban de ventajas comerciales gracias a instituciones, servicios e infraestructuras ya existentes, así como de sus recursos disponibles. La pronta implantación de las tecnologías permite una reducción de costos en la curva de aprendizaje.

Consecuencias políticas de la inercia

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:

→ P5.18-20 & P5.23

- 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.

De forma parecida, 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.

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. 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. Estas consecuencias influyen en la combinación más económica y equitativa de la política que se adopte. 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. 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.

→ P5.18-21

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.

→ P5.24

Pregunta 6

P6

- ¿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?
- ¿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.

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

→ P6.2

Cuanto mayores sean las reducciones de las emisiones y cuanto antes se introduzcan, menor y más lento serán el calentamiento y la elevación del nivel del mar.

→ P6.3

El cambio climático futuro se determina a partir de las emisiones actuales, pasadas y futuras. Las diferencias en los cambios de temperaturas proyectados entre los escenarios que incluyen la reducción de gases de efecto invernadero y los que no la incluyen son pequeñas durante los primeros decenios, pero aumentan con el tiempo si dichas reducciones se mantienen.

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.

→ P6.4

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 RRP-6). 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 hoy. 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.

Existe una gran incertidumbre sobre el grado de calentamiento que podría resultar tras una estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero.

→ P6.5

Dichas dudas son el resultado de la combinación de tres incertidumbres acerca de la sensibilidad del clima ante los aumentos de gases de efecto invernadero.⁴ La Figura RRP-7 muestra los niveles eventuales de estabilización de CO₂ y la gama correspondiente de cambios de temperatura estimados que pudieran producirse en el 2100 y en equilibrio.

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

→ P6.6

⁴ La respuesta de la temperatura media mundial en equilibrio a la duplicación del CO₂ atmosférico se utiliza a menudo como una medida de sensibilidad climática. Las temperaturas mostradas en las Figuras RRP-6 y RRP-7 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 se puede comparar a la gama comúnmente aceptada de 1,5–4,5°C.

en los perfiles mostrados en la Figura RRP-6, 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 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 continuarían incrementándose más allá del año 2100. Puede ser que

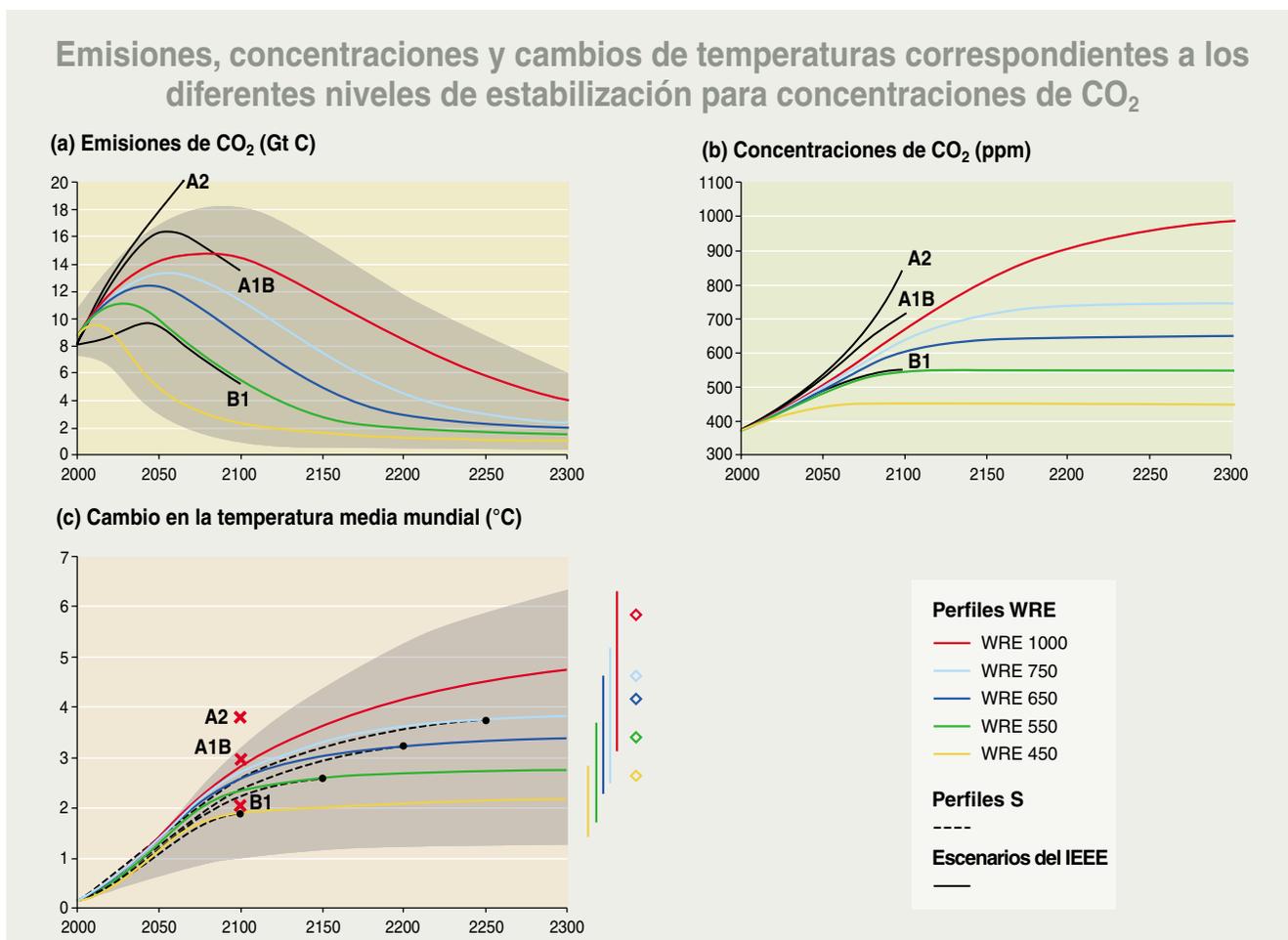


Figura RRP-6: La estabilización de las concentraciones de CO₂ requeriría una reducción importante de las emisiones por debajo de los niveles actuales, y frenaría la velocidad del calentamiento.

[P6 Figura 6-1](#)

- a) *Emisiones de CO₂*: Las vías temporales de las emisiones de CO₂ que conducirían a una estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂ a varios niveles se determinan para los perfiles de estabilización WRE utilizando simulaciones del ciclo de carbono. La zona sombreada muestra el nivel de incertidumbre.
- b) *Concentraciones de CO₂*: Se muestran las concentraciones de CO₂ especificadas por WRE.
- c) *Cambios de la temperatura media mundial*: Los cambios de temperatura se estiman utilizando una simulación climática sencilla para los perfiles de estabilización WRE. El calentamiento continúa después de estabilizarse las concentraciones de 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 encontrarse 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 muestra el efecto de una gama de sensibilidad climática en los cinco casos de estabilización. Las barras de color en la parte derecha muestran la incertidumbre para cada caso de estabilización en el año 2300. 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. Para facilitar la comparación, también se muestran las emisiones, las concentraciones y los cambios de temperatura para tres de estos escenarios del IEEE.

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.⁵ 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 (véase la Figura RRP-7). 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.

El nivel del mar y las capas de hielo continuarían respondiendo al calentamiento durante muchos siglos después de que se estabilicen las concentraciones de gases de efecto invernadero.

 P6.8

La elevación proyectada del nivel del mar debido a la expansión térmica en equilibrio es de 0,5 a 2 m 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. 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 equivalentes a 550 ppm.

La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero para estabilizar su concentración atmosférica podría retrasar y reducir los daños causados por el cambio climático.

 P6.9

La reducción (mitigación) de las emisiones de gases de efecto invernadero podría atenuar las presiones que reciben los sistemas naturales y humanos debido al cambio climático.

