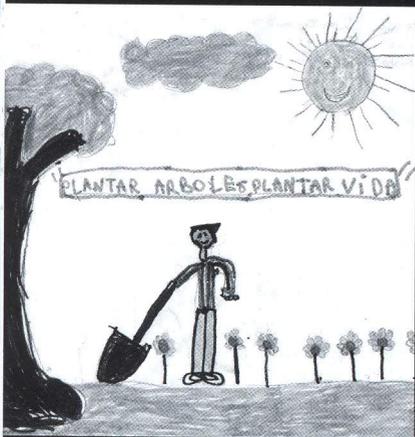


Antonio Sarmiento Galán



El 9 de septiembre de 2014 se presentó en Ginebra, el Boletín anual de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sobre la abundancia atmosférica de gases de efecto invernadero que se alcanzó en 2013. La situación descrita implica una mayor necesidad de acción internacional concertada contra el calentamiento global antropogénico acelerado, pues los impactos ya empiezan a ser devastadores.

Entre 1990 y 2013 hubo un aumento de 34% en el efecto del calentamiento, medido como forzamiento radiativo —cualquier cambio en la radiación (calor) entrante o saliente de un sistema climático—, que se

debió al aumento en las concentraciones de gases como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido de nitrógeno (N_2O).

En 2013, gracias a las mediciones realizadas en las estaciones de la Red de Vigilancia Atmosférica Global de la OMM, sabemos que las concentraciones anuales promedio de CO_2 , CH_4 y N_2O en la atmósfera fueron de 142%, 253% y 121% respecto de las concentraciones preindustriales, estimadas para 1750. La concentración de CO_2 creció más entre 2012 y 2013 que durante cualquier otro año desde 1984. Ello se debe, según los datos preliminares, no sólo al aumen-

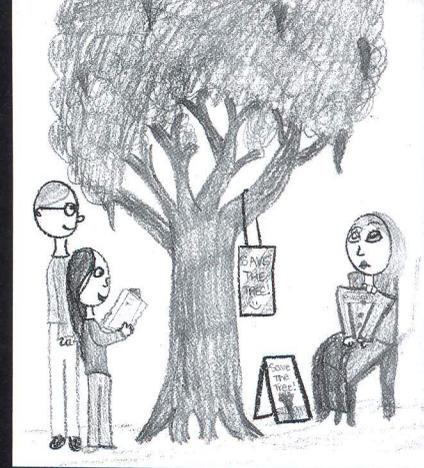
to sostenido de emisiones de CO_2 , sino también a una reducción en la captación de CO_2 por la biósfera terrestre (cuadro 1).

Es importante señalar que el reporte de la OMM es sobre las concentraciones de los gases en la atmósfera y no las emisiones. La diferencia es que las emisiones representan lo que se inyecta por la actividad humana a la atmósfera y las concentraciones atmosféricas indican lo que permanece en la atmósfera producto de lo ocurrido en el complejo sistema de interacciones de atmósfera, biósfera y océanos.

Cerca de la cuarta parte del total de las emisiones es capta-

El calentamiento global antropogénico hoy





da por los océanos y otra cuarta parte por la biósfera, lo que reduce la cantidad de CO₂ en la atmósfera. Es decir, los océanos amortiguan el aumento de CO₂ en la atmósfera, pero lo hacen a costa de un problema importante de muy largo alcance: su acidificación, cuya tasa actual no tiene antecedente alguno durante al menos los últimos 300 millones de años.

El CO₂ permanece en la atmósfera por varios siglos y por lapsos aún mayores en los océanos; las emisiones realizadas en el pasado, las actuales y las futuras tendrán un impacto acumulativo tanto en el calentamiento como en la acidificación de los océanos. Éstos son los principales determinantes del clima terrestre y los principales atenuantes del calentamiento global antropogénico, por lo que debieron haber estado en el centro de las discusiones sobre la acción necesaria para mitigar los impactos de la actividad humana. La acidificación de los océanos es una razón más que suficiente para concertar una reducción drástica en las emisiones de CO₂. Sus efectos se están haciendo presentes y aumentarán durante muchas décadas futuras.

