

El cambio climático

Rosa María Velasco

EL COMPORTAMIENTO DEL CLIMA del planeta es uno de los fenómenos más difíciles de estudiar, las múltiples interacciones entre los factores que lo afectan no son bien conocidas y su evolución es por demás complicada. Una manera de abordarlo es a través de la recopilación y estudio estadístico de datos a nivel global y local. De esta manera se obtienen diagnósticos y luego pronósticos cuya probabilidad de ocurrencia depende de la información original. Sin embargo, el clima es dinámico y se ve influido por factores naturales y la actividad humana.

A partir de la revolución industrial el factor humano ha empezado a jugar un papel muy importante en su comportamiento. En fechas recientes se habla de ello en diversos medios, pero nos podemos preguntar hasta qué punto esas noticias tienen bases científicas. Por ejemplo, hemos escuchado del reporte sobre el cambio climático que hizo el IPCC¹ en París, del Protocolo de Kyoto, su aceptación o rechazo por ciertos países, pero ¿en realidad las actividades del hombre² están causando un cambio en el sistema climático del planeta? ¿Hasta qué punto es necesario un acuerdo internacional que limite las emisiones de gases invernadero? ¿En cuánto tiempo veremos los efectos de ello en caso de que llegue a presentarse? Estas son preguntas para las cuales deseamos tener una respuesta sustentada sobre la ciencia. En este trabajo pretendemos dar algunos elementos que permitan ver con claridad cuál ha sido el efecto causado por el hombre y sus posibles consecuencias futuras.

Desde épocas prehistóricas el clima de nuestro planeta ha estado determinado por diversos factores, entre los cuales podemos mencionar el comportamiento de la atmósfera, los océanos, la interacción entre ambos y los factores geológicos.

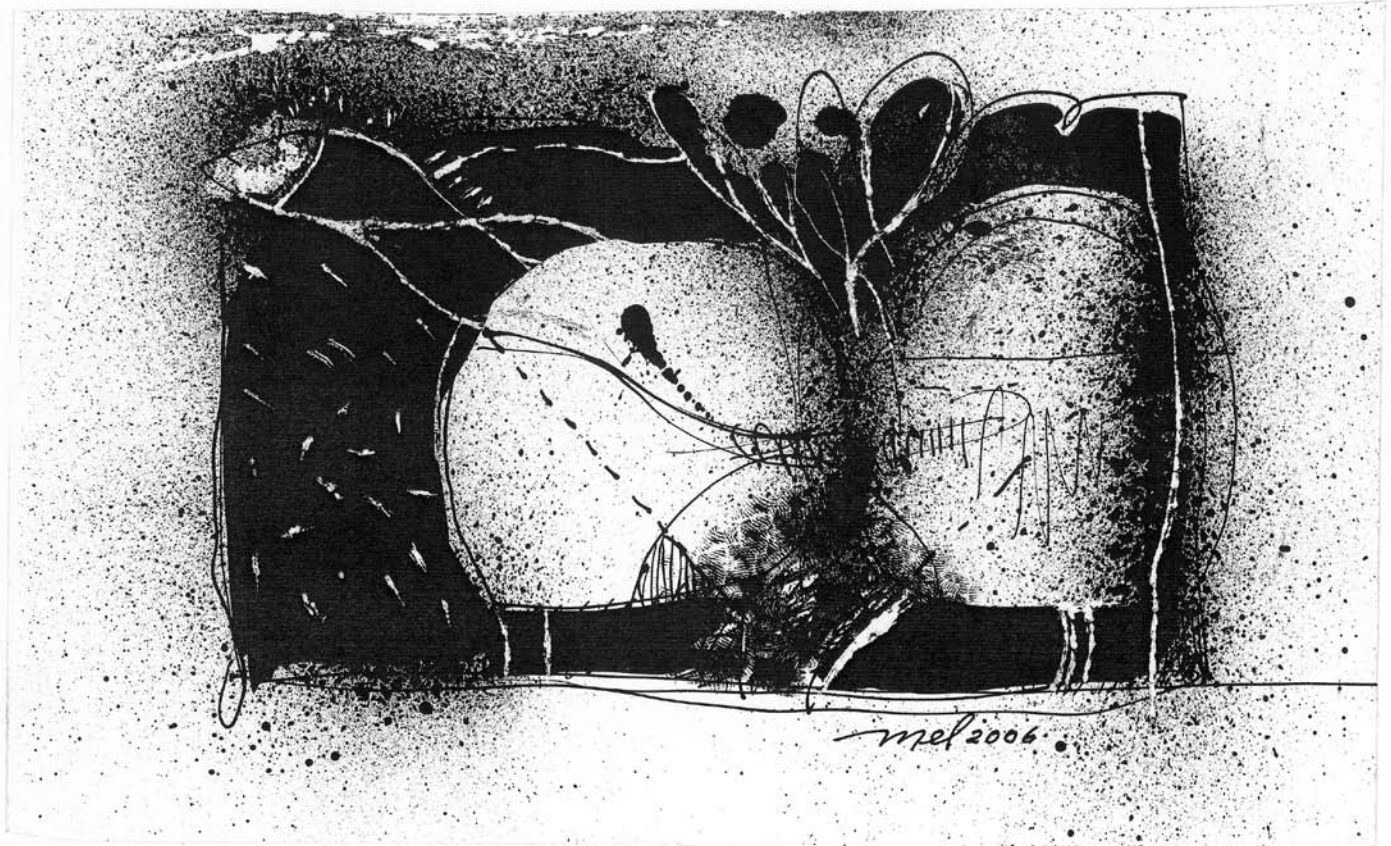
La atmósfera de nuestro planeta está formada por una mezcla de gases y aerosoles. Entre los primeros hay tanto gases naturales como de origen antropogénico.³ Del primer tipo tenemos nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), vapor de agua (H_2O), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), etc.; del segundo origen tenemos fundamentalmente los clorofluorocarbonos (CFC). Los aerosoles son partículas sólidas, pequeñas, formadas por sulfatos, sales, hollín, etc., que se mantienen suspendidas en la atmósfera. Sabemos la importancia del nitrógeno y del oxígeno, que forman alrededor de 98% de la composición atmosférica, sin embargo otros gases son de especial importancia en el problema que nos concierne. Tal es el caso del CO_2 , CH_4 , el vapor de agua, etc., ya que éstos absorben energía emitida por el Sol y por la Tierra, lo cual tiene gran influencia en el calentamiento de la atmósfera.

