

# **Cambio climático**

## **Comunicado de la Sociedad Americana de Meteorología**

(Adoptado por el Consejo de la AMS el 20 de agosto de 2012)

*Traducción al castellano a cargo de Ángel Rivera y José Miguel Viñas*

El siguiente comunicado de la AMS tiene como objetivo proporcionar una explicación fidedigna, objetiva y bien actualizada de uno de los temas científicos de mayor interés para el público en general.

### **Sinopsis**

Esta declaración proporciona una breve descripción de cómo y porqué el clima mundial ha cambiado a lo largo del último siglo y continuará haciéndolo en el futuro. El comunicado está basado en la revisión de artículos de la literatura científica y es consistente con una amplia mayoría de los conocimientos científicos actuales, tal y como queda de manifiesto en los informes de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la Academia Nacional de Ciencias de los EEUU y el Programa de Investigación del Cambio Global. Aunque la declaración ha sido redactada en el contexto de lo concerniente a EEUU, los problemas subyacentes son inherentemente de naturaleza global.

### **¿Cómo está cambiando el clima?**

En la actualidad, el calentamiento del sistema climático es inequívoco, de acuerdo con muchos tipos de evidencias diferentes. Las observaciones muestran un aumento de la temperatura global del aire y los océanos, así como una fusión generalizada de la nieve y el hielo y un aumento del nivel medio del mar a escala global. Los datos de la temperatura superficial para el conjunto del planeta, incluyendo medidas tanto sobre tierra firme como sobre los océanos, muestran un aumento de aproximadamente 0,8 °C a lo largo del periodo 1901-2010 y de alrededor de 0,5 °C durante el periodo 1979-2010 (época en la que disponemos de forma rutinaria de datos de temperatura procedentes de los satélites). Debido a la variabilidad natural, cada año no es más cálido, a escala global, que el año precedente. Sin embargo, en los registros de temperatura global, los 10 años más calidos hasta 2010 han tenido lugar desde 1997, siendo 2005 y 2010 los dos años más calidos de todo un siglo de registros globales. La tendencia al calentamiento es mayor en latitudes altas del Hemisferio Norte y sobre áreas continentales. En los EEUU, la mayor parte del calentamiento observado se ha producido en el oeste y en Alaska; para la nación en su conjunto, en la primera década del siglo XXI ha habido el doble de récords de temperaturas máximas que de mínimas.

Los efectos de este calentamiento son especialmente evidentes en las regiones polares del planeta. La extensión y el volumen del hielo ártico marino han ido disminuyendo durante las últimas décadas. Tanto Groenlandia como la Antártida han perdido

cantidades significativas de sus capas de hielo. La mayoría de los glaciares del mundo están en retroceso.

Al mismo tiempo, se están produciendo también otros cambios, tanto globalmente como en los EEUU. La cantidad de lluvia que cae en episodios de precipitaciones fuertes (las mas fuertes representan el 1% de todos los episodios de lluvia) ha aumentado en los últimos 50 años en EEUU. Los niveles de congelación se sitúan cada vez a mayores elevaciones, de manera que en cotas medias de las montañas del oeste la lluvia ha pasado a ser más frecuente que la nieve. El máximo de primavera de acumulación de nieve está disminuyendo, la nieve comienza a derretirse antes y el caudal de la escorrentía primaveral, que suministra más de dos terceras partes del agua al oeste de los EEUU, se reduce. La evidencia del calentamiento también se observa en los cambios estacionales que tienen lugar en muchos ámbitos, incluyendo el adelanto de la primavera, periodos más largos libres de heladas, estaciones de crecimiento de mayor duración y cambios de hábitat natural y en los patrones migratorios de aves e insectos.

