Se pierde la oportunidad para combatir el calentamiento global antropogénico Antonio Sarmiento Galán

El 9 de septiembre del 2014, se presentó en Ginebra el boletín anual de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sobre las abundancias atmosféricas de *gases de efecto invernadero* que se alcanzaron en el 2013. El nombre de los gases obedece al hecho de que su presencia en la atmósfera causa que ésta atrape radiación infrarroja (calor) y se produzca al consecuente calentamiento de todo el sistema –continentes, océanos, atmósfera. La situación descrita en el boletín implica la 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 del 34% en el efecto de calentamiento debido al aumento en las concentraciones atmosféricas de gases como el bióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido de nitrógeno (N₂O). Gracias a las mediciones realizadas en las estaciones que se muestran en el mapa (figura 1), sabemos que las concentraciones anuales promedio en el 2013 de CO₂, CH₄ y N₂O en la atmósfera alcanzaron el 142%, 253% y 121% de sus concentraciones preindustriales (antes de 1750), respectivamente. La concentración de CO₂ creció más entre 2012 y 2013 que durante cualquier otro año desde 1984. Ello se debe según los datos preliminares, no sólo al aumento sostenido de emisiones de CO₂, sino también a una reducción en la captura de CO₂ por la biósfera terrestre (tabla I).

Es importante señalar que el reporte de la OMM contiene las concentraciones de los gases en la atmósfera, no las emisiones correspondientes. 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 una vez que ha ocurrido un complejo sistema de interacciones entre la atmósfera, la biósfera y los océanos. Cerca de la cuarta parte del total de las emisiones es captada por los océanos y otra cuarta parte por la biósfera, ambos procesos reducen la cantidad de CO_2 presente en la atmósfera. Es decir, los océanos amortiguan el aumento de CO_2 en la atmósfera, pero lo hacen a costa de un problema importante de muy largo alcance: la acidificación de los océanos, 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 el que es capturado en los océanos; esta permanencia significa que 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. Como la atmósfera y el océano son tanto los principales determinantes del clima terrestre, como los principales atenuantes del calentamiento global antropogénico, ambos debieron haber estado siempre 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 de las futuras décadas.

Las concentraciones atmosféricas reportadas en el boletín son las siguientes

Bióxido de carbono (figura 2). La radiación infrarroja retenida por la atmósfera (efecto de calentamiento) aumentó el 34% entre 1990 y 2013, siendo el CO₂ la causa del 80% de tal aumento. A escala global, la abundancia de este gas en la atmósfera llegó a 396 partes por millón en el 2013, habiendo crecido 2.9 partes por millón entre 2012 y 2013; éste es el aumento anual más elevado en el período que va de 1984 a 2013.

Las concentraciones atmosféricas de los tres gases varían estacional y regionalmente debido a la interacción con la biósfera (actividad fotosintética principalmente, figuras 2, 3 y 4); en el caso del CO₂ tenemos que debido a su tasa actual de crecimiento, la concentración anual promedio cruzará el valor simbólico de 400 partes por millón en el 2015. De acuerdo con los modelos del sistema terrestre que mejor reproducen el aumento observado en la temperatura hasta la fecha, llegar en el 2010 al valor de 400 partes por millón de CO₂ en la atmósfera significa un aumento de temperatura de 3°C para el año 2067 respecto del valor preindustrial (previo a 1750). Esto quiere decir que, de llegar el CO₂ en la atmósfera a las 400 partes por millón en el año 2015 y suponiendo que su tasa de crecimiento hubiese disminuido hasta llegar a la misma tasa con la que aumentaba en el 2010, la Tierra alcanzará en el 2072 una temperatura que cuando menos, será 3°C más elevada que la que tenía antes de que la actividad humana empezase a contaminar el ambiente.

