

INFORME CANVI CLIMÀTIC

A continuació vos oferim l'Informe Canvi Climàtic 2007, redactat pel Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático després de la seva reunió a París el febrer d'enguany. En aquest informe es destaca la responsabilitat humana en el canvi climàtic i la necessitat de que els estats actuïn per aturar-lo.



REUTERS/CORDON PRESS

Las temperaturas aumentan, los glaciares se funden, los patrones de las lluvias, los vientos y las sequías se han transformado. El hombre es responsable del proceso de calentamiento de los últimos 150 años. El cambio medioambiental parece imparable. Ha llegado la hora –escriben los autores del Panel para el Cambio Climático– de que los Estados actúen.

Cambio Climático 2007: las bases de la ciencia física

Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

Reunidos en París a principios de febrero, los expertos mundiales sobre Cambio Climático fueron claros en sus conclusiones: existe una alta responsabilidad de la actividad humana en el calentamiento de la Tierra. Es el momento de que los Estados intervengan.

La contribución del Grupo de Trabajo I al *Cuarto informe de evaluación* del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, siglas en inglés) describe el progreso en la comprensión de los causantes humanos y naturales del cambio climático,¹ el cambio observado, los procesos y atribuciones del clima y los cálculos sobre los cambios futuros previstos. Se suma a evaluaciones anteriores del IPCC e incorpora nuevos hallazgos de los últimos seis años de investigación. El progreso desde el *Tercer informe de evaluación* (TIE) se debe a la gran cantidad de nuevos datos más exhaustivos, análisis más sofisticados, mejoras en la comprensión de los procesos y su simulación en modelos y una exploración más amplia de rangos de incertidumbre.

Causantes humanos y naturales

Los cambios en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero y aerosoles, en la radiación solar y en las propiedades de la tierra alteran el equilibrio energético del sistema climático. Estos cambios se expresan en función del forzamiento radiativo,² que se utiliza para comparar cómo un rango de factores humanos y naturales impulsa influencias de calentamiento o enfriamiento en el clima global. Desde el TIE, nuevas observaciones y modelos relacionados de gases de efecto invernadero, actividad solar, propieda-

Contribución del Grupo de Trabajo I al *Cuarto informe de evaluación* del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Extracto del resumen para políticos aprobado oficialmente en la 10ª sesión del Grupo de Trabajo I del IPCC (París, febrero de 2007).

des de la superficie de la Tierra y ciertos aspectos de los aerosoles han llevado a mejoras en los cálculos cuantitativos del forzamiento radiativo.

Las concentraciones atmosféricas globales de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso han aumentado notablemente a consecuencia de las actividades humanas desde 1750, y ahora superan con diferencia los valores preindustriales determinados por muestras de hielo que abarcan muchos miles de años. Los incrementos globales en la concentración de dióxido de carbono se deben, principalmente, al consumo de combustibles fósiles y a los cambios en el uso de la tierra, mientras que las concentraciones de metano y óxido nitroso tienen su origen principalmente en la agricultura.

El dióxido de carbono es el gas invernadero antropogénico más importante. La concentración atmosférica global de dióxido de carbono ha pasado de un valor preindustrial de unas 280 ppm a 379 ppm en 2005.³ La concentración atmosférica de dióxido de carbono en 2005 supera con diferencia el rango natural de los últimos 650.000 años (180 a 300 ppm) determinado a partir de muestras de hielo. La tasa de crecimiento anual de la concentración de dióxido de carbono fue mayor durante los últimos 10 años (1995-2005, promedio: 1,9 ppm al año) que desde el comienzo de las mediciones atmosféricas continuas y directas (1960-2005, promedio: 1,4 ppm al año), aunque se da una variabilidad por años en las tasas de crecimiento.

El principal causante de una mayor concentración atmosférica de dióxido de carbono desde el periodo preindustrial es el consumo de combustibles fósiles, y los cambios en el uso de la tierra ofrecen otra contribución significativa pero menor. Las emisiones anuales de dióxido de carbono fósil⁴ pasaron de un promedio de 6,4 GtC (23,5 GtCO₂) anual en la década de 1990, a 7,2 GtC (26,4 GtCO₂) en 2000-05 (los datos de 2004 y

1. Cambio climático en su uso por el IPCC se refiere a cualquier cambio en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a una variabilidad natural o a consecuencia de la actividad humana. Este uso difiere de la Convención sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, donde cambio climático hace referencia a un cambio atribuido directa o indirectamente a una actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada en periodos de tiempo comparables.

2. El forzamiento radiativo es una medición de la influencia que tiene un factor al alterar el equilibrio de energía entrante y saliente en el sistema atmosférico de la Tierra, y es un índice de la importancia del factor como mecanismo potencial de cambio climático. Un forzamiento positivo tiende a calentar la superficie, mientras que uno negativo tiende a enfriarla. En este informe, los valores de forzamiento radiativo corresponden a 2005 en relación con las condiciones preindustriales definidas en 1750, y se expresan en vatios por metro cuadrado (W m⁻²).

3. Ppm (partes por millón) o ppb (partes por billón, 1 billón = 1.000 millones) es la proporción del número de moléculas de gases de efecto invernadero con respecto al número total de moléculas de aire seco. Por ejemplo: 300 ppm significa 300 moléculas de un gas invernadero por cada millón de moléculas de aire seco.

4. Las emisiones de dióxido de carbono fósil incluyen las de la producción, distribución y consumo de combustibles fósiles y el subproducto de la producción de cemento. Una emisión de 1 GtC corresponde a 3,67 GtCO₂.

