

## La Tierra helada: la teoría de la Tierra bola de nieve

**J. Rubén G. Cárdenas**

La teoría de la Tierra bola de nieve, propuesta en 1998 por los estadounidenses Paul Hoffman y Daniel Schrag, se basa en una descripción del clima global con la temperatura más baja imaginable. Según ella, episodios en que toda la superficie de la Tierra, incluyendo los mares, ha estado cubierta de hielo glacial se repetirían a lo largo de su historia geológica; el penúltimo de estos acontecimientos debió ocurrir hace unos 800 millones de años, hacia el fin de la era pre-Cámbrica, y el último, hace unos 710 millones de años. Aún así, estas glaciaciones totales deben haber estado sucediendo desde hace más de 2,500 millones de años. La temperatura media debió ser de alrededor de  $-50^{\circ}\text{C}$ , ya que en ellas la mayoría de la radiación solar era reflejada hacia el espacio por la superficie helada, al tener el hielo un albedo de valor casi de 11. El promedio de temperatura ecuatorial habría sido de unos  $-20^{\circ}\text{C}$ , algo similar a la temperatura actual de la Antártica. Como los océanos estaban congelados y no tenían la propiedad de absorber el calor, los cambios de temperatura entre el día y la noche debieron haber sido drásticos: un cambio de temperatura de unos  $-45^{\circ}\text{C}$  aproximadamente para el día y de  $-65^{\circ}\text{C}$  para la noche. Este tremendo cambio en la temperatura de la Tierra pudo deberse a la reducción del efecto invernadero (Greenhouse)<sup>2</sup> que se encarga de incrementar la temperatura atmosférica y que es ocasionado por el aumento en las concentraciones de dióxido de carbono y de otros gases como el vapor de agua y el metano que absorben y retienen la radiación térmica que de otro modo escaparía de la Tierra. Al disminuir en la atmósfera la concentración de estos gases responsables del efecto invernadero, el clima se habría vuelto mucho más frío, creando grandes extensiones de nieve y hielo en los continentes y congelando la superficie de los océanos. Así, si tan sólo la mitad de la Tierra se llegara a cubrir de nieve y hielo, como éstos reflejan más radiación solar que el suelo de la Tierra o el agua en estado líquido, la poca retención de radiación solar sería suficiente para que las temperaturas planetarias cayeran drásticamente y el Ecuador se viera rápidamente invadido por hielo glacial.



Figura 1. La tierra helada, imagen tomada de <http://www.snowballearth.org/end.html>

¿Pero cuál fue la causa principal del descenso en la concentración de gases de efecto invernadero? Dos gases, el metano y el dióxido de carbono, han sido relacionados como agentes causantes en la teoría de la Tierra bola de nieve. El mantenimiento del nivel de dióxido de carbono dentro de límites razonables implica un intrincado juego de controles y balances en la atmósfera, los océanos, los seres vivos, la corteza y el manto terrestres. Los volcanes emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera, mientras que la meteorización de las rocas silicatadas<sup>3</sup>, en la que intervienen la acción del agua y la actividad de las plantas, lo retira de la atmósfera secuestrándolo en las rocas. Los organismos vivos extraen CO<sub>2</sub> de la atmósfera y guardan el carbono en sus cuerpos o caparazones; parte de este último es rápidamente devuelto a la atmósfera como resultado de la descomposición y el fuego y de la respiración de plantas y animales. El proceso anterior es afectado por el clima y se emite más CO<sub>2</sub> a la atmósfera donde hay más calor que donde hay más frío, por lo que el proceso es más lento en estas regiones. Durante el periodo Criogénico, hace entre 800 millones de años y 635 millones de años, la mayor parte de los continentes estaban situados sobre los trópicos, donde hacía más calor y la humedad era abundante, de tal manera que el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera descendió de manera estrepitosa, con lo cual el efecto invernadero disminuyó drásticamente y el clima global se enfrió. A causa del enfriamiento global la Tierra se

estabilizó en una nueva temperatura presumiblemente durante varios millones de años.

