





Foto: © NASA Johnson Space Center, tomada desde la Estación Espacial Internacional.



Llamado a la prudencia *

Valoración histórico-crítica del cambio climático

JOSÉ FERNANDO ISAZA DELGADO
DÍOGENES CAMPOS ROMERO

Resumen

Se presenta, en este artículo, una breve historia de la atmósfera de la Tierra y del clima, y se explica el papel que ha desempeñado la vida en establecer la composición actual de la atmósfera. Se concluye con reflexiones que llaman la atención sobre la necesidad de darle al problema del calentamiento global un tratamiento lógico, menos alarmista o propagandista.

1. Introducción

El cambio climático de la Tierra es un fenómeno perteneciente al grupo de problemas que generan temor en el hombre contemporáneo y que son, por lo tanto, motivo de preocupación actual [1].

La Organización Meteorológica Mundial (WMO) y el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP) establecieron en 1988, en reconocimiento del problema del cambio climático global, el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), cuyo papel es evaluar la información científica, técnica, económica y sociológica de los riesgos del cambio climático inducido por causas antropogénicas.

* Una versión simplificada del presente trabajo se publicó en *Razón Pública*, 22 / 09 / 2008: <http://www.razonpublica.org.co/?p=240>.

Por su lado, Al Gore, como vicepresidente de los Estados Unidos en el gobierno de Bill Clinton, impulsó el tema de mediciones climáticas. A partir de la terminación de su mandato, en el 2001, desplegó una campaña mundial para llamar la atención sobre la responsabilidad humana por las graves consecuencias que se pueden derivar del proceso de calentamiento global y la urgencia de adoptar medidas oportunas para reducirlas o contrarrestarlas. Con su libro y documental *Una verdad inconveniente*, Al Gore ha tenido gran impacto en los medios de comunicación. En el 2007, el IPCC y Al Gore recibieron la distinción del premio Nobel de la Paz “por sus esfuerzos por incrementar y diseminar mayor conocimiento sobre el cambio climático generado por el hombre, y por establecer los fundamentos para adoptar las medidas necesarias para contrarrestar tales cambios”.

Los medios de comunicación, por su carácter divulgativo, presentan en oportunidades una visión apocalíptica con respecto al futuro de la Tierra o fundamentan la explicación de diversos acontecimientos adoptando como causa el calentamiento global. Con el propósito de contribuir a un análisis más educado sobre el problema, se debe distinguir la realidad que proporciona la evidencia científica de los mitos e intereses que pregonan sectores sociales o económicos.

Para iniciar, es importante distinguir entre los siguientes conceptos: efecto invernadero, calenta-

miento global, cambio climático. Las características y distinciones se esquematizan como sigue [1]:

1) La Tierra recibe radiación electromagnética proveniente del Sol con una fuerte presencia de radiación visible, complementada con contribuciones del infrarrojo (IR) y del ultravioleta (UV).

2) Como la longitud de onda de la energía incidente es muy corta, buena parte de ella pasa a través de la atmósfera y alcanza la superficie de la Tierra.

3) La superficie de la Tierra absorbe la energía solar y la remite a la atmósfera como radiación infrarroja (ésta se conoce con el nombre de radiación térmica o calor).

4) Una parte de la radiación térmica sale hacia el espacio y otra parte es absorbida por ciertos gases que están presentes en la atmósfera (*gases invernadero*: dióxido de carbono, metano y agua, entre otros).

5) Los gases invernadero emiten de nuevo la energía hacia la superficie de la Tierra y ésta sufre así un proceso de calentamiento, que recibe el nombre de *efecto invernadero*.

6) A partir de la revolución industrial, en el siglo XVIII, las actividades humanas (industria, fábricas, vehículos...) han contribuido de manera dramática a incrementar la presencia de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera, lo que ha conllevado a un efecto invernadero más intenso que aquel originado en los procesos naturales ya descritos. El calentamiento de la Tierra debido a estas actividades hu-

Acciones cotidianas para reducir el calentamiento global

**Esta franja es apta para quienes entienden
que minimizar los efectos del cambio climático
es responsabilidad de todos y cada uno
de los habitantes de nuestro planeta.**

**Se trata de acciones que debemos implementar, en nuestra vida
diaria, para hacer parte de la solución y no del problema.**

manas es el fenómeno que se denomina *calentamiento global*.

7) El cambio climático se refiere a las modificaciones en el clima del planeta debido a los fenómenos naturales –cambios astronómicos, modificaciones en la cantidad de energía que emite el Sol, erupciones volcánicas, modificaciones en la vegetación– que se han presentado durante toda la historia del planeta. Con la aparición del hombre y su interacción con la naturaleza, que causa por ejemplo una modificación en la composición de la atmósfera, aparece un factor adicional para el cambio climático, a saber: las causas antropogénicas que implican el calentamiento global.

El propósito del presente artículo es contribuir al entendimiento de la problemática que afecta la Tierra como un todo, a partir de la *hipótesis del cambio climático global*, según la cual [1]:

El aumento de la temperatura global superficial promedio (anual) que se observa en la Tierra tiene, en buena parte, su origen en causas antropogénicas que resultan de las actividades de una sociedad humana industrializada.

Para valorar de manera crítica esta hipótesis conviene hacer uso de información histórica que se desprende de evidencia científica existente, en especial con relación a la historia de la atmósfera y de la vida (sección 2) y la historia del clima de la Tierra (sección 3). Posteriormente se concluirá con comen-

tarios sobre la prudencia necesaria para evitar un tratamiento alarmista del problema del calentamiento global (sección 4).

2. Historia de la atmósfera y de la vida

2.1. Primera atmósfera

Se estima que la Tierra tiene una edad aproximada de 4.570 millones de años (MA) y que en su pasado distante ($\approx 4.400-4.000$ MA) el planeta tuvo una primera atmósfera formada, entre otros constituyentes, por vapor de agua, ácido cianídrico (HCN), amoníaco (NH_3), metano (CH_4), azufre (S), iodo (I), bromo (Br), cloro (Cl), argón (Ar), helio (He) e hidrógeno (H). Esta primera atmósfera se dispó como consecuencia de la radiación solar y de las altas temperaturas de la corteza terrestre, que estaba aún en estado fluido, lo que conllevó a que los gases livianos escaparan al espacio [6, 3]. Se estima que la temperatura en la superficie de la Tierra era tan alta como unos 1.000°C .

2.2. Segunda atmósfera

Hace unos 4.000 MA la superficie terrestre se enfrió lo suficiente para formar una corteza sólida plagada de volcanes que, con sus emisiones, permitieron la formación de una nueva atmósfera ($\approx 4.000-3.300$ MA). La segunda atmósfera se formó como una mezcla de vapor de agua, hidrógeno, cloruro de hidrógeno (HCl), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno; *el oxígeno libre estaba prácticamente ausente*. Para que los cinco volátiles primordiales (H_2O , CO_2 , N_2 , H_2S , HCl) existieran en estado gaseoso, la temperatura de la atmósfera debe haber sido suficientemente alta para evitar su condensación. La temperatura crítica más alta es la del H_2O , de 374°C , que debe haber sido la temperatura característica de la atmósfera terrestre antes de que se produjera la condensación a agua líquida [7, pp. 35 y 36].

Con el propósito de contribuir a un análisis más educado sobre el problema, se debe distinguir la realidad que proporciona la evidencia científica de los mitos e intereses que pregonan sectores sociales y económicos.

Millones de años después, el vapor de agua condensado dio origen a lluvias y a la formación de océanos; éstos absorbieron alrededor del 50% del dióxido de carbono presente en esta segunda atmósfera. Subsiste una atmósfera prebiótica donde el dióxido de carbono y el nitrógeno son los dos principales constituyentes, y un 50% del CO₂ se disuelve en la hidrosfera primigenia [7].

Excepto en los primeros millones de años de la historia de la Tierra y durante unos posibles eventos de glaciación total, parece ser que el planeta siempre ha tenido agua líquida de manera permanente [8]. Para que esta situación se haya dado (ver sección 3.2) se requiere un rango de temperaturas que es el resultado de una combinación afortunada de absorción de la radiación solar y del calentamiento por efecto invernadero, fenómeno que se fundamenta en el hecho de que la atmósfera terrestre es transparente a la luz visible pero absorbe radiación infrarroja. Se estima que la atmósfera primigenia pudo tener un gas invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) con una presión tan alta como 100 bar, generándose así un gran efecto invernadero; sin embargo, como en la infancia de la Tierra el Sol era mucho menos brillante que en la actualidad, fue posible la formación de agua líquida. Luego, al poderse disolver el CO₂ en el agua y precipitarse en forma de CaCO₃, el efecto invernadero se redujo significativamente. Las condiciones permanentes para la existencia de agua líquida

han sido el resultado de una combinación fortuita de dos factores totalmente independientes: la historia de la constante solar y la historia del CO₂. Éste (al igual que el H₂O) fueron emitidos del interior de la Tierra a través de procesos volcánicos, una vez que la Tierra comenzó su proceso de solidificación.

2.3. Vida y transformación de la atmósfera

La incidencia de radiación ultravioleta (UV), las corrientes de convección dentro de la Tierra, que disiparon calor y proporcionaron fluidos hidrotérmicos al fondo del mar, al igual que complejos procesos físicos y químicos crearon las condiciones para la iniciación posterior de la vida [4].