El nivel medio del mar ha subido globalmente unos 17 cm en el siglo XX, con un ascenso acelerado desde principios de los 90. Cerca de la mitad de la subida observada desde los años 70 ha sido causada por la expansión del agua debida al aumento de la temperatura de los océanos. El nivel del mar también está aumentando como consecuencia de la fusión de los glaciares continentales y de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida. A nivel local, los cambios en el nivel del mar pueden también depender de otros factores como las lentas subidas o bajadas del terreno (isostasia *-N. del T.*), lo que provoca cambios locales del nivel del mar mayores o menores que la media global. Se espera que incluso pequeños aumentos de nivel marino puedan provocar impactos potencialmente graves en las costas, especialmente en los pequeños estados insulares y en otras regiones que experimentan mareas de tormenta (súbitas subidas del nivel del mar *-N. del T.*) asociadas a vigorosos sistemas meteorológicos.

## **¿Por qué está cambiando el clima?**

El clima siempre está cambiando. Sin embargo, muchos de los cambios observados antes apuntados van más allá de lo que puede explicarse por la variabilidad natural del clima. Como consecuencia de un amplio consenso científico, sabemos que la principal causa del rápido cambio en el clima de los últimos 50 años es el aumento en la atmósfera de gases de efecto invernadero inducido por los seres humanos, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), clorofluorocarburos, metano y óxido nitroso. A largo plazo, el más importante de todos ellos es el CO<sub>2</sub>, cuya concentración en la atmósfera está aumentando principalmente debido a la quema de combustibles fósiles y a la deforestación. Si bien hay enormes cantidades de CO<sub>2</sub> que se incorporan y escapan de la atmósfera a través de procesos naturales, nuestras actividades están incrementando la cantidad total de ese gas en el aire y en los océanos. Aproximadamente la mitad del CO<sub>2</sub> procedente de las actividades humanas en los últimos 250 años ha sido absorbido por los océanos y la biosfera terrestre, permaneciendo la otra mitad en la atmósfera. Desde que en la década de 1950 comenzaron las mediciones, la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico ha aumentado a un ritmo mucho más rápido que en cualquier otro momento de los últimos 800.000 años. Una vez incorporado a la atmósfera, la mayoría del CO<sub>2</sub>

permanecerá en ella antes de ser eliminado por procesos naturales, quedando una parte residiendo durante miles de años.

El vapor de agua es también un importante gas de efecto invernadero. A diferencia de otros de esos gases, la concentración del vapor de agua depende de la temperatura atmosférica y es controlada por el sistema climático global a través de su ciclo hidrológico de evaporación-condensación-precipitación. El vapor de agua es muy cambiante en el espacio y en el tiempo, con un corto tiempo de vida, debido a la variabilidad meteorológica. Las observaciones indican un aumento del vapor de agua atmosférico a escala planetaria en las últimas décadas, a un ritmo consistente con la respuesta producida por los modelos climáticos que simulan el incremento de gases de efecto invernadero inducido por el hombre. Este aumento en el vapor de agua también refuerza el efecto invernadero, amplificando el impacto del aumento provocado por nosotros en otros gases invernadero.

La actividad humana también afecta al clima a través de los cambios en el número y en las propiedades físicas de minúsculas partículas sólidas y gotitas líquidas presentes en la atmósfera, conocidas colectivamente como aerosoles atmosféricos. Entre los aerosoles tenemos el polvo, la sal marina y los sulfatos procedentes de la polución del aire. Los aerosoles dan lugar a una variedad de efectos climáticos. Absorben y redirigen la energía procedente del sol y la emitida por la Tierra, son emisores de energía y modifican la capacidad de la nubes de reflejar la luz del sol y de producir precipitación. Los aerosoles pueden tanto fortalecer como debilitar el calentamiento por efecto invernadero, dependiendo de sus características. La mayoría de los aerosoles procedentes de la actividad humana actúan enfriando el planeta, contrarrestando en parte los efectos del calentamiento provocado por los gases de efecto invernadero. Los aerosoles que logran alcanzar la estratosfera [entre unos 13 y 50 km de altitud por encima de la superficie] debido a las grandes erupciones volcánicas ricas en azufre que ocurren ocasionalmente, pueden reducir la temperatura media de la superficie durante varios años. Por el contrario, el hollín procedente de la mala combustión de los combustibles fósiles, calienta el planeta, por lo que la reducción de esa carbonilla reduciría el calentamiento. Los aerosoles tienen un tiempo de vida en la troposfera [por debajo de los aproximadamente 13 km de altitud en latitudes medias] del orden de una semana; mucho más corto que el de la mayoría de los gases invernadero, y su predominio y propiedades pueden variar en gran medida dependiendo de la región.