Los movimientos de la atmósfera mantienen una gran cantidad de partículas sólidas suspendidas por un tiempo considerable. Éstas se originan tanto en fuentes naturales como antropogénicas y actúan como superficies donde puede haber condensación de vapor de agua, absorber o reflejar radiación solar y contribuyen a la dispersión de la luz. Las especies químicas existentes en la atmósfera y los aerosoles presentan un perfil de concentración que varía con la altura sobre el nivel del mar. La proporción de oxígeno es constante hasta 80 km.⁴ La proporción de vapor de agua disminuye en los primeros 15 km y después permanece casi constante. El ozono en superficie constituye una proporción muy pequeña (10^{-7}) pero su concentración aumenta con la altura alcanzando su máximo alrededor de 30 km. Los CFC, aunque en una proporción pequeña (10^{-10}), están presentes desde la superficie hasta 40 km de altura.

Es importante señalar que algunas especies nocivas permanecen mucho tiempo en la atmósfera. Tal es el caso de los CFC, que duran alrededor de 100 años y pueden viajar arrastrados por el viento hasta 5000 km, lo cual significa que de un hemisferio pueden llegar al otro. Los aerosoles, el ozono, los óxidos de nitrógeno y otros son especies que tienen una durabilidad moderada (menor a un año) y viajan distancias del orden de 10 km, también hay especies de corta duración, como algunos radicales. Esta variedad de especies químicas provoca que la dinámica de

absorbe y emite al espacio. El resultado arroja un valor de -18°C en superficie. Sin embargo, la temperatura promedio en la superficie terrestre es de 15°C , de manera que tenemos una discrepancia de 33°C . La única explicación es que la atmósfera retiene la energía suficiente para que la superficie terrestre esté a una temperatura mayor que si la atmósfera no estuviese.