Las concentraciones

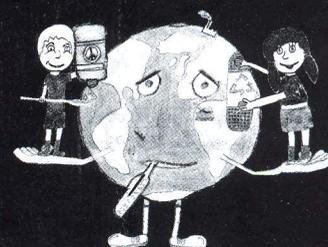
Dióxido de carbono. La radiación infrarroja retenida por la atmósfera (efecto de calentamiento o forzamiento radiativo)

aumentó 34% entre 1990 y 2013 y 80% de este aumento se debe al CO₂ (figura 1). A escala global, la abundancia de este gas en la atmósfera llegó a 396 partes por millón en 2013, creciendo 2.9 partes por millón entre 2012 y 2013, es decir, el aumento anual más elevado en el periodo que va de 1984 a 2013. Las concentraciones varían estacional y regionalmente debido a la interacción con la biósfera (actividad fotosintética principalmente), pero con la tasa actual de crecimiento la concentración anual promedio cruzará el valor simbólico de 400 partes por millón en 2015 o a más tardar en 2016. De acuerdo con los modelos que mejor han reproducido el aumento en la temperatura hasta la fecha, el llegar en 2015 al valor de 400 partes por millón de CO₂ en la atmósfera significa que para 2067 habría un aumento en la temperatura de 3 °C con respecto del valor preindustrial.

Metano. El segundo gas de efecto invernadero de larga duración es emitido en 40% por

fuentes naturales (humedales y termitas, por ejemplo) y en 60% por actividades humanas como: cría de ganado, cultivo de arroz, explotación de combustibles fósiles, tiraderos y rellenos sanitarios, y quema de biomasa. El metano llegó a un nuevo valor máximo de 1 824 partes por mil millones en 2013 debido a aumentos en las emisiones por fuentes antropogénicas. Desde 2007, después de un lapso durante el cual se mantuvo relativamente constante, la abundancia de metano en la atmósfera ha aumentado sostenidamente. El efecto de calentamiento del metano a lo largo de un siglo es entre 28 y 30.5 veces mayor que el de CO₂ en igualdad de emisiones (figura 1).

Óxido nitroso. El N₂O también es emitido por fuentes naturales (60%) y por actividad humana (40%), incluyendo el uso de los océanos y del suelo, de fertilizantes sintéticos, varios procesos industriales como la generación de energía eléctrica mediante la quema de me-



GAS	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Abundancia global en 2013 (partes por millón)	396.0 ± 0.1	1.824 ± 0.002	0.3259 ± 0.0001
Abundancia en 2013 relativa a 1750	142%	253%	121%
Aumento absoluto 2012-2013	2.9 ppm	0.006 ppm	0.0008 ppm
Aumento relativo 2012-2013	0.74%	0.33%	0.25%
Aumento anual promedio durante última década	2.07 ppm/a	0.0038 ppm/a	0.00082 ppm/a

Cuadro 1. Promedios anuales de las abundancias globales y tendencias de los principales gases de efecto invernadero en el 2013. Las unidades son fracciones molares en aire seco y las incertidumbres son los límites de confianza al 68%. Las fracciones molares antes de 1750 son 278 ppm para el CO₂, 0.722 ppm para el CH₄ y 0.270 ppm para el N₂O.

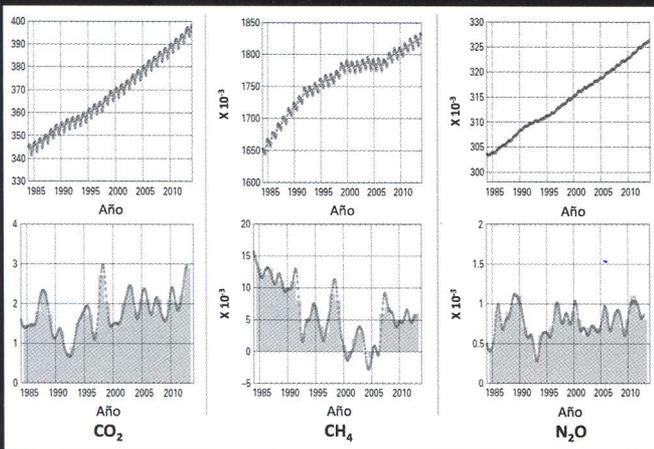


Figura 1. Fracciones molares (gráficas superiores en partes por millón) y tasas de crecimiento (gráficas inferiores en partes por millón por año) de 1984 a 2013 para dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido de nitrógeno (N_2O); en las gráficas inferiores se muestran con columnas sombreadas las diferencias en promedios anuales sucesivos.