Una vez que apareció la vida, ésta se convirtió en un agente activo en el proceso de transformación de la atmósfera. Por las características de la atmósfera prebiótica (presencia de metano y sulfuro de hidrógeno), la fuente de energía pudo originarse en un proceso de síntesis química, tal como

$$\text{CO}_2 + \text{O}_2 + 4(\text{H}_2\text{S}) \rightarrow \text{CH}_2\text{O} + 4\text{S} + 3(\text{H}_2\text{O}),$$

donde el carbohidrato CH₂O (azúcar simple) es la fuente de energía.

Con la expansión de la biosfera, la cantidad de gases propicios para esta fuente de energía, fundamentada en reacciones de oxidación-reducción, se redujo progresivamente, y la vida tuvo que inventarse otra fuente de energía que resultó mucho más eficaz:

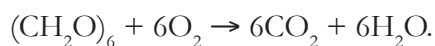
Cambie los bombillos

Reemplace los bombillos normales por los que consumen menos energía. De acuerdo a la Environmental Protection Agency (EPA) por cada 300 millones de habitantes que cambien, cada uno, los 5 bombillos que más usa, se evitaría el mismo daño que causan 8 millones de carros al año.

la fotosíntesis, que se fundamenta en el uso de la energía solar,

$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2$,
donde usamos la abreviación $(\text{CH}_2\text{O})_6 = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ para designar la glucosa (azúcar). Esta gran innovación de la naturaleza se facilitó cuando la actividad térmica de la Tierra disminuyó hace unos 3.000 a 4.000 MA [9]. Se estima que la producción significativa de oxígeno por fotosíntesis apareció quizás hace unos 3.500 MA [20].

Una vez que la energía solar se transforma en energía química por el proceso de fotosíntesis, un organismo tiene que transformar la energía química a una forma en que la pueda usar. Este proceso es la *respiración celular*:



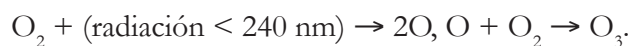
En el proceso de respiración, la energía almacenada en el azúcar se libera en presencia de oxígeno, y esta reacción libera el CO_2 y el H_2O que se habían unido originalmente por efectos de la energía solar.

Las células, al obtener su energía a través de un proceso de fotosíntesis y convertir dióxido de carbono en oxígeno, fueron responsables de iniciar la transformación de la atmósfera hacia una nueva composición con mayor presencia de oxígeno. Con la aparición de plantas y su proceso de fotosíntesis, se incrementa la conversión de dióxido de carbono en oxígeno.

Mecanismos fotoquímicos permitieron entonces la formación de la *capa de ozono* (O_3) que se ubica en la estratosfera,¹ capa que se caracteriza por una concentración de O_3 relativamente más alta que la de la parte inferior de la atmósfera (la concentración es unas pocas partes por millón más alta). El ozono se crea cuando la luz solar ultravioleta choca con moléculas diatómicas de oxígeno (O_2), dividiéndolas en oxígeno atómico (O); el oxígeno atómico se combina entonces con moléculas de O_2 para crear el ozono:

¹ La estratosfera es la región de la atmósfera que está comprendida entre unos 10 y 50 kilómetros por encima de la superficie terrestre; la troposfera está comprendida entre la superficie de la Tierra y la parte inferior de la estratosfera (unos 16 kilómetros en el trópico y alrededor de 8 kilómetros en los polos).

La presencia de oxígeno libre (O_2) en la atmósfera es el gran tesoro de la Tierra, pues no se ha encontrado en otro sitio del sistema solar y es un caso excepcional en el Universo debido a que por su naturaleza reactiva forma fácilmente óxidos u otros compuestos.



La concentración de O_3 en la capa de ozono es muy pequeña pero su existencia es vital para la vida debido a que absorbe radiación ultravioleta emitida por el Sol [6].

2.4. Tercera atmósfera

En la evolución de la Tierra surge así una tercera atmósfera (\approx 3.300 millones de años-presente), compuesta hoy en día de manera preponderante por nitrógeno (78,08%) y oxígeno (20,946%). La nueva situación geofísica, la evolución y el desarrollo de la vida permiten un incremento significativo del oxígeno en la atmósfera: su participación cambia de un valor inferior del 1% a un valor cercano al 21%. La presencia de oxígeno libre (O_2) en la atmósfera es el gran tesoro de la Tierra, pues no se ha encontrado en otro sitio del sistema solar y es un caso excepcional en el Universo debido a que por su naturaleza reactiva forma fácilmente óxidos u otros compuestos [25].

2.5. El árbol filogenético

La fotosíntesis gobernó la vida en la tierra y en el agua de manera predominante, mientras que

Clasificación (Woese 1990) con base en el análisis de la secuencia del ARN ribosomal

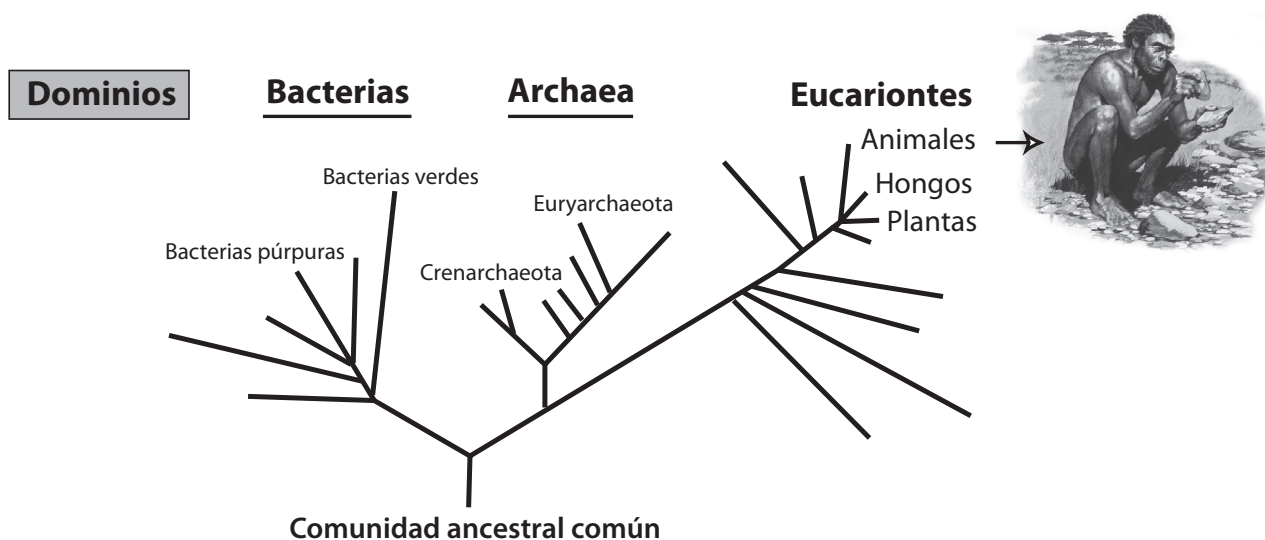


Figura 1. Árbol filogenético que muestra la genealogía de los organismos terrestres a partir de una comunidad ancestral común, construido mediante análisis comparativos de secuencias de ARN ribosomal (rRNA) [16, 17].

la síntesis química quedó restringida a unos pocos ambientes extremos de alta temperatura, acidez o radiación. Con el ingreso de la biología a la era genómica moderna, que se inició en 1995,² ha sido posible construir el árbol filogenético universal que muestra la historia de la vida en la Tierra a partir de una comunidad ancestral común, dando lugar a tres grandes dominios [11]: bacterias, archaea y eucariontes (figura 1). El árbol indica que toda la vida

en la Tierra se relaciona genéticamente como consecuencia del proceso de evolución que comenzó hace más de $3,8 \times 10^9$ años.

Las bacterias y los archaea, que son las formas más antiguas de vida de la Tierra, pueden haber desempeñado un papel importante en configurar nuestro planeta para soportar las formas de vida que conocemos hoy en día. Tanto las bacterias como los archaea están formados por una sola célula procariota; es decir, una célula cuyo núcleo está imperfectamente diferenciado del citoplasma y no está encerrado en una membrana.

² La era genómica moderna se inició el 28 de julio de 1995 con la publicación de Fleishman *et. al.*, en Science, de la secuencia completa de *Haemophilus influenzae*.

Apague las luces

Mantenga las luces apagadas, deje sólo las necesarias de noche y que éstas sean de bajo consumo energético.

Acostúmbrese, además, a apagar las luces cada que sale de una habitación o de su casa.

Acuérdese, a mayor gasto de energía mayor emisión de gases de carbono. Evite el despilfarro.



Figura 2. Reloj biológico de la Tierra (adaptada de [13]). Los grupos de bacterias fotosintéticas surgieron hace unos 2.800 MA. Las plantas y los animales son relativamente jóvenes frente a la gran antigüedad de la biosfera. La presencia del hombre moderno corresponde sólo a fracciones de segundo en la historia de la Tierra.