El efecto invernadero consiste en que las especies y partículas suspendidas en ella absorben energía que la Tierra emite hacia fuera, permitiendo que la superficie terrestre



las reacciones existentes entre ellas sea complicada y afecte de manera diferente a los procesos de transformación en la atmósfera.⁶

La temperatura tiene un perfil vertical que nos permite distinguir varias capas, como la tropósfera, la estratósfera, mesósfera, etc. En la tropósfera la temperatura disminuye con una tasa que varía entre 0.6 a 1°C cada 100 m , dependiendo de la cantidad de humedad, hasta los 10 km sobre la superficie. En la estratósfera se tiene una situación de temperatura constante y luego aumenta hasta los 56 km , donde empieza la mesósfera, etc. Ahora bien, ¿cuál es el papel de la atmósfera en este perfil de temperatura?

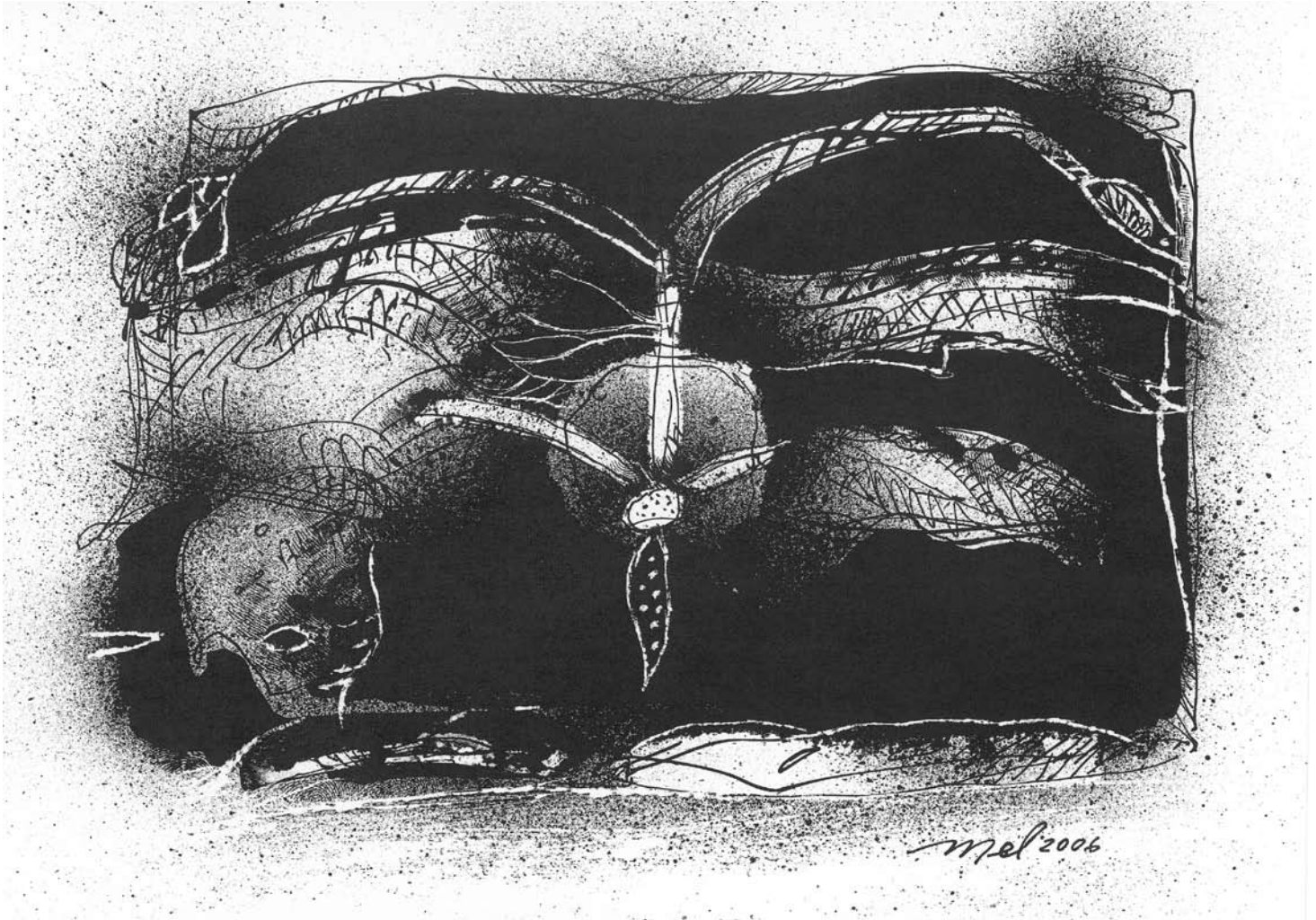
Imaginemos que no hay atmósfera cubriendo la Tierra. En este caso la temperatura estaría determinada por el balance entre la energía que el planeta recibe del Sol, la que