Los cambios en la superficie terrestre también pueden afectar a los intercambios de agua y energía entre dicha superficie y la atmósfera. Los seres humanos alteran las características del terreno como consecuencia del riego, la eliminación y creación de bosques, cambios en la cubierta vegetal a través de la agricultura, la construcción de ciudades y de embalses. Estos cambios pueden tener efectos significativos en los patrones del clima a escala local y regional, lo que suma un pequeño impacto en el balance energético global.

### **¿Cómo puede ser proyectado hacia el futuro el cambio climático?**

Los factores que han alterado el clima a lo largo de la historia, tanto humanos (nuestras emisiones de gases invernadero) como naturales (tales como las variaciones de la emisión de energía procedente del sol, la órbita de la Tierra alrededor del sol y las

erupciones volcánicas), continuarán alterando el clima en el futuro. Las proyecciones climáticas para las próximas décadas se realizan mediante complejos modelos numéricos del sistema climático que dan cuenta de los cambios en el flujo de energía dentro y fuera del sistema Tierra en escalas de tiempo mucho más largas que el límite de predictibilidad (de unas dos semanas) de los sistemas meteorológicos individuales. La diferencia entre el tiempo y el clima es sumamente importante al considerar la predictibilidad. Por varias razones, el clima es potencialmente predecible para escalas de tiempo mucho más largas. Una de las razones es que el clima puede ser significativamente caracterizado por promedios estacionales a decadales y por otras medidas estadísticas, y el tiempo promedio es más predecible que los episodios meteorológicos individuales. En este sentido, una analogía útil es que mientras que la esperanza de vida en promedio para el conjunto de la población es predecible, no lo es la de una persona en particular. Una segunda razón es que el clima afecta a los sistemas físicos y a procesos con largas escalas temporales, entre los que se incluyen los océanos, la nieve y el hielo, mientras que el tiempo en gran parte consiste en los fenómenos meteorológicos (por ejemplo, tormentas, intensas tempestades de nieve) con escalas de tiempo más cortas. Una tercera razón es que el clima puede verse afectado por factores que cambian lentamente, como los cambios en la composición química de la atmósfera inducidos por los seres humanos, los cuáles alteran el efecto invernadero natural.

Los modelos climáticos simulan los aspectos importantes del clima y el cambio climático a partir de leyes físicas del movimiento, la termodinámica y la transferencia radiativa. Estos modelos informan sobre cómo podría cambiar el clima en respuesta a varios “escenarios” específicos, cada uno de ellos con una posible emisión futura de gases de efecto invernadero. Las proyecciones futuras de cambio climático tienen incertidumbres que se producen por varias razones –a causa de las diferencias entre los distintos modelos, por que las predicciones a largo plazo de variaciones naturales (por ejemplo las erupciones volcánicas o los episodios de El Niño) no son posibles, y por que no se sabe exactamente cuáles serán las emisiones de gases invernadero en las próximas décadas. Las emisiones futuras dependerán del desarrollo económico y social, y del alcance y el impacto de las actividades destinadas a reducir los citados gases invernadero y las emisiones de carbonilla.