2005 son cálculos provisionales). Se estima que las emisiones de dióxido de carbono asociadas a los cambios en el uso de la tierra son de 1,6 GtC (5,9 GtCO₂) al año durante la década de 1990, aunque estos cálculos son muy inciertos.

La concentración atmosférica global de metano ha pasado de un valor preindustrial de unas 715 ppb a 1732 ppb a principios de los años noventa, y es de 1774 ppb en 2005. La concentración atmosférica de metano en 2005 supera con diferencia el rango natural de los últimos 650.000 años (320 a 790 ppb) determinado a partir de muestras de hielo. Las tasas de crecimiento han disminuido desde principios de los años noventa, lo cual coincide con que las emisiones totales (suma de orígenes antropogénicos y naturales) son casi constantes durante este periodo. Es *muy probable* que el incremento observado en la concentración de metano responda a actividades antropogénicas, especialmente el uso agrícola y el consumo de combustibles fósiles, pero las contribuciones relativas de diferentes causas no se han determinado adecuadamente.

La concentración atmosférica de óxido nitroso global pasó de un valor preindustrial de unas 270 ppb a 319 ppb en 2005. La tasa de crecimiento ha sido más o menos constante desde 1980. Más de un tercio de todas las emisiones de óxido nitroso son antropogénicas y se deben principalmente a la agricultura.

La comprensión del calentamiento antropogénico y las influencias de enfriamiento del clima han mejorado desde el TIE, lo cual ha llevado a un alto grado de seguridad en que el efecto neto de las actividades humanas calculado globalmente desde 1750 ha sido el del calentamiento, con un forzamiento radiativo de +1,6 [+0,6 a +2,4] W m⁻².

El forzamiento radiativo combinado debido a incrementos en el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso es de +2,30 [+2,07 a +2,53] W m⁻², y es *muy probable* que su tasa de aumento durante la era industrial no tuviera precedentes en más de 10.000 años. El forzamiento radiativo del dióxido de carbono aumentó un 20 por cien entre 1995 y 2005, el mayor cambio para cualquier década como mínimo en los últimos 200 años.

Las contribuciones antropogénicas a los aerosoles (principalmente sulfato, carbono orgánico, carbono negro, nitrato y polvo) producen un efecto de enfriamiento, con un forzamiento radiativo directo total de -0,5 W m⁻² y un forzamiento indirecto del albedo de las nubes de -0,7 W m⁻². Ahora se comprenden mejor estos forzamientos que en el momento del TIE, gracias a unas mejores mediciones sobre el terreno y por satélite, y unos modelos más exhaustivos, pero siguen siendo la mayor incógnita en el forzamiento radiativo. Los aerosoles también influyen en la duración de la vida de las nubes y las precipitaciones.

Otras fuentes tienen también contribuciones antropogénicas significativas al forzamiento radiativo. Los cambios en el ozono troposférico debidos a emisiones de productos químicos formadores de ozono (óxidos de

nitrógeno, monóxido de carbono e hidrocarburos) contribuyen $+0,35 \text{ W m}^{-2}$. El forzamiento radiativo directo ocasionado por cambios en los halocarbonos es de $+0,34 \text{ W m}^{-2}$. Los cambios en el albedo de la superficie, debidos a cambios en la cobertura de la tierra y al depósito de aerosoles de carbono negro sobre la nieve, ejercen unos forzamientos respectivos de $-0,2$ y $+0,1 \text{ W m}^{-2}$.

Se calcula que los cambios en la radiación solar desde 1750 provocan un forzamiento radiativo de $+0,12 \text{ W m}^{-2}$, que es menos de la mitad del cálculo ofrecido por el TIE.

Observaciones sobre el cambio climático reciente

Desde el TIE, se han hecho progresos para comprender cómo está cambiando el clima en el espacio y el tiempo mediante mejoras y ampliaciones de numerosas series de datos y análisis de información, una cobertura geográfica más amplia, un mayor entendimiento de las incertidumbres y una variedad más amplia de mediciones. Desde los años sesenta se dispone de unas observaciones cada vez más exhaustivas de glaciares y cubiertas de nieve, así como del nivel del mar y las plataformas de hielo desde la pasada década. Sin embargo, la cobertura de datos todavía es limitada en algunas regiones.

El calentamiento del clima es inequívoco, como han mostrado las observaciones de incrementos en las temperaturas medias del aire y el océano en todo el mundo, el deshielo generalizado y el aumento global del nivel del mar.

De los últimos 12 años (1995-2006), 11 están entre los más calurosos del archivo de temperaturas de la superficie mundial (desde 1850). Por tanto, la tendencia lineal de 100 años (1906-2005) de $0,74 \text{ °C}$ es mayor que la tendencia correspondiente para 1901-2000 incluida en el TIE de $0,6 \text{ °C}$. La tendencia de calentamiento lineal durante los últimos 50 años ($0,13 \text{ °C}$ por década) casi duplica a la de los últimos 100 años. El aumento total en la temperatura de 1850-99 a 2001-05 es de $0,76 \text{ °C}$. El efecto isla de calor urbano es real, pero local, y tiene una influencia mínima (menos de $0,006 \text{ °C}$ por década sobre la tierra y cero sobre los océanos) en estos valores.

Nuevos análisis de la temperatura de la troposfera baja y media realizados desde globos y satélites demuestran unos índices de calentamiento similares a los del registro de temperaturas de la superficie y coinciden dentro de sus respectivas incertidumbres, lo cual reconcilia en gran medida una discrepancia señalada en el TIE.

El contenido medio de vapor de agua atmosférico ha aumentado al menos desde los años ochenta sobre la tierra y el océano, así como en la troposfera alta. El aumento en general coincide con el vapor de agua adicional que el aire más caliente puede retener.