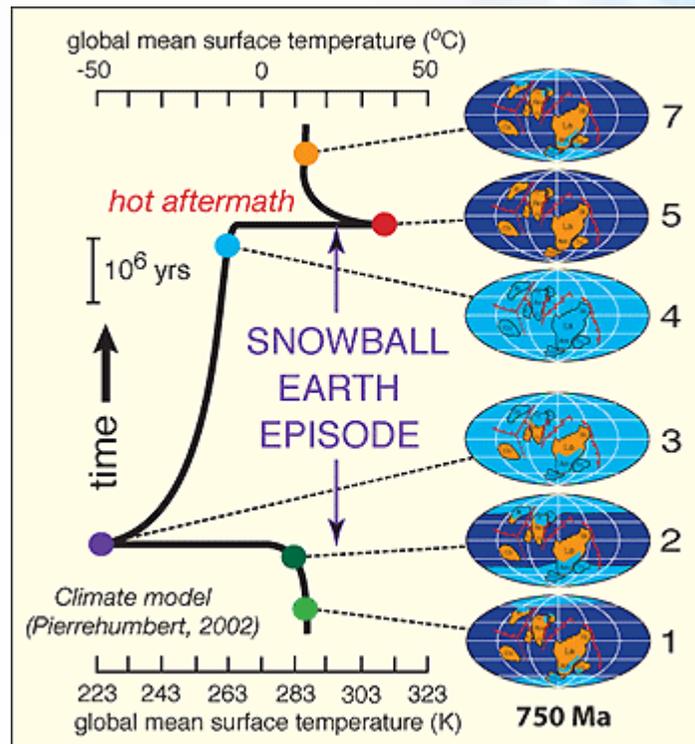


Figura 2. En la imagen, una histografía (en millones de años) del clima en el tiempo, conforme se dio la Tierra bola de nieve. Imagen tomada de <http://www.snowballearth.org/end.html>

Los escenarios que involucran al metano son más simples. La cantidad de metano que existía en la atmósfera primitiva, era mucho mayor a la actual y superaba en cantidad al oxígeno, por lo que el efecto invernadero era de mucho mayor intensidad que ahora; si la cantidad de oxígeno sube, la de metano baja, causando una disminución del enfriamiento debido al efecto invernadero. Así, si la disminución de la temperatura es muy rápida, es decir, en menos de un millón de años, el ciclo de producción de dióxido de carbono no podrá compensar el enfriamiento y el clima continuará enfriándose hasta alcanzar una temperatura final.

Sin el metano, las temperaturas globales descendieron hasta los  $-50^{\circ}\text{C}$ . Y, según la teoría, el planeta entró en un periodo glacial tan frío que aun los océanos ecuatoriales se cubrieron con una capa de hielo de más de un kilómetro de espesor. Murió la mayor parte de los organismos vivos, y los que sobrevivieron, ya fuera bajo tierra o junto a las fuentes y conductos hidrotermales, se vieron probablemente forzados a una mera subsistencia. Si esto sucedió así, entonces un accidente evolutivo disparó el peor desastre climático del mundo.

Según Hoffman, la causa necesaria para que se elevara la cantidad de oxígeno en la atmósfera pudo ser que las cianobacterias (o algas verde-azules (4)) desarrollaran la habilidad de descomponer el agua y liberar oxígeno. Para desarrollarse con la nueva presencia del oxígeno, muchas sobrevivientes evolucionaron y obtuvieron la habilidad de respirarlo. Este proceso metabólico fue capaz de liberar mucha energía y finalmente permitió la evolución de otras formas de vida.

Robert Kopp, Joe Kirschvink, Cody Nash, investigadores de Geobiología en Caltech, propusieron un mecanismo por el cual la Tierra pudo haber salido de su periodo gélido. Después de unas decenas de millones de años, el bióxido de carbono se debió acumular hasta el punto de que tuvo lugar otro evento de invernadero debido a la producción masiva de nuevas cianobacterias de bióxido de carbono. Así que probablemente la temperatura global saltó hasta los  $+50^{\circ}\text{C}$ . Al mismo tiempo, los conductos del mar profundo que proporcionaban un refugio para los organismos vivos, también habrían estado liberando nutrientes en forma continua. De modo que la vida pudo evolucionar después de que se hubieran descongelado las capas de hielo.

Sin embargo, esta teoría ha sido objeto de mucha controversia; las pruebas sobre la intensidad de esa glaciación se han basado hasta el momento en rocas de esa época halladas en diversas partes del mundo que incluían Libia, Canadá, California, Escocia y Australia. Se han

estudiado formaciones rocosas de hace 700 millones de años en Poco Verde, en Paracatú, Brasil, que muestran huellas de glaciación, y además la presencia de materia sedimentaria de origen orgánico. Un análisis más detallado ha llevado a la conclusión de que los organismos que produjeron esos restos eran fotosintéticos y abundantes; pero si les llegaba la luz para hacer fotosíntesis no pudieron estar bajo un kilómetro de hielo. En apoyo a la teoría, el análisis de las rocas brasileñas muestra que éstas sólo se pudieron formar en presencia de glaciaciones debido al contenido de oxígeno 18 y a que, en general, no son rocas que se formaron en el lugar donde las encontraron (para mayor información ver Lorenzo Vázquez Selem ), descartándose que las muestras pertenezcan a otra época. Por otro lado, análisis de rocas sedimentarias glaciares en Omán han aportado claras evidencias de fluctuaciones entre climas cálidos y fríos en el periodo Criogénico, que se remonta a entre 850 y 544 millones cuando se supone que la Tierra se cubrió de un manto de nieve y hielo.