Los cambios en las temperaturas medias y extremas y en la precipitación, en respuesta al aumento de los gases de efecto invernadero, se pueden proyectar a lo largo de décadas o siglos en el futuro, a pesar de que el calendario de episodios meteorológicos individuales no puede predecirse en esa escala temporal. Debido a que se necesitarían muchos años de observaciones para verificar si una proyección del clima futuro es correcta, los investigadores establecen el nivel de confianza de esas proyecciones mediante el uso de las evidencias históricas y paleoclimáticas y a través de un cuidadoso estudio de las observaciones de la relación causal entre los cambios en el flujo de energía y las respuestas de los patrones climáticos. Una valiosa demostración de la validez de los modelos climáticos actuales es el hecho de que cuando se incluyen en ellos todos los factores conocidos naturales e inducidos por el hombre que influyen en la atmósfera global a gran escala, los modelos reproducen muchos aspectos importantes de los cambios observados en el clima a lo largo del siglo XX, incluyendo (1) las temperaturas medias y extremas a escala global, continental y subcontinental, (2) la extensión del hielo ártico marino, (3) la distribución latitudinal de la precipitación, y (4) frecuencia de las precipitaciones extremas.

Entre las limitaciones de los modelos se incluyen las representaciones inadecuadas de algunos procesos y detalles importantes. Por ejemplo, un típico modelo de clima no puede aún abordar en su totalidad los complejos procesos dinámicos, radiativos y de microfísica involucrados en la evolución de una nube, o la naturaleza variable espacialmente de la humedad del suelo, o las interacciones atmosféricas con la biosfera. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, los modelos climáticos se han mostrado hábiles para reproducir los climas del pasado, y están de acuerdo sobre la dirección general que seguirá el clima futuro.

## **¿Cómo se espera que cambie el clima en el futuro?**

El calentamiento futuro del clima es inevitable debido a los gases invernadero que ya están en la atmósfera y al calor que ha sido absorbido por los océanos. Podría ser posible alguna mejora mediante el diseño y la implementación de soluciones de geoingeniería respetuosas con el medio ambiente, tales como medidas de captura y almacenamiento para extraer el CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

Sin embargo, los riesgos potenciales de la geoingeniería pueden ser muy grandes y se hacen necesarios más estudios sobre ello (incluyendo otras consecuencias medioambientales). El tema de la geoingeniería queda fuera del objetivo de esta declaración (para más información puede verse la declaración de la AMS sobre geoingeniería).

En general, se proyecta la continuación de muchas de las tendencias del sistema climático observadas en las recientes décadas. Esas proyecciones, y otras en esta sección, están ampliamente basadas en simulaciones realizadas con modelos climáticos y asumen que la cantidad de gases invernadero en la atmósfera continuará creciendo debido a la actividad humana. Los esfuerzos globales para reducir las emisiones de gases invernadero no han tenido hasta el momento ningún éxito. Sin embargo, si las futuras políticas y tecnologías consiguieran una reducción rápida de la emisión de gases invernadero –un planteamiento denominado “mitigación”–, podría disminuir mucho el calentamiento global futuro y sus impactos.

La confianza en las proyecciones es más alta para la temperatura que para otros elementos del clima tales como la precipitación, y también para las escalas globales y continentales que para las escalas regionales y locales. Las proyecciones de los modelos indican que el mayor calentamiento ocurrirá en las regiones polares del norte, sobre áreas terrestres y en la estación invernal, lo que es consistente con las tendencias observadas.

En el siglo XXI el nivel global del mar continuará ascendiendo, aunque el ascenso no será uniforme en todos los sitios. Con su gran masa y alta capacidad para almacenar calor, el océano continuará calentándose lentamente y se expandirá térmicamente durante algunos siglos. Las simulaciones de los modelos proyectan aproximadamente un aumento del nivel global del mar de 27 a 71 cm durante el siglo XXI debido a la expansión térmica y a la fusión del hielo. Además, las observaciones paleoclimáticas y la modelización de las capas de hielo indican que la fusión de las acumulaciones de hielo de Groenlandia y la Antártida occidental originará un aumento de algunos metros

adicionales hacia el año 2500 si el calentamiento continúa al ritmo presente más allá del siglo XXI.