 P6.10

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, se prevé que las medidas de mitigación demoren y reduzcan los daños causados por el cambio climático y, por lo tanto, produzcan beneficios ambientales y socioeconómicos. Las medidas de mitigación y sus costos asociados se evalúan en las respuestas a la Pregunta 7.

Las medidas de mitigación para estabilizar las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero podrían generar mayores beneficios, al reducir los daños.

 P6.11

La estabilización en niveles inferiores reduce el riesgo de sobrepasar los 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 RRP-7). 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.

Aún no existen estimaciones completas y cuantitativas de los beneficios de la estabilización en diversos niveles de concentración atmosférica de gases de efecto invernadero.

 P6.12

Se han realizado grandes avances para entender el carácter cualitativo de los impactos del cambio climático. Debido a la incertidumbre sobre la sensibilidad climática y sobre

⁵ Para todos estos escenarios, la contribución de otros gases de efecto invernadero y aerosoles al equilibrio del calentamiento es de 0,6°C para una sensibilidad climática baja y de 1,4°C para una sensibilidad climática alta. El aumento resultante del forzamiento radiativo es equivalente al que ocurre con un 28 por ciento adicional en las concentraciones finales de CO₂.

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

Cambio de temperaturas con relación al año 1990 (°C)

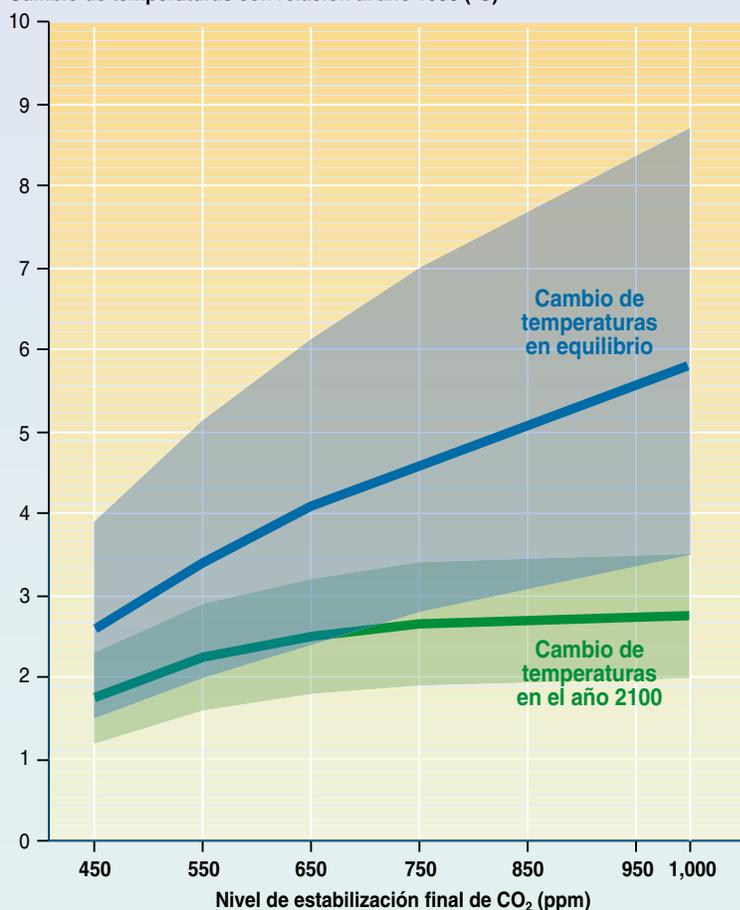


Figura RRP-7: Las concentraciones de CO₂ para la estabilización podrían disminuir el calentamiento, pero en un grado incierto. Los cambios de temperatura con relación a 1990, mostrados en a) el año 2100, y b) en equilibrio, se estiman sobre la base de una simulación climática sencilla para los perfiles WRE, como en la Figura RRP-6. 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.

→ P6 Figura 6-2

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.

La adaptación es una estrategia necesaria a todas las escalas, como complemento de los esfuerzos para la mitigación del cambio climático. Si ambos elementos se utilizan de forma conjunta, pueden ayudar a alcanzar los objetivos del desarrollo sostenible.

→ P6.13

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 la elevación 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. Los costos de la adaptación se pueden disminuir con medidas de mitigación que contribuyan a reducir y frenar los cambios climáticos a los que, en caso contrario, se verían expuestos los sistemas.

→ P6.14-15

Se proyecta que el cambio climático tenga diferentes impactos tanto dentro un país determinado como entre distintos países. El problema del cambio climático plantea el tema muy importante de la equidad.

Si se diseñan adecuadamente, las medidas de mitigación y adaptación pueden contribuir a los objetivos de equidad y de desarrollo sostenible dentro y entre los diferentes países, y entre generaciones. Se espera que la reducción de fenómenos climáticos extremos beneficie a todos los países, sobre todo a los países en desarrollo, considerados más vulnerables al cambio climático que los países desarrollados. La mitigación del cambio climático también podría reducir los riesgos que presuponen para las generaciones futuras las actividades de la generación actual.

→ P6.16-18

Pregunta 7

P7

¿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?

Existen muchas oportunidades, incluidas opciones tecnológicas, para reducir las emisiones a muy corto plazo, pero también existen obstáculos a su implementación.

→ P7.2-7

Desde el SIE de 1995 se han realizado importantes adelantos técnicos en cuanto a las posibilidades de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y

→ P7.3

este progreso ha sido más rápido de lo que se había anticipado. Se podrían lograr reducciones netas de emisiones mediante una serie de tecnologías (por ejemplo una conversión más eficaz en la producción y el uso de la energía, la adopción de tecnologías que no emiten o emiten escasas cantidades de gases de efecto invernadero, el secuestro y almacenamiento de carbono, y una mejora del uso de las tierras y prácticas forestales). Se están haciendo avances en una amplia gama de tecnologías en etapas diferentes de desarrollo, que varían entre la introducción en el mercado de turbinas y la rápida eliminación de gases que son subproductos industriales, el desarrollo de la tecnología de células energéticas y la demostración del almacenamiento subterráneo de CO₂.

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. Las oportunidades potenciales de mitigación y los tipos de obstáculo varían según las regiones, los sectores y el tiempo, debido a la gran variación en la capacidad de mitigación. 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. 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 las oportunidades pueden surgir de la supresión de cualquier combinación de obstáculos.

→ P7.6

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, gasto e inversión por parte del gobierno, y apoyo a la investigación y el desarrollo.

→ P7.7

La estimación de los costos varía entre diferentes simulaciones y estudios debido a varias razones.

→ P7.14-19

Por diferentes razones, existen diferencias e incertidumbres importantes en las estimaciones cuantitativas de los costos de mitigación. Las estimaciones de costos difieren debido a a) la metodología⁶ empleada en el análisis y b) los factores e hipótesis subyacentes incorporados en el análisis. Si se incorporan ciertos factores, las estimaciones serán más altas, mientras que si se incorporan otros, serán más bajas. La incorporación de factores como diversos gases de efecto invernadero, de sumideros, cambios técnicos inducidos y de comercio de emisiones⁷ pueden reducir los costos estimados. Además, los estudios sugieren que algunas fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero se pueden limitar a un costo social neto nulo o negativo, hasta el punto en que las políticas pueden aprovechar

→ P7.14 & P7.20

⁶ El SIE describe dos tipos de enfoques para la estimación de costos; un enfoque de abajo arriba, que se desarrolla a partir de las evaluaciones de tecnologías y sectores específicos, y una simulación de arriba abajo, que parte de unas relaciones macroeconómicas. Véase el Recuadro 7-1 del TIE.