Lo que estos periodos cálidos indican es que, a pesar de la supuesta severa glaciación que por esa época asoló a la Tierra, la congelación completa sugerida por la teoría de la Tierra bola de nieve nunca tuvo lugar, y que continuaron existiendo algunas áreas de océano abierto sin congelar. Si la Tierra hubiera estado congelada del todo durante un largo periodo de tiempo, estos ciclos climáticos no habrían podido existir, ya que el planeta se hubiera transformado en un mundo desolado con escasa dinámica atmosférica, debido a que no habría existido la evaporación de agua desde los océanos, y caería muy poca nieve. De hecho, una vez completamente congelado el planeta, sería difícil que se dieran las condiciones necesarias para causar un deshielo global, ya que la mayor parte de la radiación solar recibida sería reflejada nuevamente hacia el espacio por la nieve y el hielo. La evidencia de ciclos climáticos es, por ende, contraria a la idea de la Tierra bola de nieve".

## Comentario del autor

Proponer teorías, analizarlas y discutir las arroja una serie de nuevos conocimientos o la precisión de supuestos no suficientemente comprobados, por lo que estando el tema actual del cambio climático en boga es importante ver las consecuencias que una afectación drástica del clima podría tener y qué es lo que hace que aunque la teoría bola de nieve tenga más en contra que a favor, haya que tomarla en cuenta: (ver paleoclima en cienciorama). J.Rubén G.C.

Se agradece la lectura de la nota del doctor Lorenzo Vázquez Selem.

## Notas

1)El albedo es la relación expresada en porcentaje entre la radiación que cualquier superficie refleja y la radiación que incide sobre la misma. Cuando esta relación vale uno, significa que refleja tanto como recibe. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a los de las oscuras, y las brillantes más que las opacas.

2)Para el efecto invernadero ver: Efecto invernadero en cambio climático, en cienciorama.

3)La meteorización de las rocas es el cambio de las propiedades físico-químicas de los minerales que las forman, que se produce como consecuencia de las condiciones ambientales, que son completamente distintas a las condiciones de formación. Es decir, es un proceso general que experimentan los materiales en la litosfera, como respuesta a las condiciones de proximidad o contacto, con la atmósfera, hidrosfera y biosfera.

(4) En el mundo viviente se encuentran básicamente dos tipos de células: las procariontes y las eucariontes. Los individuos pertenecientes

al reino monera son organismos procariontes unicelulares. Están representados a través de las bacterias y de las algas verdes azules. A estos organismos se les encuentra como unicelulares pero conformando colonias (en grupos miceliales). Se caracterizan por el hecho de no poseer membranas nucleares, mitocondrias, plástidos ni flagelos avanzados. Generalmente, efectúan su alimentación por medio de la absorción pero algunos especímenes son capaces de realizar procesos fotosintéticos. Las células procariontes son las más primitivas de la tierra, hicieron su aparición en los océanos hace aproximadamente 3.5 mil millones de años; mientras que las células eucariontes fósiles tienen menos de mil millones de años. Las algas verde azules que carecen de núcleos definidos, de cloroplastos u otras estructuras celulares especializadas son capaces de producir la misma clase de clorofila que poseen las plantas superiores, pero aún así son del tipo de célula más primitivo que existe, estos individuos del reino monera son unicelulares o filamentosos. Otras denominaciones utilizadas son las de cianofitos, cianobacterias o el de bacterias verde azuladas.

## Referencias

Neoproterozoic glacial-rainout intervals: Observations and implications , The Geological Society of America, D. J. Condon, A. R. Prave y D. I. Benn .3 de septiembre de 2001, School of Geography and Geosciences, University of St. Andrews, EU.

Investigaciones de los glaciares y del hielo de los polos , Lorenzo Vázquez Selem, Catálogo de publicaciones, Instituto Nacional de Ecología, en su página de Internet [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx). México. 2005

Snow Ball Heart . <http://www.snowballearth>.

El periodo Criogénico , Noticias21.com en su página en

Internet: <http://www.noticias21.com>

Nuestro Planeta

cienciaorama