Las observaciones realizadas desde 1961 demuestran que la temperatura media del océano global ha aumentado hasta profundidades de, al menos, 3.000 metros y que el océano ha absorbido más del 80 por cien del calor añadido al sistema climático. Ese calentamiento hace que se expanda el agua marina, lo cual contribuye al aumento del nivel del mar.

El promedio de los glaciares de montaña y la cubierta de nieve han disminuido en ambos hemisferios. Las disminuciones generalizadas de los glaciares y los casquetes polares han contribuido a la subida del nivel del mar (los casquetes polares no incluyen contribuciones de las plataformas de hielo de Groenlandia y el Antártico).

En la actualidad, nuevos datos del TIE demuestran que es *muy probable* que las pérdidas de las plataformas de hielo de Groenlandia y el Antártico contribuyeran a la subida del nivel del mar registrada entre 1993 y 2003. La velocidad de flujo ha aumentado en el caso de algunos glaciares efluentes de Groenlandia y el Antártico, que drenan hielo del interior de las plataformas. El correspondiente aumento de la pérdida de masa de la plataforma de hielo ha llegado con frecuencia tras una pérdida de espesor, una reducción o una pérdida de plataformas de hielo o de lenguas de glaciares flotantes. Ese deshielo es suficiente para explicar la mayor parte de la pérdida neta de masa antártica y aproximadamente la mitad de la reducción neta de masa de Groenlandia. El resto de la pérdida de hielo en Groenlandia se ha producido porque el deshielo ha superado la acumulación debida a las nevadas.

El promedio del nivel del mar global subió a un ritmo medio de 1,8 milímetros anuales de 1961 a 2003. La velocidad fue superior entre 1993 y 2003, con unos 3,1 mm al año. No está claro si este incremento refleja una variabilidad por décadas o en la tendencia a largo plazo. Hay *constancia* de que el ritmo del incremento del nivel del mar fue mayor del siglo XIX al XX. El aumento total en el siglo XX se calcula en 0,17 metros.

Para el periodo 1993-2003, la suma de las contribuciones climáticas coincide con el aumento total del nivel del mar observado. Estos cálculos se basan en una mejora de los datos por satélite y sobre el terreno. Para el periodo 1961-2003, se calcula que las contribuciones climáticas fueron inferiores al aumento del nivel del mar. El TIE indicaba una discrepancia similar para el periodo 1910-90.

A escala continental, regional y de las cuencas oceánicas, se han observado numerosas transformaciones del clima a largo plazo. Estas transformaciones incluyen desde cambios en las temperaturas y el hielo del Ártico, a cambios generalizados en la cantidad de precipitaciones, la salinidad de los océanos, los patrones de los vientos y manifestaciones extremas, como sequías, fuertes precipitaciones, olas de calor e intensidad de los ciclones tropicales.

El promedio de temperaturas del Ártico aumentó casi al doble de la velocidad global media en los últimos 100 años. Las temperaturas del Ártico

presentan una elevada variabilidad por décadas, y también se observó un periodo cálido de 1925 a 1945.

Los datos recabados por satélite desde 1978 demuestran que el promedio de extensión del hielo marino del Ártico se ha reducido en un 2,7 por cien por década, con disminuciones superiores en verano de 7,4 por cien. Estos valores coinciden con los aparecidos en el TIE.

Las temperaturas de la parte superior del hielo permanente han aumentado, en general, desde los años ochenta en el Ártico (hasta 3 °C). El área máxima cubierta por terreno helado por temporada ha disminuido en torno a un siete por cien en el hemisferio Norte desde 1900, con una reducción en primavera de hasta el 15 por cien.

De 1900 a 2005, se han observado tendencias a largo plazo en la cantidad de precipitaciones en numerosas regiones extensas. Asimismo, se ha producido un aumento significativo de las precipitaciones en zonas orientales de las dos Américas, el norte de Europa y el norte y el centro de Asia; una mayor sequedad en la región del Sahel, el Mediterráneo, el sur de África y partes de Asia meridional. Las precipitaciones son muy variables espacial y temporalmente, y en algunas regiones los datos son limitados. No se han observado tendencias a largo plazo para las demás regiones evaluadas.

Un enfriamiento de las aguas a altitudes medias y altas, junto con una mayor salinidad a baja altitud, indican cambios en las precipitaciones y en la evaporación de los océanos.

Los vientos del Oeste a latitudes intermedias han cobrado más fuerza en ambos hemisferios desde los años sesenta.

Se han observado sequías más intensas y prolongadas en amplias zonas desde los años setenta, especialmente en los trópicos y subtrópicos. Una mayor sequedad vinculada a unas temperaturas más altas y unas precipitaciones en descenso han contribuido a los cambios en los patrones de la sequía. Las transformaciones en la temperatura de la superficie marina (TSM), los patrones de los vientos y unas masas y una cobertura de nieve reducidas también se han relacionado con las sequías.

La frecuencia de las precipitaciones fuertes ha aumentado en la mayoría de las zonas de tierra, lo cual coincide con el calentamiento y los incrementos de vapor de agua en la atmósfera.

Se han observado cambios generalizados en las temperaturas extremas durante los últimos 50 años. Los días y las noches fríos y las heladas se han vuelto menos frecuentes, mientras que los días y las noches calurosos y las olas de calor son más habituales.

Existen pruebas que indican un aumento de la actividad de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte desde aproximadamente 1970, correlacionado con incrementos en las temperaturas de la superficie de los mares tropicales. También hay indicios de una mayor actividad de los ciclones tropicales en otras regiones, donde la preocupación por la calidad de los datos es mayor. La

variabilidad entre décadas y la calidad de los registros de ciclones tropicales antes de las observaciones rutinarias por satélite en torno a 1970 complican la detección de tendencias a largo plazo en la actividad de los ciclones tropicales. No existe una tendencia clara en las cifras anuales de ciclones tropicales.

