



PANEL INTERGUBERNAMENTAL
SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO



Cambio Climático 2007: la Base Física de las Ciencias

Resumen para los Formuladores de Políticas

Contribución del Grupo de Trabajo I para el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

Este Resumen para los Formuladores de Políticas fue aprobado formalmente en la 10ª sesión del Grupo de Trabajo I del IPCC, París, febrero de 2007.

Observación:

El texto, los cuadros y las figuras son presentados aquí en sus versiones finales, pero pueden sufrir ajustes editoriales.

Correcciones hechas hasta el 5 de febrero de 2007

Autores redactores:

Richard Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan Gregory, Gabriele Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian 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 Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

Autores redactores colaboradores:

Julie Arblaster, Guy Brasseur, Jens Hesselbjerg Christensen, Kenneth Denman, David W. Fahey, Piers Forster, Eystein Jansen, Philip D. Jones, Reto Knutti, Hervé Le Treut, Peter Lemke, Gerald Meehl, Philip Mote, David Randall, Daíthí A. Stone, Kevin E. Trenberth, Jürgen Willebrand, Francis Zwiers

INTRODUCCIÓN

La contribución del Grupo de Trabajo I para el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC describe los avances hechos en la comprensión de los factores humanos y naturales que causan el cambio climático¹, las observaciones de cambio climático, procesos y atribuciones del clima y estimaciones del cambio climático proyectada para el futuro. Se basa en evaluaciones anteriores del IPCC e incorpora nuevos descubrimientos de los últimos seis años de investigación. Los avances científicos hechos desde la publicación del Tercer Informe de Evaluación se basan en grandes cantidades de datos nuevos y más amplios, análisis más sofisticadas de los datos, mejor comprensión de los procesos y su simulación en modelos y un análisis más amplio de las brechas de incertidumbre.

Los párrafos contenidos en este Resumen para los Formuladores de Políticas se basan en los capítulos y secciones especificados entre llaves.

FACTORES HUMANOS Y NATURALES CAUSANTES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios en la cantidad de gases de efecto invernadero y aerosoles de la atmósfera, en la radiación solar y en las propiedades de la superficie terrestre alteran el equilibrio energético del sistema climático. Esos cambios son expresados en términos del forzamiento radioactivo², que es usado para comparar tanto la forma como los factores humanos y naturales que provocan el calentamiento o enfriamiento del clima global. Desde la publicación del Tercer Informe de Evaluación (TRA), nuevas observaciones y el respectivo modelaje de los gases de efecto invernadero, actividad solar, propiedades de la superficie terrestre y algunos aspectos de los aerosoles promovieron una mejora en las estimaciones cuantitativas del forzamiento radioactivo.

Las concentraciones atmosféricas globales de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico aumentaron bastante por consecuencia de las actividades humanas desde 1750 y ahora superan por mucho los valores preindustriales determinados en base a las muestras de hielo de miles de años (ver la figura SFP-1). Los aumentos globales de la concentración de dióxido de carbono se deben principalmente al uso de combustibles fósiles y a la transformación del uso de la tierra. Por otro lado, los aumentos de la concentración de metano y óxido nítrico son debidos principalmente a la agricultura. {2.3, 6.4, 7.3}

¹ El término *cambio climático* usado por el IPCC se refiere a cualquier cambio en el clima ocurrido a lo largo del tiempo, ya sea por la variabilidad natural o por derivación de la actividad humana. Ese uso difiere del de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en que el término de cambio climático se refiere a un cambio en el clima que sea atribuida directa o indirectamente a la actividad humana, alterando la composición de la atmósfera global, y sea adicional a la variabilidad natural del clima observada a lo largo de períodos comparables de tiempo.

² El *forzamiento radioactivo* es una medida de la influencia de un factor en la alteración del equilibrio de la energía que entra y sale del sistema Tierra-atmósfera y es un índice de la importancia del factor como posible mecanismo de cambio climático. El forzamiento positivo tiende a calentar la superficie, mientras que el forzamiento negativo tiende a enfriarla. En este informe, los valores del forzamiento radioactivo son para 2005, relativos a las condiciones preindustriales definidas en el año 1750, y son expresados en watts por metro cuadrado (Wm^{-2}). Ver el glosario y la sección 2.2 para obtener más detalles.

Cambios en los Gases de Efecto Invernadero a partir de Datos de Muestras de Hielo y Datos Modernos

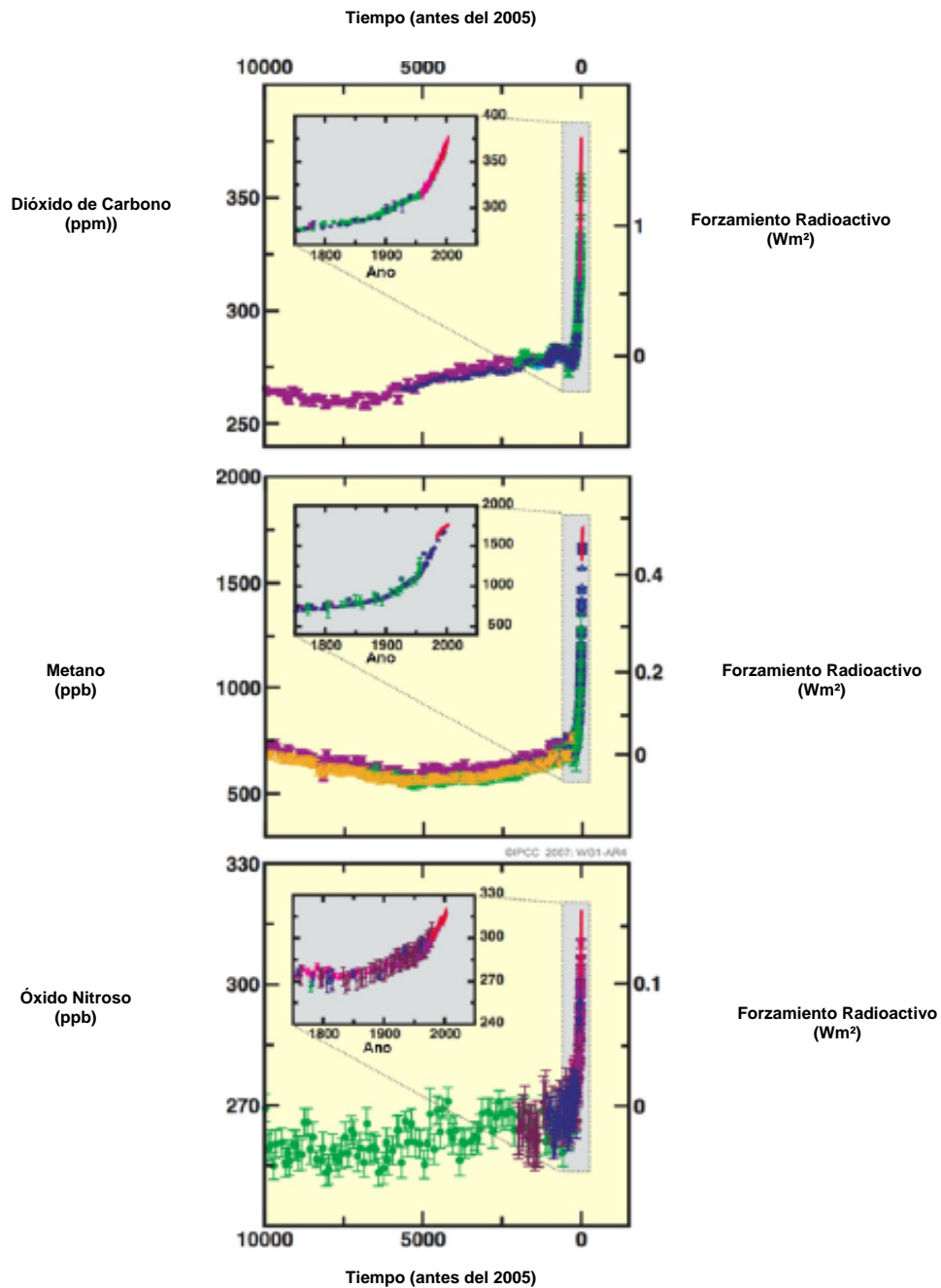


FIGURA SFP-1. Concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso a lo largo de los últimos 10.000 años (paneles grandes) y desde 1750 (paneles colocados). Las mediciones son obtenidas a partir de muestras de hielo (símbolos con diferentes colores para los diferentes estudios) y muestras atmosféricas (líneas rojas). Los forzamientos radioactivos correspondientes son mostrados en los ejes del lado derecho de los paneles grandes. {Figura 6.4}

- El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero antropogénico más importante (ver la figura SFP-2). La concentración atmosférica global de dióxido de carbono aumentó de un valor preindustrial de cerca de 280 ppm para 379³ ppm en 2005. La concentración atmosférica de dióxido de carbono en el 2005 sobrepasa por mucho la franja natural de los últimos 650.000 años (180 a 300 ppm), como determinado a partir de muestras de hielo. La tasa de aumento de concentración anual de dióxido de carbono fue más elevada durante los últimos 10 años (promedio del año 1995 al 2005: 1,9 ppm por año) que desde el inicio de las mediciones atmosféricas directas continuas (promedio del año 1960 al 2005: 1,4 ppm por año), aunque haya variaciones de un año a otro en las tasas de aumento. {2.3, 7.3}
- La principal fuente de aumento de la concentración atmosférica de dióxido de carbono desde el período preindustrial se debe al uso de combustibles fósiles, con la transformación en el uso de la tierra contribuyendo con una parte menor pero significativa. Las emisiones fósiles anuales de dióxido de carbono⁴ aumentaron de un promedio de 6,4 [6,0 a 6,8]⁵ GtC (23,5 [22,0 a 25,0] GtCO₂) por año en la década del 90 para 7,2 [6,9 a 7,5] GtC (26,4 [25,3 a 27,5] GtCO₂) por año en el período del 2000 al 2005 (los datos del 2004 y del 2005 son estimaciones provisionales). Las emisiones de dióxido de carbono relacionadas a la transformación en el uso de la tierra son estimadas en 1,6 [0,5 a 2,7] GtC (5,9 [1,8 a 9,9] GtCO₂) por año en la década del 90, aunque esas estimaciones tengan también un elevado grado de incertidumbre. {7.3}
- La concentración atmosférica global de metano aumentó de un valor preindustrial de cerca de 715 ppb a 1732 ppb en el inicio de la década del 90, siendo de 1774 ppb en el 2005. La concentración atmosférica de metano en el 2005 supera por mucho la franja natural de los últimos 650.000 años (320 a 790 ppb), como determinado en base a muestras de hielo. Las tasas de aumento disminuyeron desde el inicio de la década del 90, de forma acorde con el total de emisiones (suma de las fuentes antropogénicas y naturales), quedando aproximadamente constantes durante ese período. Es *muy probable*⁶ que el aumento observado de la concentración de metano se deba a las actividades antropogénicas, predominantemente la agricultura y el uso de combustibles fósiles, aunque las contribuciones relativas de diferentes tipos de fuentes no están bien determinadas. {2.3, 7.4}

³ ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón, 1 billón = 1.000 millones) es la razón del número de moléculas de gases de efecto invernadero con relación al número total de moléculas de aire seco. Por ejemplo, 300 ppm significan 300 moléculas de un gas de efecto invernadero por millón de moléculas de aire seco.

⁴ Las emisiones fósiles de dióxido de carbono comprenden las emisiones derivadas de la producción, distribución y consumo de combustibles fósiles y las que son subproducto de la producción de cemento. La emisión de 1 GtC corresponde a 3,67 GtCO₂.

⁵ En general, las franjas de incertidumbre para los resultados presentados en este Resumen para los Formuladores de Políticas, son intervalos de 90% de incertidumbre, a menos que sea definido de otro modo, o sea, hay una probabilidad estimada de 5% de que el valor pueda ser superior al de la franja presentada entre corchetes y 5% de probabilidad de que el valor pueda estar abajo de esa franja. Cuando están disponibles, son presentadas las mejores estimaciones. Los intervalos de incertidumbre evaluados no son siempre simétricos con relación a la mejor estimación correspondiente. Debe observarse que una serie de franjas de incertidumbre del TRA del Grupo de Trabajo I corresponde a 2 sigma (95%), frecuentemente con base en la opinión de especialistas.

⁶ En este Resumen para los Formuladores de Políticas, los siguientes términos fueron usados para señalar la probabilidad evaluada, en base a la opinión de especialistas, de una consecuencia o resultado: *prácticamente cierto* > 99% de probabilidad de ocurrir, *extremamente probable* > 95%, *muy probable* > 90%, *probable* > 66%, *más probable que no* > 50%, *improbable* < 33%, *muy improbable* < 10%, *extremamente improbable* < 5% (ver el cuadro TS 1.1 para obtener más detalles).

□ La concentración atmosférica global de óxido nítrico aumentó de un valor preindustrial de cerca de 270 ppb a 319 ppb en el 2005. La tasa de aumento fue aproximadamente constante desde 1980. Más de un tercio de todas las emisiones de óxido nítrico es antropogénica, debiéndose principalmente a la agricultura. {2.3, 7.4}

Componentes del Forzamiento Radioactivo

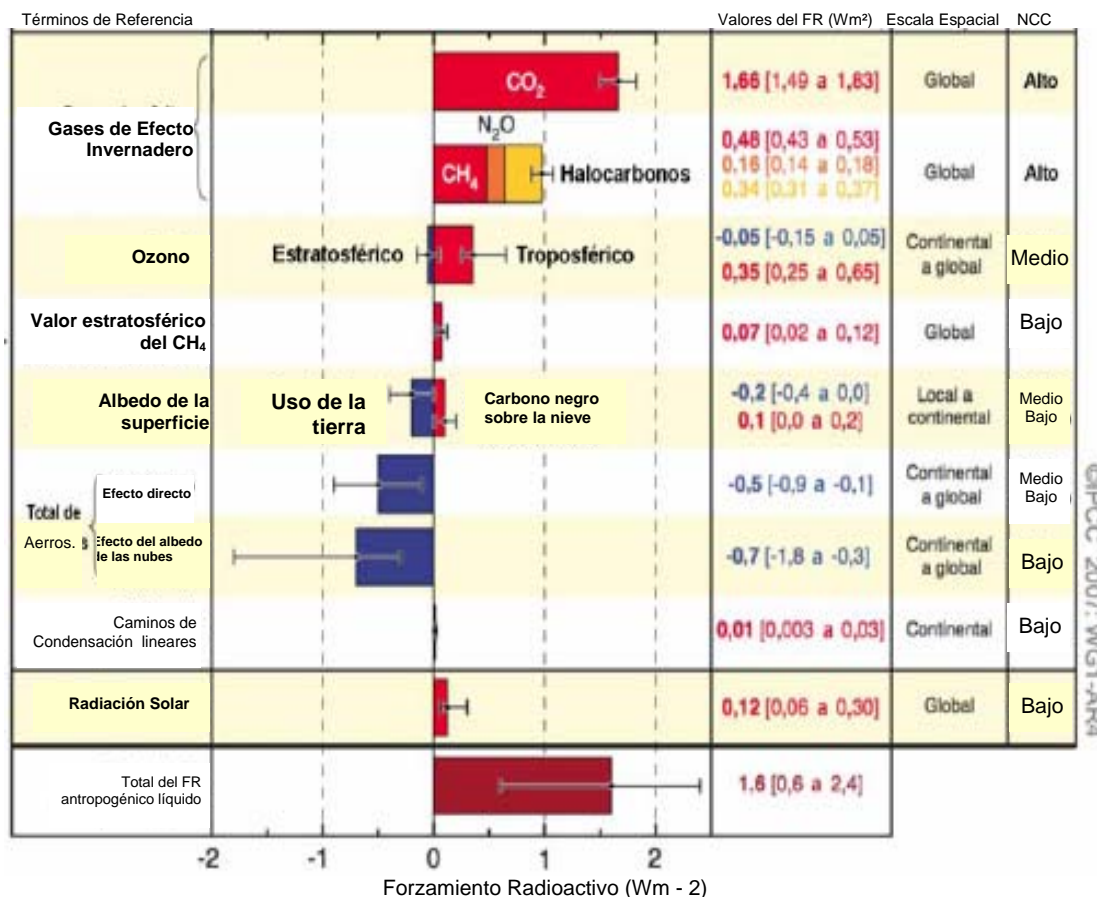


FIGURA SFP-2. Estimaciones del promedio global del forzamiento radiactivo (FR) y franjas en el 2005 para el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nítrico (N₂O) antropogénicos y otros agentes e mecanismos importantes, juntamente con la extensión geográfica típica (escala espacial) del forzamiento y el nivel evaluado de comprensión científica (NCC). El forzamiento radiactivo antropogénico líquido y su franja también son mostrados. Eso requiere la suma de las estimaciones asimétricas de la incertidumbre de los términos componentes y no puede ser obtenido por la simple adición. Se considera que otros factores del forzamiento no presentados aquí tengan un NCC muy bajo. Los aerosoles volcánicos contribuyen con un forzamiento natural adicional, pero no son incluidos en esta figura debido a su naturaleza episódica. A franja para los caminos de condensación lineares no incluyen otros efectos posibles de la evaluación o de la nebulosidad. {2.9, figura 2.20}

La comprensión de las influencias antropogénicas en el calentamiento y enfriamiento del clima mejoró desde la publicación del Tercer Informe de Evaluación (TRA), promoviendo una *certeza muy grande*⁷ de que el efecto líquido global de las actividades humanas, en promedio, desde 1750 fue el calentamiento, con un forzamiento radioactivo de +1,6 [+0,6 a +2,4] Wm⁻² (ver la figura SFP-2). {2.3, 6.5, 2.9}

- El total del forzamiento radioactivo debido a los aumentos en las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso es de +2,30 [+2,07 a +2,53] Wm⁻², y es *muy probable* que su tasa de aumento durante la era industrial haya sido sin precedentes en más de 10.000 años (ver las figuras SFP-1 y SFP-2). El forzamiento radioactivo del dióxido de carbono aumentó en 20% en el período de 1995 a 2005, el mayor cambio en una década en los últimos 200 años. {2.3, 6.4}
- Las contribuciones antropogénicas para los aerosoles (principalmente sulfato, carbono orgánico, carbono negro, nitrato y polvareda) producen juntas un efecto de enfriamiento, con un forzamiento radioactivo directo total de -0,5 [-0,9 a -0,1] Wm⁻² y un forzamiento indirecto del albedo de las nubes de -0,7 [-1,8 a -0,3] Wm⁻². Esos forzamientos son mejor comprendidos ahora que en la época de la publicación del TRA, debido a la existencia de mejores mediciones *in situ*, mediciones hechas por satélites y mediciones basadas en el suelo y de un modelaje más amplio, aunque continúan siendo la principal incertidumbre en el forzamiento radioactivo. Los aerosoles también influyen en el tiempo de vida de las nubes y la precipitación. {2.4, 2.9, 7.5}
- Contribuciones antropogénicas significativas para el forzamiento radioactivo provienen de otras varias fuentes. Los cambios en el ozono troposférico resultantes de las emisiones de sustancias químicas formadoras de ozono (óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos) contribuyen con +0,35 [+0,25 a +0,65] Wm⁻². El forzamiento radioactivo directo, debido a los cambios en los halocarbonos⁸ es de +0,34[+0,31 a +0,37] Wm⁻². Los cambios en el albedo de la superficie derivados de los cambios en la cobertura de la tierra y de la deposición de aerosoles de carbono negro en la nieve ejercen forzamientos, respectivamente, de -0,2 [-0,4 a 0,0] y +0,1 [0,0 a +0,2] Wm⁻². Términos adicionales inferiores a ±0,1 Wm⁻² son presentados en la figura SFP-2. {2.3, 2.5, 7.2}
- Se estima que los cambios en la radiación solar desde 1750 causen un forzamiento radioactivo de +0,12 [+0,06 a +0,30] Wm⁻², lo que es menos de la mitad de la estimación presentada en el TRA. {2.7}

⁷ En este Resumen para los Formuladores de Políticas, los siguientes niveles de certidumbre fueron usados para expresar la opinión de los especialistas sobre la corrección del conocimiento científico usado como base: *certidumbre muy grande*, una probabilidad de 9 en 10 de estar correcto; *certeza grande*, una probabilidad de 8 en 10 de estar correcto (ver el cuadro TS.11).