⁷ Enfoque basado en el mercado para lograr unos objetivos ambientales, en virtud del cual los países que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, por debajo de lo que se precisa, pueden utilizar o comercializar las reducciones en exceso para compensar las emisiones en otra fuente dentro o fuera del país. Aquí el término se utiliza en sentido amplio e incluye el comercio en “permisos” de emisiones, y la colaboración basada en proyectos.

las oportunidades de las medidas “útiles en todo caso”, tales como la corrección de imperfecciones en el mercado, la inclusión de beneficios secundarios y el reciclado eficiente de los ingresos fiscales. Una cooperación internacional que facilite las reducciones económicas de emisiones puede reducir los costos de mitigación. En cambio, si toman en cuenta los impactos macroeconómicos importantes a corto plazo, las limitaciones sobre el uso de los mecanismos de mercado nacionales e internacionales, los altos costos de transacciones, la inclusión de costos suplementarios y las medidas ineficientes de reciclado de impuestos, los costos estimados pueden ser más altos. Como ningún análisis incorpora todos los factores de importancia que afectan a los costos de mitigación, es posible que los costos estimados no reflejen los costos reales de la implementación de las medidas de mitigación.

Los estudios examinados por el TIE sugieren importantes oportunidades para la reducción de los costos de la mitigación.

→ P7.15-16

Los estudios de abajo arriba indican que existen unas importantes oportunidades para reducir los costos de la mitigación.

→ P7.15 & P7 Cuadro 7-1

Según los estudios de abajo arriba, se podrían lograr reducciones de las emisiones mundiales anuales de 1,9–2,6 Gt C_{eq} (equivalentes a gigatoneladas de carbono), y de 3,6–5,0 Gt C_{eq}⁸ en los años 2010 y 2020 respectivamente. 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). Estas estimaciones de costos netos directos se realizan utilizando unos tipos de descuento del 5 al 12 por ciento (comparables a 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 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.

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 desarrollen y pongan en práctica otras medidas.

→ P7.4 & P7.16

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 carbono⁹, y c) el uso de productos biológicos obtenidos de manera sostenible. Las posibilidades mundiales 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. Las estimaciones hasta la fecha de los costos para la mitigación biológica varían considerablemente, desde USD 0,1 hasta unos 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 de carbono no

⁸ Las estimaciones de la reducción de emisiones se realizan con referencia a una tendencia base que es similar en magnitud al escenario IEEA B2.

⁹ Los cambios en el uso de las tierras podrían influir en la concentración atmosférica de CO₂. Hipotéticamente, si todo el carbono emitido por los cambios históricos de uso de las tierras se pudiera poner de nuevo en la biosfera terrestre durante lo que queda de este siglo (por ejemplo, con la reforestación) las concentraciones de CO₂ se reducirían en unos 40 o 70 ppm.

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 del acopio y la aplicación de datos, los costos de oportunidad de la tierra y el mantenimiento, y otros costos recurrentes, que a menudo se han excluido o pasado por alto. Se ha determinado que la parte inferior de la gama tiende a la baja, aunque el conocimiento y el tratamiento de los costos están mejorando con el tiempo. Las opciones de mitigación biológica pueden reducir o incrementar las emisiones de gases de efecto invernadero que no son CO₂.

Las estimaciones de los costos en que incurrirán los países del Anexo B para la aplicación del Protocolo de Kyoto varían según los estudios y las regiones, y dependen en gran medida—entre otros factores—de las hipótesis empleadas sobre el uso de los mecanismos de Kyoto y de sus interacciones con las medidas nacionales (véase la Figura RRP-8 que muestra la comparación de los costos regionales de mitigación de países del Anexo II).

→ P7.17-18

La gran mayoría de los estudios mundiales que informan y comparan estos costos se basan en simulaciones internacionales de tipo energético-económico. Nueve de estos estudios sugieren los siguientes efectos en el PIB. En ausencia de comercio de emisiones entre los países del Anexo B, estos estudios muestran una reducción en PIB¹⁰ proyectado de 0,2–2 por ciento en el año 2010 para diferentes regiones del Anexo II. En la hipótesis de un comercio completo de emisiones entre países del Anexo B, las reducciones estimadas en el año 2010 oscilan entre el 0,1 y el 1,1 por ciento del PIB proyectado. Los estudios de simulaciones mundiales muestran unos costos marginales nacionales para cumplir con los compromisos de Kyoto de USD 20 a USD 600 por t C, sin comercio, y de USD 15 a USD 150 por t C, con comercio entre los países del Anexo B. Para la mayoría de los países con economías en transición, los efectos en el PIB oscilan entre un aumento insignificante y considerable. Sin embargo, para algunos países con economías en transición, la implementación del Protocolo de Kyoto tendrá un impacto en el PIB similar al del los países del Anexo II. Cuando se realizaron estos estudios, la mayoría de las simulaciones no incluían los sumideros, los gases de efecto invernadero que no son CO₂, el Mecanismo para el Desarrollo Limpio (CDM), las opciones de costos negativos, los beneficios secundarios o el reciclado orientado de los ingresos, y la incorporación de todos estos factores reduciría los costos estimados. Por otra parte, estas simulaciones se basan en hipótesis que subestiman los costos, porque suponen un uso completo del comercio de emisiones sin costos de transacción, tanto dentro de los países del Anexo B como entre ellos, que las respuestas de mitigación sean perfectamente eficientes y que las economías empiecen a ajustarse a la necesidad de cumplir con los objetivos de Kyoto, entre 1990 y 2000. La reducción de costo de los mecanismos de Kyoto podría depender de los diferentes detalles de su implementación, incluyendo la compatibilidad de mecanismos nacionales e internacionales, las limitaciones y los costos de transacción.

Las limitaciones de emisiones en países del Anexo I tienen impactos secundarios bien establecidos,¹¹ aunque variados, sobre países que no forman parte del Anexo I.

→ P7.19

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 2010.¹² El estudio que muestra los costos más altos indica para el mismo año una

¹⁰ Las reducciones de PIB proyectadas guardan relación con el PIB de base previsto de cada simulación. Las simulaciones evaluaron sólo reducciones de CO₂. En cambio, las estimaciones de los análisis de abajo arriba incluyeron todos los gases de efecto invernadero. Se pueden utilizar muchos tipos de medidas para mostrar los costos. Por ejemplo, si los costos anuales de los países desarrollados asociados con el cumplimiento de los objetivos fijados en Kyoto con un comercio completo de emisiones entre países del Anexo B se sitúan en el 0,5 por ciento del PIB, esto representa USD 125 mil millones por año, o USD 125 por persona y año hacia el año 2010 en los países del Anexo I (suposiciones del IEEEE). Esto se corresponde a un impacto sobre los niveles de crecimiento económico menor al 0,1 por ciento durante 10 años.

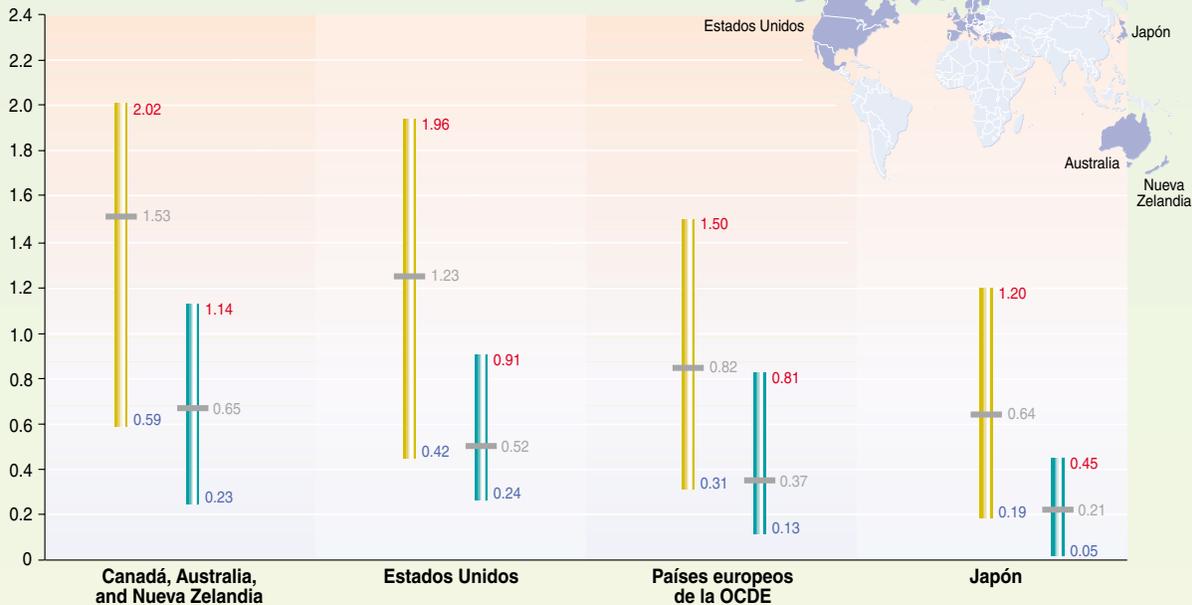
¹¹ Estos efectos secundarios tienen en cuenta sólo los efectos económicos, y no los ambientales.