No se han visto cambios en algunos aspectos climáticos:

En el TIE se mencionaba una disminución del rango de temperaturas diurnas (RTD), pero los datos de los que se disponía entonces solo abarcaban de 1950 a 1993. Observaciones actualizadas revelan que el RTD no ha variado de 1979 a 2004, ya que las temperaturas diurnas y nocturnas han aumentado más o menos a la misma velocidad. Las tendencias son muy variables de una región a otra.

La extensión del hielo marítimo del Antártico sigue mostrando una variabilidad interanual y cambios localizados, pero ningún promedio estadísticamente significativo, lo cual coincide con la ausencia de calentamiento reflejada en las temperaturas atmosféricas cuya media se ha calculado en toda la región.

No se dispone de pruebas suficientes para determinar si existen tendencias en la circulación meridional inversa del océano global o en fenómenos a pequeña escala como tornados, granizo, relámpagos y tormentas de polvo.

Perspectiva paleoclimática

Los estudios paleoclimáticos utilizan indicadores climáticamente sensibles para inferir cambios ocurridos en el clima global, con una escala temporal que va desde varias décadas a millones de años. Estos datos indirectos (por ejemplo el ancho de los anillos de los árboles) pueden verse influidos por la temperatura local y por otros factores, como las precipitaciones, y a menudo representan más bien estaciones particulares en vez de años completos. El aumento de la fiabilidad de los estudios realizados desde el TIE se debe a la existencia de datos adicionales que muestran un comportamiento coherente respecto a numerosos indicadores procedentes de diferentes partes del mundo. Sin embargo, la incertidumbre generalmente aumenta según uno se aleja en el tiempo, debido a la disminución de la cobertura espacial.

La información paleoclimática respalda la interpretación de que el calentamiento del último medio siglo es inusual, por lo menos respecto a los últimos 1.300 años. La última vez que las regiones polares estuvieron significativamente más calientes que en el presente durante un periodo de tiempo extenso (hace aproximadamente 125.000 años), la reducción del volumen de hielo polar llevó a un aumento del nivel del mar de entre cuatro y seis metros.

Es muy probable que las temperaturas medias en el hemisferio Norte durante la segunda mitad del siglo XX fuesen más altas que durante cual-

quier otro periodo de 50 años en los últimos 500 años, y es probable que fuesen las más altas por lo menos en los últimos 1.300 años. Algunos estudios recientes indican una variabilidad más alta en las temperaturas del hemisferio Norte que la insinuada en el TIE, especialmente tras descubrirse que hubo periodos más fríos en los siglos XII a XIV, en el XVII y en el XIX. Los periodos más calientes anteriores al siglo XX están cubiertos por el margen de incertidumbre asumido en el TIE.

Es *probable* que el nivel medio del mar en el último periodo interglacial (hace aproximadamente 125.000 años) fuese entre cuatro y seis metros más alto que en el siglo XX, debido sobre todo al retroceso del hielo polar. Los datos obtenidos del hielo indican que, de media, las temperaturas polares en esa época eran entre 3 °C y 5 °C más altas que en la actualidad, debido a diferencias en la órbita de la Tierra. Es probable que la capa de hielo de Groenlandia y otros campos de hielo causasen no más de cuatro metros de la subida del nivel del mar. También puede haber habido una contribución de la Antártida.

Comprender y explicar el cambio climático

Esta valoración tiene en cuenta el aumento y la calidad de los datos, un radio de observaciones ampliado y las mejoras en la simulación de numerosos aspectos del cambio climático y de su variabilidad, basándose en estudios llevados a cabo desde el TIE. También tiene en cuenta los resultados de nuevos estudios de atribución en los que se ha evaluado si los cambios observados guardan una coherencia cuantitativa con la respuesta esperada ante fuerzas externas que no son coherentes con explicaciones alternativas físicamente plausibles.

Es *muy probable* que la mayor parte del incremento observado desde mediados del siglo XX en las temperaturas globales medias se deba al incremento observado en las concentraciones de gases de efecto invernadero antropogénicos. Esto representa un avance con respecto a las conclusiones del TIE de que “es *probable* que la mayor parte del calentamiento observado en los últimos 50 años se deba a un incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero”. La influencia humana discernible ahora se extiende a otros aspectos del clima, como el calentamiento de los océanos, las temperaturas medias continentales, los extremos de temperatura y los patrones del viento.

Es *probable* que, por sí solo, el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero hubiese causado más calentamiento del observado porque los aerosoles volcánicos y antropogénicos han compensado parte del calentamiento producido.

El calentamiento generalizado de la atmósfera y de los océanos observados, sumado a la pérdida de hielo, respalda la conclusión de que es *extremadamente improbable* que el cambio climático global de los últimos 50 años se pueda explicar sin forzamiento externo, y de que es *muy probable* que no se deba únicamente a causas naturales conocidas.

El calentamiento del sistema climático ha sido detectado a través de cambios en las temperaturas en la atmósfera y en la superficie, en las temperaturas de los cientos de metros superiores del océano, y el aumento del nivel del mar. Los estudios han establecido contribuciones antropogénicas en todos estos cambios. Es *muy probable* que el patrón observado de calentamiento troposférico y enfriamiento estratosférico se deba a la influencia combinada del aumento de los gases de efecto invernadero y de la desaparición del ozono estratosférico.