Metano (figura 3). Las emisiones del segundo gas causante del efecto invernadero de larga duración, se deben en un 40% a fuentes naturales (humedales y termitas, por ejemplo) y en un 60% a las actividades humanas como son la cría de ganado, el cultivo del arroz, la explotación de combustibles fósiles, tiraderos y rellenos sanitarios, y la quema de biomasa. Desde el 2007, después de un lapso durante el cuál se mantuvo relativamente constante, la abundancia de metano en la atmósfera ha aumentado sostenidamente hasta llegar a un nuevo valor máximo de 1,824 partes por mil millones en el 2013; este aumento se debe a aumentos en las emisiones por fuentes antropogénicas, exclusivamente. Aunque el metano es comparativamente menos abundante que el CO₂, su efecto de calentamiento a lo largo de un siglo y a igualdad de emisiones, es entre 28 y 30.5 veces mayor que el del CO₂.

Óxido nitroso (figura 4). El N₂O también es emitido por fuentes naturales (60%) y por actividad humana (40%) incluyendo el uso de los océanos, del suelo, la quema de biomasa, el uso de fertilizantes sintéticos y varios procesos industriales como la generación de energía eléctrica mediante la quema de metano (gas natural). Su concentración atmosférica en el 2013 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 y a igualdad de emisiones, es 298 veces mayor que la del CO₂ y juega un papel muy importante tanto en la creación de ozono troposférico como en la destrucción del ozono estratosférico. La presencia de ozono en la tropósfera, que es la primera capa de la atmósfera en contacto con la superficie terrestre y en donde se realizan prácticamente todas las actividades humanas, resulta extremadamente perniciosa pues implica entre otras cosas, la pérdida de las cosechas y problemas letales en salud; en cuanto al ozono en la estratósfera, siguiente capa de la atmósfera hacia el espacio exterior, su presencia es benéfica pues constituye la capa que nos protege de la nociva radiación solar ultravioleta y su destrucción por el N₂O resulta no sólo negativa sino elevadamente riesgosa.

En el 2013, el efecto de calentamiento causado por el conjunto de todos los gases causantes del efecto invernadero de vida larga, corresponde a la suma de las fracciones molares de dichos gases y equivale a la presencia de 479 partes por millón de CO₂ en la atmósfera.

La acidificación de los océanos (figura 5). Por primera vez el boletín del 2014 contiene una sección que presenta el aumento en la acidez de los océanos. El aumento en la captación del CO2 adicional, originado por la actividad humana, altera el sistema marino de carbonatos que controla la acidez del aqua salada. Al disolverse el CO2 en el agua se forma ácido carbónico (H₂CO₃) que a su vez se disocia en iones de hidrógeno (H₊) y bicarbonato (HCO₃·). El aumento en los iones de hidrógeno (H₊) causa un aumento en la acidez; ésta se mide como una disminución del pH (un valor definido como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno o de la concentración de H₊). La tasa de acidificación se ve mitigada por la presencia de iones carbonato (CO₃²-) que forman enlaces con la mayoría de los iones hidrógeno recientemente formados; sin embargo, la reacción consume iones carbonato y con ello reduce la capacidad química del aqua salada cercana a la superficie para continuar atrapando y diluyendo más CO₂. Desde el principio de la era industrial y hasta la actualidad, esta captación se ha reducido en un 30% y bien podría reducirse hasta en un 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 con una tasa anual promedio de entre -0.0011 y -0.0024, dependiendo de la localización y debido a que durante dicho lapso estuvo capturando un promedio diario de 4 kilogramos de CO₂ por habitante.

Las consecuencias de esta acidificación sobre los organismos marinos es muy compleja. Una de las mayores incógnitas es la forma en que responderán los organismos calcificantes --como los corales, las algas coralinas, los 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 carbonato (CO₃²⁻) y ésta disminuye conforme los iones carbonato se consumen intentando frenar la acidificación del océano. Para muchos organismos de diversas especies, el aumento en la acidez causa cambios relevantes en sus funciones fisiológicas, reduce la calcificación y disminuye la sobrevivencia, el desarrollo y la tasa de crecimiento de los individuos y de las colonias; todo ello con un impacto negativo en las poblaciones y la biodiversidad.