Las bacterias se encuentran prácticamente en todas partes; por ejemplo, hay especies de bacterias –como la *Deinococcus radiodurans*– que pueden resistir radiación 1.000 veces más intensa que la que mataría a un ser humano [12]. El dominio de los Archaea incluye microorganismos que viven en condiciones ambientales salinas extremas (los que producen metano) y microorganismos que viven en ambientes extremadamente calientes.

Hace unos 2.800 MA aparecieron las células eucariotas, que son las provistas de un núcleo netamente

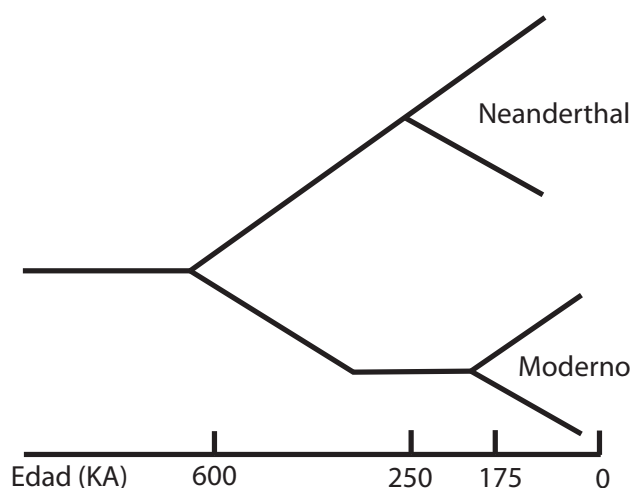


Figura 3. Relaciones de ADN mitocondrial (mtDNA) de los hombres modernos y el hombre de Neanderthal; los primeros humanos modernos aparecieron hace unos 200.000 años [14]. La edad se expresa en miles de años (KA).

diferenciado, fotosintéticas, que exigían oxígeno libre (organismos aeróbicos). Las formas primitivas del dominio de los eucariontes eran algas unicelulares, pero enseguida aparecieron las multicelulares. Los eucariontes se dividieron en dos grandes grupos: uno es el que dio origen a los vegetales, y el otro a los animales.

La figura 2 muestra el “reloj biológico de la Tierra”, que representa los grandes eventos que dieron lugar a la biosfera y a su transformación. Hace unos 250.000 años existía el hombre de Neanderthal y hace unos 200.000 años aparecieron los primeros humanos modernos [14]. La similitud entre los humanos y otros animales es cada vez más evidente en la medida en que aparecen nuevas secuencias genómicas: sabemos, por ejemplo, que la similitud general de secuencias de ADN entre humanos y chimpancé es alrededor del 99% [15] (figura 3). Esta evidencia genómica muestra el lugar del hombre en la naturaleza y su carácter animal.

Conclusión

En este punto es pertinente hacer énfasis en los siguientes hechos:

- La biosfera actual es el resultado de un proceso de más de 4.570 MA. Se estima que existen entre 5 y 30 millones de especies en la Tierra, de las cuales el 90% son extraordinarias, bien sea por su especialización o por los ambientes preferidos en que se desarrollan.

- La vida influye de manera importante la composición de la atmósfera y viceversa. La invención de la fotosíntesis por parte de la naturaleza fue responsable de la transformación de la atmósfera, de un estado con baja presencia de oxígeno al estado actual que se caracteriza por una presencia significativa de este elemento.

- Evidencia arqueológica y estudios de ADN sugieren que los 6.000 millones de humanos actuales son descendientes de africanos que emigraron hace unos 55.000 años [18, 19]. La expansión geográfica de la sociedad humana ha llevado a un aumento

significativo de la población de la Tierra y a un impacto importante sobre la biosfera.

– El futuro previsible señala un crecimiento continuo de la población de la Tierra, con los consecuentes impactos a nivel global que afectan la tierra, los océanos y la atmósfera.

En conclusión, en las “fracciones de segundo” en que el hombre moderno ha participado con respecto a las 12 horas de la historia de la Tierra, la sociedad humana avanzó hacia un estado de sobrepoblación. Surge la pregunta:

¿Cómo delimitar y definir la responsabilidad humana con respecto a la herencia biológica que ha recibido (la biosfera), que es fruto de más de 4.570 MA de evolución?

Esta pregunta será objeto de comentarios en la última sección del presente artículo. Por ahora, es de anotar que la demanda de alimentos, el aumento de asentamientos humanos y el uso de fuentes de energía con base en combustibles fósiles han conducido a procesos de deforestación, contaminación del medio ambiente, contaminación de la atmósfera con dióxido de carbono y otros gases invernadero.

3. Historia del clima de la Tierra

La palabra *clima* designa el conjunto de los estados de la atmósfera (temperatura, vientos, precipitaciones, radiación solar, humedad, etc.) en un lugar

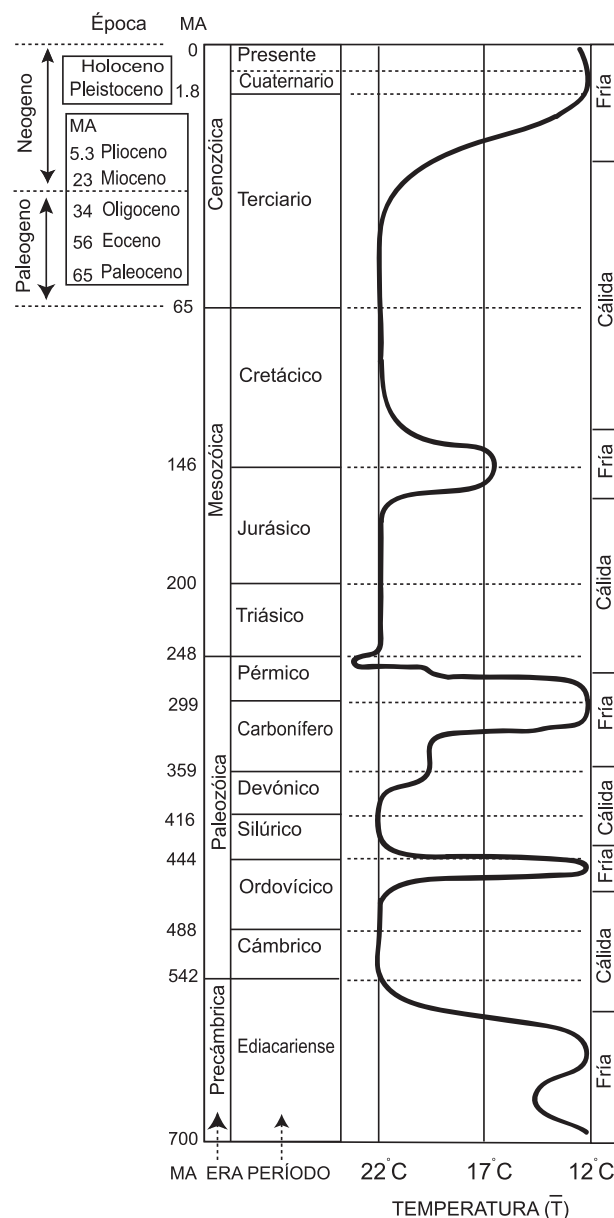


Figura 4. Cambio global del clima de la Tierra con el tiempo, medido como temperatura global promedio (\bar{T}). Los períodos están formados por épocas; la época del holoceno va desde hace 11.550 años hasta el presente [1, p. 57].

Utilice energía alternativa

En la medida de lo posible, cámbiese a energías con menor grado de contaminación. Las derivadas del petróleo, el carbón, otro tipo de hidrocarburos y el gas natural liberan toxinas al aire. Son preferibles energías como la eólica, la solar, la geotérmica y la hidráulica, entre otras.

dado, o en todo el globo, en un período dado [20]. La evidencia geológica indica que el clima de la Tierra ha cambiado en el pasado en diferentes escalas de tiempo (millones, miles, cientos, decenas de años); es decir, en virtud de diferentes causas naturales la Tierra ha experimentado grandes variaciones climáticas; desde el comienzo, su existencia y la supervivencia de las especies, incluyendo la humana, ha estado estrechamente asociada a la de los climas.

Como se observa en la figura 4, el clima de la Tierra ha alternado entre una temperatura global promedio fría ($\approx 12^\circ\text{C}$) y una temperatura global promedio cálida ($\approx 22^\circ\text{C}$). Este comportamiento ha conducido a las denominadas épocas de hielo, que es un término que se usa con varios significados [1]. En este trabajo, como en la glaciología, se usa el término *época de hielo*, o *edad de hielo*, para indicar un lapso en el que existen capas de hielo en los hemisferios norte y sur; con esta definición, en el presente la Tierra está en una edad de hielo, ya que existen capas de hielo en Groenlandia y en la Antártida. En una época de hielo dada, se denominan *período glacial* y *período interglacial*

a un período frío y a un período caliente, respectivamente. Una *glaciación* es una formación de hielo en zonas extensas de distintos continentes.

La figura 5 muestra los períodos glaciales e interglaciales en los últimos 650.000 años, determinados con base en el CO_2 existente en la atmósfera en partes por millón (ppm); 230 ppm se adopta como el nivel de transición; en general, este comportamiento glacial-interglacial se ha presentado durante los últimos 3 millones de años. Antes de este período el clima fue mucho más caliente, sin presentar períodos glaciales durante varias decenas de millones de años.