⁸ El forzamiento radioactivo de los halocarbonos fue evaluado en detalles recientemente en el Informe Especial del IPCC sobre la Protección de la Capa de Ozono y del Sistema Climático Global (2005).

OBSERVACIONES DIRECTAS DEL RECIENTE CAMBIO DEL CLIMA

Desde la publicación del Tercer Informe de Evaluación, fueron hechos avances en la Comprensión de cómo el clima está cambiando en términos espaciales y de tiempo, por medio de la mejora y de la ampliación de numerosos conjuntos de datos y de los análisis de los datos, una cobertura geográfica más amplia, una mejor comprensión de las incertidumbres y una mayor variedad de mediciones. Hay observaciones cada vez más completas para los hielos y nieves permanentes desde la década del 60 y para el nivel del mar y las capas de hielo desde aproximadamente la última década. Sin embargo, las coberturas de los datos todavía es limitada en algunas regiones.

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como es ahora evidente en las observaciones de los aumentos de las temperaturas medias globales del aire y del océano, del derretimiento generalizado de la nieve y del hielo y de la elevación del nivel global medio del mar (ver a figura SFP-3). {3.2, 4.2, 5.5}

- Once de los últimos doce años (1995 a 2006) están entre los 12 años más calientes del registro instrumental de la temperatura de la superficie global⁹ (desde 1850). La tendencia lineal de cien años actualizada (1906 a 2005), de 0,74 [0,56 a 0,92]°C, es, por tanto, más elevada que la tendencia correspondiente para el período de 1901 a 2000 presentada en el TRA, de 0,6 [0,4 a 0,8]°C. La tendencia lineal de calentamiento a lo largo de los últimos 50 años (0,13 [0,10 a 0,16]°C por década) es casi el doble de la de los últimos 100 años. El aumento total de temperatura de 1850-1899 a 2001-2005 es de 0,76 [0,57 a 0,95]°C. Los efectos de las islas de calor urbano son reales pero locales, ejerciendo una influencia insignificante en esos valores (menos de 0,006°C por década sobre la tierra y cero sobre los océanos). {3.2}
- Nuevos análisis de las mediciones hechas por globo y satélite de la temperatura de la baja y media troposfera muestran tasas de calentamiento similares a las del registro de temperatura de la superficie, acordes con sus respectivas incertidumbres, armonizando una discrepancia observada en el TRA. {3.2, 3.4}
- El tenor medio de vapor de agua en la atmósfera aumentó, como mínimo, desde la década de 80 sobre la tierra y el océano, así como en la alta troposfera. El aumento es bastante coherente con la cantidad extra de vapor de agua que el aire más caliente puede cargar. {3.4}
- Observaciones desde 1961 muestran que la temperatura media del océano global aumentó en profundidades de hasta por lo menos 3000 m y que el océano ha absorbido más de 80% del calor agregado al sistema climático. Ese calentamiento hace que el agua del mar se expanda, lo que contribuye a la elevación del nivel del mar (ver el cuadro SFP-1). {5.2, 5.5}
- Los hielos montañosos y la nieve permanente disminuyeron, en promedio, en los dos hemisferios. Las reducciones generalizadas de los hielos y de los hielos polares contribuyeron a la elevación del nivel del mar (los hielos polares no incluyen las contribuciones de las capas de hielo de Groenlandia y de la Antártida) (ver el cuadro SFP-1). {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}

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

Cambios en la Temperatura, en el Nivel del Mar y en la Capa de Nieve del Hemisferio Norte

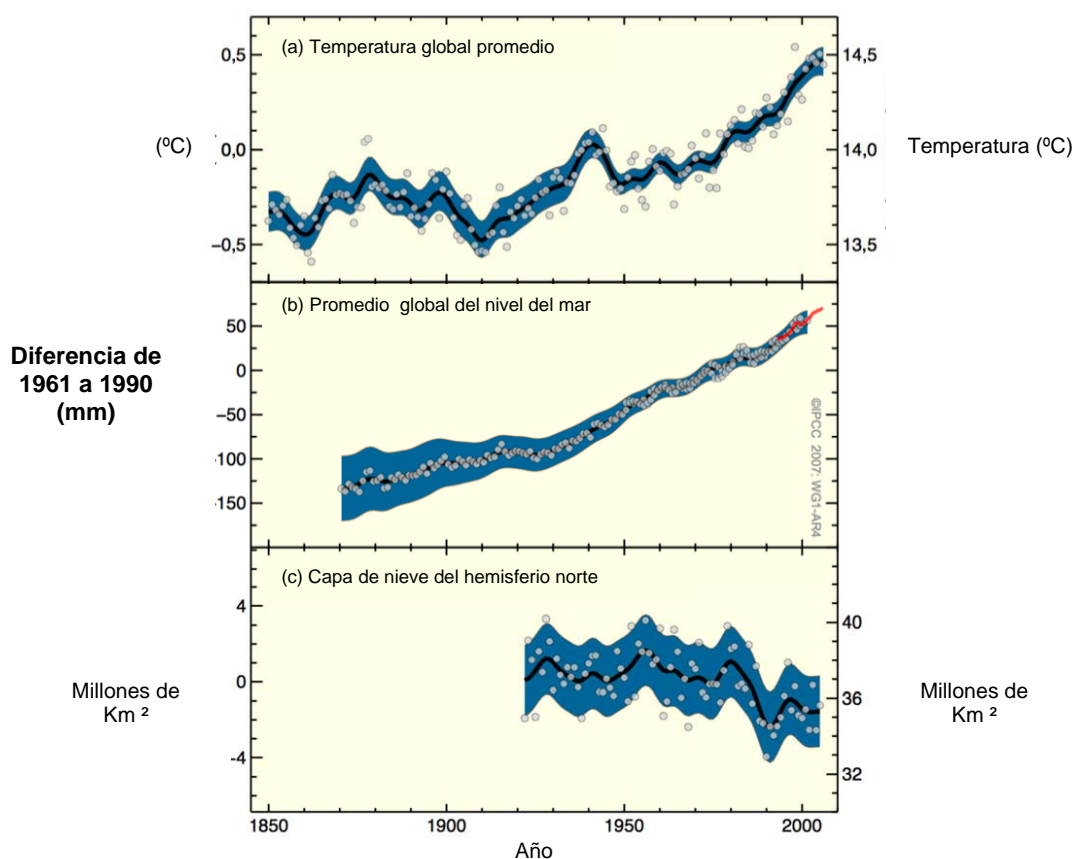


FIGURA SFP-3. Cambios observados en la (a) temperatura global promedio de la superficie; (b) promedio global de la elevación del nivel del mar a partir de datos de mareógrafo (azul) y satélite (rojo) y (c) capa de nieve del Hemisferio Norte para marzo-abril. Todos los cambios son relativos a los promedios correspondientes para el período de 1961 a 1990. Las curvas suavizadas representan valores medios decenales, mientras que los círculos señalan valores anuales. Las áreas sombreadas son los intervalos estimados en base a un análisis amplio de las incertidumbres conocidas (a y b) y en las series temporales (c). {FAQ 3.1, figura 1, figura 4.2 y figura 5.13}

- Nuevos datos obtenidos después de la publicación del TRA muestran ser muy probable que las pérdidas de los mantos de hielo de Groenlandia y de la Antártica hayan contribuido para la elevación del nivel del mar a lo largo del período de 1993 a 2003 (ver el cuadro SFP-1). La velocidad del flujo aumentó en algunos hielos de descarga de Groenlandia y de la Antártida, que drenan el hielo del interior de las capas de hielo. El correspondiente aumento de la pérdida de masa de las capas de hielo con frecuencia fue posterior al afinamiento, reducción o pérdida de plataformas de hielo o la pérdida de lenguas de los hielos flotantes. Esa pérdida de hielo dinámica es suficiente para explicar la mayor parte de la pérdida líquida de masa de la Antártida y aproximadamente la mitad de la pérdida líquida de masa de Groenlandia. El resto de la pérdida del hielo de Groenlandia se dio porque las pérdidas resultantes del derretimiento excedieron la acumulación de nieve. {4.6, 4.8, 5.5}
- El promedio global del nivel del mar subió a una tasa media de 1,8 [1,3 a 2,3] mm por año en el período de 1961 a 2003. La tasa fue más acelerada a lo largo del período de 1993 a 2003, cerca de 3,1 [2,4 a 3,8] mm por año. No está claro si la tasa más acelerada para 1993-2003 refleja la variabilidad decenal o un aumento de la tendencia de largo plazo. Hay una *gran certeza* de que la tasa de la elevación del nivel del mar aumentó del siglo XIX al siglo XX. Se estima que la elevación total del siglo XX sea de 0,17 [0,12 a 0,22] m. {5.5}

Cuadro SFP-1. Tasa observada de elevación del nivel del mar y estimación de las contribuciones de diferentes fuentes. {5.5. cuadro 5.3}

Fuente de elevación del nivel del mar	Tasa de la elevación del nivel del mar (mm por año)	
	1961 a 2003	1993 a 2003
Expansión térmica	0,42 ± 0,12	1,6 ± 0,5
Hielos y hielos polares	0,50 ± 0,18	0,77 ± 0,22
Capas de hielo de Groenlandia	0,05 ± 0,12	0,21 ± 0,07
Capas de hielo de la Antártida	0,14 ± 0,41	0,21 ± 0,35
Suma de las contribuciones individuales del clima a la elevación del nivel del mar	1,1 ± 0,5	2,8 ± 0,7
Total de la elevación del nivel del mar observada	1,8 ± 0,5 ^a	3,1 ± 0,7 ^a
Diferencia (Observada menos la suma de las contribuciones estimadas del clima)	0,7 ± 0,7	0,3 ± 1,0

Observación:

^a Los datos anteriores a 1993 fueron obtenidos con el uso de mareógrafos y los posteriores a 1993, por altimetría de satélite.