Para ilustrar las consecuencias de las emisiones durante el siglo XXI, se incluye la figura 6, donde se muestran el efecto de calentamiento, expresado como forzamiento radiativo, y los impactos futuros de acuerdo a diferentes esquemas de reducción en las emisiones. El análisis de las observaciones muestra que para reducir el valor actual del efecto de calentamiento (2.92 W/m² en el 2013) se requieren drásticas disminuciones en las emisiones antropogénicas de todos los gases de efecto invernadero. Nótese el hecho de que aún disminuyendo considerablemente las emisiones, el calentamiento sigue aumentando para posteriormente disminuir muy poco y muy lentamente a causa de las emisiones realizadas en el pasado; razón por la cuál, mientras más tardemos en empezar 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.

Un riesgo adicional: los umbrales. 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 (Estadounidense) de Investigación 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 emisiones 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 a la temperatura olobal promedio más allá de cierto umbral, puede desencadenar cambios abruptos, impredecibles y potencialmente irreversibles que ocasionan impactos masivamente disruptivos a gran escala. En dicha situación, aún sin añadir cantidad alguna de CO2 a la atmósfera, se desatan procesos potencialmente imparables. Algunos cambios abruptos ya se han puesto en marcha, incluyendo la rápida desaparición de hielo en los casquetes polares y Groenlandia y el derretimiento del pergelisol (suelo permanentemente congelado) 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 irremediablemente a nuestro control.

Referencias

- > WMO Global Atmosphere Watch programme http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_home_en.html
- > Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC-UNESCO)

http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/ioc-oceans/

- > Ocean Acidification International Coordination Centre (IAEA, OA-ICC) http://www.iaea.org/ocean-acidification/page.php?page=2181
- > International Ocean Carbon Coordination Project http://www.ioccp.org/
- > Intergovernmental Panel for Climate Change 5th Assessment Report http://www.ipcc.ch/
- > National Research Council. <u>Abrupt Impacts of Climate Change: Anticipating Surprises (2013)</u>. Washington, DC: The National Academies Press http://www.nap.edu/download.php?record_id=18373</u>
- > American Association for the Advancement of Science http://whatweknow.aaas.org/get-the-facts/ en castellano: http://whatweknow.aaas.org/wp-content/uploads/2014/07/whatweknow_report_espanol_v4.pdf (punto II.B, p. 7)

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

Tabla I. 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 anteriores a1750 son 278 ppm para el CO_2 , 0.722 ppm para el CH_4 y 0.270 ppm para el N_2O .

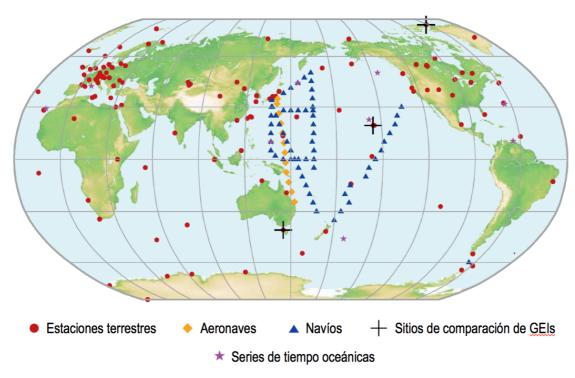
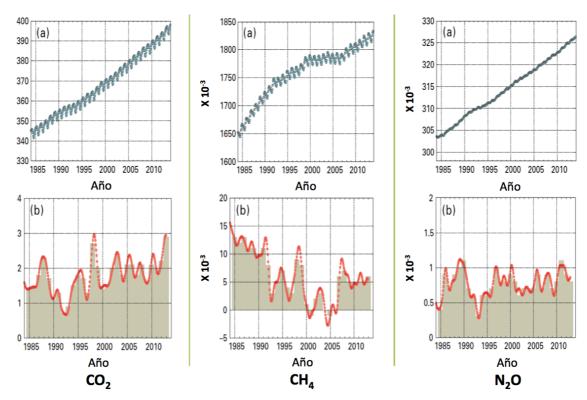