3.1. Causas astronómicas

Las alteraciones del clima se originan en buena medida en causas astronómicas que se explican por la teoría de Milankovitch: existen tres elementos del sistema Sol-Tierra que, en un efecto combinado, afectan la energía que la Tierra recibe del Sol (insolación) y, por lo tanto, influyen en el clima de la Tierra en escalas de tiempo grandes [1]:

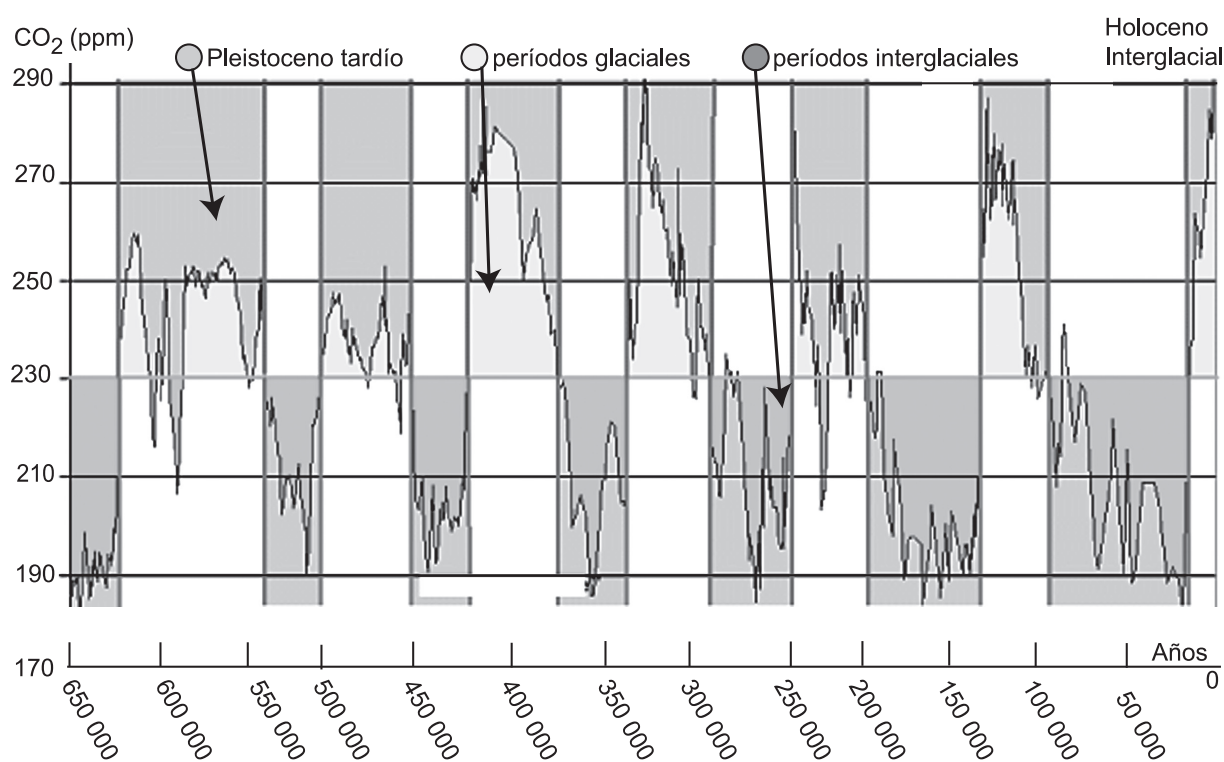


Figura 5. Períodos glaciales e interglaciales de la Tierra en los últimos 650.000 años (A) antes del presente, determinados según la presencia de CO_2 en la atmósfera [1, p. 62].

1) *Excentricidad de la órbita de la Tierra.* La órbita de la Tierra alrededor del Sol cambia de una órbita aproximadamente circular (excentricidad 0,00) a una órbita elíptica (excentricidad $\approx 0,07$). Estos cambios tienen lugar en dos ciclos, uno con un período de unos 100.000 años y otro con un período de unos 400.000 años.

2) *Oblicuidad del eje de rotación de la Tierra.* El eje de rotación de la Tierra está inclinado con respecto al plano de la órbita de la Tierra alrededor del Sol; hoy en día la oblicuidad es aproximadamente de $23,5^\circ$. La oblicuidad de este eje, que se modifica de $22,1^\circ$ a $24,5^\circ$ en períodos aproximados de 41.000 años, influye en la cantidad de energía solar recibida en las regiones de la Tierra, en particular en las regiones polares.

3) *Precesión climática.* La precesión climática es una medida de la posición de los solsticios de verano y de invierno con respecto a las distancias más corta (perihelio) o más larga (afelio) del Sol a la Tierra. Este factor modula el efecto de la oblicuidad del eje de rotación de la Tierra sobre la insolación estacional [21]. Su variación se caracteriza por períodos de 19.000 y 23.000 años, lo que conduce a un período promedio de 21.000 años.³

³ “*Solsticio:* época en que el Sol se halla en uno de los trópicos, lo cual sucede del 21 al 22 de junio para el de Cáncer, y del 21 al 22 de diciembre para el de Capricornio”. “*Equinoccio:* época en que, por hallarse el Sol sobre el ecuador, los días son iguales a las noches en toda la Tierra, lo cual sucede anualmente del 20 al 21 de marzo y del 22 al 23 de septiembre”.

El eje de rotación de la Tierra se “bambolea” y conlleva a que el Polo Norte describa un círculo, causando un movimiento de precesión de los equinoccios. Como el eje de la Tierra está inclinado $23,5^\circ$ relativo al plano que contiene el Sol y la Tierra, éste determina fundamentalmente la distancia que los rayos del Sol deben viajar a través de la atmósfera para alcanzar un punto de la superficie de la Tierra, dando lugar así a las estaciones.

3.2. El papel de la hidrosfera

Un factor determinante en los cambios climáticos es la existencia en la Tierra de grandes cantidades de agua (alrededor de 2,8 km equivalentes de espesor; si la cantidad de agua en el planeta hubiese sido unas 4 veces mayor entonces ningún continente hubiese emergido) [8]. Las corrientes oceánicas distribuyen el calor en el planeta, por ejemplo desde la zona ecuatorial hasta las latitudes altas.

El agua existe en tres formas: líquida, sólida y como vapor de agua; para que el agua se encuentre en un estado líquido se requiere una temperatura T mayor que 273 grados Kelvin (K) o, lo que es equivalente, mayor que cero grados centígrados ($^\circ\text{C}$). Recuérdese la siguiente relación que conecta estas dos escalas de temperatura: $T (^\circ\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15$.

Una diferencia fundamental entre las tres formas de agua es el albedo; es decir, el valor de la ra-

Báñese con agua fría

Cuando usted se baña con agua fría su cuerpo tiende a generar calor interno, estimula la circulación y sale más rápido de la ducha. O sea que no gasta agua caliente, se mantiene más activo durante el día, más saludable y ahorra agua. Acuérdesse, también, de cerrar el grifo mientras se jabona.

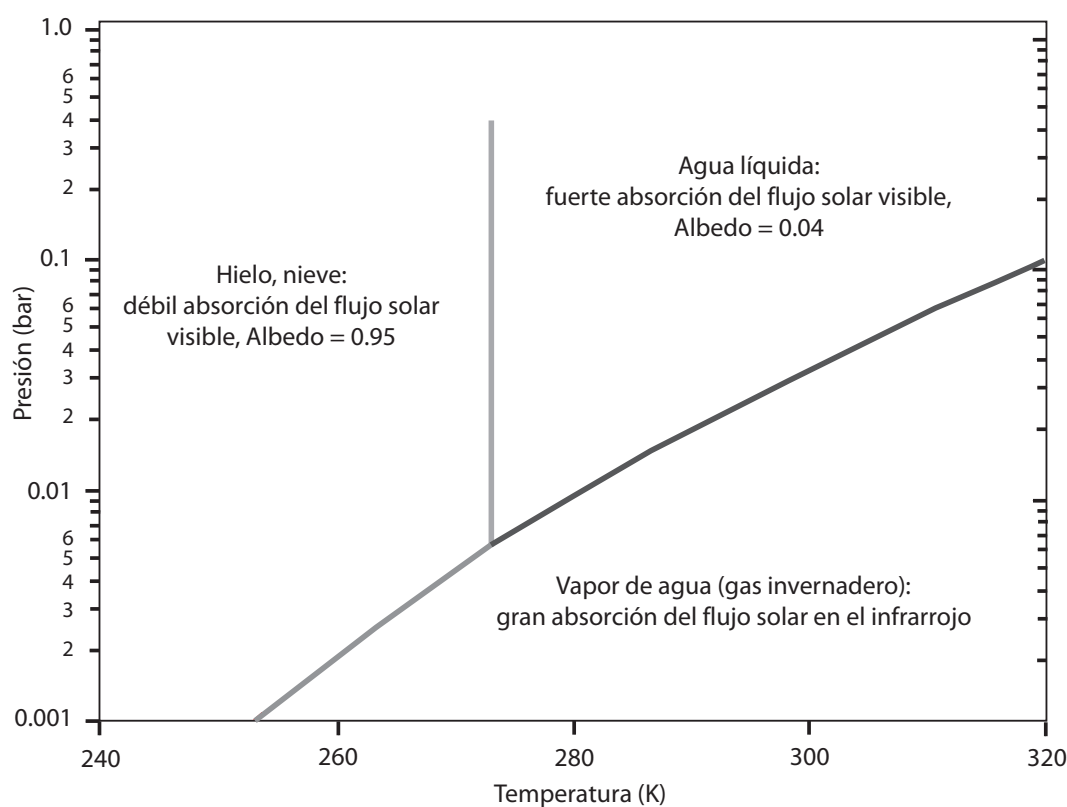


Figura 6. Diagrama de fase presión-temperatura para el agua, que puede existir como líquido, hielo o nieve, o como vapor de agua. Para cada fase se describen las principales propiedades radiativas y del albedo. El vapor de agua es un importante gas invernadero; obsérvese que un pequeño cambio de la temperatura induce un gran cambio en la presión del vapor de agua. (Figura adaptada de [8]).

zón entre la radiación solar que es reflejada por una superficie y la energía incidente.⁴ El agua líquida tiene un albedo extremadamente bajo, $A_\ell = 0,04$, mientras que el albedo del hielo y la nieve es extremadamente alto, $A_b = 0,95$ [8].

