

# El Termómetro Planetario: ¿El “efecto invernadero” hará subir la temperatura de la tierra?

**Dominique Bérubé, David Birón, Mohamed Djebrouni, Michel Fortin, Sékou Moussa Keita, Marconi Magalhaes, Marie Pascale Sassine, Guoji Shan, Marie-Josée Simard, Louis Tessier, Chistine Veiga-Pires, Leopoldo Yanes, Jean Pierre Blanchet, Dave Hilbert, Marc Lucotte**

Mucho se ha escrito acerca de la actividad antrópica y su efecto sobre la temperatura terrestre, pero nunca será suficiente mientras siga en aumento la concentración de gases en la atmósfera y persista la desinformación en amplios sectores de la población.

Es necesario abrir más espacios para la discusión y búsqueda de soluciones, tarea que deben asumir los gobiernos y las organizaciones no gubernamentales para aumentar la participación y generar corrientes de opinión y de presión para detener los procesos destructivos del planeta

Por ello nos permitimos colocar a continuación un resumen de la Reflexión de un grupo de trabajo multidisciplinario constituido por estudiantes y profesores de doctorado de Ciencias del Ambiente de la Universidad de Quebec en Montreal (UQAM), el cual se realizó originalmente en francés y traducido por el grupo del Centro de Estudios en Salud de los Trabajadores, (CEST) para su publicación en la Revista Salud de los Trabajadores.

Esperamos que éste sea el inicio de una larga discusión entre nuestros lectores.

La “Reunión de Berlín” celebrada en 1995 congregó la mayoría de los 150 países firmantes de la “Convención de Río” con la finalidad de llegar a un acuerdo sobre la reducción de las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero. Uno de los problemas centrales discutidos en esta conferencia fue sobre el carácter de las decisiones que se iban a tomar y las bases científicas que les servían de sustentación. El consenso de todas las naciones era que las decisiones tomadas debían estar basadas en argumentos científicos. Sin embargo, el conocimiento que se tiene del fenómeno del recalentamiento de la superficie de la tierra y del “efecto invernadero” es todavía apenas un balbuceo pese a los miles de artículos publicados sobre este tema. Antes que interrogarse sobre la probabilidad de un recalentamiento medio del planeta, a nuestro juicio, el punto principal a discutir debería ser el significado y las consecuencias de la introducción de un desequilibrio mayor en el sistema climático.

Desde hace algunas décadas, las sorpresas climáticas se multiplican a escala internacional. Recordemos la destrucción de los sembradíos en la región de

Rougemont (Canadá) en el invierno causada por fríos excepcionales en enero de 1994, (una temperatura media de -16,9 °C, combinado con grandes rangos de variación de la temperatura, de -34,7° a 8,3°C, con 14 mm de lluvia en 24 horas). Sin embargo, para la siguiente Navidad, la temperatura media del mes de diciembre de 1994 fue particularmente benévola, esto es 0,2°C comparado con la normal de -2,7°C. Más aún, Montreal recibió dos veces menos nieve que la normal que es de 63 mm. En febrero de 1995, Francia y los Países Bajos recibieron cantidades anormales de lluvia lo que causó inundaciones importantes, mientras que España ha soportado una grave sequía desde hace muchos años. Sequías e inundaciones sucesivas afligen a California y todavía podemos recordar bien las inundaciones del Medio Oeste americano de ese año. Sin embargo estas sorpresas meteorológicas no reflejan obligatoriamente un cambio climático global. Entonces ¿qué es lo que está pasando?

Antes de continuar, nos parece importante realizar una precisión de carácter conceptual ya que existen muchas confusiones con relación a este tema. Quizás uno de

los errores más popularizados es confundir el "efecto invernadero" con la reducción de la capa de ozono. Nada más alejado de la realidad. El "efecto invernadero" es un fenómeno natural, causado por la retención de la energía por los gases atmosféricos, lo cual es esencial para el mantenimiento de temperaturas aceptables en la superficie de la tierra para el desarrollo de la vida. Se calcula que sin este efecto la temperatura media en el planeta alcanzaría apenas los 18°C bajo cero. Por su parte, la reducción de la capa de ozono es sólo un aspecto del problema.