- Para 1993-2003, la suma de las contribuciones del clima es acorde, dentro de las incertidumbres, con la elevación total del nivel del mar observada directamente (ver el cuadro SFP-1). Esas estimaciones se basan en datos de satélite y datos *in situ* perfeccionados que existen hoy. Para el período de 1961 a 2003 se estima que la suma de las contribuciones del clima sea inferior a la elevación observada del nivel del mar. El TRA demostró una discrepancia similar para el período de 1910 a 1990. {5.5}

En escala continental, regional e da cuenca oceánica, fueron observados numerosos cambios de largo plazo en el clima, los cuales incluyen cambios en las temperaturas y en el hielo del Ártico, cambios generalizados en la cantidad de precipitación, salinidad del océano, patrones de viento y aspectos de los eventos climáticos extremos, como sequías, precipitación fuerte, olas de calor y en la intensidad de los ciclones tropicales¹⁰. {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- Las temperaturas árticas medias aumentaron a casi el doble de la tasa global media de los últimos 100 años. Las temperaturas árticas tienen una alta variabilidad decenal, y un período caliente también fue observado de 1925 a 1945. {3.2}
- Datos de satélite obtenidos desde 1978 muestran que la media anual de la extensión del hielo marino ártico se redujo un 2,7 [2,1 a 3,3]% por década, con reducciones mayores en el verano de 7,4 [5,0 a 9,8]% por década. Esos valores son acorde con los informados en el TRA. {4.4}
- En general, las temperaturas en las capas altas de hielo en el subsuelo (*permafrost*) aumentaron desde la década del 80 en el Ártico (en hasta 3°C). El área máxima cubierta por suelo congelado estacionalmente disminuyó en cerca de 7% en el Hemisferio Norte desde el año 1900, con una reducción en la primavera de hasta 15%. {4.7}
- Tendencias de largo plazo del 1900 al 2005 fueron observadas en la cantidad de precipitación en vastas regiones.¹¹ Un aumento significativo de precipitación fue observado en la parte este de América del Norte y de América del Sur, en el norte de Europa, en el norte de Asia y en Asia central. Se observó que el clima quedó más seco en el Sahel, en el mediterráneo, en el sur de África y en partes del sur de Asia. La precipitación presenta gran variabilidad en términos espaciales y temporales, y los datos son limitados en algunas regiones. Tendencias de largo plazo no fueron observadas para las otras vastas regiones evaluadas.¹¹ {3.3, 3.9}
- Cambios en la precipitación y evaporación sobre los océanos son sugeridas por el hecho de haberse tornado dulces las aguas de las latitudes medias y altas y por el aumento de la salinidad de las aguas de las latitudes bajas. {5.2}
- Los vientos del oeste de latitud media se tornaron más fuertes en ambos hemisferios desde la década del 60. {3.5}

¹⁰ Los ciclones tropicales comprenden a los huracanes y tifones.

¹¹ Las regiones evaluadas son aquellas consideradas en el capítulo de proyecciones regionales del TRA y en el capítulo 11 de este informe.

Cuadro SFP-2. Tendencias recientes, evaluación de la influencia humana en la tendencia y proyecciones de eventos climáticos extremos para los cuales haya una tendencia observada en el final del siglo XX {Cuadros 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 acontecimiento de la tendencia en el final del siglo XX (normalmente después de 1960)	Probabilidad de una contribución humana a la tendencia observada ^b	Probabilidad de tendencias futuras con base en proyecciones para el siglo XXI con el uso de los escenarios del RECE
Aumento de la temperatura y de la frecuencia de días y noches fríos en la mayor parte de las áreas terrestres	<i>Muy probable</i> ^c	<i>Probable</i> ^d	<i>Prácticamente cierto</i> ^d
Aumento de la temperatura y de la frecuencia de días y noches calientes en la mayor parte de las áreas terrestres	<i>Muy probable</i> ^e	<i>Probable (noche</i> ^d <i>)</i>	<i>Prácticamente cierto</i> ^d
Eclosión de calor/olas de calor. La frecuencia aumenta en la mayor parte de las áreas terrestres	<i>Probable</i>	<i>Más probable que no</i> ^f	<i>Muy probable</i>
Eventos de precipitación fuerte. La frecuencia (o la proporción del total de lluvia de las precipitaciones fuertes) aumenta en la mayor parte de las áreas	<i>Probable</i>	<i>Más probable que no</i> ^f	<i>Muy probable</i>
El área afectada por las sequías aumenta	<i>Probable</i> en muchas regiones desde 1970	<i>Más probable que no</i>	<i>Probable</i>
La actividad intensa de los ciclones tropicales aumenta	<i>Probable</i> en muchas regiones desde 1970	<i>Más probable que no</i> ^g	<i>Probable</i>
Aumento de la incidencia del nivel extremadamente alto del mar	<i>Probable</i>	<i>Más probable que no</i> ^{f,h}	<i>Probable</i>

Observaciones:

^a Ver el cuadro 3.7 para obtener más detalles sobre las definiciones.

^b Ver el cuadro TS-4, el cuadro TS.3.4 y el cuadro 9.4.

^c Reducción de la frecuencia de días y noches frías (los 10% más fríos).

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

^e Aumento de la frecuencia de días y noches calientes (los 10% más calientes).

^f La magnitud de las contribuciones antropogénicas no fue evaluada. La atribución para esos fenómenos fue hecha en base a la opinión de especialistas en vez de estudios formales de atribución.

^g El nivel extremadamente alto del mar depende del nivel medio del mar y de los sistemas climáticos regionales. Es definido aquí como el 1% más elevado de los valores horarios del nivel del mar observados en una estación para un dado período de referencia.

^h Los cambios observados en el nivel extremadamente alto del mar acompañan los cambios medios en el nivel del mar {5.5.2.6}. Es *muy probable* que la actividad antropogénica haya contribuido a una elevación del nivel medio del mar. {9.5.2}

- Sequías más intensas y más largas fueron observadas sobre áreas más amplias desde 1970, especialmente en los trópicos y subtrópicos. El aumento del clima seco, juntamente con temperaturas más elevadas y una reducción de la precipitación, contribuyeron para los cambios en la sequía. Los cambios en las temperaturas de la superficie del mar, en los patrones de viento y la reducción de la nieve acumulada y de la capa de nieve también fueron relacionadas con las sequías. {3.3}
- La frecuencia de los eventos de fuerte precipitación aumentó sobre la mayor parte de las áreas terrestres, de forma acorde al calentamiento y los aumentos observados del vapor de agua atmosférico. {3.8, 3.9}
- Cambios generalizados en las temperaturas extremas fueron observados a lo largo de los últimos 50 años. Días fríos, noches frías y heladas se tornaron menos frecuentes, mientras que los días calientes, noches calientes y olas de calor se tornaron más frecuentes (ver el cuadro SFP-2). {3.8}

ⁱ En todos los escenarios, la proyección de la media global del nivel del mar en el 2100 es más alta que en el período de referencia. {10.6}. El efecto de los cambios en los sistemas climáticos regionales sobre los extremos del nivel del mar no fue evaluado.

- Hay evidencias, obtenidas en base a observaciones, de un aumento de la actividad intensa de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte desde cerca del año 1970, correlacionado a los aumentos de las temperaturas de la superficie del mar en los trópicos. También se sugiere un aumento de la actividad intensa de los ciclones tropicales en algunas otras regiones, en que pesa una mayor preocupación sobre la calidad de los datos. La variabilidad multidecenal y la calidad de los registros de los ciclones tropicales antes de las observaciones de satélite rutineras iniciadas aproximadamente en 1970 complican la detección de las tendencias de largo plazo en la actividad de los ciclones tropicales. No hay una tendencia clara en los números anuales de los ciclones tropicales. {3.8}

No fueron observados cambios en algunos aspectos del clima. {3.2, 3.8, 4.4, 5.3}

- Una reducción de la franja de temperatura diurna fue incluida en el TRA, pero los datos disponibles en la época cubrían apenas el período de 1950 a 1993. Observaciones actualizadas revelan que la franja de temperatura diurna no cambió de 1979 a 2004, ya que la temperatura durante el día y la temperatura durante la noche aumentaron prácticamente en la misma tasa. Las tendencias varían mucho de una región a otra. {3.2}
- La extensión del hielo marino antártico continúa presentando variabilidad interanual y cambios localizados, pero sin ninguna tendencia media estadísticamente significativa, de forma acorde a la falta de calentamiento reflejada en la media de las temperaturas atmosféricas de la región. {3.2, 4.4}
- No hay evidencia suficiente para determinar si existen tendencias en la circulación anómala en el sentido meridional del océano global o en fenómenos de pequeña escala, tales como tornados, granizo, relámpagos y tempestades de polvo. {3.8, 5.3}

UNA PERSPECTIVA PALEOCLIMÁTICA

Los estudios paleoclimáticos usan los cambios en indicadores sensibles al clima para inferir cambios pasados en el clima global en escalas de tiempo que van de décadas a miles de años. Esos datos generalizados (por ejemplo, ancho de los anillos de los árboles) pueden ser influenciados tanto por la temperatura local como por otros factores, como la precipitación, y con frecuencia son representativos de estaciones específicas en lugar de años completos. Los estudios hechos desde la publicación del TRA promovieron un aumento de la certidumbre, debido a los datos adicionales que muestran un comportamiento coherente entre múltiples indicadores en diferentes partes del mundo. Sin embargo, las incertidumbres generalmente aumentan con el tiempo en el pasado, a causa de la capa espacial que va quedando cada vez más limitada.