El contenido de agua en la atmósfera se incrementará globalmente, de forma consistente con unas temperaturas más cálidas, y de acuerdo con ello el ciclo hidrológico global continuará acelerándose. Para muchas zonas las simulaciones de los modelos sugieren que habrá una tendencia hacia lluvias y nevadas más intensas separadas por periodos más largos sin precipitación. En cualquier caso, los cambios en el régimen de la precipitación diferirán considerablemente por región y estación. En algunas regiones la aceleración del ciclo hidrológico reforzará, probablemente, los actuales regímenes de precipitación, dando lugar a sequías e inundaciones más severas. Más hacia los polos, el mayor calentamiento a altas latitudes y sobre tierra cambiará la circulación atmosférica a gran escala, lo que dará lugar a cambios regionales significativos en los regímenes de precipitación. Por ejemplo, las simulaciones sugieren que las precipitaciones se incrementarán en las zonas más al norte de Norteamérica y decrecerán en el suroeste y en el centro-sur de los Estados Unidos, donde ocurrirán más sequías.

Las simulaciones de los modelos climáticos proyectan también que los eventos de fuerte precipitación continuarán haciéndose más frecuentes e intensos, originando incrementos en los totales de precipitación de las borrascas más fuertes. Esta proyección tiene implicaciones importantes para la gestión de los recursos hídricos y el control de inundaciones. Las simulaciones también indican la probabilidad de periodos secos más largos entre episodios de precipitación en los subtropicos y en las latitudes medias, con periodos secos más cortos proyectados para altas latitudes donde se espera que se incremente la precipitación media. El calentamiento continuado también implica una reducción de las acumulaciones de nieve en invierno a favor de las de lluvia en muchos lugares, reduciéndose de este modo el manto de nieve en primavera. Los ríos que ahora están alimentados por la fusión de la nieve experimentarán crecidas más tempranas en primavera y caudales reducidos en la estación cálida. El generalizado retroceso de los glaciares de montaña conducirá eventualmente a caudales reducidos en la estación seca en aquellos ríos alimentados por los glaciares. Las proyecciones indican que la sequía aumentará en África, Europa y buena parte del interior continental de Norteamérica y particularmente en el suroeste de Estados Unidos. Sin embargo, las variaciones naturales a escala de decenios en las condiciones de los océanos podrían contrarrestar o potenciar estos cambios en las próximas décadas. A mayor plazo, las observaciones paleoclimáticas sugieren que son posibles sequías que duren décadas y que estas prolongadas sequías ocurren con poco aviso.

Los patrones meteorológicos continuarán variando de día en día y de estación en estación, pero la frecuencia de circulaciones particulares y de sucesos climáticos y meteorológicos extremos puede cambiar a causa del calentamiento global. Las simulaciones de los modelos proyectan un porcentaje creciente de huracanes de las categorías más fuertes, es decir 4 y 5, de la escala de Saffir-Simpson, si bien el número total de huracanes puede no cambiar o incluso decrecer. Son posibles algunas variaciones regionales en esta tendencia. Las simulaciones también indican que las trayectorias de las borrascas de latitudes medias girarán hacia los polos. Las variaciones interanuales de importantes condiciones climáticas a gran escala (tales como El Niño y La Niña) continuarán ocurriendo, pero podrá haber cambios en su intensidad, frecuencia y otras características, lo que dará lugar a diferentes respuestas de la atmósfera. Continuarán ocurriendo olas de calor y de frío con sus condiciones meteorológicas

asociadas, pero se esperan proporcionalmente más periodos cálidos extremos y menos periodos fríos. De hecho, lo que mucha gente tradicionalmente considera una ola de frío, está ya cambiando hacia condiciones menos severas. Los días de helada (aquellos con temperatura mínima por debajo del punto de congelación) serán menos y los periodos de crecimiento mas largos. Las condiciones más secas en verano, tales como las que se prevén para el sur de Estados Unidos y el sur de Europa, se espera que contribuyan a episodios más severos de calor extremo. Es probable que se excedan más frecuentemente los umbrales críticos de temperatura máxima diaria, por encima de los cuales los ecosistemas y los sistemas de cosechas (por ejemplo plantas alimenticias tales como el arroz, maíz y trigo) sufrirán un creciente daño severo.