### La temperatura terrestre

La temperatura terrestre está determinada por la relación entre la cantidad de energía solar que ingresa a la tierra y la que sale. La energía solar penetra en las regiones superiores de la atmósfera en forma de haces de rayos de luz caracterizados por su longitud de onda: ultravioleta, luz visible e infrarrojos. Gran parte de esta radiación es reflejada hacia el espacio. La atmósfera y la superficie terrestre absorben la energía restante y de esta forma se calientan. La energía térmica de la superficie es emitida de nuevo hacia el espacio en forma de rayos infrarrojos. Una parte de esta energía es absorbida mientras atraviesa la atmósfera por los gases que provocan efecto invernadero, tales como el gas carbónico, el metano, los clorofluorocarbonos CFC. A este fenómeno de retención de energía térmica es a lo que se le llama el "efecto invernadero" y es un fenómeno esencial para el desarrollo de la vida en el planeta. El problema se genera cuando se rompe el precario equilibrio en las concentraciones de estos gases en la atmósfera.

Desde el inicio de la era industrial y con la explosión demográfica, la humanidad ha contribuido de manera significativa al aumento de gases que provocan "efecto invernadero" con la utilización del petróleo, el carbón y el gas natural acumulados bajo la tierra desde hace centenares de millones de años. El consumo de estas fuentes de carbono llevan consigo la liberación significativa de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. El mismo principio se aplica a otros gases como el metano, generado por los terrenos cultivados, inundados o deforestados para la cría de ganado. Adicionalmente es necesario mencionar la incorporación de nuevos gases atmosféricos, tales como los CFC capaces de permanecer durante siglos en la atmósfera, y que se muestran todavía más eficaces que los anteriores para la absorción de los infrarrojos. Ahora bien, surgen dos preguntas: ¿Es que esta variación de la concentración de los gases atmosféricos es significativa? y, ¿qué relación podemos establecer entre esta variación en la concentración de los gases que contribuyen con el efecto invernadero y los cambios climáticos?

La concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> ha presentado variaciones marcadas en el transcurso de diferentes épocas geológicas. Con el estudio de burbujas de aire atrapadas en las capas de hielo en los glaciares, se ha podido determinar la composición de aire de hace millones de años,

encontrándose que el porcentaje de este gas (CO<sub>2</sub>) ha pasado de 190 ppm (partes por millón) durante el último período de glaciación, a 300 ppm durante el período interglaciar actual. Sin embargo, las observaciones hechas sobre el volcán Mauna Loa en Hawai desde 1958 (sitio alejado de toda aglomeración urbana que pudiera falsear los resultados), han permitido constatar que las actividades antrópicas, son responsables del aumento exponencial de los porcentajes de este gas. Ellas alcanzan hoy en día un nivel inigualado de 350 ppm, esto es un 25 % más que el valor pre-industrial inicial de 280 ppm. Aún cuando las tasas de emisión de gases muestran poca variación, se prevé que estas pasarán de 5,5 Gigatoneladas de carbono por año (esto es 100.000 veces las de aquellas que son atribuibles a la circulación anual de automóviles en Canadá), a 9 Gigatoneladas anuales en el 2025, lo que llevaría a una concentración de 600 ppm de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. La contribución de los otros gases al efecto invernadero debe ser seriamente evaluada para poder establecer políticas y controles que impidan que se siga incrementando la concentración de este tipo de gases en la atmósfera.

### Un comportamiento caótico

El clima ha tenido siempre un comportamiento caótico a través de los diferentes períodos geológicos. Desde hace 6000 años, la humanidad goza de una estabilidad climática atípica, con una temperatura media alrededor de los 15°C, en una escala de tiempo que le ha permitido hacerse sedentario y desarrollar una sociedad industrial. Hacer un modelo de la evolución de la temperatura desde el principio del siglo es una tarea difícil. Las variaciones anuales, la ausencia de datos, el desconocimiento de las temperaturas oceánicas, los cambios en las técnicas de análisis son algunos de los factores que impiden el establecimiento de una tendencia general.

A pesar de las incertidumbres asociadas a estas medidas, la comunidad científica, en términos generales, está de acuerdo en afirmar que el aumento de la temperatura media mundial ha sido de 0,2 a 0,7°C desde 1850. Este aumento de la temperatura corresponde globalmente al del aumento de gases que provocan el efecto invernadero en la atmósfera. Sin embargo, fuertes anomalías pueden ser notadas entre estos dos parámetros, tal como el enfriamiento general observado entre los años 40 y 70, no corroborado con un equivalente en las concentraciones gaseosas.