Las informaciones paleoclimáticas apoyan la interpretación de que el calentamiento del último medio siglo no es usual, por lo menos, en los últimos 1.300 años. La última vez que las regiones polares quedaron significativamente más calientes que en el presente durante un período largo (cerca de 125.000 años atrás), las reducciones en el volumen del hielo polar implicaron una elevación del nivel del mar de 4 a 6 metros. {6.4, 6.6}

- Es *muy probable* que las temperaturas medias del Hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX hayan sido más elevadas que durante cualquier otro período de 50 años en los últimos 500 años y es *probable* que hayan sido las más altas, por lo menos, en los últimos 1.300 años. Algunos estudios recientes señalan una mayor variabilidad de las temperaturas del Hemisferio Norte que las que el TRA sugiere, especialmente con relación a períodos más fríos que habrían ocurrido en los siglos XII a XIV, XVII y XIX. Períodos más calientes antes del siglo XX quedan en la franja de incertidumbre presentada en el TRA. {6.6}
- Es *probable* que la media global del nivel del mar en el último período interglaciar (cerca de 125.000 años atrás) haya sido 4 a 6 m más elevada que durante el siglo XX, principalmente debido a la retracción del hielo polar. Datos obtenidos del hielo muestran que la media de las temperaturas polares en la época era de 3 a 5°C más elevada que en el presente, a causa de las diferencias en la órbita de la Tierra. Es *probable* que la capa de hielo de Groenlandia y otros campos de hielo del Ártico hayan contribuido con un máximo de 4 metros de la elevación del nivel del mar observada. Puede también haber ocurrido una contribución de la Antártida. {6.4}

COMPRESIÓN Y ATRIBUCIÓN DEL CAMBIO CLIMA

Esta evaluación hace uso de registros más largos y perfeccionados, una franja expandida de observaciones y una mejor simulación de muchos aspectos del clima y su variabilidad, con base en estudios conducidos desde la publicación del TRA. También considera los resultados de nuevos estudios de atribución que evaluaron si los cambios observados son cuantitativamente coherentes con la respuesta esperada a los forzamientos externos e incoherentes con las explicaciones alternativas físicamente plausibles.

Es muy probable que la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias globales desde mediados del siglo XX se deba al aumento observado en las concentraciones antropogénicas de gases de efecto invernadero¹². Esa afirmación representa un avance con relación al TRA, que concluye que “es probable que la mayor parte del calentamiento observado a lo largo de los últimos 50 años se deba al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero”. Influencias humanas discernibles ahora se extendió a otros aspectos del clima, inclusive el calentamiento del océano, temperaturas medias continentales, extremos de temperatura y patrones del viento (ver la figura SFP-4 y el cuadro SFP-2). {9.4, 9.5}

- Es *probable* que los aumentos de las concentraciones de gases de efecto invernadero solos hayan causado más calentamiento que lo observado, ya que los aerosoles volcánicos y antropogénicos compensaron un poco el calentamiento que hubiera ocurrido. {2.9, 7.5, 9.4}
- El calentamiento generalizado de la atmósfera y del océano observado, juntamente con pérdida de masa de hielo, apoyan la conclusión de que es *extremadamente improbable* que el cambio global del clima de los últimos 50 años pueda ser explicado sin el forzamiento externo y de que es *muy probable* que la misma no se deba apenas a causas naturales conocidas. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}
- El calentamiento del sistema climático fue detectado en los cambios de las temperaturas de la superficie y de la atmósfera, de las temperaturas de las varias centenas de metros superiores del océano y en las contribuciones a la elevación del nivel del mar. Los estudios de atribución establecieron contribuciones antropogénicas para todos esos cambios. Es *muy probable* que el patrón observado de calentamiento troposférico y de enfriamiento estratosférico se deba a las influencias combinadas de los aumentos de gases de efecto invernadero y de la destrucción del ozono estratosférico. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}
- Es *probable* que haya habido un calentamiento antropogénico significativo a lo largo de los últimos 50 años, en la media de cada continente, exceptuándose la Antártida (ve la figura SFP-4). Los patrones observados de calentamiento, inclusive un calentamiento mayor sobre la tierra que sobre el océano y sus cambios en el tiempo, son simulados apenas en modelos que incluyen el forzamiento antropogénico. La capacidad de los modelos climáticos acoplados de simular la evolución de la temperatura observada en cada uno de los seis continentes ofrece una evidencia más contundente de la influencia humana en el clima del que había cuando fue publicado el TRA. {3.2, 9.4}
- Todavía existen dificultades en la simulación y atribución confiable, en escalas menores, de los cambios de temperatura observados. En esas escalas, la variabilidad climática natural es relativamente mayor, haciendo que sea más difícil distinguir los cambios esperados como consecuencia de los forzamientos externos. Las incertidumbres en los forzamientos y *feedbacks* locales también dificultan la estimación de la contribución de los aumentos de los gases de efecto invernadero para los cambios observados de temperatura en pequeña escala. {8.3, 9.4}
- Es *probable* que el forzamiento antropogénico haya contribuido a los cambios en los patrones del viento¹³, afectando las trayectorias de las tempestades extratropicales y los patrones de temperatura en ambos hemisferios.

¹² La consideración de las incertidumbres remanentes se basa en las metodologías actuales.

¹³ En especial, los Modos Anulares del Sur y del Norte y cambios relacionados a la Oscilación del Atlántico Norte {3.6, 9.5, cuadro TS.3.1}

Sin embargo, los cambios observados en la circulación del Hemisferio Norte son mayores que las simuladas en respuesta al cambio en el forzamiento del siglo XX. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

- Es *probable* que las temperaturas de las noches calientes, noches frías y días fríos más extremos hayan aumentado debido al forzamiento antropogénico. Es *más probable que no* que el forzamiento antropogénico haya aumentado el riesgo de olas de calor (ver el cuadro SFP-2). {9.4}

El análisis de los modelos climáticos, juntamente con las condiciones de las observaciones, permiten que se atribuya a la sensibilidad climática, por primera vez, una franja probable evaluada y se tenga más certeza en la comprensión de la respuesta del sistema climático al forzamiento radioactivo. {6.6, 8.6, 9.6, cuadro 10.2}

- La sensibilidad climática de equilibrio es una medida de la respuesta del sistema climático al forzamiento radioactivo sustentado. No es una proyección, aunque es definida como el calentamiento medio global de la superficie que es posterior a una duplicación de las concentraciones de dióxido de carbono. Es *probable* que esté en la franja de 2 a 4,5°C, con una mejor estimación de cerca de 3 °C, y es *muy improbable* que sea inferior a 1,5°C. Valores substancialmente más altos que 4,5°C no pueden ser desconsiderados, aunque 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 *feedback* que afecta a la sensibilidad climática y ahora son mejor comprendidas que en el TRA. Los *feedbacks* de las nubes continúan siendo la mayor fuente de incertidumbre. {8.6, 9.6, cuadro 10.2}
- Es *muy improbable* que los cambios del clima en los siete siglos anteriores a 1950, hayan, por lo menos, derivado de la variabilidad generada apenas dentro del sistema climático. Es *muy probable* que una fracción significativa de la variabilidad de la temperatura interdecenal, reconstruida para el Hemisferio Norte a lo largo de esos siglos, sea atribuible a las erupciones volcánicas y a los cambios en la radiación solar, y es *probable* que el forzamiento antropogénico haya contribuido al calentamiento del inicio del siglo XX que es evidente en esos registros. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

PROYECCIONES DE CAMBIOS FUTUROS EN EL CLIMA

Un gran avance de esta evaluación de las proyecciones del cambio climático con relación al TRA es el gran número de simulaciones disponibles hechas con una gama mayor de modelos. Juntamente con las informaciones adicionales obtenidas de observaciones, las mismas ofrecen una base cuantitativa para estimar las probabilidades de muchos aspectos del cambio climático en el futuro. Las simulaciones de los modelos cubren una franja de futuros posibles, inclusive suposiciones idealizadas de emisión o concentración. Entre las mismas están los escenarios marcadores ilustrativos del RECE¹⁴ para el período del 2000 al 2100 y experimentos de los modelos con concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles mantenidas constantes después del 2000 o el 2100.

¹⁴ RECE es la sigla en portugués referida al Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones del IPCC (2000). Las familias de escenarios y casos ilustrativos del RECE, los cuales no incluyen iniciativas climáticas adicionales, son sintetizados en un cuadro en el final de este Resumen para los Formuladores de Políticas. Las concentraciones aproximadas de equivalentes de CO₂ correspondientes al forzamiento radioactivo computado debido a los gases de efecto invernadero y aerosoles antropogénicos en el 2100 (ver p. 823 del TRA) para los escenarios marcadores ilustrativos del RECE B1, A1T, B2, A1B, A2 y A1F1 son de cerca de 600, 700, 800, 850, 1250 y 1550 ppm, respectivamente. Los escenarios B1, A1B y A2 fueron objeto de estudios intercomparativos de modelos, y muchos de los resultados obtenidos son evaluados en este informe.