permanezca aislada del exterior y aumentando la temperatura. Así, podemos decir que el efecto invernadero regula la temperatura del planeta y la atmósfera actúa como una capa protectora para la vida en la superficie. Ahora bien, ¿cuáles componentes atmosféricos contribuyen al efecto invernadero? Muchos,⁷ pero algunos son muy importantes, como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno (NO , NO_2), los CFC, entre otros.⁸

Por ejemplo, el vapor de agua contribuye con casi 60% y el resto lo provocan otras especies. Sin embargo la concentración de los otros gases de efecto invernadero (GHG) ha aumentado mucho en épocas recientes, afectando el balance correspondiente. En la actualidad el IPCC⁹ ha realizado estudios detallados y muy confiables acerca del aumento de la concentración de varios GHG.

En la época preindustrial la concentración de CO₂ era de unos 280 ppm¹⁰ y ha llegado a 379 ppm en 2005. Este gas se produce por el uso de combustibles fósiles como el petróleo y sus derivados. La concentración de metano en la época preindustrial era de 715 ppb¹¹ y de 1 774 ppb en 2005. Aunque el metano es un gas que existe de manera natural en la atmósfera es probable que el aumento en su concentración sea debido a actividades antropogénicas, en

¿Cuáles son los efectos inmediatos y más notorios que produce el calentamiento global? El aumento en la temperatura promedio tanto de la atmósfera como de los océanos; 11 de los últimos 12 años han sido los más calientes desde 1850. La temperatura del océano ha aumentado y provocado una expansión del agua, la nieve en los glaciares ha disminuido en los hemisferios y ambos eventos provocan una elevación en el nivel del mar. Entre 1993-2003 el nivel



especial la agricultura y el uso de combustibles fósiles. La concentración del óxido nitroso (N₂O) ha cambiado de 270 ppb en la época preindustrial a 319 ppb en 2005. Su contribución principal tiene su origen en la agricultura, a través del uso de fertilizantes.

Los GHG provocan efecto invernadero que aumenta la temperatura de la atmósfera con intensidades diferentes,¹² de manera que el efecto de cada uno se acumula en diversas proporciones. En general los aerosoles provocan el resultado contrario y tienden a enfriar la atmósfera, sin embargo los efectos de calentamiento son mayores que los de enfriamiento y ello conduce a un neto aumento de la temperatura.

del mar aumentó a una tasa de 3.1 mm por año.¹³ Para todo el siglo xx la elevación estimada fue de 0.17 m.¹⁴ Estos datos muestran que podemos esperar consecuencias importantes en el clima planetario. Las temperaturas en el ártico están aumentando con una tasa que duplica los valores de los cien años anteriores, la cobertura de hielo en el ártico se ha reducido, las tendencias de la precipitación pluvial indican que grandes regiones del planeta se verán afectadas por eventos extremos, como inundaciones y sequías, cambios en el patrón de vientos y la circulación de las corrientes marinas también son de esperarse.

Dada la situación actual, ¿qué nos depara el futuro? Los científicos que se dedican al estudio del clima, basados en

principios físicos y en los datos experimentales existentes, se han ocupado en desarrollar modelos matemáticos que permiten hacer pronósticos al respecto. Con objeto de tener confianza en los modelos planteados tratan de reproducir los datos del pasado y una vez que la reproducción es razonable se proponen hacer predicciones hacia el futuro. Los datos del pasado se infieren a partir de estudios en los glaciares, en los anillos de los árboles, etc., para los cuales existen métodos que permiten obtener fechas de la antigüedad que les corresponde y mediciones de las concentraciones de algunas especies químicas características.¹⁵