De acuerdo con la ley de Stefan Boltzmann, la radiancia de un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura, $R(T) = \sigma T^4$ [1]. Entonces, si se asume que tanto el agua líquida (ℓ) como el hielo y la nieve (b) son cuerpos negros, y que en ambos casos incide la misma cantidad de energía solar (digamos, $S/4$), las temperaturas de equilibrio de estos cuerpos negros se determinarían por las relaciones [8]:

$$\sigma T_\ell^4 = \frac{S}{4} (1 - A_\ell), \quad \sigma T_b^4 = \frac{S}{4} (1 - A_b), \quad (1)$$

⁴ La superficie del océano tiene un albedo bajo. Algunos valores son: océano, 5%; bosque, 5%; selva tropical, 13%; pastizales, 15-25%; desierto, 24-37%; arena, 30-60%; nubes, 50- 55%; nieve, 80-90%. Un cuerpo negro tiene un albedo nulo. En general, el albedo depende de la longitud de onda de la radiación en consideración.

donde $S/4 \approx 342$ vatios/m² es la cantidad de radiación medida en la parte superior de la atmósfera. Para tener hielo se requiere $T_b < 273$ K, mientras que para agua líquida es necesario $T_b > 273$ K, para todas las latitudes.

La figura 7 que muestra la temperatura superficial del agua del océano Atlántico a 53° N en los últimos 130.000 años. Obsérvese que unos 118.000 años antes del presente comenzó la glaciación Würm, que condujo a un enfriamiento progresivo, aunque fluctuante, de Europa, Eurasia y Norteamérica. El término Würm proviene del nombre de un río en los Alpes donde se identificaron los primeros indicios de esa glaciación. La glaciación Würm es la última glaciación en el pleistoceno en los Alpes europeos; tuvo lugar unos 118.000-70.000 años antes del presente y terminó al empezar el interglacial del holoceno.

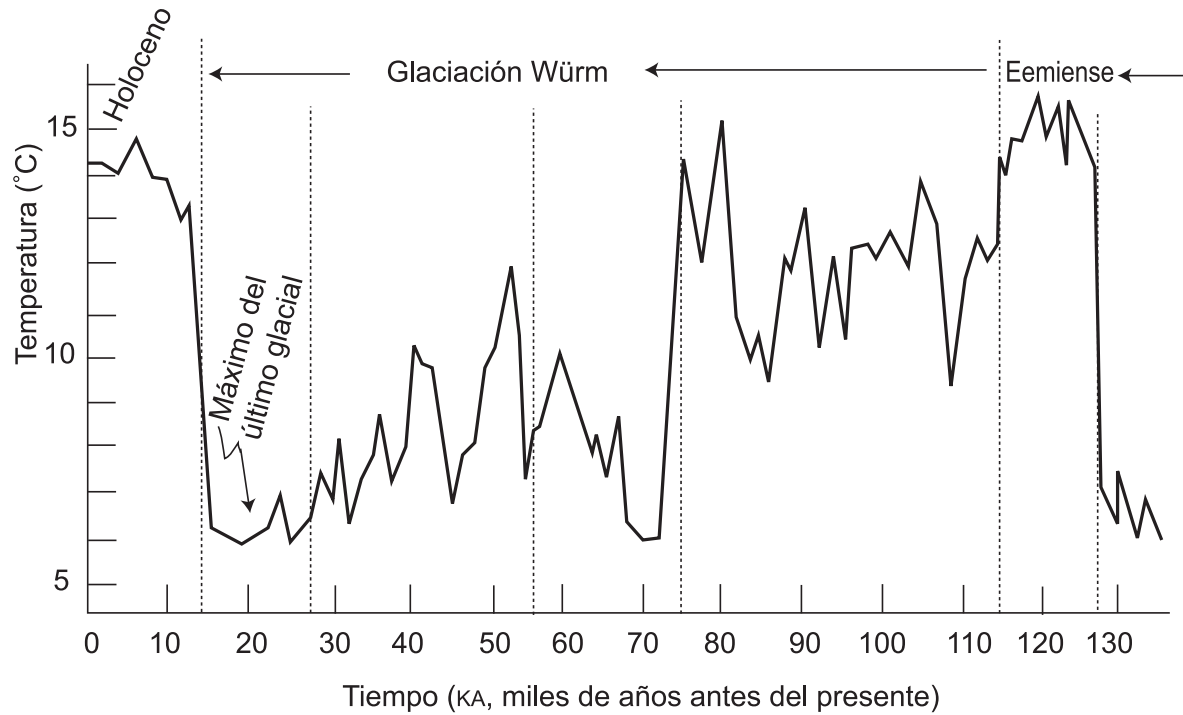


Figura 7. Último ciclo glacial según la temperatura superficial del agua del océano Atlántico en verano a 53°N, estimada a partir de los foraminíferos planctónicos. Se señala el máximo del último glacial. El tiempo corre de derecha a izquierda. El período interglacial Eemiense se conoce en América del Norte como interglacial Sangamon, en el Reino Unido como interglacial Ipswichian, y en los Alpes como interglacial Riss-Würm [1, p. 64].

La glaciación Würm fue un período muy frío, con momentos templados. Los hombres de Neanderthal se adaptaron bien a estas oscilaciones y a los rigores de los tiempos glaciares. Los hombres de Neanderthal desaparecieron de manera bastante abrupta hace 35.000 a 40.000 años. El *Homo sapiens sapiens*, que quedó en Europa como la única especie humana, conoció un gran abanico de climas, se adaptó a ellos, y experimentó el calentamiento gradual del clima a partir del máximo del último glacial. Este máximo, que se alcanzó hace unos 22.000 años, co-

rresponde a la fase más aguda de la última glaciación, cuando tuvo lugar la expansión más grande del hielo polar (ver figura 7). El recalentamiento posterior a la glaciación Würm fue rápido: entre 14.000 y 11.000 años antes del presente el nivel de los mares subió 100 metros [20].

3.3. Clima durante el holoceno

Hacia el año 11.600 antes del presente se produjo una subida térmica que dio entrada en el hemisferio

Apague los monitores

Es cierto que el computador, en hibernación, no consume mucha energía, sin embargo el monitor prendido sí, igual el del televisor. Consiga monitores de computador con sistema de apagado cuando no esté en uso y programe su televisor para que se apague cuando usted se quede dormido.

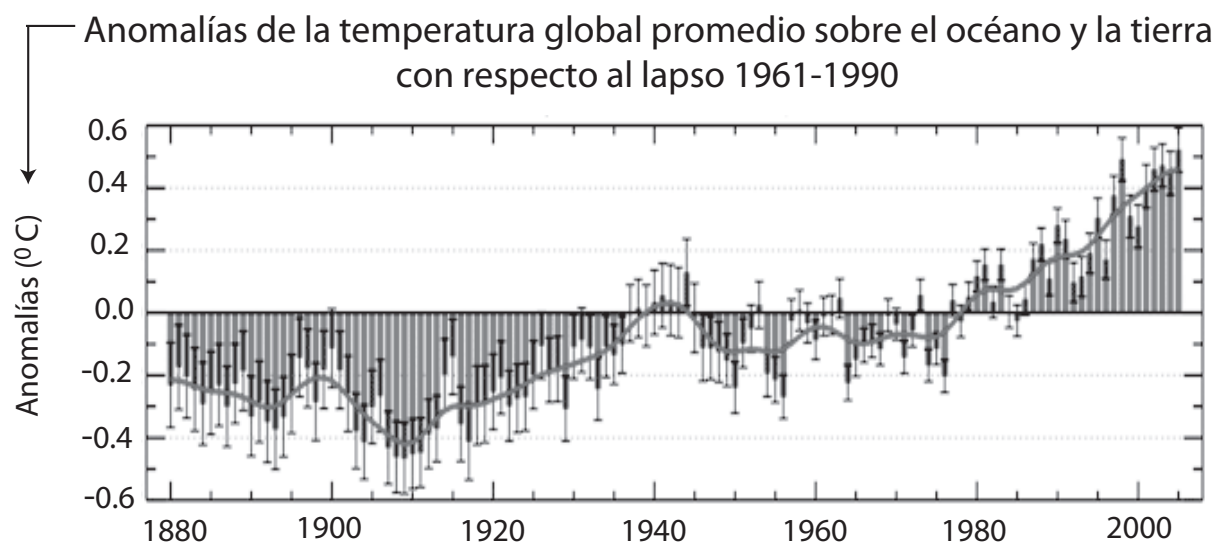


Figura 8. Cambios en la temperatura global promedio superficial de la Tierra medidos con respecto al lapso 1961-1990.

norte al período preboreal y, con éste, al interglacial actual: el holoceno [1]. Éste comenzó hacia el año 9.600 a.C.; es decir, la civilización humana se ubica prácticamente dentro de este período: se desarrolla la agricultura, los grupos poblacionales aumentan en número y tamaño, surgen estructuras organizacionales jerárquicas.