Es *probable* que se haya producido un considerable calentamiento antropogénico en los últimos 50 años promediado en todos los continentes excepto la Antártida. Los patrones de calentamiento observados, que incluyen un mayor calentamiento sobre la tierra que sobre el mar, así como sus cambios a lo largo del tiempo, solo son simulados por modelos que tienen en cuenta el forzamiento antropogénico. La capacidad de los modelos climáticos conjuntos para simular la evolución observada de la temperatura en cada uno de los seis continentes proporciona más pruebas de la influencia humana sobre el clima de las que se disponía para la elaboración del TIE.

Siguen existiendo dificultades para simular y explicar con fiabilidad los cambios de temperatura observados a menores escalas. A estas escalas, la variabilidad natural del clima es relativamente mayor, lo cual hace que sea más difícil distinguir los cambios causados por factores externos. Las incertidumbres relativas a los forzamientos y las retroalimentaciones locales también dificultan el cálculo de la contribución de los gases de efecto invernadero en los cambios de temperatura observados a pequeña escala.

Es *probable* que los forzamientos antropogénicos hayan contribuido al cambio en los patrones del viento, afectando al recorrido de las tormentas extra-tropicales y a los patrones de temperatura en ambos hemisferios. Sin embargo, los cambios observados en la circulación del hemisferio Norte son mayores que los simulados, debido a los cambios acontecidos en el siglo XX.

Es *probable* que las temperaturas de las noches calientes, noches frías y días fríos más extremos hayan aumentado debido al forzamiento antropogénico. Hay más *probabilidades a favor que en contra* de que las fuerzas antropogénicas hayan aumentado el riesgo de olas de calor.

El análisis de los modelos climáticos, sumado a las limitaciones de las observaciones, permite por primera vez llegar a una aproximación probable del margen de sensibilidad climática, y permite tener más seguridad en nuestra comprensión de la respuesta del sistema climático al forzamiento radiativo.

La sensibilidad climática de equilibrio es una medida de la respuesta del sistema climático al forzamiento radiativo constante. No es una proyección, sino que se define como el calentamiento medio global de la superficie en caso de doblarse las concentraciones de dióxido de carbono. Es *probable* que sea de entre 2 °C y 4,5 °C, siendo 3 °C el mejor cálculo, y es *muy poco probable* que sea de menos de 1,5 °C. No se pueden excluir valores considerablemente más altos que 4,5 °C, pero para esos valores los modelos no cuadrarían igual de bien con las observaciones. Los cambios en el vapor de agua representan la mayor retroalimentación que afecta a la sensibilidad climática, y se comprenden mejor ahora que en el TIE. La retroalimentación de las nubes sigue siendo la mayor fuente de incertidumbre.

Es *muy poco probable* que los cambios climáticos acaecidos por lo menos en los siete siglos anteriores a 1950 se debiesen a variabilidades generadas únicamente en el sistema climático. Es *muy probable* que una parte significativa de la variabilidad de la temperatura del hemisferio Norte a lo largo de esos siglos se debiese a erupciones volcánicas y a cambios en la irradiación solar, y es *probable* que el forzamiento antropogénico contribuyese al calentamiento ocurrido a principios del siglo XX y claramente visible en estos datos.

Proyecciones de futuros cambios en el clima

El gran número de simulaciones procedentes de un número mayor de modelos supone una mejoría en esta valoración de las proyecciones de cambio climático con respecto al TIE. Sumados a la información adicional que aportan las observaciones, proporcionan una base cuantitativa para calcular la probabilidad de numerosos aspectos del futuro cambio climático. Las simulaciones de modelos cubren toda una serie de futuros posibles, que incluyen asunciones idealizadas sobre emisiones y concentraciones. Éstas incluyen planteamientos básicos del *Informe Especial sobre Escenarios de Futuras Emisiones* (SRES, siglas en inglés) para el periodo 2000-2100, y experimentos de modelos con gases de efecto invernadero y concentraciones de aerosoles constantes después del año 2000 o 2100.

Para las próximas dos décadas se proyecta un calentamiento de aproximadamente 0,2 °C por década para una serie de supuestos sobre emisiones del SRES. Incluso si la concentración de todos los gases de efecto invernadero y de los aerosoles se mantuviese constante al nivel del año 2000, cabe esperar un calentamiento de aproximadamente 0,1 °C por década.

Desde el primer informe del IPCC en 1990, las proyecciones evaluadas han indicado aumentos de la temperatura media global de entre 0,15 °C y 0,3 °C por década entre 1990 y 2005. Esto puede compararse ahora con los valo-

res observados de aproximadamente 0,2 °C por década, lo cual refuerza la seguridad de las proyecciones a corto plazo.

Los experimentos con modelos muestran que, incluso si el forzamiento radiativo se mantuviese constante al nivel del año 2000, durante las dos décadas siguientes seguiría progresando el calentamiento a un ritmo de, aproximadamente, 0,1 °C por década, debido principalmente a la lenta reacción de los océanos. De corresponderse las emisiones con los distintos supuestos del SRES, se podría esperar un ritmo de calentamiento dos veces más alto (0,2 °C por década). En el mejor de los casos previstos, el calentamiento medio por década de cada continente habitado de aquí a 2030 no varía en función del planteamiento del SRES elegido, y es muy probable que sea al menos del doble que la variabilidad natural durante el siglo XX estimada en los modelos.

La emisión de gases de efecto invernadero al ritmo actual o a uno mayor causaría más calentamiento e induciría numerosos cambios en el sistema climático global durante el siglo XXI, que *muy probablemente* serían mayores que los observados durante el siglo XX.