Figura 1. Red de Vigilancia Atmosférica Global de la Organización Meteorológica Mundial para la medición del CO₂ presente en la atmósfera durante la última década (la red para el caso del metano es similar); también se muestran los sitios donde se realizan observaciones de CO₂ en aguas oceánicas.



Figuras 2, 3 y 4. Fracciones molares (gráficas superiores (a) en partes por millón) y tasas de crecimiento (gráficas inferiores (b) en partes por millón por año) de 1984 a 2013 para bióxido de carbono (CO₂, columna izquierda), metano (CH₄, columna central) y óxido de nitrógeno (N₂O, columna derecha); en las gráficas inferiores (b) se muestran con columnas sombreadas las diferencias en promedios anuales sucesivos.

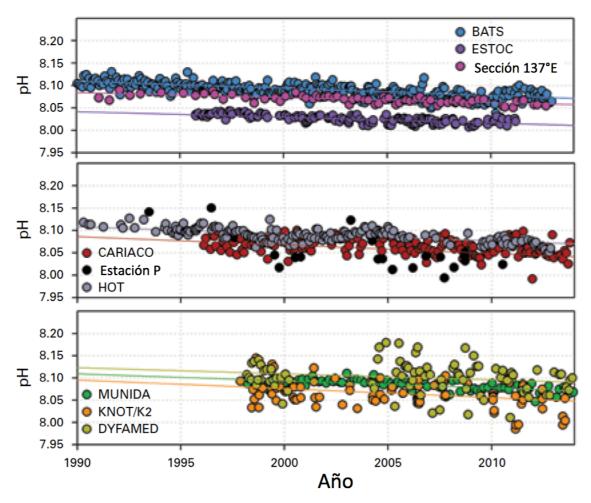


Figura 5. Series de tiempo y tendencias lineales del pH del agua superficial en los océanos (en estas series se han eliminado las variaciones estacionales); las localizaciones de los sitios de medición se muestran en la figura 1. La resolución del muestreo varía de mensual a anual.

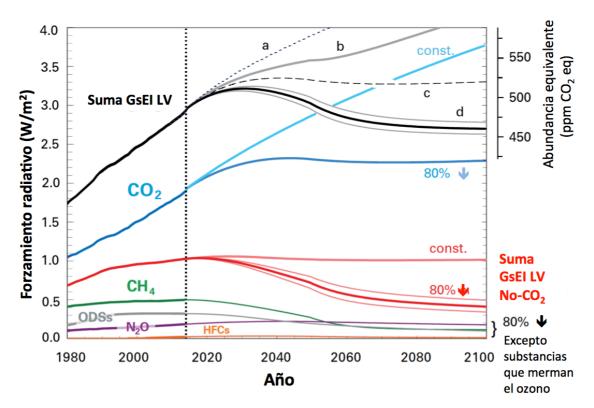


Figura 6. Aumento en el calentamiento o forzamiento radiativo por arriba de sus valores preindustriales para los principales gases causantes del efecto invernadero de larga vida (GsEl LV) de 1980 a 2013 y la suma de los mismos (en negro); también se ilustra el cambio en dicho calentamiento que ocurrirá 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 CO₂ y reducción del 80% en las emisiones antropogénicas de otros gases, (c) reducción del 50% en las emisiones de CO₂ manteniendo constantes las emisiones de otros gases, y (d) reducción del 80% en las emisiones de todos los GsEl LV. Las proyecciones ilustran el hecho de que para lograr reducciones en el calentamiento, se requerirá de disminuciones drásticas en las emisiones antropogénicas tanto de CO₂ como de los demás GSei LV.