

Informe del Grupo de Trabajo I del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático

Resumen para Responsables de Políticas

Autores principales:

Richard B. Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan M. Gregory, Gabriele C. Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian J. Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter A. Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

Autores:

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D.A. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

Este resumen para responsables de políticas debe ser citado del siguiente modo:

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. enhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Introducción

La contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC describe los progresos logrados en el conocimiento de los controladores humanos y naturales del cambio climático,¹ el cambio climático observado, los procesos y las atribuciones climáticas, y las estimaciones del cambio climático futuro proyectado. Se basa en las anteriores evaluaciones del IPCC e incorpora las nuevas conclusiones de los últimos seis años de investigación. Los progresos científicos obtenidos desde el Tercer Informe de Evaluación (TIE) están sustentados por una cantidad considerable de datos nuevos e integrales, análisis más perfeccionados de los datos, adelantos en el conocimiento de los procesos y de su simulación en modelos y por la exploración más extensiva de los márgenes de incertidumbre. Los fundamentos de los párrafos sustantivos de este Resumen para Responsables de Políticas figuran en las secciones de los capítulos especificadas entre corchetes.

Controladores Humanos y Naturales del Cambio Climático

Los cambios en la abundancia de los gases de efecto invernadero y de los aerosoles atmosféricos así como en la radiación solar y en las propiedades de la superficie de la tierra alteran el balance de energía del sistema climático. Estos cambios se expresan en función del forzamiento radiactivo,² que se emplea para comparar cómo una variedad de factores humanos y naturales influyen en el calentamiento o enfriamiento del clima global. Desde el Tercer Informe de Evaluación, nuevas observaciones y modelizaciones de los gases de efecto invernadero, la actividad solar, las propiedades de la superficie de la Tierra y algunos aspectos de los aerosoles han mejorado las estimaciones cuantitativas del forzamiento radiactivo.

Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso mundiales han aumentado, sensiblemente, como resultado de las actividades humanas desde 1750, y en la actualidad han superado los valores preindustriales determinados en muestras de testigos de hielo que abarcan muchos cientos de años (Véase la Figura RRP.1). El aumento global de la concentración de dióxido de carbono se debe fundamentalmente al uso de combustibles fósiles y a los cambios del uso del suelo, mientras que el del metano y óxido nitroso se deben principalmente a la agricultura. {2.3, 6.4, 7.3}

- El dióxido de carbono es el gas de efecto de invernadero antropogénico más importante. (Véase la Figura RRP2). La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera mundial ha pasado de un valor preindustrial de aproximadamente 280 ppm a 379 ppm³ en 2005. La concentración atmosférica de dióxido de carbono en 2005 supera, en gran medida, su margen de variación natural durante los últimos 650.000 años (de 180 a 300 ppm), según muestran testigos de hielo. El ritmo anual de crecimiento de la concentración de dióxido de carbono ha sido mayor durante los últimos 10 años (1995–2005 una media de: 1,9 ppm al año), que los anteriores desde el comienzo de las mediciones directas continuas en la atmósfera (1960–2005 con una media de: 1,4 ppm al año), aunque existe una variabilidad interanual en el ritmo y crecimiento {2.3, 7.3}
- La principal causa del crecimiento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera desde la época preindustrial es el uso de combustibles fósiles; el cambio en los usos del suelo constituye otra contribución significativa, pero de menor escala. Las emisiones⁴ anuales de dióxido de carbono fósil aumentaron de una media de 6,4 [6,0 a 6,8]⁵ GtC (23.5 [22.0 a 25.0] GtCO₂) por año en los noventa a 7,2 [6,9 a 7.5] GtC (26,4 [25,3 a

¹ *Cambio climático*, según el uso de este término en el IPCC, se refiere a cualquier cambio climático producido durante el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana. Dicho uso difiere del de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, donde el cambio climático se refiere a un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad climática natural observada durante periodos de tiempo comparables.

² *Forzamiento radiactivo* es la medida de la influencia que un factor ejerce en el cambio del balance de la energía entrante y saliente en el sistema atmosférico terrestre y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial del cambio climático. El forzamiento positivo tiende a calentar la superficie, mientras que el negativo tiende a enfriarla. En el presente informe, los valores de forzamiento radiactivo son del año 2005 relativos a las condiciones del periodo preindustrial definidas en 1750 y se expresan en watts por metro cuadrado (W m⁻²). Para más detalles, véase el Glosario y la Sección 2.2.

³ ppm (partes por millón) o ppb (partes por mil millones) es la relación del número de moléculas de gas de efecto invernadero con el número total de moléculas de aire seco. Por ejemplo, 300 ppm quiere decir 300 moléculas de gas de efecto invernadero por un millón de moléculas de aire seco.

⁴ Las emisiones de dióxido de carbono fósil incluyen las provenientes de la producción, distribución y consumo de combustibles fósiles y del producto derivado de la producción de cemento. Una emisión de 1 GtC corresponde a 3.67 GtCO₂.

⁵ Por lo general, los márgenes de incertidumbre de los resultados que se presentan en este Resumen para Responsables de Políticas corresponden a intervalos de incertidumbre de 90% siempre que no se especifique lo contrario, es decir, hay una estimación del 5% de probabilidad de que el valor pudiera ser superior al margen ofrecido entre corchetes y un 5% de probabilidad de que el valor sea inferior a ese margen. Se ofrecen las mejores estimaciones cuando están disponibles. Los intervalos de incertidumbre evaluados no son siempre simétricos en cuanto a la mejor estimación correspondiente. Obsérvese que el número de márgenes de incertidumbre en el TAR del Grupo de Trabajo TAR corresponde a 2 desviaciones estándares (95%), a menudo conforme al dictamen de expertos.

CAMBIOS EN LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO SEGÚN MUESTRAS DE NÚCLEOS DE HIELO Y DATOS MODERNOS

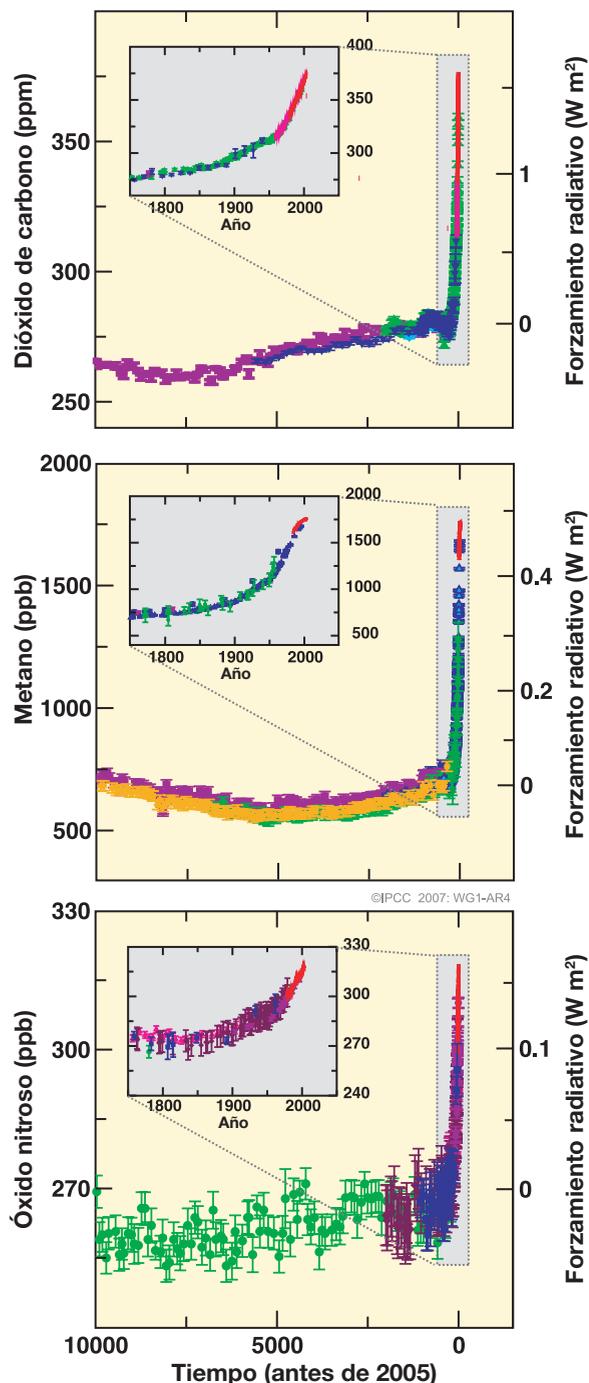


Figura RRP.1. Las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico en la atmósfera durante los últimos 10.000 años (paneles grandes) y desde 1750 (recuadros). Las medidas son de testigos de hielo (los símbolos de diferentes colores denotan diferentes estudios) y de muestras de la atmósfera (líneas rojas) El correspondiente forzamiento radiativo se muestra en los ejes de los paneles grandes a la derecha. {Figura 6.4}

27,5] $GtCO_2$) por año en 2000–2005 (los datos de 2004 y 2005 son estimaciones provisionales). La estimación por año de las emisiones de dióxido de carbono asociadas con cambios en los usos del suelo durante la década de los noventa es de 1,6 [0,5 a. 2,7] GtC (5,9 [1,8 a 9,9] $GtCO_2$) por año durante el decenio de 1990, aunque estas estimaciones presentan gran incertidumbre. {7.3}

- La concentración de metano en la atmósfera mundial ha pasado de un valor de unas 715 ppb, en la época preindustrial, a 1732 ppb a principios de la década de los noventa, y su valor en 2005 era de 1774 ppb. Tal y como demuestran los testigos de hielo, La concentración atmosférica de metano en 2005 excede, en gran medida, el margen de variación natural de los últimos 650.000 años (de 320 a 790 ppb). El ritmo de crecimiento ha disminuido desde principios de la década de los noventa, en concordancia con el total de emisiones (la suma de las fuentes antropogénicas y naturales) siendo casi constante durante ese periodo. Es *muy probable*⁶ que el aumento observado en la concentración de metano se deba a actividades antropogénicas, predominantemente agrícolas, y al uso de combustibles fósiles, pero aún no se han determinado adecuadamente las contribuciones relativas de otros tipos de fuentes. {2.3, 7.4}
- La concentración de óxido nítrico en la atmósfera mundial pasó de un valor en la era preindustrial de unos 270 ppb a 319 ppb en 2005. El ritmo de aumento se ha mantenido aproximadamente constante desde 1980. Más de un tercio de todas las emisiones de óxido nítrico son antropogénicas, principalmente por la agricultura. {2.3, 7.4}

El conocimiento de la influencia antropogénica en el calentamiento y enfriamiento del clima ha mejorado desde el TIE, llevando a una confianza muy alta⁷ de que el efecto neto medio mundial de las actividades humanas desde 1750 ha resultado en un calentamiento, con un forzamiento radiativo de +1,6 [+0,6 a +2,4] $W m^{-2}$ (Véase la Figura RRP2). {2.3., 6.5, 2.9}

⁶ En este Resumen para Responsables de Políticas, para indicar la probabilidad evaluada de un resultado o consecuencia, según los criterios de expertos, se emplean los siguientes términos: *Prácticamente cierto* > 99% probabilidad de ocurrencia, *Sumamente probable* > 95%, *Muy Probable* > 90%, *Probable* > 66%, *Más probable que improbable* > 50%, *Improbable* < 33%, *Muy improbable* < 10%, *Sumamente improbable* < 5% (véase el Cuadro TS.1 para más detalles).