Gracias a la mejora de los modelos del cambio climático, ahora se pueden dar mejores cálculos y la variación *probable* de la incertidumbre del calentamiento para diferentes escenarios de emisiones. En este informe se proporcionan explícitamente los diferentes escenarios sobre emisiones para evitar que se pierda esta información, importante para la formulación de políticas. Estos escenarios ilustran las diferencias entre las posibilidades de menores y mayores emisiones previstas en el SRES, así como la incertidumbre sobre el calentamiento prevista asociada a dichos escenarios.

Las mejores estimaciones y rangos *probables* del calentamiento medio global del aire para los seis escenarios del SRES aparecen en la tabla siguiente. Así, por ejemplo, se muestra el calentamiento medio global para finales del siglo XXI (2090-99) en relación a 1980-99. Esto ilustra las diferencias en-

Proyecciones globales de calentamiento e incremento del nivel del mar para finales del siglo XXI

	Variación de la temperatura (°C 2090-99 en relación a 1980-99) ^a		Incremento del nivel del mar (metros en 2090-99 en relación a 1980-99)
	Mejor estimación	Rango probable	Rango medio (excluyendo un cambio rápido futuro en el flujo del hielo)
Año constante 2000			
Concentraciones ^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

a. Estimaciones realizadas a partir de una jerarquía de modelos alrededor de un modelo simple de clima, algunos Earth Models of Intermediate Complexity (EMICs) y numerosos Atmosphere-Ocean Global Circulation Models (AOGCMs).

b. La composición constante del año 2000 se ha extraído solo de los AOGCMs.

Fuente: Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático.

tre los escenarios de emisiones del más bajos y más altos del SRES y las proyecciones de calentamiento asociadas a esos escenarios.

El calentamiento tiende a reducir la absorción terrestre y marítima del dióxido de carbono atmosférico y a incrementar la proporción de las emisiones antropogénicas que permanece en la atmósfera. Los niveles superiores calculados para las proyecciones de temperatura son mayores que en el TIE, especialmente a causa de que la mayor amplitud de escala de los modelos disponibles actualmente indica unas retroalimentaciones más fuertes del ciclo de carbono atmosférico.

Los modelos empleados hasta la fecha no incluyen incertidumbres en la retroalimentación del ciclo del carbono atmosférico, ni tampoco todos los efectos de los cambios en el flujo de la capa de hielo, porque falta una base en las obras publicadas. Las proyecciones incluyen una aportación debida al aumento del flujo de hielo procedente de Groenlandia y la Antártida al ritmo observado entre 1993 y 2003, pero dicho ritmo podría aumentar o disminuir en el futuro. Por ejemplo, si esta aportación creciera de manera lineal con el cambio medio global en la temperatura, los niveles superiores en la subida del nivel del mar para los supuestos del SRES aumentarían entre 0,1 y 0,2 metros. No se pueden excluir valores más elevados, pero la comprensión de esos efectos es demasiado limitada para calcular su probabilidad o proporcionar un cálculo mejor o un límite superior para la subida del nivel del mar.

Las concentraciones cada vez mayores de dióxido de carbono en la atmósfera llevan a un aumento de la acidificación del mar. Las proyecciones basadas en los escenarios del SRES dan una reducción media global en el PH de la superficie del mar de entre 0,14 a 0,35 unidades a lo largo del siglo XXI, que se suman al descenso actual de 0,1 unidades desde la era preindustrial.

En la actualidad, hay más seguridad en los modelos de proyección de calentamiento y otras características a escala regional, que incluyen cambios en los patrones de viento, en las precipitaciones y en algunos aspectos de las temperaturas extremas y del hielo.

El calentamiento proyectado para el siglo XXI muestra pautas geográficas independientes de los supuestos, similares a las que se han observado en las últimas décadas. Se prevé que el calentamiento será mayor en la tierra y en las latitudes septentrionales más altas, y menor en el océano Glacial Ártico y en partes del océano Atlántico Norte.

Las proyecciones muestran que el manto de nieve se contraerá. También se proyecta un aumento generalizado de la profundidad del deshielo en la mayoría de las regiones con *permafrost*.

El hielo del mar disminuirá tanto en el polo Norte como en la Antártida en todos los escenarios del SRES. En algunas proyecciones, el hielo ártico de final del verano desaparece casi por completo en la última parte del siglo XXI.

Es *muy probable* que los extremos de calor, las olas de calor y los episodios de precipitaciones sean más frecuentes.

Basándonos en una variedad de modelos, es *probable* que los ciclones tropicales (tifones y huracanes) futuros sean más intensos, con velocidades máximas mayores y precipitaciones más fuertes asociadas con el aumento paralelo de la (TSM) tropical. Se confía menos en las proyecciones de un descenso global en el número de ciclones tropicales. El aumento aparente de la proporción de tormentas muy intensas desde 1970 en algunas regiones es mucho mayor que el simulado por los modelos existentes para ese periodo.

Según las proyecciones, el curso de las tormentas extra-tropicales se trasladará hacia los polos, causando cambios en los patrones de viento, precipitaciones y temperatura, y continuando el modelo amplio de tendencias observadas en el último medio siglo.

Desde el TIE se comprenden mejor los patrones de precipitaciones proyectados. Son *muy probables* los aumentos de la cantidad de precipitaciones en las latitudes altas, mientras que en las regiones subtropicales es *probable* que se dé un descenso, lo que confirma los patrones observados en tendencias recientes.

Basándonos en simulaciones actuales, es *muy probable* que se reduzca la velocidad de la circulación rotatoria meridional (CRM) en el océano Atlántico durante el siglo XXI. Según las proyecciones, las temperaturas en la región atlántica aumentarán a pesar de estos cambios debido al calentamiento mucho mayor asociado con el aumento de los gases de efecto invernadero. Es *muy poco probable* que la CRM sufra una transición abrupta extensa durante el siglo XXI. No se puede calcular con seguridad cambios a más largo plazo en la CRM.