El holoceno se caracteriza por períodos cálidos y períodos fríos. En ciertos lapsos la temperatura global promedio pudo ser 0,5-2 °C más caliente que en la actualidad; incluye una fase cálida denominada pequeño óptimo climático, comprendido entre los años 700 y 1200 d.C., cuando las temperaturas fueron más altas que en la actualidad, hasta el punto de poder explotar agrícolamente a Groenlandia. El holoceno incluye también un período medieval caliente, una pequeña edad de hielo (1200-1850 d.C.) y el período de calentamiento actual que se esquematiza en la figura 8 (tomada de [1]).

En los pasados 50 a 60 años las medidas de la temperatura se hicieron arriba de la superficie de la Tierra mediante instrumentos en globos (radio-sondas); en los pasados 27 años usando satélites. Los registros indican lo siguiente [22, 1]:

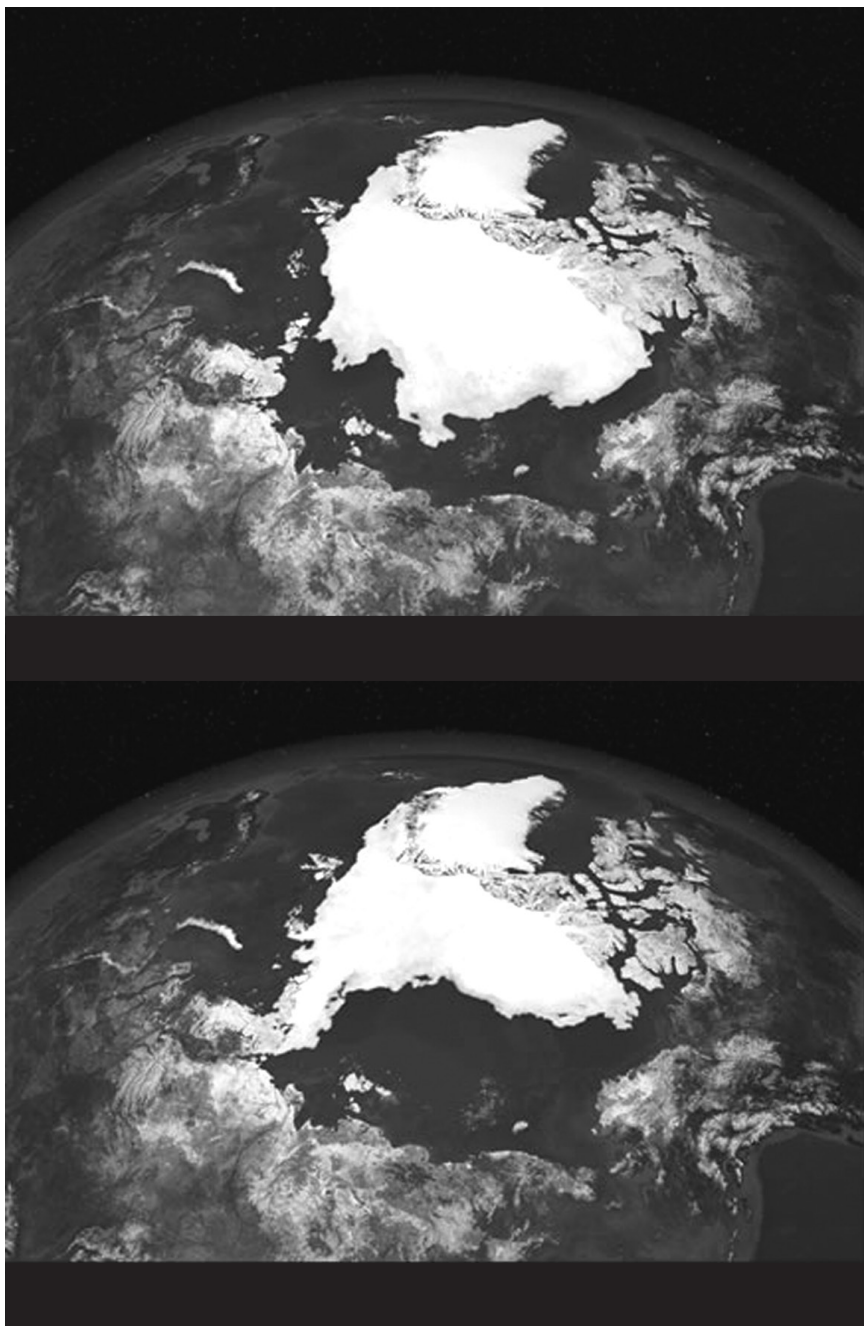
– En el lapso 1880-2004, el valor promedio de la temperatura superficial global promedio para el siste-

ma combinado tierra-océano es de 13,9 °C. Si se considera sólo la tierra (continentes, islas) el promedio es de 8,5 °C, y si se tiene en cuenta sólo las superficies de los océanos, el promedio es de 16,1 °C.

– En el siglo pasado, la temperatura superficial global promedio tuvo un incremento aproximado de 0,6 °C/siglo.

– Desde 1976, la tendencia en el aumento de esa temperatura ha sido tres veces mayor, observándose los mayores incrementos en las regiones del planeta caracterizadas por grandes latitudes, que incluyen Rusia, Escandinavia, Canadá, Alaska. Durante los pasados 25 a 30 años, la tasa de incremento de la temperatura global promedio ha sido de 1,8 °C/siglo.

– En el pasado reciente han existido períodos de un calentamiento marcado: uno comenzó en 1910 y terminó en 1945, y el más cercano se inició en 1976. El año 2005 fue excepcionalmente caliente a nivel global con respecto al promedio; en las regiones de latitudes altas ya mencionadas, la temperatura promedio fue de 3-5 °C por encima del promedio del lapso 1961-1990. Las temperaturas máximas alrededor de 40 °C afectaron los Estados Unidos en Nevada, California, Arizona y el sur de Utah; en Las Vegas se reportaron temperaturas de 47,2 °C, en el Valle de



Disminución de la capa de hielo polar en un lapso de dos años (2005 - 2007).

la Muerte durante siete días consecutivos la temperatura estuvo alrededor de 51,7 °C.

En el 2006 se experimentan inclemencias climáticas similares. En ciudades como Milán o Turín, las temperaturas llegan a 40 °C; en Los Ángeles y Fresno (California), se tienen picos de temperatura entre 46 y 49 °C, con algún centenar de muertos; en Buenos Aires una tormenta de granizo dañó más de 800 viviendas y cerca de 30.000 vehículos; en Bogotá, en noviembre de 2007, una intensa granizada bloqueó calles y cubrió de granizo gran parte de la ciudad.

– Como consecuencia del calentamiento global promedio de la temperatura superficial de la Tierra, las capas de hielo en diferentes partes del planeta van en una progresiva disminución; en el lapso entre 1980 y 2005 la capa polar ártica ha disminuido su extensión en una magnitud que supera las variabilidades anuales que le son inherentes.

En el holoceno temprano las latitudes medias del hemisferio norte de la Tierra recibieron más radiación

Prefiera la ducha a la tina

A menos de que tome duchas demasiado largas, usted ahorra más agua que en la tina. Bañarse relaja, por supuesto, pero su función primordial es la limpieza ¡utilícela para eso! Mójese, jabónese (con el grifo cerrado) enjuáguese y listo. Busque formas de relajación que no consuman recursos.

solar que en el presente, debido a que la Tierra estuvo más cerca del Sol en los períodos de verano del hemisferio norte. Los árboles avanzaron hacia el ártico, los monzones en las latitudes medias del norte fueron más intensos, los lagos tropicales alcanzaron niveles más altos y los glaciales en las regiones montañosas fueron generalmente más reducidos que los del presente. Hace unos 8.200 años se presentó una disminución abrupta de la temperatura que se explica por un importante vertimiento de agua fresca al océano, proveniente de los mantos de hielo laurentino que aún subsistían; este fenómeno pudo haber causado un cambio relativamente abrupto en la circulación termosalina oceánica [23].

Después del evento de hace 8.200 años, el clima en los Alpes europeos centrales fluctuó en escalas de tiempo de milenios, con avances y retrocesos de los glaciares. El clima del holoceno medio (6.000 años antes del presente) fue esencialmente diferente del clima actual; las diferencias se originan en modificaciones en la órbita de la Tierra [24]: hace 6.000 años, el perihelio estuvo cercano al equinoccio de otoño, la oblicuidad del eje de rotación de la Tierra fue $0,7^\circ$ mayor que hoy, y la excentricidad de la órbita de la Tierra alrededor del Sol fue ligeramente mayor (0,187 en lugar de 0,167 de hoy en día). El incremento de radiación solar en el hemisferio norte, en conjunto con un proceso de *feedback* entre la vegetación y la atmósfera, induce cambios climáticos que podrían hacer plausibles las razones por las cuales el actual desierto del Sahara tuvo una alta presencia de vegetación durante el holoceno medio.

3.4. La irradiancia solar

Las fluctuaciones en la actividad solar, como las que se muestran en la figura 9, desempeñan un papel importante (aunque no suficiente) para explicar las variaciones en la temperatura global promedio de la Tierra [23]. En efecto, en una idealización se puede considerar que la Tierra es un cuerpo negro que

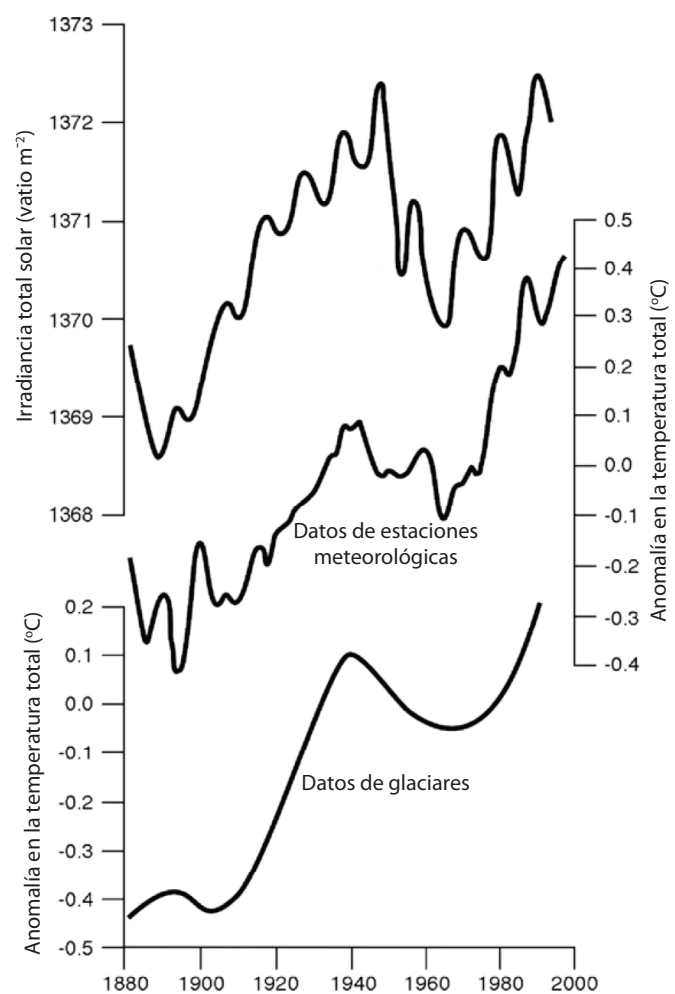


Figura 9. Irradiancia solar comparada con datos de estaciones meteorológicas y con anomalías de la temperatura de ducidas de glaciares [23].

está en equilibrio termodinámico, de tal manera que la cantidad de energía que recibe del Sol coincide con la cantidad de energía que emite; es decir, vale la ley de Stefan Boltzmann para la radiancia de la Tierra, $R(T) = \sigma T^4$.

Un cambio en la irradiancia solar conlleva un cambio en la temperatura global promedio de la Tierra, digamos de T a T' :

$$R(T) = \sigma T^4, R(T') = \sigma T'^4.$$

Bajo la suposición de pequeños cambios, $T' = T + \Delta T$ y $R(T') = R(T) + \Delta R$, se tiene

$$\frac{R(T')}{R(T)} = 1 + \frac{\Delta R}{R} = \left(\frac{T + \Delta T}{T} \right)^4 \approx 1 + 4 \frac{\Delta T}{T}.$$

Es decir, los cambios en la irradiancia solar y los cambios en la temperatura de la Tierra están relacionados en primera aproximación por la expresión

$$\frac{\Delta R}{R} = 4 \frac{\Delta T}{T}. \quad (2)$$

Si se asume un cambio en la radiancia solar del 1%, $\Delta R / R = 0,01$, la temperatura de la superficie de la Tierra cambiaría en $\Delta T = 0,75$ °C, bajo la suposición de que la temperatura inicial de la Tierra fuese $T = 300$ K [25].

Conclusión

En conclusión, en las “fracciones de segundo” en que el hombre moderno ha participado con respecto a las 12 horas de la historia de la Tierra, e inclusive durante el período del holoceno en que se desarrolló la civilización humana:

- El clima de la Tierra (medido como la temperatura global promedio) ha experimentado grandes fluctuaciones por causas naturales y no hay razones para suponer que el presente período interglacial del holoceno sea un estado permanente.

- Entendiendo que los seres humanos son también parte del mundo animal, subsiste la pregunta sobre el papel que desempeñan las causas antropogénicas en el proceso actual de calentamiento global, comparadas con respecto a las causas estrictamente naturales (cambios en la irradiancia solar, erupciones volcánicas, factores astronómicos, impacto de meteoritos...).

4. Un llamado a la prudencia

Las dos secciones anteriores se centraron en los siguientes elementos:

- Como depositaria de una herencia biológica que es fruto de más de 4.570 millones de años de evolución, le corresponde a la sociedad humana avanzar hacia un proceso de reflexión y autocontrol que permita la preservación del entorno natural y la coexistencia armónica de la sociedad humana con los demás seres que comparten la biosfera [1]. El documental *Planeta en peligro* pone en evidencia que integrantes de la sociedad humana se alejan de este ideal para comportarse más como una especie depredadora que pone en riesgo el futuro del planeta.⁵

- El clima de la Tierra ha cambiado en diferentes escalas de tiempo (millones, miles, cientos, decenas de años) por causas naturales. Hoy en día, con la aparición del hombre, con el desarrollo tecnológico propio de la revolución industrial, con el fenómeno de aumento creciente de la población, la sociedad humana está generando un cambio ambiental significativo. Éste se manifiesta en la modificación de la atmósfera por contaminación con gases invernadero, procesos de deforestación y acidificación de los océanos, entre otros indicadores.

⁵ *Planet in Peril*, documental producido para CNN por Anderson Cooper, Sanjay Gupta y Jeff Corwing (noviembre de 2007).

Aproveche las cortinas

Cierre las cortinas cuando haga frío, así utilizará menos el calentador y ábralas cuando haga calor, así utilizará menos aire acondicionado. Tenga en cuenta que aparatos de estos, con calibración interna, igual consumen menos energía si factores externos ayudan a mantener la temperatura ideal.

En un plano puramente formal, físico y biológico, no existe diferencia entre la modificación que generaron las plantas en la composición de la atmósfera terrestre como consecuencia de la invención de la fotosíntesis y las modificaciones que está generando la sociedad humana en la composición de la atmósfera con la inyección de dióxido de carbono y otros gases invernadero por el uso de combustibles fósiles: en ambos casos se usan los recursos disponibles como fuente de energía. La diferencia viene sólo de un hecho nuevo, fundamental en el proceso de evolución: la sociedad humana está formada por seres inteligentes y éstos tienen *conciencia* sobre sus acciones y las consecuencias que ellas implican.

Así como el hombre descubrió con Galileo el lugar de la Tierra en el Universo, con Newton la existencia de las leyes de la naturaleza, con Darwin y la genómica el carácter animal del ser humano, problemas globales, como el del calentamiento global, lo enfrentan ante el reto de descubrir o decidir sobre el papel que le corresponde desempeñar en la Tierra: ser especie depredadora del planeta o ser cabeza de la evolución protegiendo la biosfera, para su bien y el de otras formas de vida.

En complemento a lo anterior, es pertinente transcribir el mensaje de voces autorizadas que reconocen la existencia del fenómeno del calentamiento global, que algunos identifican como “la mayor crisis en la historia de la civilización”, pero que es un fenómeno de una escala de tiempo de decenas o cientos de años. Esas voces llaman la atención sobre la importancia de reducir el alarmismo y la histeria colec-

tiva en el tratamiento del fenómeno para incorporar más lógica en su estudio y en la adopción de las medidas pertinentes. Por ejemplo, Bjorn Lomborg resume sus argumentos así [26]:

1) *El calentamiento global es real e inducido por el hombre. Éste tendrá un impacto serio sobre los humanos*

y el medio ambiente hacia fines de este siglo.

2) *Los enunciados sobre las fuertes, nefastas e inmediatas consecuencias del calentamiento global son frecuentemente exagerados* y es improbable que conduzcan a buenas políticas.

3) *Necesitamos soluciones más simples, ingeniosas y eficientes para el calentamiento global* en lugar de soluciones extremas aunque con esfuerzos bien intencionados.

4) *Muchos otros asuntos son más importantes que el calentamiento global.* Necesitamos cambiar de perspectiva. Hay muchos problemas en el mundo como el hambre, la pobreza y las enfermedades. Enfocándonos en ellos podemos ayudar a mucha gente, a menor costo, con una mayor probabilidad de éxito que la de perseverar en políticas climáticas drásticas a un costo de trillones de dólares ($1,0 \times 10^{12}$).