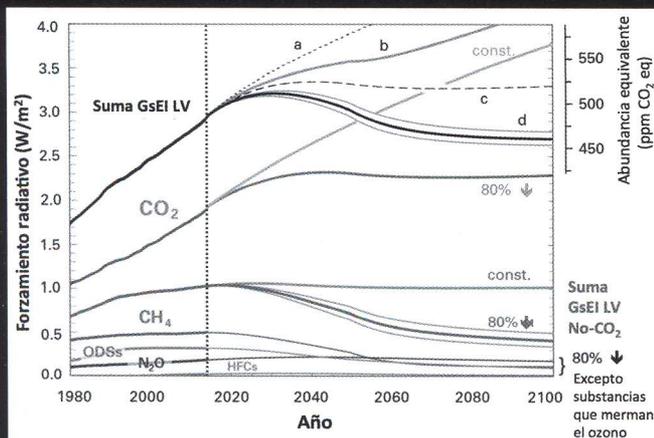


Figura 2. Aumento en el forzamiento radiativo por arriba de sus valores preindustriales para los principales gases causantes del efecto invernadero de larga vida (GsEI LV) de 1980 a 2013 y la suma de los mismos; también se ilustra el cambio en dicho forzamiento que ocurrirá entre el 2014 y el 2100 dependiendo de las reducciones en emisiones de acuerdo a: (a) las emisiones se mantienen constantes e iguales a los niveles en el 2013, (b) emisiones constantes de CO_2 y reducción de 80% en las emisiones antropogénicas de otros gases, (c) reducción de 50% en las emisiones de CO_2 manteniendo constantes las emisiones de otros gases, y (d) reducción de 80% en las emisiones de todos los GsEI LV.

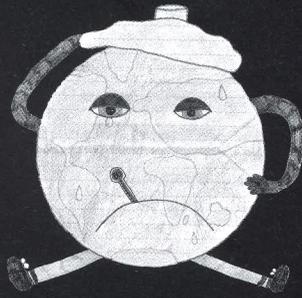
tano (gas natural) y de biomasa. En 2013, su concentración atmosférica llegó a 325.9 partes por cada mil millones. Su capacidad de retención de radiación infrarroja (efecto de calentamiento) a lo largo de un siglo es, a igualdad de emisiones, 298 veces mayor que la de CO_2 , y desempeña un papel muy importante tanto en la creación de ozono troposférico —lo que implica pérdidas en las cosechas y problemas mortales en salud—, como en la destrucción del ozono estratosférico —la capa que nos protege de la nociva radiación solar ultravioleta.

En 2013, el efecto de calentamiento o forzamiento radiativo causado por el conjunto de todos los gases causantes de efecto invernadero de vida larga corresponde a una fracción molar equivalente de CO_2 de 479 partes por millón.

La acidificación de los océanos. Por primera vez el boletín de la OMM contiene una sección sobre el aumento en la acidez de los océanos. El aumento en la captación de CO_2 adicional debido a la actividad humana altera el sistema marino de carbonatos que controla la acidez del agua salada. Al disolverse el CO_2 en el agua se forma ácido carbónico (H_2CO_3), que a su vez se disocia en iones de hidrógeno (H^+) y bicarbonato (HCO_3^-). El aumento en los iones de hidrógeno (H^+) causa un aumento en la acidez (que se mide como una disminución en el pH, definido como el logaritmo negativo de la actividad

de los iones hidrógeno o concentración de H^+). La tasa de acidificación se ve mitigada por la presencia de iones carbonato (CO_3^{2-}), que forma enlaces con la mayoría de los iones hidrógeno recientemente formados; sin embargo, la reacción consume iones carbonato y reduce la capacidad química para atrapar y diluir más CO_2 que tiene el agua salada cercana a la superficie. Desde el principio de la era industrial y hasta la actualidad, esta captación se ha reducido 30% y bien podría reducirse hasta 80% para finales del siglo XXI. Según los datos obtenidos de archivos paleontológicos, esta tasa de acidificación oceánica no tiene parangón en los últimos 300 millones de años y según los modelos del sistema terrestre, la acidez del océano seguirá aumentando aceleradamente hasta mediados del siglo XXI; durante las dos últimas décadas el pH de los océanos disminuyó a una tasa anual promedio de entre -0.0011 y -0.0024 , dependiendo de la localización y a la captación diaria de 4 kg de CO_2 por persona.