El calentamiento antropogénico y la subida del nivel del mar continuarán durante siglos debido a las escalas de tiempo asociadas con los procesos climáticos y la retroalimentación, aunque las concentraciones de gases de efecto invernadero se estabilicen.

Está previsto que la combinación del ciclo del carbono atmosférico añada dióxido de carbono a la atmósfera a medida que se caliente el sistema climático, pero la magnitud de esta realimentación es incierta. Esto aumenta la incertidumbre en la trayectoria de las emisiones de dióxido de carbono que se requieren para conseguir un nivel de estabilización concreto en la concentración de dióxido de carbono atmosférico. Basándonos en la comprensión actual de la realimentación del ciclo del carbono atmosférico, el estudio de los modelos indica que, para que se estabilizara el dióxido de carbono a 450 ppm, podría ser necesario que las emisiones acumuladas a lo largo del siglo XXI se redujeran desde una media de aproximadamente 670 [GtC (2.460 GtCO₂) hasta aproximadamente 490 GtC (1.800 GtCO₂). De modo similar, para que se estabilizara a 1.000 ppm, esta realimentación podría requerir que las emisiones acumulativas se redujeran de una media de aproximadamente 1.415 GtC (5.190 GtCO₂) hasta aproximadamente 1.100 GtC (4.300 GtCO₂).

Aunque la alteración de las radiaciones se estabilizase en el año 2100 a unos niveles determinados, se seguiría esperando un aumento en la temperatura media global de unos $0,5^{\circ}\text{C}$ en general para el año 2200.

Aunque la alteración de las radiaciones se estabilizase en el año 2100 a esos niveles, solo la elevación térmica llevaría a una subida del nivel del mar de 0,3 a 0,8 metros hacia el año 2300 (en comparación con el nivel entre 1980 y 1999). La elevación térmica continuaría durante muchos siglos, debido al tiempo que se requiere para transportar el calor a las profundidades del océano.

Se prevé que la contracción de la capa de hielo en Groenlandia seguirá contribuyendo a la subida del nivel del mar después de 2100. Los modelos actuales indican que la pérdida de masa de hielo aumenta con las temperaturas más rápidamente de lo que crece gracias a las precipitaciones, y que el equilibrio de la masa superficial se vuelve negativo con un calentamiento medio global (en comparación con los valores preindustriales) de como mucho entre $1,9$ a $4,6^{\circ}\text{C}$. Si este equilibrio de la masa superficial fuera negativo durante milenios, llevaría a la desaparición casi total de la capa de hielo de Groenlandia, lo cual provocaría una subida del nivel del mar de siete metros. Las temperaturas futuras correspondientes para Groenlandia son comparables a las deducidas para el último periodo interglacial de hace 125.000 años, para el que la información paleoclimática indica la reducción de la extensión del hielo sobre el polo y una subida del nivel del mar de entre cuatro y seis metros.

Los procesos dinámicos relacionados con el flujo del hielo no incluidos en los modelos actuales, pero sí sugeridos por recientes observaciones, podrían aumentar la vulnerabilidad de las capas de hielo ante el calentamiento, y aumentar la subida del nivel del mar en el futuro. La comprensión de estos procesos es limitada y no hay consenso sobre su magnitud.

Los estudios actuales sobre modelos globales indican que la capa de hielo en la Antártida seguirá siendo demasiado fría como para que se produzca un deshielo generalizado de la superficie y está previsto que su masa aumente debido a un incremento de las nevadas. Sin embargo, podría producirse una pérdida neta de masa helada si el desprendimiento dinámico de hielo domina el equilibrio de la masa de la capa de hielo.

Las emisiones antropogénicas de carbono pasadas y futuras seguirán contribuyendo al calentamiento y a la subida del nivel del mar durante más de un milenio, debido a las escalas de tiempo que se requieren para eliminar esos gases de la atmósfera.

ESCENARIOS SOBRE FUTURAS EMISIONES

A1. Este escenario describe un mundo futuro de crecimiento económico muy rápido, una población global que alcanza su máximo a mediados de siglo pero que después desciende, y la rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficaces. Otros asuntos de importancia subyacente son la convergencia entre las regiones, su crecimiento y el aumento de las interacciones sociales y culturales, con una reducción sustancial de las diferencias regionales en ingresos per cápita. El escenario A1 se desarrolla en tres grupos que describen direcciones alternativas para el cambio tecnológico en el sistema de energía. Los tres grupos A1 se distinguen por su énfasis tecnológico: uso intensivo de combustibles fósiles (A1F1), fuentes de energía no fósiles (A1T) o un equilibrio entre todas las fuentes (A1B) (en el que el equilibrio se define como no dependiente en exceso de una fuente de energía en concreto, asumiendo que se aplica un ritmo de mejora similar a todos los suministros de energía y a las tecnologías que los usan).

A2. El escenario A2 describe un mundo heterogéneo. El asunto subyacente es la autodependencia y la conservación de las identidades locales. Los patrones de fertilidad en todas las regiones convergen muy lentamente, lo cual desemboca en una población de crecimiento continuo. El desarrollo económico está orientado principalmente hacia cada región y el crecimiento económico per cápita y el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros modelos.

B1. El escenario B1 describe un mundo convergente con la misma población global, que alcanza su máximo a mediados de siglo y desciende a partir de entonces, como en A1, pero con un cambio rápido en las estructuras económicas hacia una economía de información y servicios, con reducciones de la intensidad material y la introducción de tecnologías limpias y que aprovechen al máximo los recursos. El énfasis se pone en las soluciones globales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, incluyendo una equidad mejorada pero sin iniciativas adicionales relacionadas con el clima.