¹² Estos costos estimados se pueden expresar como diferencias en los niveles de crecimiento del PIB en el período 2000–2010. Sin comercio de emisiones, el nivel de crecimiento del PIB se reduce en un 0,02 por ciento por año; con comercio de emisiones en países del Anexo B, el crecimiento se reduce en menos del 0,005 por ciento por año.

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

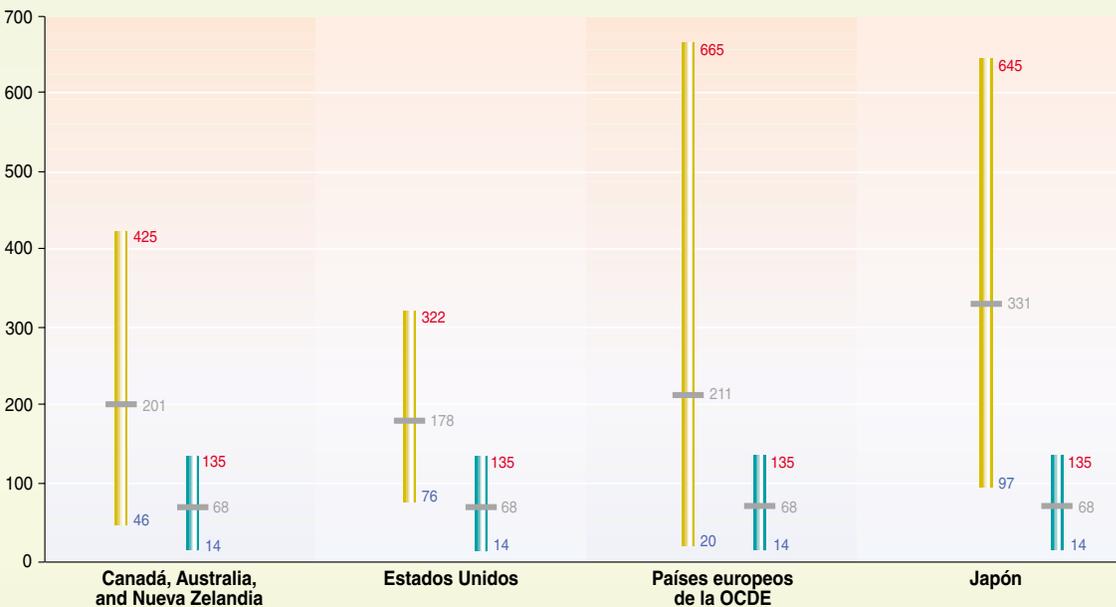
(a) Pérdidas del PIB

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 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 RRP-8: Proyecciones de pérdidas de PIB y costos marginales en países del Anexo II en el año 2010, a partir de simulaciones mundiales: a) pérdidas del PIB y b) costos marginales. Las reducciones en PIB para el año 2010 están relacionadas con el PIB de la simulación de referencia. Estas estimaciones se basan en los resultados de nueve equipos que realizan simulaciones y participaron en el estudio del Energy Modeling Forum. Las proyecciones que muestran las figuras son para las cuatro regiones que forman parte del Anexo II. Las simulaciones examinan 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 ese comercio con los países del Anexo B y, por lo tanto, los costos marginales son idénticos en las cuatro regiones. En cada caso o región se muestran los valores máximos, mínimos y medios de los costos marginales estimados en todas las simulaciones. Véanse los factores clave, hipótesis e incertidumbres en los estudios, en el Cuadro 7-3 y el Recuadro 7-1 del TIE.



reducción del 25 por ciento de los ingresos proyectados por petróleo sin comercio de emisiones, y un 13 por ciento de los ingresos por petróleo proyectados con comercio de emisiones en países del Anexo B. Estos estudios no toman en cuenta otras políticas y medidas 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. 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 producción. Los países que no forman parte del Anexo I se pueden beneficiar con la reducción en los precios de combustibles, el aumento de las exportaciones de productos que precisan una gran cantidad de carbono para su fabricación, y la transferencia de tecnologías y conocimientos que no perjudican el medio ambiente. El posible traslado de algunas industrias que precisan una gran cantidad de carbono a países no incluidos en el Anexo I y los impactos más amplios sobre los flujos de emisiones como respuesta a las fluctuaciones de los precios, pueden producir una fuga¹³ de carbono de un 5 a 20 por ciento.

El desarrollo y la difusión de tecnología son componentes importantes para una estabilización económica.

→ P7.9-12 & P7.23

El desarrollo y la transferencia de tecnologías ambientalmente apropiadas pueden ser muy importantes para la reducción de los costos de la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero.

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 para la adopción de esas tecnologías. Con unas políticas económicas positivas, unos marcos normativos, y con transparencia y estabilidad política, los gobiernos pueden crear el entorno propicio para la transferencia de tecnología en los sectores público y privado. Es esencial una estructuración organizacional y humana apropiada en todas las etapas, para aumentar el flujo y mejorar la calidad de la transferencia de tecnología. Además, para una transferencia más eficaz de la tecnología es fundamental constituir una red entre las partes interesadas públicas y privadas, y centrarse en productos y técnicas con múltiples ventajas secundarias que se ajusten o adapten a las necesidades y prioridades locales de desarrollo.

→ P7.9-12 & P7.23

Los escenarios con menores emisiones precisan unas pautas diferentes de desarrollo de recursos energéticos, y más investigación y desarrollo en energía para ayudarles en la aceleración del desarrollo e implementación de tecnologías energéticas avanzadas no afecten el medio ambiente.

Las emisiones de CO₂ debidas al consumo de combustibles fósiles han de tener realmente gran importancia primordial en la tendencia de las concentraciones atmosféricas de CO₂ durante el siglo XXI. Los datos sobre recursos evaluados en el TIE pueden implicar un cambio en la mezcla energética y la introducción de nuevas fuentes de energía durante el siglo XXI. La selección de esta combinación de energías y las inversiones y tecnologías asociadas—ya sea orientada a la explotación de recursos petrolíferos y de gases no convencionales, ya sea a fuentes de energía no fósiles o una tecnología energética basada en fósiles con captación y almacenamiento de carbono—determinará si se pueden estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero y a qué nivel y costo.

→ P7.27

La vía y el nivel de estabilización son los principales determinantes de los costos de mitigación.¹⁴

→ P7.24-25

¹³ La fuga de carbono se define como un aumento de emisiones en países que no forman parte del Anexo B debido a la aplicación de reducciones en países del Anexo B, expresado como un porcentaje de las reducciones en esos países.

¹⁴ Véase la Pregunta 6 para más información sobre los impactos del cambio climático.

La vía que se elija para cumplimiento de un objetivo determinado de estabilización tendrá efectos en el costo de la mitigación (véase la Figura RRP-9).