A pesar de los avances en el conocimiento científico sobre esta problemática, todavía es bastante difícil establecer un nexo directo de causa/efecto entre el recalentamiento climático global y el aumento de la concentración atmosférica de los gases que provocan efecto invernadero. El estudio aislado del comportamiento de los gases que provocan "efecto invernadero" permitirá avanzar más rápidamente en la comprensión de este fenómeno. Sin embargo, la incorporación de otros elementos que actúan sobre el sis-

tema introduce nuevas dificultades que impide responder a esa pregunta de manera absoluta. Algunos de estos "otros" elementos a considerar es la influencia de la dinámica de los océanos en el ciclo de los gases al actuar como gran reservorio de  $\text{CO}_2$ , los efectos del efecto sinérgico que se produce en la reacción de los gases atmosféricos, la influencia de la formación de las nubes y del ciclo del agua, o la influencia del polvo y los aerosoles en la atmósfera, de la reducción del espesor de la capa de ozono, etc. Pero a pesar de todo, y aún en ausencia de pruebas, tenemos la responsabilidad científica de tomar posición a favor de reducciones masivas de la emisión por la actividad humana de los gases que provocan efecto invernadero. La amenaza de desequilibrio del clima planetario es lo suficientemente grande como para obligar a una acción rápida de parte de la comunidad internacional aun sin existir ninguna garantía de la efectividad de las mismas para controlar el fenómeno.

### Algunas cifras de la actividad humana y su influencia en el clima planetario

La humanidad inyecta anualmente en la atmósfera 7 billardos (miles de millones) de toneladas de carbono en forma de  $\text{CO}_2$  (4 Kg de carbono/[humano x año x día]): 5 billardos de toneladas provienen de la actividad industrial, de la calefacción y los medios de transporte y 1,6 billardos de la deforestación y utilización del territorio. A partir de la era industrial (1850), la actividad humana ha aumentado a tasas extremadamente rápidas la concentración atmosférica de los gases que provocan el efecto invernadero. El  $\text{CO}_2$  ha pasado de 280 a 350 ppm, el  $\text{CH}_4$  de 0,8 a 1,7 ppm, el  $\text{N}_2\text{O}$  de 0,28 a 0,31 ppm y el Ozono ( $\text{O}_3$ ) de 0,01 a 0,05 ppm. Esto representa respectivamente aumentos de 27, 113, 10 y 400 %. Además, la actividad antrópica contribuye a añadir gases no naturales tales como los CFC (1,6 % al año). Estos aumentos, realizados en algunas décadas, son comparables a las que pudieron haberse producido después de los periodos interglaciares en una escala de tiempo de miles de años. La actividad antrópica ha modificado y modifica todavía el equilibrio del sistema climático.

La interacción entre tres grandes reservorios: la atmósfera, la biósfera y la hidrósfera (océanos), es la base del equilibrio climático y del ciclo del  $\text{CO}_2$ , gas que tiene la mayor contribución con el "efecto invernadero". Dos procesos principales rigen la absorción del  $\text{CO}_2$  por el océano: el ciclo de transporte y la actividad biológica. Anualmente, el océano va a absorber 94 billardos de toneladas de  $\text{CO}_2$ , mientras que devuelve 90 a la atmósfera. Lo que quiere decir que cuatro billardos de toneladas serán captadas y fijadas en el océano por procesos biogeoquímicos. El océano sirve de vehículo para el  $\text{CO}_2$  captándolo de las latitudes altas para liberarlo en los trópicos. Este proceso es muy lento, con una duración de 400 a 600 años, y es asegurado por la circulación oceánica llamada "ciclo de transporte". En este ciclo, el agua fría del Ártico y de la Antártida se satura en  $\text{CO}_2$  y se sumerge, llenando el fondo de los océanos Atlán-

tico, Índico y Pacífico con esta mezcla. Posteriormente, esta agua remonta a la superficie, libera el  $\text{CO}_2$  y empuja las corrientes calientes hacia la superficie influenciando de esta forma el clima del planeta. De esta manera es posible entender el clima templado de Europa gracias a la llegada de la Corriente del Golfo (Gulf Stream) cerca de sus costas en comparación con el de Canadá, a pesar de estar las ciudades más importantes de este último país en latitudes inferiores a las ciudades europeas. La actividad biológica se manifiesta en la capa eutrófica donde la luz permite el desarrollo del plancton que utiliza el  $\text{CO}_2$  disuelto.

Por su parte, la biósfera y la atmósfera se intercambian anualmente 110 billardos de toneladas de carbono. El rol de la biósfera es de dos a seis veces inferior en lo que concierne a la retención del carbono comparativamente al océano que es el contenedor principal. La deforestación es una amenaza importante si continúa al ritmo actual (en las Américas: 7,3 millones de hect./año; en África: 4,8 millones de hect./año; en Asia: 4,7 millones de hect./año). Una destrucción masiva de los bosques del planeta causará probablemente un enfriamiento local y global ligado a la elevación del efecto "albedo". La deforestación también ha causado una incidencia climática local e inmediata ya que la desertificación conlleva una disminución mayor de la masa de nubes y de las precipitaciones. Aunque la contribución antrópica pudiera parecer débil en relación con los intercambios naturales entre la atmósfera, el océano y la biósfera, la inyección de gases mencionada al principio de este artículo lleva a una tendencia a la acumulación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera (3,4 billardos de toneladas de carbono por año) a lo que hay que añadir todos los otros gases que provocan efecto invernadero y que se están acumulando en la atmósfera.

### La modelización matemática y su contribución a la comprensión del fenómeno

Los científicos han elaborado modelos matemáticos basados en las leyes físicas de manera de comprender y predecir la evolución del clima. Estos han permitido la consideración de factores subestimados hasta ahora como la contribución solar, las radiaciones infrarrojas, el aporte de la nubosidad, los aerosoles, la hidrología, el océano, la criósfera, la topografía, etc. Cualquiera que sea el modelo utilizado, las simulaciones indican un aumento de la temperatura media relacionado con el aumento de la concentración atmosférica de los gases que provocan el efecto invernadero. Sin embargo, la amplitud de esas variaciones no es de tal grado que permita asegurar la relación entre las dos variables.

Algunos modelos predicen que en unos 100 años se puede producir un aumento de temperatura de  $5^\circ\text{C}$  al norte de Quebec y de  $2^\circ\text{C}$  en el sur (valores de temperatura promedio), lo que pudiera "a priori" parecer ventajoso para una región tan fría. Sin embargo, de ese calentamiento me-

dio podrían resultar muchos impactos ecológicos negativos como la dificultad de los bosques boreales para adaptarse al nuevo clima, cambios de las condiciones agrícolas y en las precipitaciones mensuales y anuales. El calentamiento medio estaría acompañado de sorpresas climáticas puntuales y potencialmente catastróficas (alza del nivel del mar, erosión de las costas, migración de los monzones y tempestades, interrupción del ciclo de transporte del océano, por señalar sólo algunos). La adaptación de la economía de estos países (como es el caso de Canadá y Quebec) a los rápidos cambios climáticos engendrará costos enormes.

### ¿Hay responsables?

A todas las naciones de la tierra les concierne este problema, pero no todas son igualmente responsables. Para identificar con justicia la parte de responsabilidad de un país deberían retenerse por lo menos los siguientes parámetros: las acciones antrópicas negativas anteriores al fenómeno, la permanencia o duración de estas acciones y las cantida-

des y la categoría de los gases emitidos que provoquen efecto invernadero. *Los países industriales son los grandes responsables de las acciones antrópicas negativas previas al fenómeno y del calentamiento actual.* Algunos países en vía de desarrollo como China producen en conjunto más gases con efecto invernadero que Canadá, pero al estudiar la relación entre población y cantidad de gases emitidos, ésta cambia de manera radical. En nuestro ejemplo, al comparar las emisiones *per cápita*, China genera 15 veces menos que Canadá. Cada país tiene su parte de responsabilidad y debe desarrollar soluciones adaptadas a sus problemas.

Después de nuestra reflexión sobre el efecto invernadero y el recalentamiento planetario, nuestro grupo concluye que efectivamente hay un desequilibrio del sistema climático causado por la acción antrópica. En la actualidad, todavía es difícil predecir los cambios climáticos mundiales, pero es evidente que habrá modificaciones importantes en las condiciones climáticas locales y globales si la humanidad no reacciona rápidamente.