B2. El escenario B2 describe un mundo en el cual se pone el énfasis en las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo con una población global en crecimiento, a un ritmo inferior que en A2, niveles intermedios de desarrollo económico y cambio tecnológico más lento y diverso que en los supuestos B1 y A1. Aunque el supuesto está orientado también hacia la protección medioambiental y hacia la equidad social, se centra en los niveles locales y regionales.

Se eligió un escenario ilustrativo para los seis grupos A1B, A1F1, A1T, A2, B1 y B2. Todos deberían considerarse igual de razonables.

Los escenarios SRES no incluyen iniciativas adicionales relacionadas con el clima, lo cual quiere decir que no se incluyen aquéllos que asuman explícitamente la puesta en marcha de la Convención de la ONU sobre el Cambio Climático ni los objetivos de emisiones establecidos por el Protocolo de Kioto.

Un gobierno ecológico mundial

Nicolas Hulot

Presentador de televisión, militante ecologista y creador de la Fundación Nicolas Hulot por la Naturaleza y el Hombre, Hulot retiró el pasado enero su candidatura a las elecciones presidenciales francesas. El "pacto ecológico" era el centro de su programa político.

Cuando vemos en qué estado hemos dejado el planeta podemos preguntarnos –sin querer ofender a nadie– si estamos realmente civilizados. Dejo a su juicio la respuesta. A pesar de que toda la naturaleza, todo el planeta, no para de protestar contra la barbarie del hombre, nos empeñamos en ahogar ese grito de angustia.

Una vez dicho esto y teniendo en cuenta que la aparición del hombre en la superficie del planeta es como mínimo reciente, querido Yves Coppens, si admitimos que la evolución es una competición, entonces la humanidad no está lejos de ganarla, eliminando poco a poco cada especie animal o vegetal que nos ha precedido. Pero mucho me temo que ni siquiera tengamos tiempo de saborear nuestro éxito. Porque esta idea de que podemos arrancar indebidamente nuestra rama del árbol de la creación, esta idea de que podemos arreglárnoslas, hacer rancho aparte en este caos que hemos provocado, probablemente es el peor endiosamiento, pero ciertamente es el último.

Debo recordarles que la vida empezó por una cooperación entre átomos en primer lugar, e inmediatamente después entre moléculas, y que este principio inmutable de solidaridad acompañó la vida hasta ahora. Y que a nosotros los hombres nos gustaría romper impunemente este principio inmutable. Y puesto que hablamos de solidaridad, ya saben, el criador de camellos de Darfur nunca sabrá que nos hemos reunido esta mañana, pero sí sabe ya, cruel y trágicamente, qué significa un grado de aumento de la temperatura en la banda saheliana. Y la historia reciente ha sido amarga y demostrativa.

El indio kayapó, en medio de su selva amazónica, tampoco sabrá que nos hemos reunido esta mañana, pero sabe ya, cruel y trágicamente, qué sig-

Discurso de **Nicolas Hulot** en el Palacio del Elíseo (2 de febrero de 2007).

nifica la desaparición de ese territorio, qué sacrilegio y qué perjuicio incalculable e irreversible supone. Y el habitante del archipiélago de Tuvalu no sabrá que nos hemos reunido aquí esta mañana, pero también sabe qué significa concretamente un aumento de una decena de centímetros en el nivel del océano.

Por tanto, me gustaría que todos juntos dejáramos de hacer eso que yo llamo la categorización de las lágrimas. Las lágrimas de allá abajo no valen menos que las lágrimas de aquí. Las lágrimas de mañana no tienen menos valor que las lágrimas de hoy.

Metámonos en la cabeza que siempre y siempre, los primeros que sufren y sufrirán las consecuencias de los desórdenes climáticos y ecológicos son siempre los mismos y raramente los que los han provocado. Pero no olvidemos nunca que si dejamos que los fenómenos se desmanden sin actuar al respecto, ningún estatuto social, político, económico o religioso nos inmunitizará frente a las consecuencias en cascada de los cambios climáticos. Tengamos también en mente que ninguna democracia, ningún sistema económico o social, podrá hacer frente a la combinación de la pobreza, de la destrucción de los recursos naturales y de las consecuencias del cambio climático.

Dicho esto y viéndolo desde el ángulo contrario, querría que recordáramos la amenaza ecológica que, brusca y repentinamente, acaba de recargar un poco más el peso de la humanidad. Esta amenaza solo es desesperante si dejamos que el futuro decida por nosotros o, en otras palabras, solo si permitimos que el fatalismo actual consagre la fatalidad del mañana. Debemos pasar a la acción urgentemente por un futuro que supera la duración de nuestra existencia. Es la manifestación definitiva de nuestra humanidad y de la unicidad del hombre. Me inclino a pensar que seguir siendo humano no debería ser una tarea tan abrumadora como ésa.

El imperativo ecológico y climático nos obliga, y eso está muy bien, a poner en marcha el talento humano, y no carecemos de él. Pero también nos brinda una ocasión inesperada de volver a dotar de sentido al progreso. Nos obliga a reconciliarnos inmediatamente en torno a esta comunidad de destino que acaba de acordarse de nosotros.

Para terminar, desearía decir lo que, por otra parte, se ha dicho de otro modo: que ya no es el momento de la toma de conciencia, que lo urgente no es el conocimiento, sino que lo urgente es la acción inmediata, compartida y coordinada, y que solo nos falta la voluntad colectiva. Finalmente, no olvidemos que en estos tiempos de escasez energética hay una energía renovable que no utilizamos suficientemente: la energía del amor.