→ P7.24

Una transición gradual de los sistemas energéticos actuales hacia una economía con menos emisiones de carbono minimiza los costos derivados del retiro prematuro de capital existente y deja tiempo para el desarrollo tecnológico, y además evita “quedar encerrado” con la adopción prematura de las primeras versiones de tecnologías con bajo nivel de emisiones, que se perfeccionen constantemente. 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, así como estimular la aplicación más rápida de tecnologías existentes para reducir las emisiones y crear incentivos a muy corto plazo para facilitar futuros cambios de tecnologías.

Los estudios muestran que los costos de estabilización de las concentraciones atmosféricas de CO₂ aumentan a medida que disminuyen los niveles de concentración de la estabilización. Los diferentes escenarios de base pueden tener una gran influencia en los costos absolutos (véase la Figura RRP-9).

→ P7.25

Cuando se pasa de un nivel de estabilización de la concentración de 750 a 550 ppm, el aumento es moderado, pero el aumento en los costos es mayor cuando se pasa de 550 a 450 ppm, a menos que las emisiones en los escenarios de base sean muy bajas. Aunque las proyecciones de las simulaciones indican que las vías de crecimiento del PIB a largo plazo no se ven muy afectadas por las medidas de mitigación para lograr la estabilización, tales proyecciones no muestran las variaciones mayores que tienen lugar en algunos períodos más breves, ni en sectores o regiones determinados. Estos estudios no incorporan el secuestro de carbono y no han examinado los posibles efectos de objetivos más ambiciosos en el cambio tecnológico inducido. Además, el problema de la incertidumbre tiene una importancia creciente a medida que se amplía el marco temporal.

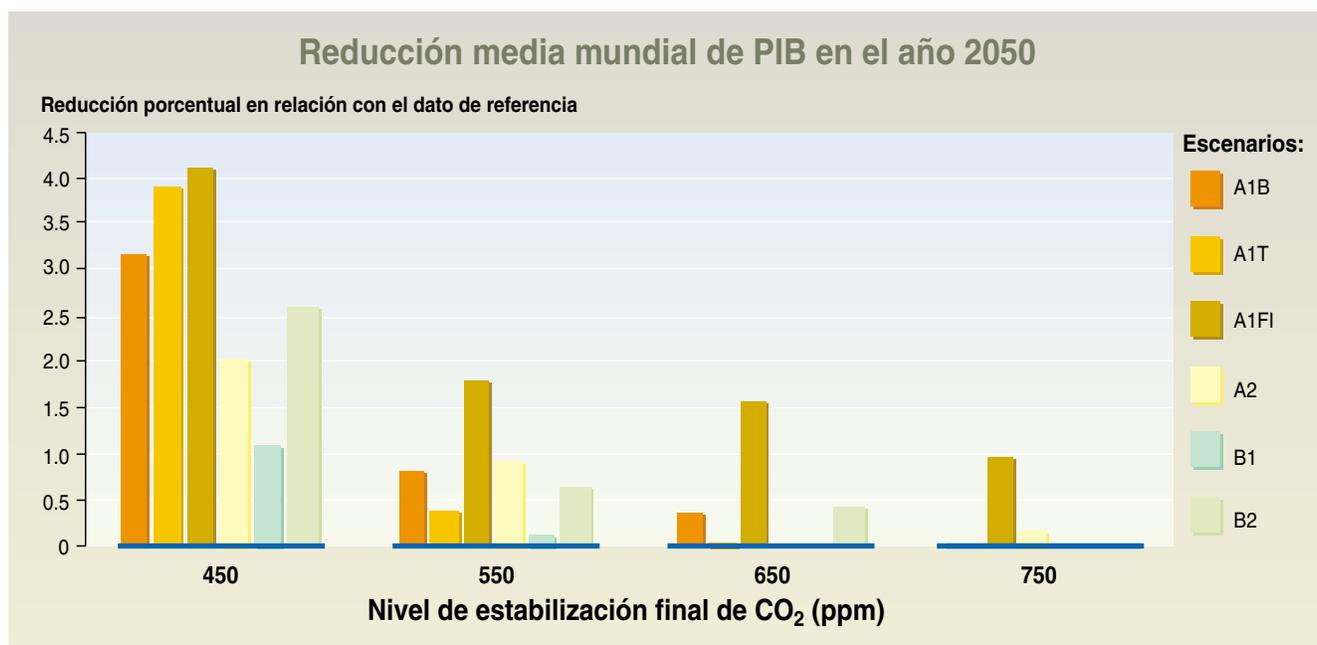


Figura RRP-9: Relación indicativa en el año 2050 entre la reducción relativa del PIB causada por actividades de mitigación, los escenarios del IEEE y el nivel de estabilización.

→ P7.25

La reducción del 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. Los costos de mitigación proyectados no tienen en cuenta los beneficios potenciales del cambio climático evitado (véase más información sobre este tema, al pie de la Figura 7-4).

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?

Los problemas ambientales locales, regionales y mundiales están vinculados inextricablemente y afectan al desarrollo sostenible. Por ende, existen oportunidades sinérgicas para desarrollar opciones más eficaces de respuesta a estos problemas ambientales, que permitan mejorar los beneficios, reducir los costos y atender las necesidades humanas de una manera más sostenible.

→ P8.1-2

En muchos casos, la satisfacción de las necesidades humanas causa una degradación del medio ambiente, lo que a su vez amenaza la capacidad para atender a las necesidades presentes y futuras. Por ejemplo, se puede favorecer una mayor producción agrícola mediante una mayor utilización de fertilizantes nitrogenados, riegos y la transformación de praderas y bosques naturales en terrenos de cultivo. Sin embargo, estos cambios pueden afectar el clima de la Tierra debido a la emisión de gases de efecto invernadero, provocar la degradación de la tierra por la erosión y salinización de los terrenos, y contribuir a la pérdida de diversidad biológica y a la reducción del secuestro de carbono debido a la transformación y fragmentación de los sistemas ecológicos naturales. A su vez, la productividad agrícola se puede ver afectada de forma adversa por los cambios climáticos, especialmente en las zonas tropicales y subtropicales, por la pérdida de diversidad biológica y por cambios a nivel genético y de especies animales, así como por la degradación de tierras y la pérdida de fertilidad. Muchos de estos cambios pueden afectar de forma adversa la seguridad de los alimentos y tienen consecuencias mucho más graves para la población menos favorecida económicamente.

→ P8.3 & P8.15

Los principales factores subyacentes al cambio climático antropogénico son parecidos a los que determinan la mayoría de las cuestiones ambientales y socioeconómicas: el crecimiento económico, los cambios tecnológicos generales, las pautas de estilos de vida, los cambios demográficos (tamaño del problema, estructura de edad y migración) y las estructuras de gobierno. Estos factores pueden producir:

→ P8.4

- El aumento de la demanda de recursos naturales y energía
- Imperfecciones en el mercado, incluyendo 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 verdadero valor de los recursos naturales; la falta de conciencia del valor mundial de los recursos naturales a nivel 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, el uso ineficiente de las tecnologías y una inversión insuficiente en la investigación y el desarrollo de tecnologías futuras
- La gestión inadecuada del uso de recursos naturales y energía.

El cambio climático afecta cuestiones ambientales como la pérdida de diversidad biológica, la desertificación, el agotamiento del ozono estratosférico, la disponibilidad de agua dulce y la degradación de la calidad del aire y, a su vez, el cambio se ve afectado por muchos de estas cuestiones. Por ejemplo, se proyecta que el cambio climático

→ P8.5-20

aumente la contaminación del aire a nivel local y regional y retrase la recuperación de la capa de ozono estratosférica. Además, el cambio climático también podría afectar la productividad y composición de los sistemas ecológicos terrestres y acuáticos, con una posible pérdida de la diversidad genética y de especies; podría acelerar la velocidad de la degradación de las tierras; y podría aumentar los problemas relacionados con la cantidad y calidad de agua dulce en muchas zonas. A la inversa, la contaminación del aire a nivel regional y local, el agotamiento del ozono estratosférico, los cambios en los sistemas ecológicos y la degradación de las tierras podrían afectar al clima del planeta, al alterar las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero, el equilibrio radioactivo de la atmósfera y el albedo de la superficie.