Para ver los posibles caminos hacia el futuro el IPCC ha propuesto los llamados escenarios de emisiones,¹⁶ donde se especifican diversos conjuntos para las concentraciones de GHG que se prevé se emitan a la atmósfera. Estos escenarios corresponden a propuestas de desarrollo económico y social en las diversas regiones del planeta. Por ejemplo, el A1B describe un mundo futuro con un crecimiento económico rápido, con una población global que aumenta al comenzar el siglo XXI, tiene un máximo a mitad de la centuria y después declina. Se introducen tecnologías nuevas y eficientes, hay capacidad para desarrollar interacciones culturales y sociales entre las diferentes regiones, pero además hay un uso balanceado entre las distintas fuentes de energía. En este caso se pronostica que el aumento de la temperatura en la última década del siglo (2090-2099), respecto al periodo 1980-1999, sea de 2.8° C,¹⁷ con una elevación del nivel del mar entre 0.21 y 0.48 m.

En un escenario B1, con el mismo desarrollo de población que en A1B, pero con un cambio de las estructuras económicas hacia una economía de servicio e información, tecnologías eficientes y limpias, soluciones globales a la sustentabilidad social y ambiental, se tiene una predicción más optimista: temperatura de 1.8° C¹⁸ con una elevación en el nivel del mar de entre 0.18 y 0.38 m.¹⁹

Adoptar un escenario de desarrollo cualquiera que sea implica seguir una política socio-económica consistente. Estos aspectos del problema han creado un gran debate a nivel mundial, su trascendencia e impacto llega a todo el planeta y a nosotros nos toca preguntarnos ¿qué podemos hacer?

Sin entrar en la polémica política social y económica, como individuos y profesores la respuesta inmediata y libre de discusiones sería hacer conciencia en todos los niveles de la sociedad para cuidar el ambiente. Debemos hacer consciente a la sociedad de que el planeta es el hogar de la humanidad, no hay otro planeta disponible. La

atmósfera que estamos afectando nos protege a todos y todos respiramos en ella. Al afectar la atmósfera también estamos provocando cambios irreversibles en el océano, los glaciares, etc. El cuidado del planeta nos corresponde a todos y nuestra lucha cotidiana deberá estar enfocada a su protección. •

Notas

¹ Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, creado en 1988 a iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas, para estudiar el problema del cambio climático en el planeta. Desde entonces ha producido tres informes completos (1990, 1995 y 2001) y en febrero de 2007 dio a conocer los avances más recientes en el tema.

² www.epa.gov/climatechange/science/stateofknowledge.html

³ B. J. Finlayson-Pitts, J. N. Pitts, *Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere*, Academic Press, 2000.

⁴ La concentración neta de oxígeno disminuye drásticamente con la altura sobre el nivel del mar, sin embargo su proporción con respecto a la concentración total de aire se mantiene.

⁵ La notación significa $10^{-7} = 0.0000001$, es decir, el exponente nos indica la posición de la primera cifra significativa.

⁶ J. H. Seinfeld, S. N. Pandis, *Atmospheric Chemistry and Physics: from air pollution to climate change*, Wiley, 1998.

⁷ En la literatura sobre el tema se les conoce como GHG, greenhouse gases.

⁸ J. Houghton, *Global Warming*, Cambridge, 2001.

⁹ <http://www.ipcc.ch>.

¹⁰ ppm (partes por millón) es la relación entre el número de moléculas del gas en cuestión y el número de moléculas de aire seco. Por ejemplo 370 ppm significa que hay 370 moléculas del gas referido por cada millón de moléculas de aire seco.

¹¹ ppb (partes por billón), la convención nos dice que un billón es igual a 10^9 .

¹² Tienen un forzamiento radiativo (Wm^{-2}) en watts por metro cuadrado diferente.

¹³ De 2.4 a 3.8 mm por año.

¹⁴ De 0.12 a 0.22 m.

¹⁵ La incertidumbre en estos datos está presente pero puede cuantificarse.

¹⁶ SRES: Special Report on Emission Scenarios.

¹⁷ Entre 1.7 y 4.4° C.

¹⁸ Para el mismo intervalo de tiempo entre 1.1 y 2.9° C.

¹⁹ Es posible hacer muchas consideraciones y críticas respecto a las estrategias planteadas por los diferentes escenarios, sin embargo en este trabajo sólo se dan a manera de ejemplo para estimar el efecto de las alteraciones que pueden producirse en el clima del planeta.

ROSA MARÍA VELASCO es profesora-investigadora del Departamento de Física, en la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa.