

SNOWBALL EARTH

NOMBRE MAURICIO CARMONA AGUILA

DIPLOMADO ASUNTOS ANTARTICOS

Índice

Resumen

Introducción

Snowball Earth

Resultados simulación NASA.

Proceso

Consecuencias para la vida

Teoría

Conclusión

Bibliografía

Resumen

Si bien todavía existe una acusada controversia respecto al número y duración de glaciaciones durante este periodo: se cree que hubo 2 o 4 episodios glaciares (Existen indicios que apuntan hacia ambas hipótesis, aunque actualmente la mayoritaria es la Primera), algunos de alcance global y otros no. Algunos autores rechazan el carácter global de cualquiera de estas glaciaciones, reduciéndolas a episodios glaciares locales. Otros sostienen que existieron cuatro glaciaciones sucesivas que no se expandieron globalmente, si no que formaron glaciares continentales de gran tamaño que se extendieron hasta el ecuador en algunos casos, por lo que según esta hipótesis los océanos no se congelaron.

Introducción.

La Tierra bola de nieve (conocida en inglés como Snowball Earth) o Glaciación global es una teoría paleo climática que defiende la existencia de una o varias glaciaciones globales, es decir, que cubrieron de hielo por completo la Tierra, durante el período Criogénico.

El periodo Criogénico se sitúa a finales del eón Proterozoico dentro de la era Neo proterozoica, y abarca el periodo temporal 850~635Ma, aunque otros autores proponen otra data final situada en los 580Ma, fecha que coincide con la edad de los fósiles de la biota de Ediacara más antiguos encontrados actualmente, que abren el siguiente periodo (Ediacárico). El inicio del Criogénico se marca mediante la datación de los sedimentos.

Glaciares más antiguos de la época utilizando isótopos radioactivos. Su final, que da paso al periodo Ediacárico, se define mediante la datación con isótopos radioactivos de los depósitos Carbonatados “cap-dolostone”

Carbonatados

Formados tras las glaciaciones características de este periodo.

La formulación actual de la Tierra bola de Nieve se atribuye a Paul Hoffman y colaboradores no obstante, es una teoría que se ha ido gestando a lo largo de 50 años en la que participaron numerosos investigadores de campos muy variados. Cabe destacar que el primer investigador en emplear el término Tierra bola de nieve fue J.L.Kirschvink en el año 1992.

A pesar de que hoy en día existe consenso sobre el mecanismo generador de estos episodios gélidos (se acepta el propuesto por Hoffman y colaboradores), en el pasado se propusieron numerosas hipótesis sobre el mismo actualmente descartadas:

La órbita de la Tierra sería muy elíptica, lo que ocasionaría grandes contrastes térmicos entre invierno y verano. Así, se sucederían numerosas glaciaciones muy extensas durante el invierno seguidas de periodos interglaciares en verano.

SNOWBALL EARTH

Tierra bola de nieve (en inglés, *Snowball Earth*), glaciación global o super glaciación es una hipótesis paleo climática que sostiene la ocurrencia durante el período Criogénico de una o varias glaciaciones de escala global, durante las cuales la totalidad de los continentes y océanos de la Tierra quedaron cubiertos por una gruesa capa de hielo y alcanzaron temperaturas medias de -50 °C. La Tierra surcaría entonces el espacio como una gran bola blanca de hielo, de ahí su evocador nombre.

Sus defensores sostienen una duración de al menos una decena de millones de años,¹ lo que convertiría a este evento no solo en la mayor glaciación jamás experimentada por la Tierra sino también en la más duradera. Se cree que su impacto sobre la biosfera fue tal, que la vida estuvo cerca de desaparecer por completo del planeta.

Se han propuesto al menos cuatro eventos de glaciación global hace entre 750-580 millones de años,² aunque con causas y magnitud diferentes, por lo que el término “Tierra bola de nieve” es a veces usado de forma genérica para referirse a glaciaciones de alcance casi global, y no sólo al episodio de hace 750 millones de años.

La teoría es todavía objeto de controversia científica. En particular se carece de consenso sobre el mecanismo generador y su extensión real. Algunos científicos, sobre la base de una reinterpretación del registro geológico, niegan que fuera global y la reducen a un evento de alcance similar a las recientes glaciaciones del Holoceno.

Aunque en su formulación actual es a veces atribuida a Hoffman, se trata de una teoría de lenta gestación, fruto del trabajo de numerosos científicos a lo largo de cinco décadas, durante las cuales ha ido acumulando nuevas evidencias y refinando sus planteamientos. Desde 1985 el número de artículos científicos publicados ha experimentado un notable incremento, probablemente no ajeno al

aumento de la inquietud suscitada por la teoría del cambio climático antropogénico.

La constatación de la existencia de depósitos glaciales proterozoicos data de 1871 con la publicación de los estudios de Thomson sobre yacimientos escoceses. Desde entonces se sucedieron los hallazgos de nuevos yacimientos en distintas partes del mundo.

Se propone al geólogo Sir Douglas Mawson (1882-1958) como la primera persona en hablar de una glaciación global, para entonces ya se habían publicado casi treinta artículos sobre nuevos yacimientos. Este explorador antártico descubrió depósitos de tillitas en el sur de Australia a los que, de acuerdo a la creencia de una distribución continental inmutable, atribuyó erróneamente un origen ecuatorial y en consecuencia propuso una glaciación de magnitud global.

En 1964, W.B. Harland presentó datos paleo magnéticos que evidenciaban la existencia de tillitas en Svalbard y Groenlandia que fueron depositadas a latitudes casi ecuatoriales. Consideró que la existencia de estos depósitos, cuyo espesor y magnitud indicaban una ubicación casi costera, era una clara evidencia de una glaciación global. Sin embargo, en los años sesenta la propia teoría de la tectónica de placas estaba en pleno debate científico y tanto la reconstrucción continental, como la posibilidad de una glaciación global fueron ampliamente contestadas.

La hipótesis de Harland recibió un fuerte apoyo cuando Mikhail Budiko, un reputado científico considerado uno de los padres de la climatología cuantitativa, desarrolló un modelo numérico para investigar el efecto sobre el clima de las variaciones en la radiación solar debidas a las emisiones de polvo volcánico y a cambios orbitales (los ciclos de Milankovitch). Una parte fundamental de su modelo era el mecanismo de realimentación del albedo del hielo. Los resultados indicaron que cuando la cubierta de hielo alcanzaba los 50°, se producía una realimentación del albedo descontrolada capaz de cubrir de hielo todo el planeta. Aunque el modelo se desarrolló para analizar las variaciones del clima durante el Cuaternario, demostraba la posibilidad de glaciaciones globales.



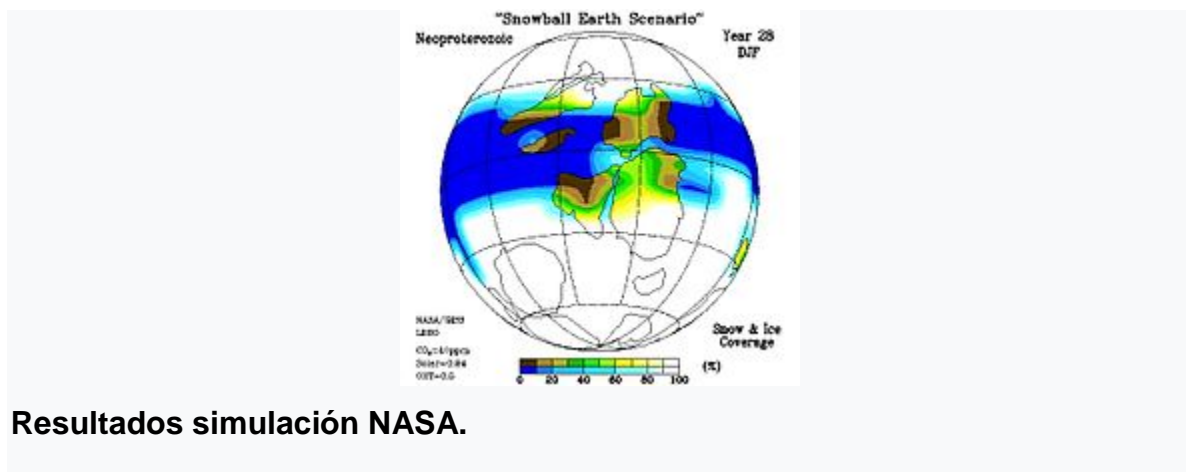
Las fumarolas negras en las dorsales medio-oceánicas pudieron ser el "último refugio" para la Vida en el planeta Tierra durante las glaciaciones globales.

El descubrimiento de las fumarolas negras en las dorsales oceánicas en 1977, y la existencia de importantes comunidades de organismos extremófilos asociadas a ellos, totalmente independientes del sol para su subsistencia, eliminó otro escollo de la teoría. La vida habría podido sobrevivir a una glaciación global en tales ecosistemas.

Como síntesis de todas estas aportaciones en 1992 J.L. Kirschvink, acuñó por primera vez el término de "snowball earth". En un breve capítulo de libro enunciaba formalmente la teoría al proponer un posible mecanismo de glaciación, otro de escape y dotarla de contraste hipotético. Según él, la distribución mayoritariamente ecuatorial de las masas continentales durante el neoproterozoico, aumentó el albedo terrestre precisamente en la zona de mayor irradiación y menor nubosidad del planeta. Este efecto se pudo ver intensificado si además existieron grandes superficies de mares someros altamente reflectivos. Este aumento del albedo, postuló, pudo ser suficiente para iniciar una glaciación ecuatorial. El escape del periodo glacial pudo producirse por un efecto invernadero por acumulación de CO_2 de origen volcánico y facilitado por la interrupción de su asimilación por los océanos y tierra, ambos desconectados de la atmósfera por el hielo. Una condición necesaria para este escape era que las temperaturas en los polos no alcanzasen los $-80\text{ }^\circ\text{C}$ pues entonces todo el CO_2 habría precipitado como hielo seco, tal como ocurre en los polos de Marte; dejando la atmósfera sin gases invernadero. Este mecanismo tendría varias implicaciones susceptibles de ser verificadas:

1. Se precisaría una elevada sincronía de todos los depósitos glaciares de la época.
2. Éstos poseerían una elevada similitud estratigráfica.
3. Deberían aparecer importantes capas de argollitas
4. laminadas consecuencia de la re oxigenación de un mar anóxico.

En 1998, Paul Hoffman y su equipo, dieron un nuevo y definitivo impulso a la teoría con el análisis estratigráfico e isotópico de importantes formaciones geológicas en Namibia, correspondientes al antiguo cratón del Congo. Aportó nuevos datos sobre la amplitud, duración e impacto en la biosfera.- El aspecto más sorprendente de sus investigaciones eran las evidencias de una brusca transición, en términos geológicos, de la fase glacial a una fase de invernadero de elevadas temperaturas. Hoffman lo atribuía a la súbita liberación atmosférica del CO₂ de origen volcánico hasta entonces acumulado en capas subaéreas. Esta brusca transición explicaba la formación de grandes depósitos carbonatados sobre las tillitas y la formación de arcillas ferruginosas bandeadas. Se estima que la concentración de CO₂ pasó de valores mínimos a concentraciones del orden de 350 veces la actual. El análisis isotópico de los carbonatos reveló que el carbono de los estratos glaciales era extremadamente bajo en ¹³C, lo que indicaba una falta casi total de actividad biológica marina. Las fluctuaciones de este isótopo indicaban además que, en aquella era, hubo varios ciclos de glaciación y deshielo



Resultados simulación NASA.

Finalmente el equipo franco estadounidense DTM (Deep Time Modelling) dirigido por el climatólogo Yannick Donnadieu (que trabaja en el CNRS francés) con el apoyo de simulaciones informáticas del modelo GEOCLIM, ha renovado el debate sobre las causas que provocaron la glaciación.- De acuerdo a sus simulaciones la ruptura del super continente Rodinia facilitó un aumento de la escorrentía y en consecuencia un mayor consumo de CO₂ atmosférico por meteorización de los

silicatos. Como resultado la concentración de CO₂ atmosférico pudo descender hasta los valores necesarios para iniciar la glaciación.

Proceso.

Se cree que el desencadenante principal pudo ser un descenso en la concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero como el CO₂ y CH₄. Curiosamente este descenso situaría su concentración en niveles similares a los actuales, no obstante debe recordarse que hace 900 Ma el Sol era aproximadamente un 6 % más débil y la tierra precisaba de un mayor efecto invernadero para obtener temperaturas "habitables".

La causa de este descenso parece ser diferente para el CO₂ (dióxido de carbono) y para el CH₄ (metano). En el caso del CO₂, varias causas pudieron contribuir a un drástico descenso. Donnadieu propuso la combinación de tres fenómenos geológicos que acelerarían el proceso de meteorización de los silicatos, reduciendo su concentración atmosférica. Geológicamente, la concentración atmósfera-océano del CO₂ está en equilibrio. La cantidad de gas que ambos reservorios acumulan depende del balance entre los procesos de aporte y eliminación, que a escala planetaria configuran un ciclo de unos 100 000 años. El suministro se debe principalmente a las emisiones volcánicas y a las emanaciones metamórficas. Su presencia en el vapor de agua acidifica las nubes provocando una lluvia ácida que es neutralizada por los silicatos en una reacción de meteorización durante la cual el CO₂ es transformado en CaCO₃. Una vez disuelto en el agua de los ríos como ion HCO₃⁻ es devuelto al océano, La eliminación ocurre en el océano a cargo de los organismos calcificadores (principalmente algas y cianobacterias, pero también protozoos y algunos metazoos) que lo usan como elemento de sostén en forma de carbonato. A la muerte de éstos precipita creando enormes depósitos sedimentarios que subyacen con la corteza oceánica en las dorsales oceánicas, reincorporándose así al magma y cerrando el ciclo. Como la meteorización de los silicatos es el proceso más lento, de forma global el ciclo se acelera en épocas cálidas y húmedas y se ralentiza en las frías y secas. Donnadiu propuso que la anómala distribución tropical de las tierras emergidas