Los vínculos entre las cuestiones ambientales locales, regionales y mundiales y su relación con la satisfacción de las necesidades humanas, ofrecen oportunidades para captar sinergias para elaborar opciones de respuesta y reducir la vulnerabilidad ante el cambio climático, aunque también puede haber aspectos desfavorables.

→ P8.21-25

Se pueden lograr múltiples objetivos ambientales y de desarrollo con la adopción de una amplia gama de tecnologías, políticas y medidas que reconozcan de forma explícita los vínculos inextricables entre los problemas ambientales y las necesidades humanas. Para abordar las necesidades de energía, y reducir al mismo tiempo de forma económica la contaminación del aire a nivel regional y local y el cambio climático a nivel mundial, se precisa una evaluación interdisciplinaria de las sinergias e incompatibilidades en la atención de las necesidades energéticas de la forma más sostenible desde el punto de vista social, económico y ambiental. Se podrían reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como de los contaminantes a nivel local y regional con un uso más eficiente de la energía y una mayor proporción de combustibles fósiles que emiten poco carbono, tecnologías avanzadas para la combustión de combustibles fósiles (por ejemplo, las muy eficientes turbinas de ciclos de gases combinados, células energéticas y combinaciones de calor y potencia) y tecnologías de energía renovable (como un aumento del uso de biocombustibles inocuos para el medio ambiente, la energía hidroeléctrica, la energía solar y la energía del mar y eólica). Además, se puede reducir el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero mejorando la absorción de carbono debido a la forestación, la reforestación, la reducción de la deforestación y una mejor gestión de bosques, praderas, humedales y terrenos de cultivo, lo que tendría un efecto beneficioso en la diversidad biológica, la producción de alimentos, y los recursos terrestres y acuáticos. La reducción de la vulnerabilidad ante los cambios climáticos puede a menudo contribuir a reducir la vulnerabilidad ante otros problemas ambientales, y viceversa. En algunos casos pueden surgir incompatibilidades. Por ejemplo, según la forma de operar, las plantaciones de monocultivos pueden hacer disminuir la diversidad biológica local.

Se puede mejorar la capacidad de los países para adaptarse al cambio y mitigar sus efectos si las políticas climáticas se integran con las políticas de desarrollo nacional, incluidos los aspectos económicos, sociales y ambientales.

→ P8.26-27

Las opciones para la mitigación y adaptación climática pueden tener unos beneficios secundarios que satisfagan necesidades humanas, mejoren el bienestar y traigan aparejados otros beneficios ambientales. Los países con recursos económicos limitados y bajos niveles de tecnología son a menudo muy vulnerables al cambio climático y a otros problemas ambientales.

Existe una gran interacción entre los problemas ambientales abordados por los acuerdos ambientales multilaterales, y es posible aprovechar las sinergias que surjan cuando se aplican.

→ P8.11 & P828

Los problemas ambientales mundiales se tratan en una serie de convenios y acuerdos independientes, además de una serie de acuerdos regionales. Puede haber entre ellos asuntos de interés común y necesidades similares para la consecución de objetivos generales —por ejemplo, los planes de aplicación, la recopilación y procesamiento de datos, el fortalecimiento de infraestructuras y capacidad humana, y las obligaciones para la presentación de informes. Por ejemplo, aunque son diferentes, el Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático están relacionados desde el punto de vista científico, porque muchos de los compuestos que causan el

agotamiento de la capa de ozono son también importantes gases de efecto invernadero y porque algunos de los sustitutos de las sustancias ahora prohibidas que causan el agotamiento de la capa de ozono son gases de efecto invernadero.

Pregunta 9

P9

¿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?

En este informe, se entiende por **conclusión sólida** relacionada con el cambio climático a la que resiste ante una serie de enfoques, métodos, simulaciones e hipótesis diversas, y relativamente poco afectada por incertidumbres. 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. En los ejemplos del Cuadro RRP-3, muchas de las conclusiones sólidas están relacionadas con la existencia de una respuesta climática frente a actividades humanas y el signo de dicha respuesta. Muchas de las incertidumbres clave tienen relación con la cuantificación de la magnitud y/o el tiempo de respuesta. Después de ocuparse de la atribución del cambio climático, el cuadro se ocupa en orden de las cuestiones ilustradas en la Figura RRP-1. La Figura RRP-10 muestra algunas de las principales conclusiones sólidas sobre el cambio climático. El Cuadro RRP-3 únicamente proporciona ejemplos y no se trata de una lista exhaustiva.

Se han hecho importantes progresos en el TIE en muchos aspectos de los conocimientos necesarios para entender el cambio climático y la respuesta humana ante este fenómeno. Sin embargo, existen unos temas importantes que precisan un mayor estudio, 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’.

Cuadro RRP-3 Conclusiones sólidas e incertidumbres clave. ^a		
Conclusiones sólidas		Incertidumbres clave
<p>Las observaciones muestran que la superficie de la Tierra se está calentando. A escala mundial, es muy probable que el decenio del 1990 fuera el más cálido desde que se dispone de registros instrumentales (Figura RRP-10b). [P9.8]</p> <p>Las concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto invernadero antropogénicos (CO₂ (Figura RRP-10a), CH₄, N₂O y el O₃ troposférico) han aumentado en gran medida desde el año 1750. [P9.10]</p> <p>Algunos gases de efecto invernadero perduran mucho tiempo (por ejemplo, el CO₂, el N₂O y los PFC). [P9.10]</p> <p>Gran parte del calentamiento observado durante los últimos 50 años se ha producido probablemente por un aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero debido a actividades humanas. [P9.8]</p>	<p>Cambio climático y atribución</p>	<p>Magnitud y carácter de la variabilidad natural del clima. [P9.8]</p> <p>Forzamientos climáticos debidos a factores naturales y aerosoles antropogénicos (especialmente efectos indirectos). [P9.8]</p> <p>Relación de las tendencias regionales con los cambios climáticos antropogénicos. [P9.8 y P9.22]</p>
<p>Es prácticamente seguro que el aumento de las concentraciones de CO₂ en el siglo XXI se debe al consumo de combustibles fósiles (Figura RRP-10a). [P9.11]</p> <p>Para la estabilización de concentraciones atmosféricas de CO₂ a 450, 650 y 1.000 ppm se necesitaría que las emisiones antropogénicas de CO₂ descendieran por debajo de los niveles del año 1990, dentro de unos decenios, de un siglo y dentro de dos siglos respectivamente, y que continuaran descendiendo progresivamente después, hasta constituir una pequeña fracción de las emisiones actuales. Las emisiones alcanzarían su punto máximo dentro de 1 o 2 decenios (450 ppm), y dentro de aproximadamente un siglo (1.000 ppm), a partir desde ahora. [P9.30]</p> <p>Para la mayoría de los escenarios del IEEEE, las emisiones de SO₂ (precursor de los aerosoles de sulfatos) son menores en el año 2100 si se comparan con las del año 2000. [P9.10]</p>	<p>Emisiones futuras y concentraciones de los gases de efecto invernadero y aerosoles, basadas en simulaciones y proyecciones del IEEEE y escenarios de estabilización</p>	<p>Hipótesis que sustentan la amplia gama^b de escenarios de emisiones del IEEEE con respecto al crecimiento económico, el adelanto de la tecnología, el crecimiento de población y las estructuras de gobierno (lo que lleva a unas mayores incertidumbres en las proyecciones). Escenarios de emisiones inadecuados para el ozono y los precursores de los aerosoles. [P9.10]</p> <p>Factores en la simulación del ciclo de carbono, incluidas las reacciones a los efectos del climab.^b [P9.10]</p>
<p>La temperatura media mundial en la superficie durante el siglo XXI aumentará a niveles (muy probable) sin precedentes en los últimos 10.000 años (Figura RRP-10b). [P9.13]</p> <p>Es muy probable que la temperatura de casi toda la superficie terrestre aumente más que la media mundial, con más días calurosos y olas de calor y menos días fríos y olas de frío. [P9.13]</p> <p>La elevación del nivel del mar durante el siglo XXI continuará durante varios siglos más. [P9.15]</p> <p>Un ciclo hidrológico será más intenso. Es probable que en muchas zonas se registre un aumento de las precipitaciones medias mundiales, y que haya episodios de precipitaciones más intensas. [P9.14]</p> <p>Aumento del clima seco estival y del consiguiente riesgo de sequías en la mayor parte de las latitudes medias del interior continental. [Q9.14]</p>	<p>Cambios futuros en clima regional y mundial basados en simulaciones con escenarios del IEEEE</p>	<p>Hipótesis asociadas con una amplia gama^c de escenarios del IEEEE (véase supra). [P9.10]</p> <p>Factores asociados con las proyecciones basadas en simulaciones^c, en particular la sensibilidad climática, el forzamiento climático, y los procesos de respuesta, especialmente los que incluyen el vapor de agua, las nubes, y los aerosoles (comprendidos los efectos indirectos de los aerosoles). [P9.16]</p> <p>Comprensión de la distribución de probabilidad asociada con las proyecciones sobre temperatura y nivel del mar. [P9.16]</p> <p>Mecanismos, cuantificación, escalas temporales y probabilidad asociada con cambios no lineales, repentinos y a gran escala (como la circulación oceánica termohalina). [P9.16]</p> <p>Capacidad de las simulaciones a escalas regionales (especialmente las relativas a las precipitaciones), con las consiguientes incoherencias en las proyecciones y dificultades en la cuantificación a escala regional y local. [P9.16]</p>