El sistema terrestre está altamente interconectado y es complejo, con muchos procesos y retroalimentaciones que se van comprendiendo lentamente. En particular, el ciclo del carbono permanece como una gran fuente de incertidumbre para la proyección del clima futuro. No está claro si la biosfera terrestre y los océanos podrán continuar absorbiendo carbono al ritmo actual en el futuro. Se desconoce si el suelo y la vegetación se convertirán en una fuente global más que en un sumidero de carbono, en la medida en que el planeta se calienta. Tampoco se conoce la cantidad de metano que se liberará debido al calentamiento de las latitudes altas. Existen indicaciones de que ya se están fundiendo grandes regiones de permafrost (suelo congelado permanentemente –*N. del T.*) en partes de Alaska y otras áreas polares con el potencial de liberar cantidades masivas de carbono a la atmósfera, además de las que están siendo añadidas directamente por la actividad humana. La parte de la liberación creciente de CO<sub>2</sub> que es absorbida por el océano está haciéndolo más ácido, con implicaciones negativas para los organismos de concha y esqueleto, y de modo mas general para los ecosistemas oceánicos. Es ahora cuando estos procesos están siendo cuantificados mediante la observación e introducidos en los modelos climáticos, y es necesaria más investigación para comprender completamente sus potenciales impactos. Dado que los impactos del cambio climático son de naturaleza regional y local, se hace también necesaria una mayor investigación para mejorar las proyecciones climáticas en las escalas regionales y en particular para los extremos climáticos y meteorológicos.

## **Conclusiones finales**

Existe una evidencia inequívoca de que la atmósfera inferior de la Tierra, el océano y la superficie terrestre se están calentando, el nivel del mar está aumentando, y la capa de nieve, los glaciares de montaña y el hielo del océano Ártico se reducen. La causa dominante del calentamiento desde la década de los 50 es la actividad humana. Este hallazgo científico se basa en una amplia y convincente actividad investigadora. El calentamiento observado será irreversible durante muchos años en el futuro, y se producirán aún mayores incrementos de temperatura en la medida en que continúen acumulándose en la atmósfera gases de efecto invernadero. Evitar el calentamiento futuro requerirá una reducción amplia y rápida de las emisiones globales de estos gases. El calentamiento en curso aumentará los riesgos y las tensiones en las sociedades humanas, la economía, los ecosistemas y la vida silvestre a través del siglo XXI y más allá, por lo que es imperativo que la sociedad responda a un clima cambiante. Para fundamentar las decisiones sobre la adaptación y la mitigación, es crítico que podamos mejorar nuestra comprensión del sistema climático mundial y nuestra capacidad para proyectar el clima futuro a través de la vigilancia continuada y mejorada y la

investigación. Esto es especialmente cierto para las escalas más pequeñas (estacional y regional) y para el tiempo y el clima extremos, así como para importantes variables hidroclimáticas como la precipitación y la disponibilidad de agua.

Las opciones tecnológicas, económicas y políticas en el futuro próximo determinarán el alcance de los impactos futuros del cambio climático. Las decisiones basadas en la ciencia, rara vez se hacen en un contexto de absoluta certeza. Los debates políticos nacionales e internacionales deberían incluir la consideración de las mejores formas tanto de adaptarse como de mitigar el cambio climático. La mitigación reducirá la magnitud del cambio climático futuro y el riesgo de impactos que son potencialmente grandes y peligrosos. Al mismo tiempo, un cambio climático continuo es inevitable, y las respuestas políticas deberían incluir la adaptación al mismo. La prudencia dicta mantener un extremo cuidado en lo que respecta a nuestra relación con el único planeta del que se sabe que es capaz de sostener la vida humana.