Para las próximas dos décadas, se proyecta un calentamiento de cerca de $0,2^{\circ}\text{C}$ por década para una franja de escenarios de emisiones del RECE. Mismo que las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero y aerosoles se mantuviesen constantes en los niveles del año 2000, sería esperado un calentamiento adicional de cerca de $0,1^{\circ}\text{C}$ por década. {10.3, 10.7}

Cambio en la Temperatura Global y Continental

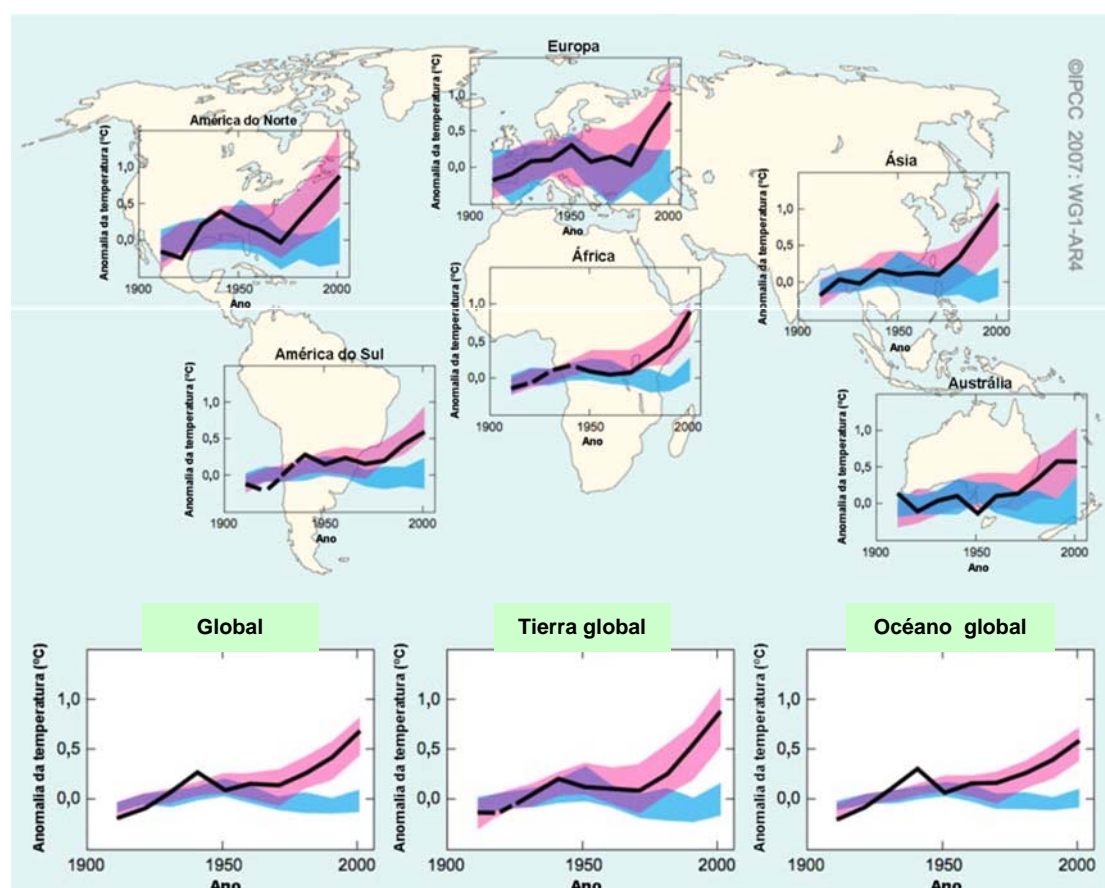


FIGURA SFP-4. Comparación de los cambios observados de escalas continental y global en la temperatura de la superficie con resultados simulados por modelos climáticos, usándose forzamientos naturales y antropogénicos. Las medias decenales de las observaciones son presentadas para el período de 1906 a 2005 (línea negra) ploteadas sobre el centro de la década y relativas a la media correspondiente para 1901-1950. Las líneas son trazadas cuando la capa espacial es inferior a 50%. Las zonas azules muestran la franja de 5 a 95% para las 19 simulaciones de los 5 modelos climáticos con el uso apenas de los forzamientos naturales debidos a la actividad solar y a los volcanes. Las zonas rojas muestran la franja de 5 a 95% para las 58 simulaciones de los 14 modelos climáticos con el uso de los forzamientos natural y antropogénico. {FAQ 9.2, figura 1}

- Desde el primer informe del IPCC en 1990, las proyecciones evaluadas sugirieron aumentos de la temperatura media global de cerca de 0,15 a 0,3°C por década para el período de 1990 a 2005. Esas proyecciones ahora pueden ser comparadas con los valores observados, de cerca de 0,2°C por década, fortaleciendo la certeza en las proyecciones de corto plazo. {1.2, 3.2}
- Los experimentos de los modelos muestran que, mismo si todos los agentes del forzamiento radioactivo se mantuviesen constantes en los niveles del año 2000, una tendencia de calentamiento adicional ocurriría en las próximas dos décadas a una tasa de cerca de 0,1°C por década, debido principalmente a la lenta respuesta de los océanos. Cerca del doble del calentamiento (0,2°C por década) sería esperado si las emisiones quedasen en la franja de los escenarios del RECE. Las mejores proyecciones de los modelos muestran que el calentamiento decenal medio sobre cada continente habitado hasta el 2030 no es sensible a la elección de diferentes escenarios del RECE y es *muy probable* que haya por lo menos el doble de la magnitud de la variabilidad natural estimada por el modelo durante el siglo XX. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2-11.7, figura TS-29}

La continuación de las emisiones de gases de efecto invernadero en las tasas actuales o superiores a las mismas implicaría un calentamiento adicional e induciría muchos cambios en el sistema climático global durante el siglo XXI, las cuales *muy probablemente* serían mayores que las observadas durante el siglo XX. {10.3}

- Los avances en el modelaje del cambio climático ahora permiten que se atribuyan mejores estimaciones y *probables* franjas de incertidumbre evaluadas para el calentamiento proyectado para diferentes escenarios de emisiones. Resultados para diferentes escenarios de emisiones son ofrecidos explícitamente en este informe para evitar la pérdida de esas informaciones pertinentes a la formulación de políticas. Proyecciones de los calentamientos medios globales de la superficie para el final del siglo XXI (2090-2099) relativas a 1980-1999 son presentadas en el cuadro SFP-3. Las mismas ilustran las diferencias entre los escenarios de emisiones del RECE con emisiones más bajas y con emisiones más altas y la proyección de la incertidumbre del calentamiento asociada a esos escenarios. {10.5}
- Mejores estimaciones y franjas *probables* para el calentamiento medio global del aire de la superficie para seis escenarios marcadores de emisiones del RECE son ofrecidas en esta evaluación y presentadas en el cuadro SFP-3. Por ejemplo, la mejor estimación para el escenario bajo (B1) es de 1,8°C (la franja *probable* es de 1,1°C a 2,9°C), y la mejor estimación para el escenario alto (A1F1) es de 4,0°C (la franja *probable* es de 2,4°C a 6,4°C). Aunque esas proyecciones sean ampliamente acordes a la franja mencionada en el TRA (1,4 a 5,8°C), ellas no son directamente comparables (ver la figura SFP-5). La AR4 es más avanzada, ya que ofrece mejores estimaciones y una franja de probabilidad evaluada para cada uno de los escenarios marcadores. La nueva evaluación de las franjas *probables* ahora se basa en un número mayor de modelos del clima, de creciente complejidad y realismo, así como en nuevas informaciones acerca de la naturaleza de los *feedbacks* del ciclo del carbono y de las condiciones de las observaciones sobre la respuesta del clima. {10.5}

- El calentamiento tiende a reducir la remoción del dióxido de carbono atmosférico por la tierra y por el océano, aumentando la fracción de emisiones antropogénicas que permanece en la atmósfera. Para el escenario A2, por ejemplo, el *feedback* del clima-ciclo del carbono aumenta el calentamiento medio global correspondiente en más de 1°C en el 2100. Las franjas superiores evaluadas para las proyecciones de la temperatura son más elevadas que en el TRA (ver el cuadro SFP-2), principalmente porque la franja más amplia de modelos ahora disponible sugiere *feedbacks* más fuertes del clima-ciclo del carbono. {7.3, 10.5}
- Proyecciones en base a modelos de la media global de la elevación del nivel del mar en el final del siglo XXI (2090-2099) son presentadas en el cuadro SFP-3. Para cada escenario, el punto medio de la franja en el cuadro SFP-3 está dentro del 10% de la media del modelo del TRA para el período 2090-2099. Las franjas son más estrechas que en el TRA, principalmente a causa de la existencia de informaciones mejores sobre algunas incertidumbres en las contribuciones proyectadas¹⁵. {10.6}

Cuadro SFP-3. Proyección del calentamiento medio global de la superficie y de la elevación del nivel del mar en el final del siglo XXI {10.5, 10.6, cuadro 10.7}

Caso	Cambio de Temperatura (°C en 2090-2099 relativa a 1980-1999) ^a		Elevación del Nivel del Mar (m en 2090-2099 relativa a 1980- 1999)
	Mejor estimación	Franja <i>probable</i>	Franja en base en modelo, excluyendo los futuros cambios dinámicos rápidos en el flujo de hielo
Concentraciones constantes en el nivel del año 2000 ^b	0,6	0,3 – 0,9	N D
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 A1F1	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

Observaciones:

^a Estas estimaciones son evaluadas a partir de una jerarquía de modelos que incluyen un modelo climático simple, varios EMICs (Modelos del Sistema Terrestre de Complejidad Intermediaria) y un gran número de Modelos de Circulación General de la Atmósfera-Océano (AOGCMs).

^b La composición constante en el nivel del año 2000 es derivada apenas a partir de los AOGCMs.

¹⁵ Las proyecciones del TRA fueron hechas para el 2100, mientras que las proyecciones contenidas en este informe son para el período 2090-2099. El TRA hubiera tenido franjas similares a las del cuadro SFP-2 si hubiese tratado las incertidumbres de la misma forma.