Cuadro RRP-3 Conclusiones sólidas e incertidumbres clave. ^a (continuación)	
Conclusiones sólidas	Incertidumbres clave
<p>El cambio climático proyectado ha de tener efectos beneficiosos y adversos en los sistemas ambientales y socioeconómicos, pero cuanto mayores sean los cambios y la velocidad de los cambios climáticos, más predominarán los efectos adversos. [P9.17]</p> <p>Se prevé que los impactos adversos del cambio climático afecten de forma desproporcionada a los países en desarrollo y las personas más pobres dentro de los países. [P9.20]</p> <p>Los ecosistemas y las especies son vulnerables a los cambios climáticos y a otros problemas (como lo muestran los impactos observados de los recientes cambios regionales de temperatura) y algunos sufrirán daños irreversibles o incluso desaparecerán. [P9.19]</p> <p>En algunas latitudes medias y altas, la productividad de las plantas (árboles y algunos cultivos agrícolas) aumentaría con un pequeño incremento de las temperaturas. Si el calentamiento supera unos pocos °C, la productividad de las plantas descendería en la mayor parte de las zonas del mundo. [P9.18]</p> <p>Muchos sistemas físicos son vulnerables al cambio climático (por ejemplo el impacto de mareas de tempestad costeras se verá exacerbado por la elevación del nivel del mar, y los glaciares y el permafrost continuarán su retirada). [P9.18]</p>	<p>Impactos regionales y mundiales de los cambios en el clima medio y los extremos</p> <p>Fiabilidad de los detalles locales y regionales en las proyecciones sobre el cambio climático, especialmente en cuanto a extremos climáticos. [P9.22]</p> <p>Evaluación y predicción de respuestas de los sistemas ecológicos, sociales (por ejemplo, el impacto de las enfermedades transmitidas por vectores y por el agua) y económicos ante los efectos combinados del cambio climático y otros problemas como cambios en el uso de las tierras, contaminación local, etc. [P9.22]</p> <p>Identificación, cuantificación y evaluación de los daños asociados con el cambio climático. [P9.16, P9.22, y P9.26]</p>
<p>Las medidas para la reducción de gases de efecto invernadero (mitigación) atenuarían las presiones sobre los sistemas naturales y humanos debidas al cambio climático. [P9.28]</p> <p>Los costos de la mitigación varían entre las diferentes regiones y sectores. Existen importantes oportunidades tecnológicas y de otro tipo para reducir dichos costos. Un comercio eficiente de los derechos de emisiones también reduce los costos para los que participan en dicho comercio. [P9.31 y P.35-36]</p> <p>Las restricciones sobre emisiones en países del Anexo I tienen efectos indirectos muy bien establecidos, aunque variados, en países que no forman parte del Anexo I. [P9.32]</p> <p>Las respuestas nacionales para la mitigación del cambio climático pueden ser más eficaces si adoptan la forma de una cartera de políticas para limitar o reducir las emisiones netas de gases de efecto invernadero. [P9.35]</p> <p>Las medidas de adaptación podrían reducir los impactos adversos del cambio climático y, a menudo, producir algunos efectos secundarios beneficiosos de inmediato, pero no evitará todos los daños. [P9.24]</p> <p>La adaptación puede servir de complemento a la mitigación en una estrategia económica para reducir los riesgos que conlleva el cambio climático y, juntas, pueden contribuir a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible. [P9.40]</p> <p>La inercia en la interacción de los sistemas climático, ecológico y socioeconómico es una de las principales razones que explica las ventajas de las medidas preventivas de adaptación y mitigación. [P9.39]</p>	<p>Costos y beneficios de las opciones de mitigación y adaptación</p> <p>Comprensión de las interacciones entre el cambio climático y otros problemas ambientales y las consecuencias socioeconómicas. [P9.40]</p> <p>Precio futuro de la energía, y costo y disponibilidad de tecnologías con un bajo nivel de emisiones. [P9.33-34]</p> <p>Identificación de medios para eliminar obstáculos que impidan la adopción de tecnologías con un bajo nivel de emisiones, y estimación de los costos para superarlos. [P9.35]</p> <p>Cuantificación de los costos de medidas de mitigación no planificadas e imprevistas, con efectos repentinos a corto plazo. [P9.38]</p> <p>Cuantificación de las estimaciones de los costos de la mitigación generadas por diferentes enfoques (por ejemplo enfoques de arriba abajo y de abajo arriba), incluidos los beneficios secundarios, los cambios de tecnología y los efectos en sectores y regiones. [P9.35]</p> <p>Cuantificación de los costos de la adaptación. [P9.25]</p>

^a 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. 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. Este cuadro únicamente proporciona ejemplos y no es una lista completa.

^b La incorporación de estas incertidumbres nos da un nivel de concentraciones de CO₂ en el año 2100 de entre 490 y 1.260 ppm.

^c La incorporación de estas incertidumbres nos da una gama de aumentos de la temperatura media de la superficie en el período 1990-2100 de 1,4-5,8°C (Figura RRP-10b) y una elevación media mundial del nivel del mar de 0,09-0,88 m.

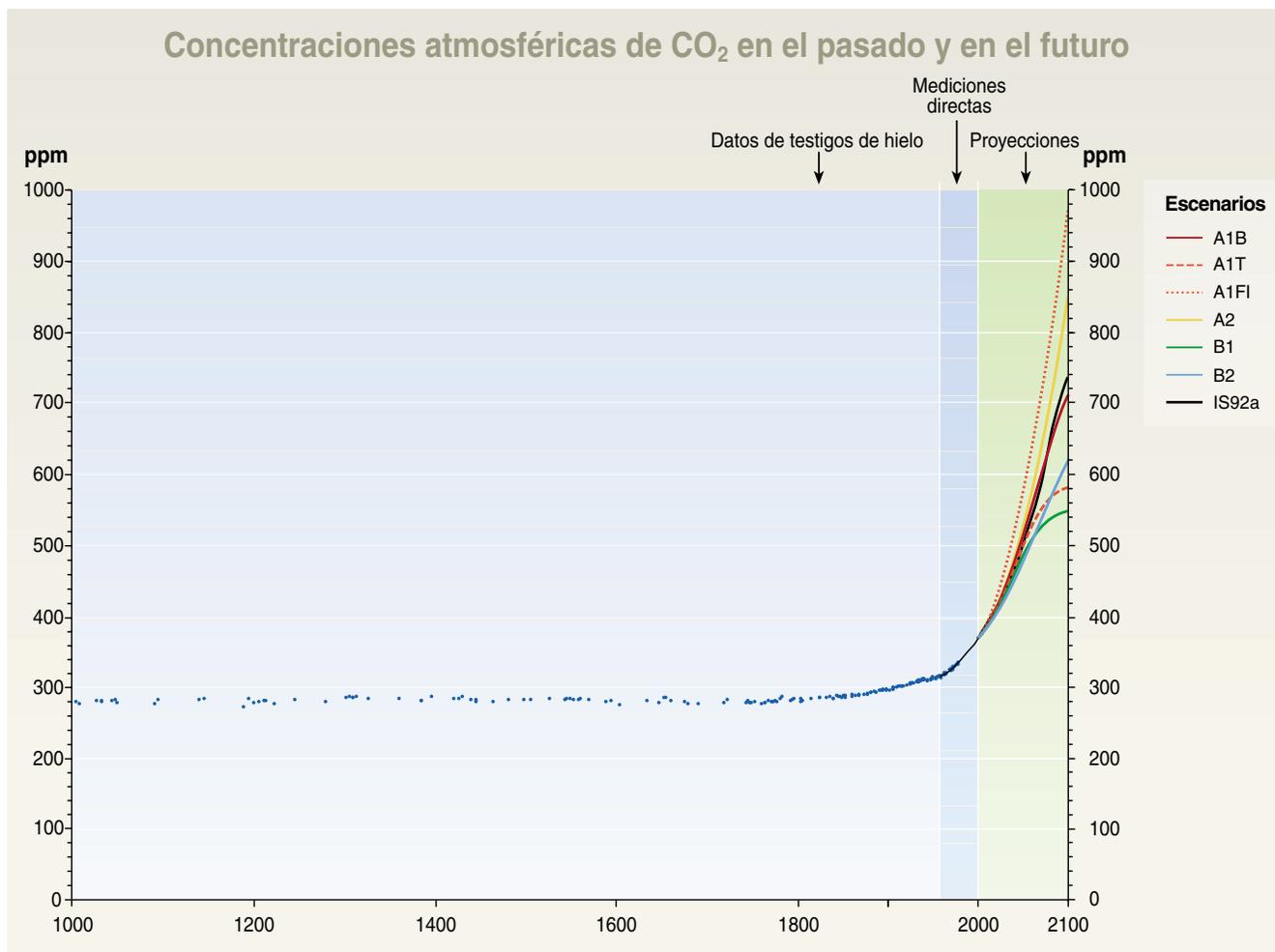


Figura RRP-10a: Concentraciones atmosféricas de CO₂ desde el año 1000 al 2000 a partir de datos de testigos de hielo y mediciones atmosféricas directas durante los últimos decenios. Las proyecciones sobre concentraciones de CO₂ durante el período 2000–2100 están basadas en los seis escenarios del IEEE y el IS92a (para compararlos con el SIE). [P9 Figura 9-1a](#)

Variaciones de la temperatura en la superficie terrestre en el periodo 1000-2100

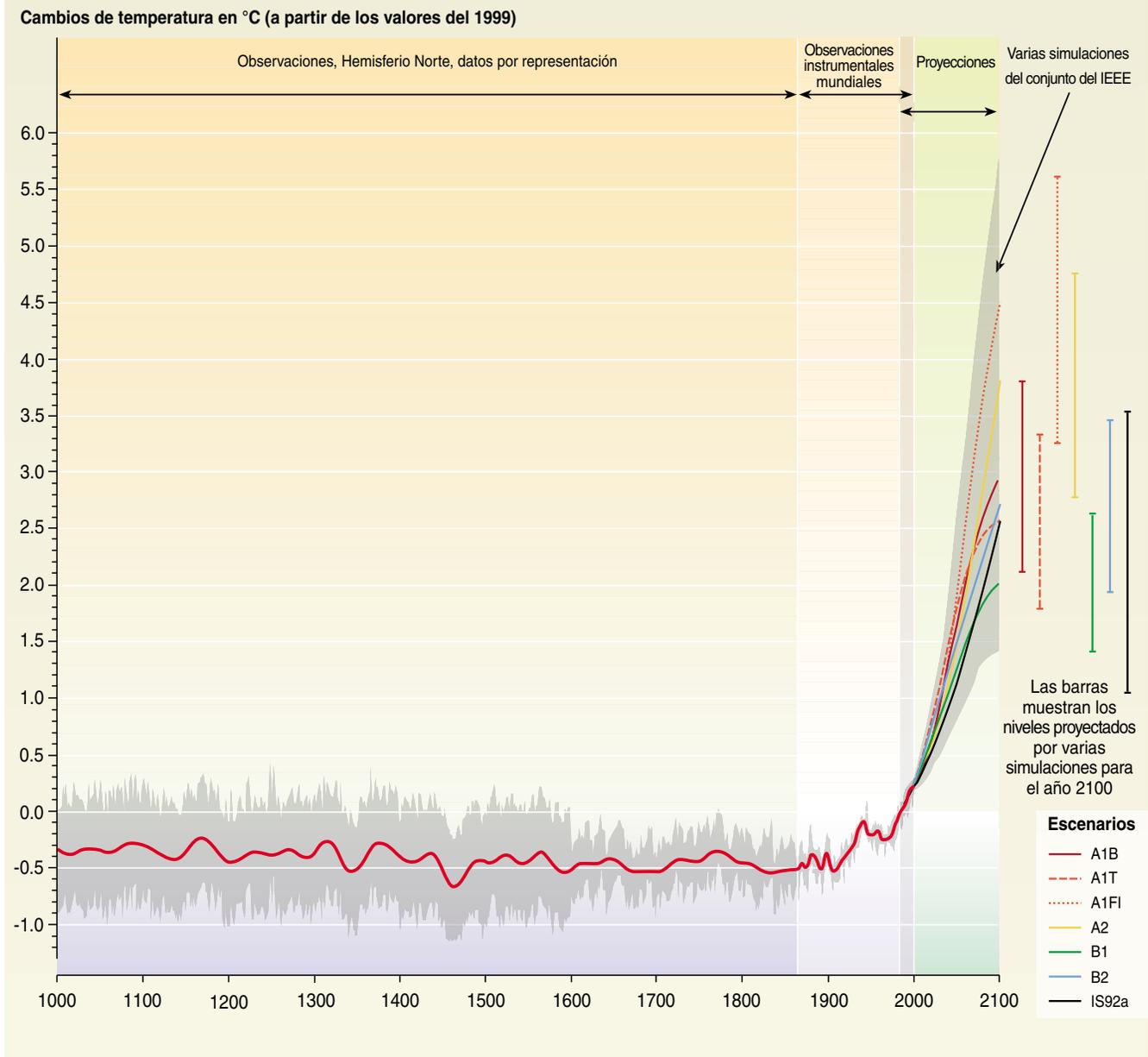


Figura RRP-10b: Se muestran las variaciones en la temperatura media de la superficie en el Hemisferio Norte durante el periodo 1000–1860 (no se dispone de los datos correspondientes para el Hemisferio Sur) extraídos a partir de datos por representación (anillos de los árboles, corales, testigos de hielo y registros históricos). La línea muestra una media en 50 años, el área gris, el límite de confianza del 95 por ciento en los datos anuales. Para el periodo 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 periodo 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. El área gris marcada 'Varias simulaciones del conjunto del IEEE' muestra la gama de resultados de los 35 escenarios del IEEE además de aquellos obtenidos de una gama de simulaciones con diferentes sensibilidades climáticas. La escala de temperaturas se determina a partir del valor para 1990; la escala es diferente de la utilizada en la Figura RRP-2.

[→ P9 Figura 9-1b](#)