Lomborg concluye diciendo:

necesitamos recordar que nuestro último objetivo no es reducir los gases invernadero o el calentamiento global por sí mismo, sino mejorar la calidad de vida y el medio ambiente.

La prudencia a la que llama Lomborg es válida como manera de contrarrestar el debate alarmista sobre el calentamiento global, que se sale del dominio de la ciencia para caer en el mundo de los intereses de los individuos, y de los grupos económicos y sociales.

La información científica (algunas veces con elementos de ambigüedad) se traslada a los medios

Así como el hombre descubrió con Galileo el lugar de la Tierra en el Universo, con Newton la existencia de las leyes de la naturaleza, con Darwin y la genómica el carácter animal del ser humano, problemas globales, como el del calentamiento global, lo enfrentan ante el reto de descubrir o decidir sobre el papel que le corresponde desempeñar en la Tierra: ser especie depredadora del planeta o ser cabeza de la evolución protegiendo la biosfera, para su bien y el de otras formas de vida.

de comunicación que incorporan mensajes alarmistas. Los gestores de ciencia y tecnología reaccionan invirtiendo más recursos para un tema “importante” de dominio público. Todos salen beneficiados: los científicos por tener más recursos para investigación, los gestores por poder participar en los eventos donde se adoptan recomendaciones sobre el cambio climático. Los sectores económicos, por ejemplo el de los biocombustibles, pues se facilita la realización de sus proyectos minimizando los análisis colaterales [28]. En cuanto a los que negocian derechos de emisión en el marco del protocolo de Kyoto, unos obtienen ganancias mientras que los otros persisten en la contaminación de la atmósfera con gases invernadero.

Mike Hulme, director del Tyndall Centre for Climate Change Research (UK), llama también la atención sobre el fenómeno del cambio climático “catastrófico” que se ha creado en el discurso público con el uso de términos inadecuados por parte de científicos, políticos y medios de difusión [27]: “El cambio climático es peor que lo pensado”, “estamos en un punto de no retorno”, “es el fin de la civilización humana”. Se pregunta: ¿en qué magnitud es el cambio climático catastrófico? ¿Catastrófico para quién, dónde, cuándo? ¿Qué índice se usa para medir la catástrofe? Concluye diciendo: creo que el cambio climático es real, pero debe enfrentarse tomando acciones. El discurso

de catástrofe conlleva el riesgo de orientar la sociedad hacia una trayectoria negativa, depresiva y reaccionaria.

El llamado a la prudencia en el tratamiento del problema implica también la necesidad de continuar estudiando escenarios que tengan en cuenta que el sistema climático de la Tierra es un sistema no-lineal. Dependiendo de las condiciones iniciales, de los parámetros de control que los regulan y de los umbrales de ciertos fenómenos, el sistema climático podría presentar cambios abruptos, de carácter irreversible, que afecten la atmósfera, el océano o la biosfera. Por ejemplo, un colapso de la capa de hielo de la Antártida occidental ($\approx 10\%$ del volumen total del hielo antártico), en un horizonte de tiempo de unos 100 años a partir del 2030, podría causar un aumento del nivel del mar entre 5 y 6 metros, con consecuencias catastróficas [29]. Como se anota en este artículo, no obstante que el proceso de desintegración es lento con respecto a una escala de tiempo humana, una vez que el proceso se inicia no hay manera de frenarlo y de evitar que se desintegre completamente.

Referencias

- [1] ISAZA, J.F. & D. CAMPOS. 2007. *Cambio climático. Glaciaciones y calentamiento global*. Bogotá, Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Proteja el aire acondicionado

Ponga árboles o matas altas, afuera, cerca del aire acondicionado, o póngale un techo y cuélguele helechos o buganvillas. Lo importante es hacerle sombra, los aires acondicionados usan un 10% menos de energía y duran más, cuando no están expuestos a la luz directa e inminente del sol.

- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Earth's_atmosphere; http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_layer.
- [3] PIDWIRNY, M. *Fundamentals of Physical Geography*. Online textbook: <http://www.physicalgeography.net/>.
- [4] RUSSELL, M.J. & A.J. HALL. 2002. «From Geochemistry to Biochemistry. Chemiosmotic coupling and transition element clusters in the onset of life and photosynthesis». *The Geochemical News* **113** 6.
- [5] ACOT, P. 2003. *Historia del Clima*. Buenos Aires, El Ateneo.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Earth's_atmosphere; http://en.wikipedia.org/wiki/Ozone_layer.
- [7] MACKENZIE, F.T. & A. LERMAN. 2006. *Carbon in the Geobiosphere*. New York, Springer.
- [8] BERTAUX, J.L. 2006. «Solar variability and climate impact on terrestrial planets». *Space Science Reviews* **125** 435.
- [9] DES MARAIS, D.J. 2000. «When did Photosynthesis emerge on Earth?». *Science*, **289** 1703.
- [10] KHLEBOPROS, R.G., V.A. OKHOHIN & A.I. FET. 2007. *Catastrophes in Nature and Society*. New Jersey, World Scientific.
- [11] WOESE, C.R. 2000. «Interpreting the universal phylogenetic tree». *Proc. Natl. Acad. Sci.* **97** 8392.
- [12] «Microbe World». <http://www.microbeworld.org/microbes/bacteria/default.aspx>.
- [13] DES MARAIS, D.J. 2000. «When did Photosynthesis emerge on Earth?». *Science*, **289** 1703.
- [14] STRINGER, C. 2002. «Modern human origins: progress and prospects». *Phil. Trans. R. Soc. London B* **357** 563.
- [15] PÄÄBO, S. 2001. «The Human Genome and Our View of Ourselves». *Sciences* **291** 1219.
- [16] WOESE, C.R., O. KANDLER & M.L. WHEELIS. 1990. «Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **87** 4576.
- [17] WOESE, C.R. 2000. «Interpreting the universal phylogenetic tree». *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **97** 8392.
- [18] OPPENHEIMER, S. 2003. «Out of Africa: human roots». *Prospect Magazine*, issue 91, October. http://www.prospect-magazine.co.uk/article_details.php?id=5732.
- [19] FEYNMAN, J. & A. RUZMAIKIN. 2007. «Climate stability and the development of agricultural societies». *Climate Change* **84** 295.
- [20] ACOT, P. 2005. *Historia del clima. Desde el Big Bang a las catástrofes climáticas*. Buenos Aires, El Ateneo.
- [21] BERGER, A.L. 2001. «European Latsis Prize 2001». The European Science Foundation, Strasbourg. <http://www.esf.org/newsrelease/49/Latsis2001.pdf>.
- [22] NATIONAL CLIMATIC DATA CENTER/NESDIS/NOAA. 2006. *Climate of 2005 Annual Report*. <http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/research/2005/ann/global.html>.
- [23] GROVE, A.T. 2007. «A brief consideration of climate forcing factors in view of the Holocene glacier record». *Glob. Planet. Change*, doi: 10.1016/j.gloplacha.2006.07.033.
- [24] DE NOBLET-DUCOUDRÉ, N., M. CLAUSSEN & C. PRENTICE. 2000. «Mid-Holocen greening of the Sahara of the GAIM 6000 years BP Experiment with two asynchronously coupled atmosphere/biome models». *Climate Change* **16** 643.
- [25] KHLEBOPROS, R.G., V.A. OKHOHIN & A.I. FET. 2007. *Catastrophes in Nature and Society*, New Jersey, World Scientific.
- [26] LOMBORG, B. 2007. *Coolit. The Skeptical Environmentalist's Guide to Global Warming*, Alfred A. Knopf, New York.
- [27] HULME, M. . «Chaotic world of climate truth».

2006. BBC News, 4 November. <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/6115644.stm>.
- [28] CHARLES, M.B., R. RYAN, N. RYAN & R. OLORUNTOBA. 2007. «Public policy and biofuels: The way forward?». *Energy Policy* 35 5737.
- [29] GUILLERMINET, M.L. & R.S.J. TOL. 2008. «Decision making under catastrophic risk and learning: the case of the possible collapse of the West Antarctic Ice Sheet». *Climate Change* 91 193.

JOSÉ FERNANDO ISAZA DELGADO

Ingeniero Electricista con Maestría en Física Teórica de la Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Matemáticas de la Universidad de Strasbourg, Francia. Grado *Summa Cum Laude* en Ingeniería. Doctor *Honoris Causa* de la Universidad de Caldas. Experto mundial en asuntos de energía. Desde abril de 2006 se desempeña como rector de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

DIÓGENES CAMPOS ROMERO

Físico y Magíster en Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. La Universidad de Kaiserslautern, Alemania, le otorgó en 1976 el título de Dr. rer. nat., con calificación de excelencia de su tesis doctoral en física teórica. Es Miembro de Número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y miembro del Consejo Nacional de Ciencias Básicas. Desde el 2006 se vinculó a la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, hoy es su Vicerrector Académico.

Sea menos limpio

La producción de agua, además de su calentamiento, usa gran cantidad de energía cuya conversión genera emisiones de carbono. Báñese 2 veces a la semana en clima frío y máximo 5 en tierra caliente. Haga que el baño coincida cuando llega de hacer deporte, o jardinería, por ejemplo.