Medias de Varios Modelos y Franjas Evaluadas para el Calentamiento de la Superficie

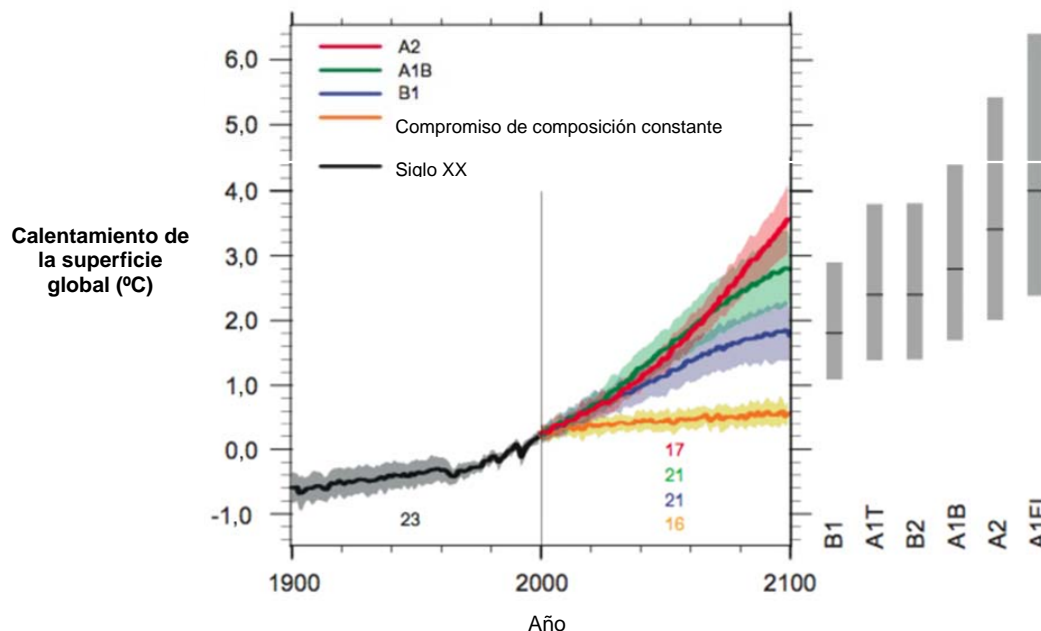


Figura SFP-5 Las líneas sólidas son medias globales del calentamiento de la superficie producidas por varios modelos (relativas a 1980-99) para los escenarios A2, A1B y B1, mostradas como continuaciones de las simulaciones del siglo XX. El sombreado denota la franja de desvío patrón de más/menos una de las medias anuales individuales de los modelos. La línea anaranjada representa el experimento en que las concentraciones fueron mantenidas constantes en los valores del año 2000. Las columnas grises a la derecha muestran la mejor estimación (línea sólida dentro de cada columna) y la franja *probable* evaluada para los seis escenarios marcadores del RECE. La evaluación de la mejor estimación y de las franjas *probables* en las columnas grises comprende los AOGCMs en la parte izquierda de la figura, así como los resultados de una jerarquía de modelos independientes y condiciones de las observaciones {Figs. 10.4 y 10.29}

Los modelos usados hasta ahora no incluyen las incertidumbres en el *feedback* del clima-ciclo del carbono ni comprenden todos los efectos de los cambios en el flujo de la capa de hielo, porque falta una base en las publicaciones científicas. Las proyecciones incluyen una contribución, debida al aumento del flujo de hielo de Groenlandia y de la Antártida en las tasas observadas para el período 1993-2003, aunque esas tasas de flujo podrían aumentar o disminuir en el futuro. Por ejemplo, si esa contribución creciese de forma lineal con el cambio de la temperatura media global, las franjas superiores de la elevación del nivel del mar para los escenarios del RECE, mostrados en el cuadro SFP-3, aumentarían e 0,1 m a 0,2 m. Valores más altos no pueden ser desconsiderados, aunque la comprensión de esos efectos es muy limitada para evaluar su probabilidad u ofrecer una mejor estimación o un límite superior para la elevación del nivel del mar. {10.6}

- El aumento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono implica el aumento de la acidificación del océano. Las proyecciones basadas en los escenarios del RECE muestran reducciones en el pH¹⁶ global medio de la superficie oceánica entre 0,14 y 0,35 unidad a lo largo del siglo XXI, sumándose a la reducción actual de 0,1 unidad desde la época preindustrial. {5.4, cuadro 7.3, 10.4}

Hay ahora más certeza en las proyecciones de los patrones de calentamiento y de otras características de escala regional, inclusive de los cambios en los patrones del viento, precipitación y algunos aspectos de los eventos extremos y del hielo. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

- La proyección del calentamiento en el siglo XXI muestra patrones geográficos independientes de los escenarios, similares a los observados en las últimas décadas. El calentamiento debe ser mayor sobre la tierra y en la mayor parte de las altas latitudes al norte y menor sobre el Océano Meridional y partes del Océano Atlántico Norte (ver la figura SFP-6). {10.3}
- Se proyecta una contracción de la capa de nieve. Se proyectan aumentos generalizados en la profundidad del derretimiento en la mayor parte de las regiones de hielo en el subsuelo (*permafrost*). {10.3, 10.6}
- Se proyecta que el hielo marino disminuya tanto en el Ártico como en la Antártida en todos los escenarios del RECE. En algunas proyecciones, el hielo marino ártico del final del verano desaparece casi completamente hasta la última parte del siglo XXI. {10.3}
- Es *muy probable* que los extremos de calor, olas de calor y eventos de fuerte precipitación continúen siendo más frecuentes. {10.3}
- En base a una gama de modelos, es *probable* que los futuros ciclones tropicales (tifones y huracanes) sean más intensos, con mayores velocidades de los vientos y más precipitación fuerte asociada a los aumentos actuales de las temperaturas de la superficie del mar tropicales. Hay menos certeza en las proyecciones de una reducción global de los números de ciclones tropicales. El aumento aparente en la proporción de tempestades muy intensas desde 1970 en algunas regiones es notablemente mayor que el simulado por los modelos actuales para ese período. {9.5, 10.3, 3.8}
- Se proyecta que las trayectorias de las tempestades extratropicales se muevan en dirección a los polos, con los consecuentes cambios en los patrones del viento, de la precipitación y de la temperatura, continuando el amplio patrón de tendencias observadas a lo largo del último medio siglo. {3.6, 10.3}
- Desde la publicación del TRA, hay una comprensión cada vez mejor de los patrones proyectados de la precipitación. Son *muy probables* los aumentos de la cantidad de precipitación en las altas latitudes, mientras que reducciones son *probables* en la mayor parte de las regiones terrestres subtropicales (en hasta cerca de 20% en el escenario A1B en el 2100, ver la figura SFP-7), continuando los patrones observados en las tendencias recientes. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 a 11.9}

¹⁶ Reducciones en el pH corresponden a aumentos en la acidez de una solución. Ver más detalles en el Glosario.

- En base a las simulaciones actuales de los modelos, es *muy probable* que la circulación anómala en el sentido meridional del Océano Atlántico quede más lenta durante el siglo XXI. La reducción media de los varios modelos hasta el 2100 es de 25% (variando de 0 a cerca de 50%) para el escenario de emisiones del RECE A1B. Se proyecta que las temperaturas en la región del Atlántico aumenten a pesar de los cambios debidos al calentamiento mucho mayor asociado a los aumentos proyectados de los gases de efecto invernadero. Es *muy improbable* que la circulación anómala en el sentido meridional pase por una gran transición abrupta durante el siglo XXI. Cambios de un plazo más largo en la circulación anómala en el sentido meridional no pueden ser evaluadas con certeza. {10.3, 10.7}

Proyecciones de las Temperaturas de la Superficie por los AOGCMs

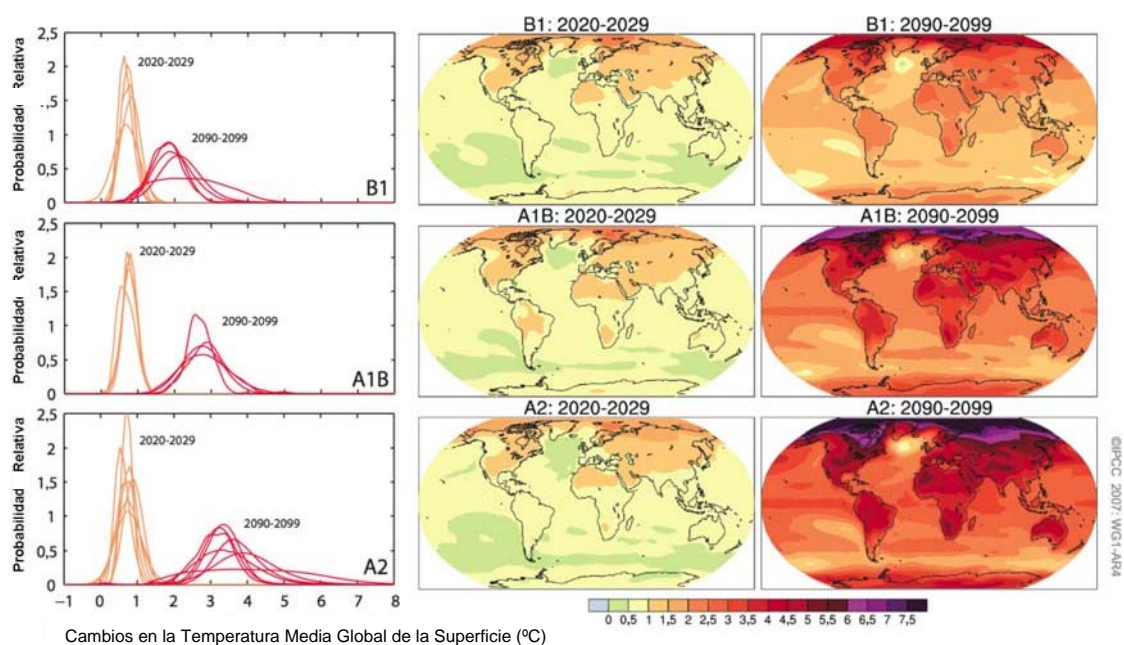


FIGURA SFP-6. Proyecciones de los cambios en la temperatura de la superficie para el inicio y el final del siglo XXI, con relación al período de 1980 a 1999. Los paneles centrales y del lado derecho muestran las proyecciones medias del Multimodelo de Circulación General de la Atmósfera-Océano para la media de los escenarios B1 (arriba), A1B (en el medio) y A2 (abajo) del RECE a lo largo de las décadas de 2020 a 2029 (en el centro) y 2090 a 2099 (a la derecha). El panel a la izquierda muestra las incertidumbres correspondientes, como las probabilidades relativas del calentamiento medio global estimado a partir de diferentes estudios con AOGCMs y EMICs para los mismos períodos. Algunos estudios presentan resultados apenas para un subconjunto de los escenarios del RECE o para varias versiones de los modelos. Por tanto, la diferencia en el número de curvas, mostradas en los paneles del lado izquierdo, se debe apenas a las diferencias en la disponibilidad de los resultados. {Figuras 10.8 e 10.28}