Las consecuencias de esta acidificación sobre los organismos marinos es muy compleja. Una de las mayores preocupaciones es la respuesta de los organismos calcificantes como: corales, algas coralinas, moluscos y algunos tipos de plancton, ya que su habilidad para construir conchas o material esquelético (vía calcificación) depende directamente de la abundancia de iones carbona-



to (CO_3^{-2}). Para muchos organismos de diversas especies, el aumento en la acidez causa cambios relevantes en las funciones fisiológicas, la reducción de la calcificación y la disminución de la sobrevivencia, el desarrollo y la tasa de crecimiento de los individuos y las colonias; todo ello con un impacto negativo en las poblaciones y la biodiversidad.

Con el fin de ilustrar las consecuencias de las emisiones durante el siglo XXI se incluye la figura 2, en donde se muestra el forzamiento radiativo y los impactos sobre su futuro de acuerdo con diferentes reducciones en las emisiones. El análisis de las observaciones muestra que para reducir el valor actual del forzamiento radiativo (2.92 W/m^2 en 2013) se requieren drásticas disminuciones en las emisiones antropogénicas de todos los gases de efecto invernadero. Nótese el



Antonio Sarmiento Galán

Instituto de Matemáticas, Unidad Cuernavaca,
Universidad Nacional Autónoma de México.

EN LA RED
www.ioccp.org
www.ipcc.ch
goo.gl/1S1hEd
goo.gl/Qirrqng
goo.gl/ljKGrJ

hecho de que aun disminuyendo considerablemente las emisiones, el forzamiento sigue aumentando para posteriormente disminuir muy poco y lentamente a causa de las emisiones realizadas en el pasado, razón por la cual, mientras más tarde nos empezamos a reducir las emisiones, más elevada será la temperatura a la que permanecerá la Tierra durante siglos y mayor será el impacto en términos de las inevitables pérdidas de todo tipo.

Existe además otro riesgo que intensifica la necesidad de acción internacional concertada contra el calentamiento global antropogénico acelerado y que no se menciona en el reporte de la Organización Meteorológica Mundial. De acuerdo con el estudio del Consejo Nacional de Investigación (estadounidense) titulado *Impactos abruptos del cambio climático: anticipando sorpresas*, la mayoría de las proyecciones del cambio climático presuponen que los cambios futuros —emisiones de gases causantes del efecto invernadero, aumentos en la temperatura global promedio y sus consecuencias como la elevación del nivel de los océanos— ocurrirán de manera gradual, incrementándose lentamente. Una cierta cantidad de emisio-

nes conducirá a un incremento dado en la temperatura que a su vez conducirá a una determinada elevación gradual y suave del nivel de los océanos. Sin embargo, los registros geológicos del clima indican instancias donde un cambio relativamente pequeño en alguna variable climática condujo a cambios abruptos en la totalidad del sistema climático (abrupto significa que ocurre en lapsos tan cortos como décadas o incluso años). Es decir, llevar la temperatura global promedio más allá de cierto umbral, puede desencadenar cambios abruptos, impredecibles y potencialmente irreversibles que ocasionen impactos masivamente disruptivos a gran escala. En dicha situación, aun sin añadir cantidad alguna de CO_2 a la atmósfera, se desatan procesos potencialmente imparables. Algunos cambios ya pueden notarse, como la rápida desaparición de hielo en los casquetes polares y en Groenlandia, y el derretimiento del pergelisol bajo la superficie en las orillas de la tundra en Siberia y el norte de Canadá. Se puede pensar en la analogía de una falla repentina en los frenos y la dirección del clima donde tanto el problema como sus consecuencias escapan a nuestro control. 

goo.gl/TMS37w
goo.gl/ALj6oF

IMÁGENES

Niños dibujando el planeta y el calentamiento global, imágenes tomadas de la red.