⁷ En este Resumen para Responsables de Políticas se emplearon los siguientes niveles de certeza para expresar el criterio de expertos en cuanto a la exactitud de la ciencia que lo sustenta: *confianza muy alta* representa al menos 9 de cada 10 probabilidades de ser correcto; *confianza alta* representa aproximadamente 8 de cada 10 probabilidades de ser correcto (véase el Cuadro TS.1)

- El forzamiento radiativo combinado debido al aumento de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico es +2,30 [+2,07 a +2,53] W m⁻², y es muy probable que su ritmo de aumento, durante la era industrial, no haya tenido precedentes en más de 10.000 años (véase las Figuras RRP.1 y RRP.2). El forzamiento radiativo del dióxido de carbono aumentó en un 20% de 1995 a 2005, el mayor cambio para un decenio en, al menos, los últimos 200 años. {2.3, 6.4}
- Las contribuciones antropógenas a los aerosoles (principalmente sulfato, carbono orgánico, carbono negro, nitrato y polvo) en conjunto producen un efecto de enfriamiento, con un forzamiento radiativo directo total de -0,5 [-0,9 a -0,1] W m⁻² y un forzamiento indirecto en el albedo de las nubes de -0,7 [-1,8 a -0,3] W m⁻². Estos forzamientos se conocen mejor ahora que cuando se realizó el TIE debido a la mejora de las mediciones efectuadas in situ, satelitales, en tierra y a la elaboración de modelos más integrales, perosiguen siendo la principal incertidumbre en el forzamiento radiativo. Los aerosoles también influyen en el período de vida de las nubes y en las precipitaciones. {2,4: 2,9; 7,5}
- Vay otras fuentes antropogénicas que contribuyen significativamente al forzamiento radiativo. Los cambios del ozono troposférico debidos a las emisiones de productos químicos formadores del ozono (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y los hidrocarburos) contribuyen +0,35 [+0,25 +0,65] W m⁻². El forzamiento radiativo directo debido a cambios

COMPONENTES DEL FORZAMIENTO RADIATIVO

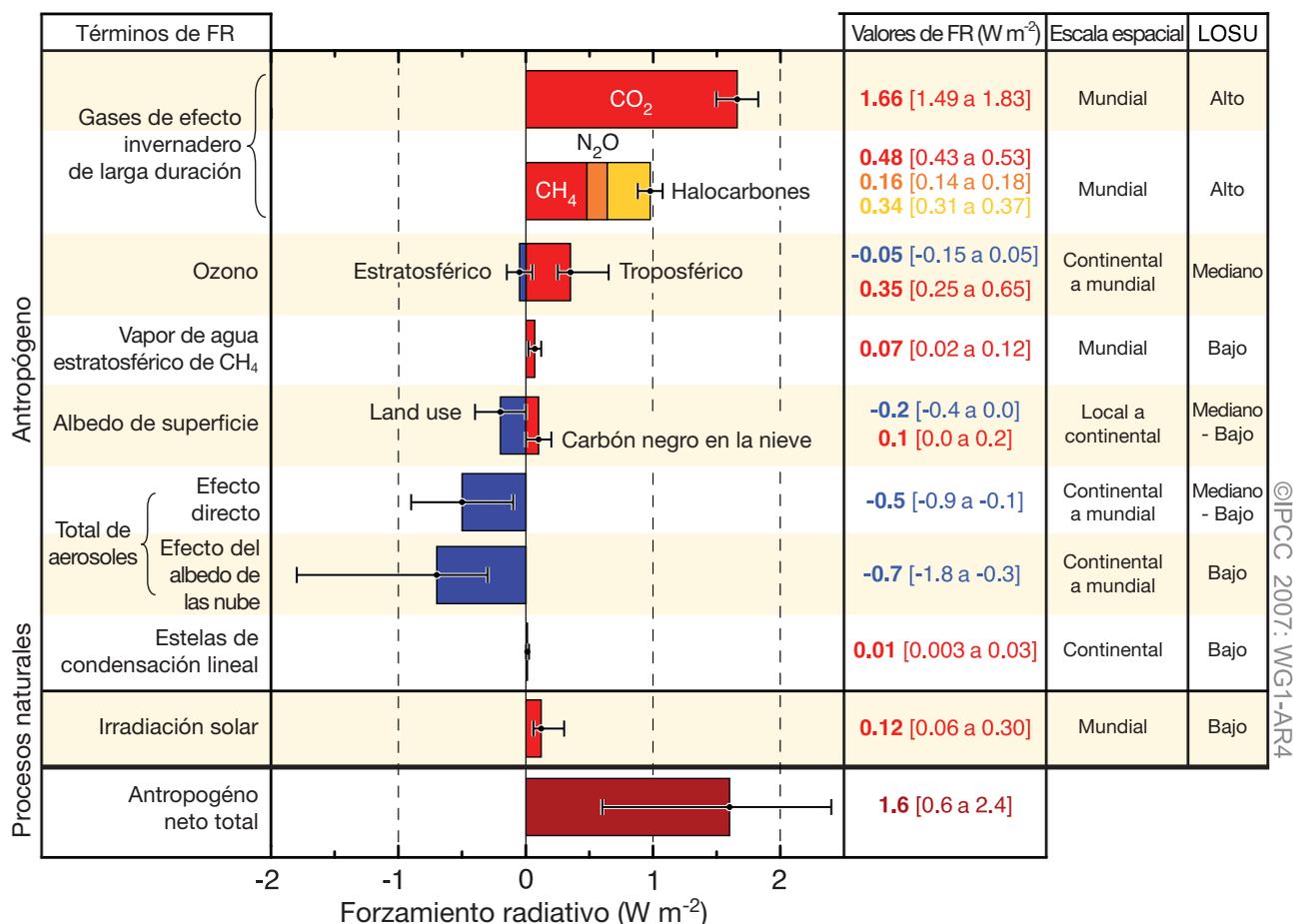


Figura RRP.2. Estimaciones y margen de variación del forzamiento radiativo (FR) medio mundial en 2005 para dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nítrico (N₂O) y otros agentes y mecanismos importantes, conjuntamente con la extensión geográfica típica (escala espacial) del forzamiento y del nivel de conocimiento científico (NCC) evaluado. Se muestran también el forzamiento radiativo neto antropogénico y su margen de variación. Esto requiere que se sumen las estimaciones de incertidumbre asimétricas de los términos que lo componen, y no pueden obtenerse por suma simple. Se considera que los factores de forzamiento no incluidos poseen un NCC muy bajo. Los aerosoles de origen volcánico aportan un forzamiento natural adicional pero no se incluyen en esta Figura debido a su naturaleza episódica. En el margen de variación de las estelas de condensación lineal no se incluyen otros posibles efectos de la aviación en la nubosidad. {2.9, Figura 2.20}

en los halocarbonos 8 es $+0.34$ [$+0.31$ a $+0.37$] W m^{-2} . Los cambios en el albedo superficial debidos a cambios en la cubierta del suelo y por depósito de aerosoles de carbono negro en la nieve ejercen forzamientos de -0.2 [-0.4 a 0.0] y $+0.0$ [0.0 a $+0.2$] W m^{-2} respectivamente. Los términos adicionales menores de ± 0.1 W m^{-2} se muestran en la Figura RRP.2. {2.3, 2.5, 7.2}

- Se estima que los cambios en la irradiación solar, desde 1750, han ocasionado un forzamiento radiativo de $+0.12$ [$+0.06$ a $+0.30$] W m^{-2} , lo que es menos de la mitad de la estimación ofrecida en el Tercer Informe de Evaluación {2.7}

Observaciones Directas del Cambio Climático Reciente

Desde el TIE se ha progresado en el conocimiento de cómo el clima está cambiando en el tiempo y el espacio mediante el perfeccionamiento y la ampliación de numerosos conjuntos y análisis de datos, cobertura geográfica más extensa, mejor conocimiento de las incertidumbres, y mayor variedad de mediciones. Desde la década de 1960, se han incrementado las observaciones integrales disponibles de glaciares y de la cubierta de hielo y, desde la década pasada, se cuenta con las del nivel del mar y del manto de nieve. No obstante, el alcance de los datos sigue siendo limitado en algunas regiones.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian ahora las observaciones de los incrementos en las temperaturas medias del aire y del océano, el derretimiento generalizado del hielo y de la nieve, y la elevación del nivel medio del mar en el mundo. Véase la Figura RRP.3 average sea level (see Figure SPM.3). {3.2, 4.2, 5.5}

- Once de los últimos doce años (1995–2006) se encuentran entre los 12 años más calurosos en los registros instrumentales de la temperatura global en superficie⁹ (desde 1850). La tendencia lineal de 100-años actualizada (1906 a 2005) de 0.74°C [0.56°C a 0.92°C] es, por tanto, mayor que la tendencia correspondiente de 1901 a 2000 de 0.6°C [0.4°C a 0.8°C] ofrecida en el TIE. La tendencia lineal del calentamiento de los

últimos 50 años (0.13°C [0.10°C a 0.16°C] por decenio) casi duplica la de los últimos 100 años. El aumento total de la temperatura de 1850–1899 hasta 2001–2005 es 0.76°C [0.57°C a 0.95°C]. Los efectos de islas de calor urbanas son reales pero locales, y ejercen una influencia no significativa (menos de 0.006°C por decenio en la tierra y cero en los océanos) en estos valores. {3.2}

- Nuevos análisis de las mediciones con globos meteorológicos y satélites de la temperatura de la troposfera inferior y de la media muestran ritmos de calentamiento similares a los del registro de la temperatura de la superficie y son congruentes con sus respectivas incertidumbres, y reconcilian ampliamente una discrepancia observada en el Tercer Informe de Evaluación. {3.2, 3.4}
- El promedio del contenido de vapor de agua en la atmósfera ha aumentado, al menos desde el decenio de 1980, tanto en tierra como en el océano, así como en la troposfera superior. El aumento concuerda, en líneas generales, con el vapor de agua adicional que puede contener el aire más caliente. {3.4}
- Observaciones realizadas desde 1961 muestran que la temperatura media de los océanos del mundo ha aumentado hasta profundidades de, al menos, 3000 m y que el océano está absorbiendo más del 80% del calor añadido al sistema climático. Dicho calentamiento hace que el agua de mar se expanda, lo cual contribuye a elevar el nivel del mar (véase la Tabla RRP.1). {5.2, 5.5}
- Los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han disminuido como promedio en ambos hemisferios. Las reducciones generalizadas en los glaciares y en los casquetes de hielo han contribuido a la elevación del nivel del mar (los casquetes de hielo no incluyen las contribuciones ni la de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártida). (Véase la Tabla RRP.1.) {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}
- Nuevos datos posteriores al TIE muestran ahora que es *muy probable* que las pérdidas de los mantos de hielo de Groenlandia hayan contribuido a elevar el nivel del mar desde 1993 a 2003 (véase la Tabla RRP.1). La velocidad de la corriente ha aumentado en algunos de los glaciares de valle de Groenlandia y la Antártica, que drenan hielo del interior de los mantos de hielo. El aumento correspondiente de la pérdida de masa del manto de hielo, a menudo, ha seguido a una disminución del espesor,

⁸ El forzamiento radiativo de los halocarbonos se evaluó en detalle en el Informe Especial sobre la Salvaguarda de la Capa de Ozono y el Clima Mundial, IPCC, 2005.

⁹ La media de la temperatura del aire cercano a la superficie de la tierra y la temperatura de la superficie del mar.

CAMBIOS EN TEMPERATURA, NIVEL DEL MAR Y MANTO DE NIEVE EN EL HEMISFERIO SEPTENTRIONAL

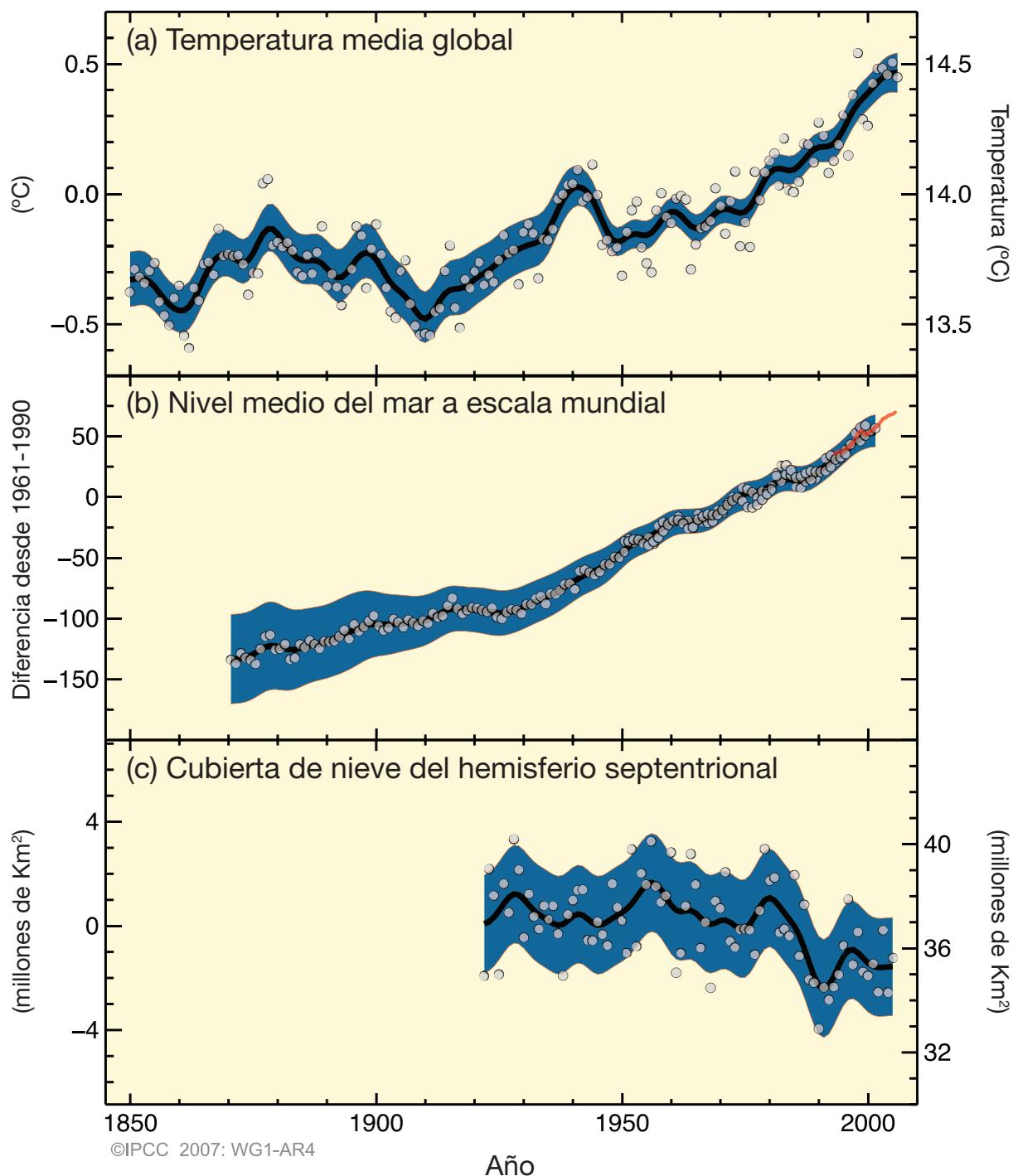


Figura RRP.3. Cambios observados en (a) la temperatura media de la superficie mundial, (b) el promedio del nivel del mar mundial según datos de mareógrafos (azul) y de satélites (rojo) y (c) la cubierta de nieve del hemisferio septentrional en marzo-abril. Todos los cambios son respecto a los promedios correspondientes al periodo 1961-1990. Las curvas suavizadas representan los valores promedio por decenio mientras que los círculos muestran los valores anuales. Las áreas sombreadas representan a los intervalos de incertidumbre estimados por un análisis integral de las incertidumbres conocidas (a y b) y de las series de tiempo (c). {PF 3.1, Figura 1, Figura 4.2, Figura 5.13}

reducción o pérdida de las plataformas de hielo, o de las lenguas de glaciares flotantes. Una tal pérdida dinámica de hielo tal es suficiente para explicar la mayor parte de la pérdida de masa neta de la Antártida y aproximadamente la mitad de la pérdida de masa neta de Groenlandia. El resto de la pérdida de hielo de Groenlandia ha ocurrido porque las pérdidas ocasionadas por deshielo superan a la acumulación producida por la nieve. {4.6, 4.8, 5.5}

- El nivel medio del mar en el mundo se elevó a un ritmo medio de 1,8 [1,3 a 2,3] mm anual desde 1961 a 2003. El ritmo fue más acelerado entre 1993–2003: aproximadamente 3,1 [2,4 a 3,8] mm por año. No está claro si el ritmo más rápido de 1993 a 2003 refleja una variabilidad decenal o un incremento en la tendencia largo plazo. Existe *confianza alta* de que el ritmo del aumento del nivel del mar observado se haya incrementado del siglo IX al XX. El aumento total estimado del siglo XX es 0,17 [0,12 a 0,22] m. {5.5}
 - Para el período de 1993 a 2003, la suma de las contribuciones del clima es consecuente, dentro de los límites de las incertidumbres, con el aumento total del nivel del mar observado directamente (véase la Tabla SPM.1). Estas estimaciones se basan en datos satelitales e *in situ* más precisos disponibles actualmente. Se estima que en el periodo 1961–2003, la suma de las contribuciones climáticas es menor que el aumento del nivel del mar observado. En el TIE se informó de una discrepancia similar para 1910–1990. {5.5}
- A escala continental, regional y de la cuenca oceánica, se han observado numerosos cambios climáticos a largo plazo. Estos incluyen cambios en la temperatura y el hielo árticos, cambios generalizados en la cantidad de precipitación, la salinidad de los océanos, las pautas de los vientos y las condiciones climáticas extremas como sequías, fuertes lluvias, olas de calor y en la intensidad de los ciclones tropicales.¹⁰ {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}**
- Las temperaturas medias árticas aumentaron casi el doble que la media mundial durante los últimos 100 años. Las temperaturas árticas presentan una alta variabilidad por década, y también se observó un período de calor desde 1925 a 1945. {3.2}
 - Los datos satelitales desde 1978 muestran que la extensión media anual del hielo marino ártico ha disminuido un 2,7 [2,1 a 3,3]% por decenio, con las mayores disminuciones de 7,4 [5,0 a 9,8]% por decenio durante el verano. Estos valores coinciden con los facilitados en el TIE {4.4}
 - Las temperaturas en la parte superior de la capa de permafrost han aumentado, por lo general, desde la década de 1980 en el Ártico (hasta 3°C). El área máxima cubierta por suelo helado estacional ha disminuido aproximadamente un 7% en el hemisferio septentrional

Tabla RRP.1. Ritmo de elevación del nivel del mar observado y contribuciones estimadas de diferentes fuentes. {5.5, Tabla 5.3}

Fuente de la elevación del nivel del mar	Ritmo de elevación del nivel del mar (mm por año)	
	1961–2003	1993–2003
Expansión térmica	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Glaciares y casquetes de hielo	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Manto de Hielo de Groenlandia	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Manto de hielo de la Antártida	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Suma de las contribuciones climáticas individuales al aumento del nivel del mar	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Total del aumento del nivel del mar observado	1.8 ± 0.5 ^a	3.1 ± 0.7 ^a
Diferencia (Observado menos suma de las contribuciones climáticas estimadas)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

Nota de la Tabla:

^a Los datos anteriores a 1993 son de mareógrafo y los posteriores a 1993, de altimetría por satélite.

¹⁰ En los ciclones tropicales se incluyen huracanes y tifones.

Norte desde 1900, con una disminución en la primavera de hasta un 15%. {4.7}

- Se han observado tendencias a largo plazo de 1900 a 2005 en la cantidad de las precipitaciones en muchas regiones extensas.¹¹ Se ha observado un aumento significativo de las lluvias en las regiones orientales de América del Norte y del Sur, en el norte de Europa y en Asia septentrional y central. Se ha observado una disminución de las precipitaciones en el Sahel, el Mediterráneo, África meridional y en partes de Asia meridional. Existe una gran variabilidad espacial y temporal en las

precipitaciones, y los datos se limitan a algunas regiones. No se han observado tendencias a largo plazo en otras de las extensas regiones evaluadas.¹¹ {3.3, 3.9}

- Los cambios en las precipitaciones y en la evaporación en los océanos son debidos a la menor salinidad de las aguas de latitudes medias y altas, conjuntamente con un aumento de la salinidad de las aguas de latitudes bajas. {5.2}
- Los vientos del oeste de latitud media son más fuertes en ambos hemisferios desde el decenio de 1960. {3.5}

Tabla RRP.2. Tendencias recientes, evaluación de la influencia humana en la tendencia y proyecciones de fenómenos climáticos de las cuales existe una tendencia observada a finales del siglo XX. {Tablas 3.7, 3.8, 9.4; Secciones 3.8, 5.5, 9.7, 11.2–11.9}

Fenómeno ^a y dirección de la tendencia	Probabilidad de ocurrencia de la tendencia a finales del siglo XX (típicamente después de 1960)	Probabilidad de contribución humana a la tendencia observada ^b	Likelihood of future trends based on projections for 21st century using SRES scenarios
Días y noches más cálidos y menos fríos en la mayoría de las áreas terrestres	<i>Muy probable^c</i>	<i>Probable^d</i>	<i>Prácticamente cierto^d</i>
Mayor frecuencia de días y noches más cálidos en la mayoría de las áreas terrestres	<i>Muy probable^e</i>	<i>Probable (noches)^d</i>	<i>Prácticamente cierto^d</i>
Periodos de calor/olas de calor. Aumento de la frecuencia en la mayoría de áreas terrestres	<i>Probable</i>	<i>Prácticamente cierto^f</i>	<i>Muy probable</i>
Fenómenos de intensas lluvias. Incremento de la frecuencia (o proporción total de pluviosidad de intensas lluvias) en la mayoría de las áreas	<i>Probable</i>	<i>Más Probable que improbable^f</i>	<i>Muy probable</i>
Incremento de las áreas afectadas por más sequías	<i>Probable en muchas regiones desde 1970</i>	<i>Más Probable que improbable</i>	<i>Probable</i>
Incremento de la actividad de ciclones tropicales intensos	<i>Probable en algunas regiones desde 1970</i>	<i>Más Probable que improbable^f</i>	<i>Probable</i>
Mayor incidencia de niveles del mar altos extremos (se excluye los tsunamis) ^g	<i>Probable</i>	<i>Más Probable que improbable^{f,h}</i>	<i>Probableⁱ</i>

Notas de la Tabla:

^a Véase la Tabla 3.7 para obtener más detalles de las definiciones.

^b Véase la Tabla TS.4, el Cuadro TS.5 y la Tabla 9.4.

^c Disminución en la frecuencias de días y noches fríos (más frío 10%).

^d Calentamiento de las noches y los días más extremos cada año.

^e Incremento de la frecuencia de los días y las noches de calor (más calurosos 10%).

^f Magnitud de las contribuciones antropogénicas no evaluadas. La atribución de esos fenómenos se basa en criterios de expertos en lugar de en estudios de atribución formales.

^g El nivel del mar alto extremo depende de la media del nivel del mar y de los sistemas climáticos de la región. Se define aquí como el 1 % más elevado de los valores por hora del nivel del mar observado en una estación durante un periodo de referencia determinado.

^h Los cambios en el nivel del mar alto extremo siguen de cerca de los cambios en la media del nivel del mar. {5.5} Es muy probable que la actividad antropogénica haya contribuido al aumento del nivel medio del mar. {9.5}

ⁱ En todos los escenarios para 2100, el nivel medio del mar a escala mundial proyectado es más elevado que el del periodo de referencia. {10.6} El efecto de los cambios en los sistemas climáticos regionales sobre niveles del mar extremos no ha sido evaluado.

¹¹ Las regiones evaluadas son las consideradas en el capítulo de proyecciones regionales del TIE y en Capítulo 11 del presente informe.

- Se han observado sequías más prolongadas y más intensas en áreas más extensas desde el decenio de 1970, particularmente en los trópicos y los subtrópicos. Un aumento de la desecación vinculado a temperaturas más altas y a la disminución de la lluvia ha contribuido a la aparición de cambios en la sequía. Los cambios en la temperatura de la superficie marina, las pautas del viento y la disminución de la cubierta de nieve también se han relacionado con las sequías. {3.3}
- La frecuencia de fenómenos de precipitaciones fuertes se ha incrementado en la mayoría de las áreas terrestres, en concordancia con el calentamiento y los aumentos observados del vapor de agua atmosférico. {3.8, 3.9}
- Durante los últimos 50 años, se han observado cambios generalizados en las temperaturas extremas. Cada vez son menos frecuentes los días y las noches fríos y las heladas, mientras que los días y las noches calurosos y las ondas de calor se han vuelto más frecuentes. (véase la Tabla RRP.2). {3.8}
- Hay evidencias obtenidas por observación de un incremento en la intensa actividad ciclónica tropical en el Atlántico Norte desde 1970 aproximadamente, correlacionado con aumentos de la temperatura de la superficie de los mares tropicales. También se sugiere un aumento de la actividad de ciclones tropicales intensos en algunas otras regiones donde hay mayor interés por la calidad de los datos. La variabilidad durante varios decenios y la calidad de los registros de los ciclones tropicales anteriores a las observaciones satelitales rutinarias, alrededor de 1970, complican la detección de tendencias a largo plazo en la actividad de ciclones los tropicales. No existe una tendencia definida en cuanto al número anual de ciclones tropicales. {3.8}

No se han observado cambios en algunos aspectos del clima. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

- El TIE informó de una disminución en el intervalo de temperatura diurna, pero los datos disponibles entonces solo cubrían de 1950 a 1993. Observaciones actualizadas revelan que el margen de variación de la temperatura diurna no cambió de 1979 a 2004, ya que la temperatura diurna y la nocturna han aumentado a aproximadamente el mismo ritmo. Las tendencias son sumamente variables de una región a otra. {3.2}
- La extensión del hielo marino antártico continúa mostrando variabilidad interanual y cambios localizados,

pero no existen tendencias estadísticamente significativas de los promedios, en concordancia con la falta de calentamiento reflejado en las temperaturas atmosféricas promediadas a lo largo de la región. {3.2, 4.4}

- No hay suficiente evidencia para determinar la existencia de tendencias en la circulación meridional de retorno (CRM) de los océanos mundiales o de fenómenos a pequeña escala, tales como, tornados, granizo, relámpagos, y tormentas de polvo. {3.8, 5.3}

Una Perspectiva Paleoclimática

Los estudios paleoclimáticos usan los cambios en los indicadores sensibles al clima para inferir cambios climáticos del pasado en escalas de tiempo que abarcan desde decenios hasta millones de años. Esos datos sustitutos (por ejemplo, el ancho de los anillos de crecimiento de los árboles) pueden estar influidos por la temperatura local y otros factores como la lluvia y son, a menudo, representativos de estaciones particulares, no de años completos. Los estudios llevados a cabo con posterioridad al TIE aumentan la confianza en los datos adicionales que muestran un comportamiento coherente en múltiples indicadores, en diferentes partes del mundo. No obstante, la incertidumbre aumenta generalmente al adentrarse en el pasado, debido a las crecientes limitaciones de la cobertura espacial.

La información paleoclimática apoya la interpretación de que el calor de la última mitad del siglo pasado es poco común al menos en los 1.300 años anteriores. La última vez que las regiones polares fueron significativamente más cálidas que ahora, durante un largo periodo de tiempo (hace unos 125.000 años), la reducción en el volumen del hielo polar elevó el nivel del mar de 4 a 6 m. {6.4, 6.6}

- *Es muy probable* que las temperaturas medias del hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX hayan sido más altas que durante cualquier otro periodo de 50 años, en los últimos 500 años, y es probable que sean las más altas, al menos, en los últimos 1,300 años. Algunos estudios recientes indican una mayor variabilidad en las temperaturas del hemisferio norte que las sugeridas en el TIE, especialmente se halló que hubo periodos más fríos en los siglos XII a XIV, XVII y XIX. Los periodos de más calor anteriores al siglo XX están comprendidos en el margen de incertidumbre presentado en el TIE. {6.6}

- El nivel medio del mar a escala mundial en el último periodo interglaciario (hace unos 125.000 años) fue *probablemente* de 4 a 6 m más elevado que durante el siglo XX, principalmente debido al retroceso del hielo polar. Los datos de las muestras de testigos de hielo indican que las temperaturas polares medias de aquella época eran de 3°C a 5°C más altas que las actuales, debido a las diferencias de la órbita de la Tierra. Los mantos de hielo de Groenlandia y otros campos de hielo árticos es probable que no contribuyeran en más de 4 m a la elevación del nivel del mar observada. Es posible que haya habido también una aportación de la Antártida. {6.4}

Conocimiento y Atribución del Cambio Climático

Esta evaluación considera registros más amplios y mejorados, un rango ampliado de observaciones y mejoras en la simulación de muchos aspectos climáticos y su variabilidad sobre la base de estudios posteriores al TIE. También se consideran los resultados de nuevos estudios de atribución que evaluaron si los cambios observados son concuerdan cuantitativamente con la respuesta esperada a forzamientos externos y no lo hacen con otras explicaciones físicamente verosímiles.

La mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde mediados del siglo XX se debe *muy probablemente* al aumento observado de las concentraciones de gas de efecto invernadero de origen antropogénico.¹² Esto constituye un avance desde la conclusión del TIE de que “es probable que la mayoría del calentamiento observado en los últimos 50 años se deba al aumento de las concentraciones de gas de efecto invernadero.” Las influencias humanas apreciables ahora se extienden a otros aspectos climáticos como el calentamiento de los océanos, las temperaturas medias continentales, temperaturas extremas y pautas del viento (véase la Figura RRP.4 y la Tabla RRP.2). {9.4, 9.5}

- Es *probable* que los aumentos en las concentraciones de gases de efecto invernadero por sí mismos hayan ocasionado más calentamiento que el observado porque los aerosoles volcánicos y los antropogénicos han compensado parte del calentamiento que hubiera tenido lugar de no ser así. {2.9, 7.5, 9.4}
- El calentamiento generalizado observado de la atmósfera y el océano, conjuntamente con la pérdida de la masa de hielo, apoyan la conclusión de que es *extremadamente improbable* que los cambios de los últimos 50 años puedan ser explicados sin el forzamiento externo, y *muy probable* que no se deban únicamente a causas naturales conocidas. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- Se ha detectado calentamiento del sistema climático en los cambios de las temperaturas de la superficie y la atmósfera en los varios cientos de metros de la parte superior del océano y en las contribuciones a la elevación del nivel del mar. Los estudios de atribución han establecido la presencia de contribuciones antropogénicas en todos esos cambios. Las pautas observadas del calentamiento troposférico y el enfriamiento estratosférico se deben *muy probablemente* a las influencias combinadas del aumento de gases de efecto invernadero y a la reducción del ozono estratosférico. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- Es *probable* que haya habido un calentamiento antropogénico significativo durante los últimos 50 años como promedio en todos los continentes excepto en la Antártida (véase la Figura RRP.4). Las pautas de calentamiento observadas, incluyendo más calentamiento sobre la tierra que sobre el océano, y sus cambios a lo largo del tiempo, se simulan solamente con modelos que incluyen forzamiento antropogénico. La capacidad de los modelos climáticos acoplados para simular la evolución de la temperatura observada en los seis continentes brinda una evidencia más marcada de la influencia humana en el clima que de la que informa en el TIE. {3.2, 9.4}
- Aún existen dificultades en la simulación y atribución fidedignas de los cambios de temperatura observados a menor escala. En esas escalas, la variabilidad natural del clima es relativamente mayor, lo cual dificulta la distinción de los cambios esperados ocasionados por forzamientos externos. Las incertidumbres en los forzamientos locales y los retroefectos dificultan también la estimación de la contribución del aumento de los gases de efecto invernadero a los cambios de temperatura observados a pequeña escala. {8.3, 9.4}
- Es probable que el forzamiento antropogénico haya contribuido a los cambios en las pautas del viento,¹³ al

¹² La consideración de la incertidumbre restante se basa en metodologías actuales.

¹³ En particular, los Modos Anulares Austral y Septentrional y la Oscilación Noratlántica. {3.6, 9.5, Recuadro TS.2}

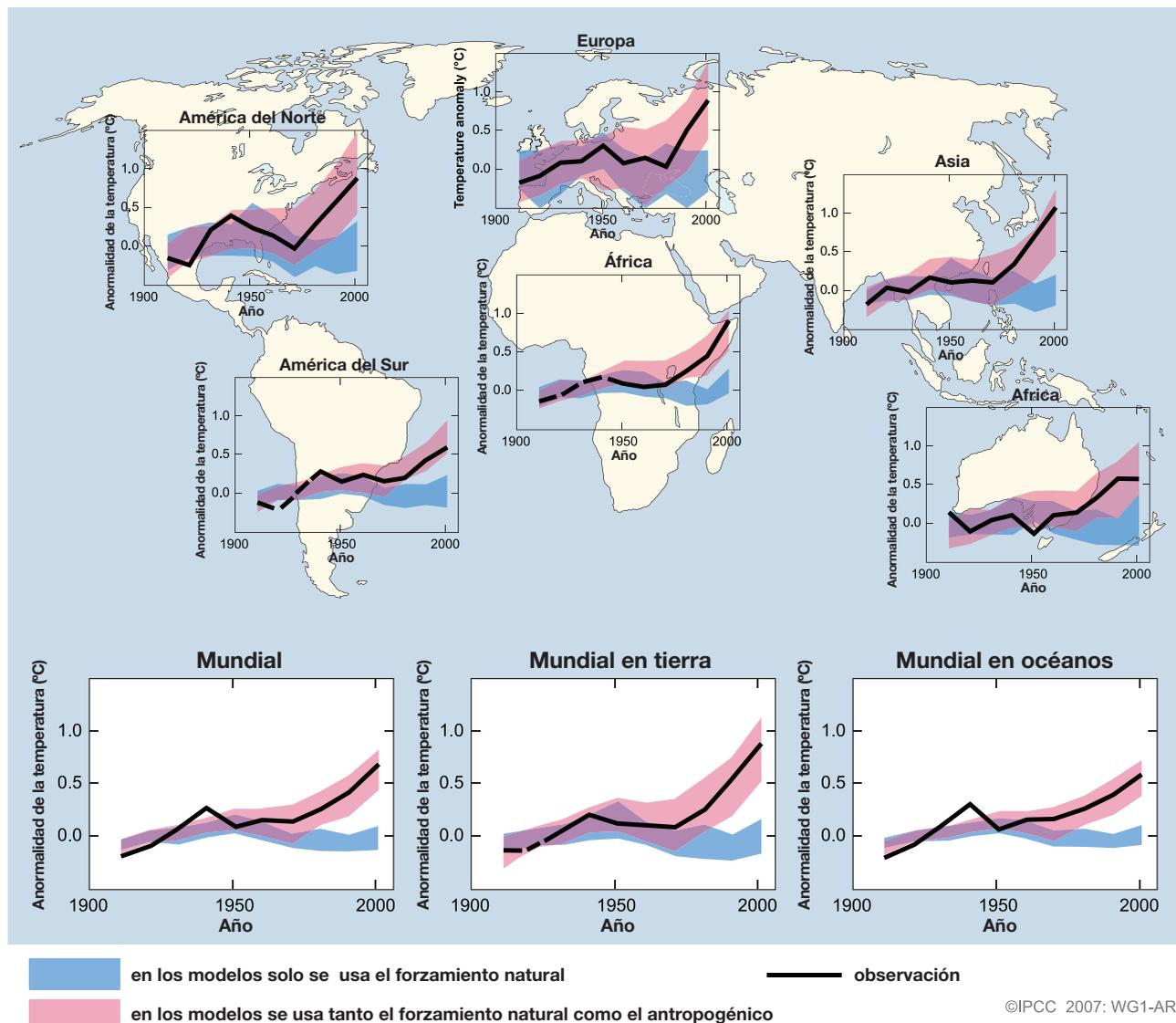
afectar a la trayectoria de las tormentas extra-tropicales y las pautas de temperatura en ambos hemisferios. No obstante, los cambios observados en la circulación del hemisferio Norte son mayores que los simulados en respuesta al cambio de forzamiento del siglo XX. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

- Es probable que las temperaturas de las noches más extremadamente cálidas y de las noches y los días fríos más extremos hayan aumentado debido al forzamiento antropogénico. Es más probable que improbable que el

forzamiento antropogénico haya aumentado el riesgo de las olas de calor (véase la Tabla RRP.2). {9.4}

El análisis de los modelos climáticos, conjuntamente con las limitaciones de las observaciones, permite ofrecer, por primera vez, un margen de probabilidad evaluado de la sensibilidad del clima y aumenta la confianza en el conocimiento de la respuesta del sistema climático al forzamiento radiativo. {6.6, 8.6, 9.6, Encuadro 10.2}

CAMBIO DE LA TEMPERATURA CONTINENTAL Y MUNDIAL



©IPCC 2007: WG1-AR4

Figura RRP.4. Comparación de los cambios observados a escala continental y mundial en la temperatura de la superficie con resultados simulados por modelos climáticos mediante forzamientos naturales y antropogénicos. Se muestran los promedios por década de las observaciones del periodo 1906–2005 (línea negra) trazados en función del centro de la década y con respecto al promedio correspondiente a 1901–1950. Las líneas discontinuas denotan una cobertura espacial menor de 50%. Las bandas sombreadas en azul muestran un intervalo de 5–95% de 19 simulaciones de cinco modelos climáticos utilizando solamente los forzamientos naturales debidos a la actividad solar y los volcanes. Las bandas sombreadas en rosado muestran el intervalo de 5–95% para 58 simulaciones de 14 modelos climáticos en los que se emplearon forzamientos naturales y antropogénicos. {PF 9.2, Figura 1}

- La sensibilidad del clima en equilibrio es una medida de la respuesta del sistema climático al forzamiento radiativo sostenido. No constituye una proyección, pero se define como el calentamiento medio global en superficie que sigue a la duplicación de las concentraciones de dióxido de carbono. Es *probable* que se encuentre entre en el intervalo de 2°C a 4,5°C, siendo la mejor estimación unos 3°C, y es *muy improbable* que sea menor de 1,5°C. Los valores substancialmente más altos que 4,5°C no pueden ser excluidos, pero la concordancia de los modelos con las observaciones no es tan buena para esos valores. Los cambios en el vapor de agua representan el mayor retroefecto que afecta a la sensibilidad del clima y ahora se comprenden mejor que en el TIE. Los retroefectos de las nubes siguen siendo la mayor fuente de incertidumbre. {8.6, 9.6, Recuadro 10.2}
- Es *muy improbable* que los cambios climáticos de al menos los siete siglos anteriores a 1950 se deban solamente a la variabilidad generada dentro del sistema climático. Es *muy probable* que una fracción significativa de la variabilidad interdecenal reconstruida del hemisferio Norte durante esos siglos sea atribuible a las erupciones volcánicas y a los cambios en la irradiación solar y es *probable* que el forzamiento antropogénico haya contribuido al calentamiento de principios del siglo XX evidente en estos registros. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

Proyecciones de Futuros Cambios Climáticos

Un avance importante de esta evaluación de las proyecciones del cambio climático, en comparación con el TIE, lo constituye el gran número de simulaciones disponibles de una variedad más amplia de modelos. Conjuntamente con la información adicional obtenida por observación, proporcionan una base cuantitativa para la estimación de las probabilidades de muchos aspectos del cambio climático futuro. Las simulaciones con modelos abarcan una amplia variedad de posibles futuros que incluyen emisiones idealizadas o concentraciones supuestas. Éstas incluyen los escenarios ilustrativos del IE-EE¹⁴ para 2000-2100 y experimentos con modelos con concentraciones de gases de efecto invernadero y de aerosoles mantenidas constantes después del año 2000 o 2100.

Para las próximas dos décadas, se proyecta un calentamiento de unos 0,2°C por decenio para una gama de escenarios de emisiones IE-EE. Incluso si las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero y de aerosoles se hubieran mantenido constantes en los niveles del año 2000, podría esperarse un calentamiento ulterior de 0,1°C aproximadamente por decenio. {10.3, 10.7}

- Desde el primer informe del IPCC en 1990, las proyecciones evaluadas han sugerido aumentos en la temperatura media mundial de aproximadamente entre 0,15°C y 0,3°C por década para el periodo de 1990 a 2005. Esto puede compararse ahora con los valores observados de unos 0,2°C por década, lo cual fortalece la confianza en las proyecciones a corto plazo. {1.2, 3.2}
- Los experimentos con modelos muestran que, incluso si se mantienen constantes todos los agentes de forzamiento radiativo en los niveles del año 2000, se produciría otra tendencia al calentamiento en las próximas dos décadas a un ritmo de unos 0,1°C por decenio, debido principalmente a la lenta respuesta de los océanos. Podría esperarse casi el doble de calentamiento (0,2°C por decenio) si las emisiones se encuentran dentro de la gama de variedad de los escenarios del IE-EE. Las proyecciones de las mejores estimaciones de los modelos indican que el calentamiento medio por decenio sobre cada continente habitado en 2030 no es sensible a ser incluido entre los escenarios del IE-EE y es *muy probable* que duplique al menos en magnitud la correspondiente variabilidad natural durante el siglo XX. estimada por modelo. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2–11.7, Figura TS-29}

Si se mantienen las emisiones de gases de efecto invernadero al ritmo actual o a uno superior causarían un calentamiento mayor e inducirían muchos cambios en el sistema climático mundial durante el siglo XXI, que muy probablemente superarían a los observados durante el siglo XX. {10.3}

- Los avances alcanzado en la modelización del cambio climático permiten ofrecer ahora mejores estimaciones y márgenes de incertidumbre evaluados como

¹⁴ IE-EE se refiere al *Informe Special Report on Emission Scenarios* (2000) del IPCC. Los escenarios y los casos ilustrativos del ISEE, que no incluyen iniciativas climáticas adicionales, se presentan resumidos en un recuadro al final de este Resumen para Responsables de Políticas. Concentraciones de dióxido de carbono aproximadamente equivalentes que corresponden al forzamiento radiativo calculado debido a gases de efecto invernadero y aerosoles antropógenos en 2100 (véase el TIE). Los escenarios ilustrativos B1, A1 T, B2, A1 B, A2 and A1 F del ISEE son de unos 600, 700, 800, 850, 1250 y 1,550 ppm respectivamente. Con los escenarios B1, A1 B and A2 se han hecho estudios comparados entre sí y muchos de sus resultados se evalúan en el presente informe.

probables del calentamiento proyectado para diferentes escenarios de emisiones. En este informe se presentan explícitamente resultados para diferentes escenarios de emisiones, a fin de evitar que se pierda esta información políticamente pertinente. Los calentamientos medios de la superficie mundial proyectados para finales del siglo XXI (2090–2099) respecto a 1980–1999 se muestran en la Tabla RRP.3. Éstos ilustran la diferencia entre los escenarios de emisiones mayores y menores del IE-EE y la incertidumbre del calentamiento proyectado asociada con estos escenarios. {10.5}

- En esta evaluación se ofrecen los mejores estimaciones y los márgenes de variación *probables* del calentamiento medio del aire en superficie de seis escenarios de referencia de emisiones del IE-EE y se muestran en la Tabla RRP.3. Por ejemplo, la mejor estimación del escenario (B 1) bajo es 1,8°C (el margen de variación *probable* es de 1,1°C a 2,9°C), y la mejor estimación para el escenario alto (A1FI) es 4,0°C (el margen de variación *probable* es de 2,4°C a 6,4°C). Aunque estas proyecciones concuerdan, en líneas generales, con el intervalo citado en el TIE (1,4°C a 5,8°C), no son directamente comparables (véase la Figura RRP.5). El Cuarto Informe de Evaluación es más avanzado ya que presenta las mejores estimaciones y un rango de probabilidades evaluadas para cada uno de los escenarios de referencia. La nueva evaluación de gamas de probabilidad ahora se basa en un gran número de modelos climáticos de creciente complejidad y realismo, así como en una nueva información sobre la naturaleza de los retroefectos del ciclo de carbono y las limitaciones de la respuesta climática obtenidas mediante observaciones. {10.5}
- El calentamiento tiende a reducir la captación del dióxido de carbono atmosférico por la tierra y los océanos, aumentando así la fracción de las emisiones antropógenas que permanece en la atmósfera. En cuanto al escenario A2, por ejemplo, el retroefecto del ciclo clima-carbono aumenta el calentamiento medio mundial correspondiente en 2100 en más de 1°C. Los cálculos de variación más altos evaluados para proyecciones de temperatura superan los del TIE (véase la Tabla RRP.3) principalmente porque el mayor rango de los modelos ahora disponibles sugiere retroefectos del ciclo clima-carbono más fuertes. {7.3, 10.5}
- En la Tabla RRP.3 se muestran las proyecciones basadas en modelos del aumento medio del nivel del mar mundial a finales del siglo XXI (2090–2099). Para cada escenario, el punto medio del rango mostrado en la Tabla RRP.3 se encuentra dentro del 10% de la media del modelo del TIE para 2090–2099. Los rangos son menos amplios que en el TIE fundamentalmente debido a que se posee mejor información sobre algunas de las incertidumbres en las contribuciones proyectadas.¹⁵ {10.6}

Tabla RRP.3. Calentamiento de la superficie mundial y aumento del nivel del mar proyectados al final del siglo XX. {10.5, 10.6, Tabla 10.7}

Caso	Cambio de Temperatura (°C en 2090–2099 respecto a 1980–1999) ^a		Aumento del Nivel del Mar (m en 2090–2099 respecto a 1980–1999)
	Mejor estimación	Rango de probabilidad	Rango basado en modelos excluyendo futuros cambios dinámicos rápidos en la circulación del hielo
Concentraciones constantes del año 2000 ^b	0.6	0.3 – 0.9	NA
Escenario B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
Escenario A1T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
Escenario B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
Escenario A1B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
Escenario A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
Escenario A1FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Notas de la Tabla:

^a Estas estimaciones se evalúan partiendo de una jerarquía de modelos incluye un modelo de clima simple, varios Modelos del Sistema Terrestre de Complejidad Intermedia y un gran número de Modelos de Circulación General Atmosfera-Océano (MCGAOs).

^b La composición constante del año 2000 se deriva exclusivamente de MCGAOs.

¹⁵ Las proyecciones del TIE se hicieron para el año 2100, mientras que las del presente informe son para 2090–2099. El TIE hubiera tenido rangos similares a los de la Tabla SPM.3 si hubiera abordado las incertidumbres de un modo similar.