- El acoplamiento del clima-ciclo del carbono debe acrecentar dióxido de carbono a la atmósfera, a medida que el sistema climático se caliente, aunque la magnitud de ese *feedback* es incierta. Eso aumenta la incertidumbre en la trayectoria de las emisiones de dióxido de carbono necesarias para alcanzar un determinado nivel de estabilización de la concentración atmosférica de dióxido de carbono. En base a la comprensión actual del *feedback* del clima-ciclo del carbono, los estudios con modelos sugieren que para estabilizarse en 450ppm, sería necesario que las emisiones cumulativas de dióxido de carbono a lo largo del siglo XXI fuesen reducidas de una media de aproximadamente 670 [630 a 710] GtC (2460 [2310 a 2600] GtCO₂) para aproximadamente 490 [375 a 600] GtC (1800 [1370 a 2200] GtCO₂). De forma similar, para estabilizarse en 1000 ppm, ese *feedback* podría necesitar que las emisiones cumulativas fuesen reducidas de una media del modelo de aproximadamente 1415 [1340 a 1490] GtC (5190 [4910 a 5460] GtCO₂) para cerca de 1100 [980 a 1250] GtC (4030 [3590 a 4580] GtCO₂). {7.3, 10.4}
- Si el forzamiento radioactivo se estabilizase en el 2100 en los niveles de los escenarios B1 o A1B¹¹, un aumento adicional en la temperatura media global de cerca de 0,5°C aún sería esperado, principalmente hasta 2200. {10.7}
- Si el forzamiento radioactivo se estabilizase en el 2100 en los niveles del escenario A1B¹¹, la expansión térmica sola implicaría una elevación del nivel del mar de 0,3 a 0,8 m hasta el 2300 (relativa al período 1980-1999). La expansión térmica continuaría por muchos siglos, debido al tiempo necesario para transportar el calor a las profundidades del océano. {10.7}

Patrones Projectados de Cambios en la Precipitación

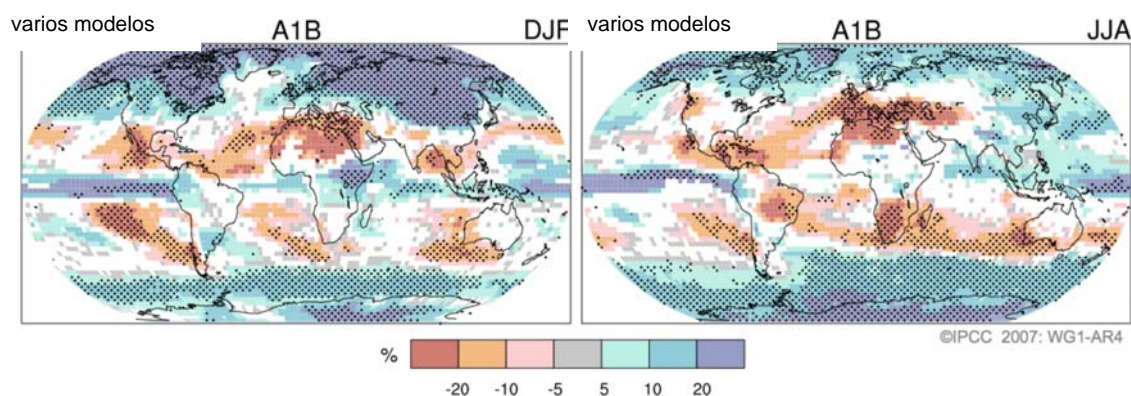


FIGURA SFP-7. Cambios relativos en la precipitación (en porcentaje) para el período de 2090 a 2099, con relación al período de 1980 a 1999. Los valores son medias de varios modelos, en base al escenario A1B del RECE para el período de diciembre a febrero (a la izquierda) y junio a agosto (a la derecha). Las áreas blancas están donde menos de 66% de los modelos concuerdan con el punto de cambio y las áreas punteadas están donde más del 90% de los modelos concuerdan con el punto de cambio. {Figura 10.9}

- Se proyecta que la contracción de la capa de hielo de Groenlandia continúe contribuyendo a la elevación del nivel del mar después del 2100. Los modelos actuales sugieren que las pérdidas de masa de hielo aumentarán con la temperatura más rápidamente que las ganancias debidas a la precipitación y que el equilibrio de masa de la superficie se tornará negativo en un calentamiento medio global (relativo a los valores preindustriales) arriba de 1,9 a 4,6°C. Si un equilibrio negativo de masa de la superficie se mantuviese por milenios, sería, por consecuencia, la eliminación prácticamente completa del manto de hielo de Groenlandia y una resultante contribución para la elevación del nivel del mar de cerca de 7 m. Las correspondientes temperaturas futuras en Groenlandia son comparables a las inferidas para el último período interglaciar 125.000 años atrás, cuando las informaciones paleoclimáticas sugieren reducciones de la extensión del hielo terrestre polar y 4 a 6 m de elevación del nivel del mar. {6.4, 10.7}
- Procesos dinámicos relacionados con el flujo de hielo que no constan en los modelos actuales pero fueron mencionados en observaciones recientes podrían aumentar la vulnerabilidad de las capas de hielo al calentamiento, aumentando la futura elevación del nivel del mar. La comprensión de esos procesos es limitada y no hay consenso sobre su magnitud. {4.6, 10.7}
- Estudios globales actuales de modelaje proyectan que la capa de hielo de la Antártida continuará muy fría para un derretimiento generalizado de la superficie y debe ganar masa debido al aumento de la nieve. Sin embargo, podría ocurrir una pérdida líquida de masa de hielo si la descarga dinámica de hielo domina el equilibrio de masa de la capa de hielo. {10.7}
- Las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono pasadas y futuras continuarán contribuyendo para el calentamiento y la elevación del nivel del mar por más de un milenio, debido de las escalas de tiempo necesarias para la remoción de ese gas de la atmósfera. {7.3, 10.3}

Los Escenarios de Emisiones del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (RECE) del IPCC¹⁷

A1. El enredo y la familia de escenarios A1 describen un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido, con la población global alcanzando un pico a mediados de siglo y declinando posteriormente, junto a la rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Las principales cuestiones subyacentes son la convergencia entre las regiones, la capacitación y el aumento de las interacciones culturales y sociales, con una reducción substancial de las diferencias regionales en la *renda per capita*. La familia de escenarios A1 se divide en tres grupos que describen direcciones alternativas de cambio tecnológica en el sistema energético. Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológica: intensiva en el uso de combustibles fósiles (A1F1), fuentes energéticas no fósiles (A1T) o un equilibrio entre todas las fuentes (A1B) (en que el equilibrio es definido como no se depender mucho de una determinada fuente de energía, suponiéndose que tasas similares de perfeccionamiento sean aplicadas a todas las tecnologías de oferta de energía y uso final).

A2. El enredo y la familia de escenarios A2 describen un mundo muy heterogéneo. El tema subyacente es la autosuficiencia y la preservación de las identidades locales. Los patrones de fertilidad entre las regiones convergen muy lentamente, lo que acarrea un aumento creciente de la población. El desarrollo económico es orientado primeramente para la región y el crecimiento económico *per capita* y el cambio tecnológico son más fragmentados y más lentos que en los otros enredos.

B1. O enredo y la familia de escenarios B1 describen un mundo convergente con la misma población global, que alcanza el pico a mediados del siglo y declina posteriormente, como en el enredo A1, pero con un cambio rápido en las estructuras económicas en dirección a una economía de servicios e información, con reducciones de la intensidad material y la introducción de tecnologías limpias y eficientes con relación al uso de los recursos. El énfasis está en las soluciones globales para la sustentabilidad económica, social y ambiental, inclusive la mejoría de la equidad, pero sin iniciativas adicionales relacionadas con el clima.

B2. El enredo y familia de escenarios B2 describen un mundo en que el énfasis está en las soluciones locales para la sustentabilidad económica, social y ambiental. Es un mundo en que la población global aumenta continuamente, a una tasa inferior a la del A2, con niveles intermediarios de desarrollo económico y un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en los enredos B1 y A1. El escenario también está orientado para la protección ambiental y la equidad social, aunque su foco son los niveles local y regional.

Un escenario ilustrativo fue elegido para cada uno de los seis grupos de escenarios A1B, A1F1, A1T, A2, B1 y B2. Todos deben ser considerados igualmente sólidos.

Los escenarios del RECE no involucran iniciativas adicionales con relación al clima, lo que significa que ningún escenario adopta explícitamente la implementación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático o las metas de reducción de emisiones del Protocolo de Kyoto.

¹⁷ Los escenarios de emisiones no son evaluados en este informe del Grupo de Trabajo I del IPCC. Este cuadro con una síntesis de los escenarios del RECE fue sacado del TRA y sometido a la aprobación, línea por línea, del Panel.