MEDIAS MULTI-MODELO Y RANGOS EVALUADOS DEL CALENTAMIENTO DE LA SUPERFICIE⁹

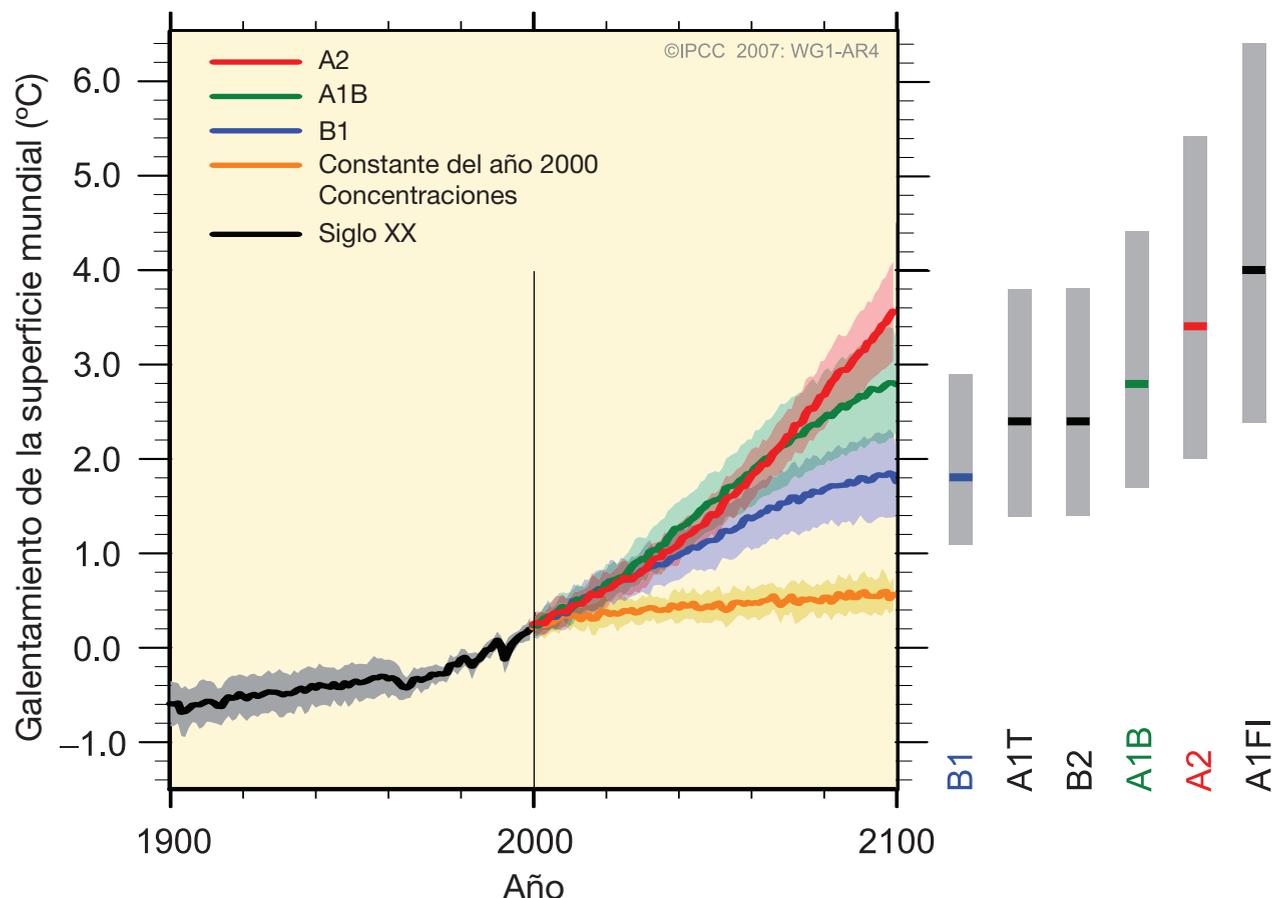


Figura RRP.5. Las líneas sólidas denotan las medias del calentamiento mundial obtenidas con múltiples modelos (con respecto a 1980–1999) para los escenarios A2, A1B y B1, mostrados como continuación de las simulaciones del siglo XX. El sombreado denota el intervalo de la desviación estándar +1 de las medias anuales de los modelos individuales. La línea color naranja representa el experimento donde las concentraciones se mantuvieron constantes en los valores del año 2000. Las barras grises de la derecha indican la mejor estimación (línea sólida en cada barra) y el rango **probable** evaluado de los seis escenarios de referencia del IE-EE. La evaluación de la mejor estimación y de los rangos **probables** en las barras grises incluyen MCGAOs en la parte izquierda de la figura y los resultados de una jerarquía de modelos independientes y las limitaciones de la observación. {Figuras 10.4 y 10.29}

- Los modelos usados hasta la fecha no incluyen las incertidumbres en el retroefecto del ciclo clima-carbono ni todos los efectos de los cambios en el flujo del manto de hielo, porque no existe una base en la literatura publicada. Las proyecciones incluyen una contribución debida al aumento de la corriente de hielo de Groenlandia y la Antártida en los ritmos observados de 1993–2003, dichos ritmos de flujo pueden aumentar o disminuir en el futuro. Por ejemplo, si esta contribución aumentara linealmente con el cambio de temperatura global medio, los rangos más altos de la subida del nivel del mar de los escenarios del IE-EE que se muestran en la Tabla SPM.3 aumentarían de 0,1 a 0,2 m. No pueden excluirse valores más elevados, pero el conocimiento de estos efectos es muy limitado para poder evaluar su probabilidad de brindar una mejor estimación o un límite superior para la elevación del nivel del mar. {10.6}
- Las crecientes concentración de dióxido de carbono en la atmósfera incrementaron la acidificación del océano. Las proyecciones basadas en escenarios del IE-EE ofrecen reducciones en el pH medio de la superficie oceánica mundial¹⁶ de entre 0,14 y 0,35 unidades durante el siglo XXI, lo cual se añade a la presente disminución de 0,1 unidades desde la era preindustrial. {5.4, recuadro 7.3, 10.4}

¹⁶ Las disminuciones en el pH corresponden a aumentos en la acidez de una solución. Para más detalles, Véase el Glosario.

En la actualidad, existe mayor confianza en las pautas proyectadas del calentamiento y de otras características a escala regional, que incluyen cambios en las pautas del viento, las precipitaciones y en algunos aspectos de los extremos y del hielo. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- El calentamiento previsto para el siglo XXI muestra patrones geográficos independientes de los escenarios similares a los observados en los últimos decenios. Se espera que el calentamiento más elevado sea sobre tierra y en la mayoría de las latitudes altas septentrionales, y el menor sobre el Océano del Sur y en partes del Océano Atlántico Norte (véase la Figura RRP.6). {10.3}
- Se proyecta que la cubierta de nieve se contraiga. En la mayoría de las regiones de permafrost se proyectan aumentos generalizados de la profundidad del deshielo {10.3, 10.6}
- Se proyecta que el hielo marino disminuya tanto en el Ártico como en el Antártico según todos los escenarios del IE-EE. En algunas proyecciones, el hielo marino ártico de finales del verano desaparece casi totalmente a finales del siglo XXI. {10.3}
- Es *muy probable* que los fenómenos de calor extremo, olas de calor y fuertes precipitaciones continúen volviéndose más frecuentes. {10.3}
- Sobre la base de una gama de modelos, es *probable* que los ciclones tropicales (tifones y huracanes) futuros sean más intensos, con vientos de mayores velocidades máximas y precipitaciones más intensas asociadas con los aumentos que están ocurriendo en las temperaturas de las superficies de los mares tropicales. Hay menos confianza en las proyecciones de una disminución mundial en el número de ciclones tropicales. El aumento aparente en la proporción de las tormentas muy intensas desde 1970, en algunas regiones, es mucho mayor que el simulado en los modelos actuales para este período. {9.5, 10.3, 3.8}

PROYECCIONES DE LAS TEMPERATURAS DE LA SUPERFICIE

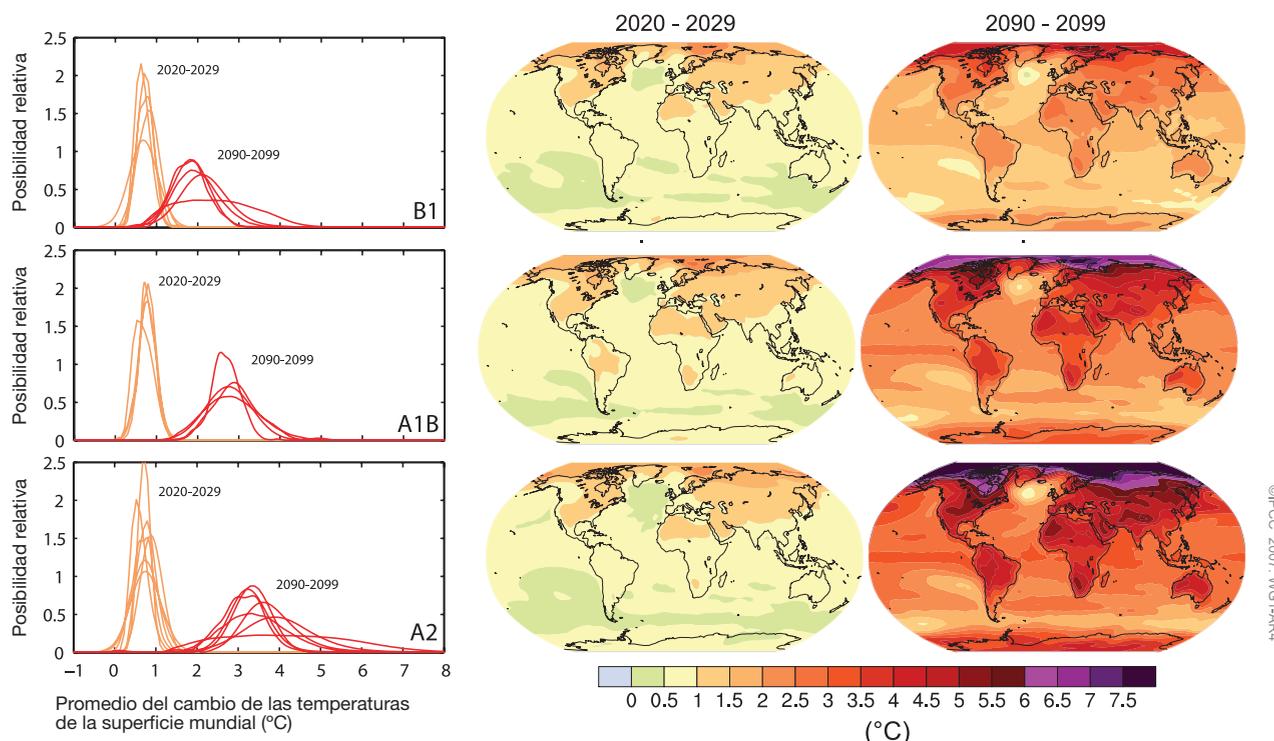


Figura RRP.6. Cambios de temperatura proyectados para principios y finales del siglo XXI con respecto al periodo 1980–1999. Los paneles central y el derecho muestran el promedio de las proyecciones multimodelos MCGAO para los escenarios IE-EE I B1 (arriba), A1B (en el medio) y A2 (abajo) promediados en las décadas 2020–2029 (centro) y 2090–2099 (derecha). Los paneles a la izquierda muestran las incertidumbres correspondientes como probabilidades relativas del calentamiento medio mundial estimado en varios estudios de MCGAOs y del Modelo del Sistema Terrestre de Complejidad Intermedia para los mismos periodos. Algunos estudios solo presentan los resultados de un subconjunto de escenarios del IE-EE, o de varias versiones de los modelos. Por tanto, la diferencia en el número de curvas mostradas en los paneles de la izquierda sólo se debe a diferencias en la disponibilidad de los resultados. {Figuras 10.8 y 10.28}

PAUTAS PROYECTADAS DE CAMBIOS EN PRECIPITACIONES

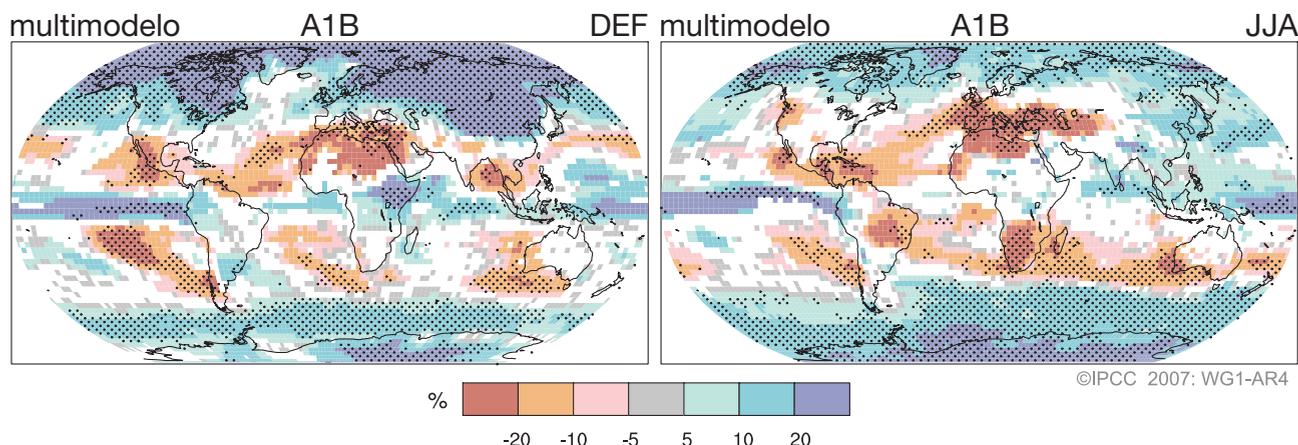


Figura RRP.7. Cambios relativos en la precipitación (en porcentaje) para el periodo 2090–2099, respecto a 1980–1999. Los valores son promedios de multimodelos basados en el escenario IE-A1B para diciembre-febrero (izquierda) y junio-agosto (derecha). En las áreas en blanco se indica que menos del 66% de los modelos coincide con el signo del cambio y en las zonas punteada, más del 90% de los modelos concuerda con el signo del cambio {Figura 10.9}

- Le proyecta que las trayectorias de los ciclones extratropicales avancen hacia los polos, con los cambios consiguientes en las pautas de viento, precipitación y temperatura, manteniendo la amplia pauta de las tendencias observadas en los últimos 50 años. {3.6, 10.3}
- Desde el TIE, el conocimiento de las pautas de la precipitación proyectada ha mejorado. El aumento en la cantidad de precipitación son *muy probable* en las latitudes altas, mientras que la disminución es *probable* en la mayoría de las regiones subtropicales terrestres (aproximadamente un 20% en el escenario A1B en 2100, véase la Figura RRP.7), al mantenerse las pautas observadas en las tendencias recientes. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 a 11.9}
- Sobre la base de simulaciones con modelos actuales, es *muy probable* que la circulación meridional de retorno (CRM) del Océano Atlántico disminuya su velocidad durante el siglo XXI. La reducción media multimodelo para 2100 es de un 25% (rango de 0 a 50% aproximadamente) para el escenario de emisiones 1B del IE-EE. Se proyecta que las temperaturas en la región atlántica aumenten, a pesar de tales cambios, debido a un calentamiento mucho mayor asociado con el aumento proyectado de los gases de efecto invernadero. Es muy poco probable que la CRM experimente una transición abrupta considerable durante el siglo XXI. Los cambios a largo plazo en la CRM no pueden ser evaluados con confianza. {10.3, 10.7}

El calentamiento antropogénico y la elevación del nivel del mar continuarían durante siglos debido a las escalas de tiempo asociadas con los procesos climáticos y los retroefectos, incluso si la concentración de gases de efecto invernadero se estabilizase. {10.4, 10.5, 10.7}

- Se prevé que el acoplamiento del ciclo clima-carbono añada dióxido de carbono a la atmósfera, a medida que se vaya calentando el sistema climático, pero la magnitud de este retroefecto es incierta. Esto aumenta la incertidumbre en cuanto a la trayectoria de las emisiones de dióxido de carbono requerida para lograr un nivel de estabilización particular de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. A partir de los conocimientos actuales sobre el retroefecto del ciclo clima-carbono, los estudios con modelos sugieren que, para estabilizar el dióxido de carbono en 450 ppm, se requeriría que durante el siglo XXI ocurriera una disminución de las emisiones acumulativas a una media de aproximadamente 670 [630 a 710] GtC (2460 [2310 a 2600] GtCO₂) a aproximadamente 490 [375 a 600] GtC (1800 [1370 a 2200] GtCO₂). Asimismo, para que se estabilizarse a 1000ppm, este retroefecto requeriría que las emisiones acumulativas se redujeran de un modelo promedio de aproximadamente 1415 [1340 a 1490] GtC (5190 [4910 a 5460] GtCO₂) a aproximadamente 1100 [980 a 1250] GtC (4030 [3590 a 4580] GtCO₂). {7.3, 10.4}

- Si en 2100 el forzamiento radiativo se estabilizase en los niveles B1 o A1B¹⁴, podría esperarse un incremento adicional de unos 0,5°C, en la media de la temperatura, en 2200. {10.7}
- Si el forzamiento radiativo, en 2100, se estabilizase en los niveles de A1B¹⁴, la expansión térmica por sí sola provocaría a un aumento de 0,3 a 0,8 m del nivel del mar en 2300 (respecto a 1980–1999). La expansión térmica continuaría durante muchos siglos, debido al tiempo requerido para transportar el calor a las profundidades del oceánicas. {10.7}
- Se proyecta que la contracción del manto de hielo de Groenlandia siga contribuyendo al aumento del nivel del mar con posterioridad a 2100. Los modelos actuales sugieren que las pérdidas de la masa de hielo aumenten más rápidamente que su recuperación debido a la precipitación y a que el equilibrio de la masa de la superficie se vuelve negativo al haber un calentamiento al mundial (con respecto a los valores preindustriales) mayor de 1,9°C a 6°C. Si el equilibrio negativo se mantuviese durante milenios, el manto de hielo de Groenlandia sería eliminado casi totalmente y resultaría en una contribución a la elevación del nivel del mar de unos 7 m. Las temperaturas futuras correspondientes en Groenlandia son comparables a aquellas inferidas para el último período interglaciar hace 125.000 años, donde la información paleoclimática sugiere reducciones de la extensión de hielo polar terrestre polar y una elevación del nivel del mar de 4 a 6 m {6.4, 10.7}
- Los procesos dinámicos relacionados con el flujo de hielo no incluidos en los modelos actuales, pero sugeridos por observaciones recientes, podrían aumentar la vulnerabilidad de los mantos de hielo al calentamiento, y así aumentar el nivel del mar en el futuro. El conocimiento de estos procesos es limitado y no existe consenso en cuanto a su magnitud. {4.6, 10.7}
- Los estudios actuales con modelos mundiales proyectan que el manto de hielo de la Antártica se mantendrá demasiado frío para que ocurra un derretimiento generalizado y se espera que la masa se incremente debido al aumento de las nevadas. Sin embargo, podría ocurrir una pérdida neta de la masa de hielo si la descarga dinámica de hielo dominara el balance de la capa de hielo. {10.7}
- Las emisiones antropogénicas del dióxido de carbono continuarán contribuyendo al calentamiento y a la elevación del nivel del mar durante más de un milenio, debido a las escalas de tiempo requeridas para eliminar este gas de la atmósfera. {7.3, 10.3}

LOS ESCENARIOS DE EMISIONES DEL INFORME ESPECIAL DEL IPCC SOBRE ESCENARIOS DE EMISIONES (IE-EE)¹⁷

A1. La familia de líneas evolutivas y escenarios A1 describe un mundo futuro con un rápido de crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Sus características distintivas más importantes son la convergencia entre regiones, la creación de capacidades e interacciones culturales y sociales, acompañadas de una notable reducción de las diferencias regionales en cuanto a ingresos por habitante. La familia de escenarios A1 se desarrolla en tres grupos que describen diferentes alternativas del cambio tecnológico en el sistema de energía. Los tres grupos A1 se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustible de origen fósil (A1FI), utilización de energía de origen no fósil (A1T) utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B) (entendiéndose por “equilibrada” la situación en que no se dependerá demasiado de un tipo de fuente de energía, en el supuesto de que todas las fuentes de suministro de energía y todas las tecnologías de uso final experimenten mejoras similares).

A2. La familia de líneas evolutivas y escenarios A2 describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las entidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas.

B1. La familia de líneas evolutivas y escenarios B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados de siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios en las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y la introducción de tecnologías limpias, con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y ambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima.

B2. La familia de líneas evolutivas y escenarios B2 describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Es un mundo cuya población aumenta a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y con un cambio tecnológico más lento y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

Se seleccionó un escenario ilustrativo de los seis grupos A1B, A1FI, A1T, A2, B1 y B2. Todos son igualmente correctos.

Estos escenarios no abarcan otras iniciativas en relación con el clima; en otras palabras, no se ha incluido ningún escenario basado explícitamente en la implementación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático o en los objetivos de emisiones del Protocolo de Kioto.

¹⁷ Los escenarios de emisiones no se evalúan en el informe del Grupo 1 del IPCC. En este recuadro se ofrece un resumen de los escenarios del TIE y fue objeto de aprobación previa, línea por línea, por parte del IPCC.