durante el Periodo criogénico, en forma de un gran continente denominado Rodinia, aceleraría la tasa de meteorización de los silicatos, pues en los trópicos el clima es idóneo para ello. Esta aceleración se vería reforzada por dos fenómenos adicionales, por un lado hace 830 ma Rodinia comenzó a fracturarse provocando que el clima continental del interior evolucionara hacia otro más tropical al disminuir la continentalidad. El otro fenómeno fueron las masivas erupciones volcánicas de hace 730 ma del ártico canadiense, entonces localizado en pleno ecuador, y que generaron masivas coladas basálticas. El basalto es especialmente sensible a la meteorización. En conjunto estos tres fenómenos aceleraron la meteorización y provocaron un descenso masivo del CO₂ atmosférico reduciendo el efecto invernadero.

La reducción del otro gas, al parecer implicado, es más simple pero está menos contrastada. El CH₄ (metano) es suministrado a la atmósfera principalmente por los organismos metano génico y es eliminado por oxidación con el O₂ atmosférico. Los niveles actuales de O₂ determinan una duración media de 10 años, pero en la atmósfera primitiva mucho más pobre en oxígeno, su duración, y por tanto su acumulación, serían muy superiores. El efecto invernadero del metano es unas 30 veces superior al del CO₂. Se cree que la proliferación de los organismos fotosintéticos ocasionó un brusco aumento del O₂ y descenso del metano. No obstante se sabe que el boom de los primeros organismos fotosintéticos ocurrió hace unos 2400 ma, en coincidencia con las glaciaciones huronianas, otros grandes episodios de glaciación mucho más antiguos pero no de carácter tan global.

Los resultados obtenidos por diferentes investigadores, aplicando estas condiciones de partida a modelos climáticos, difieren en la magnitud del fenómeno, desde una glaciación global con una tierra completamente cubierta por una capa de hielo de varios kilómetros de espesor; hasta una tierra en la cual los casquetes glaciares de ambos polos se extienden hasta latitudes casi ecuatoriales, pero que dejan libre de congelación los trópicos. En cualquier caso todos los modelos verifican el efecto albedo descontrolado predicho por Budiko, en

el que el hielo aumenta la proporción de luz solar reflejada y devuelta al espacio, la tierra conserva menos energía solar, y en consecuencia se enfría aún más.

Este proceso se autoalimenta o retroalimenta hasta llegar a su lógico final: la extensión máxima de los casquetes, convirtiendo la Tierra, hace 750 millones de años, en un planeta totalmente helado, con una temperatura de -20 grados en el ecuador y de -80 en los polos.

Consecuencias para la vida.

Los periodos de frío intenso también han sido sugeridos como un obstáculo para la evolución de vida multicelular. Los embriones más antiguos conocidos, procedentes de la formación de Doushantuo en China, aparecen sólo un millón de años después de que la Tierra emergiera de una glaciación global, sugiriendo que la capa de hielo y los fríos océanos podrían haber impedido la aparición de vida compleja. Por ejemplo, los organismos ediacáricos, también conocidos como biota del periodo Ediacárico (que representan los organismos multicelulares complejos más antiguos conocidos); aparecieron poco después de que la Tierra se deshelara después de la extensa y última glaciación del periodo Criogénico.



Las emisiones de CO₂ de los volcanes crearían un efecto invernadero suficiente para sacar a la Tierra de la glaciación global.

Dos cuestiones fundamentales se plantean.

- ¿Cómo salió el planeta de este círculo vicioso? Todo indica que fueron los mismos volcanes los que lo hicieron. En efecto, en un mundo de hielo, el balance de la actividad volcánica es positivo en CO₂ (pues lo emiten los

volcanes), y la atmósfera fue alcanzando una concentración 350 veces más alta que la actual. El efecto invernadero hizo subir la temperatura hasta conseguir que, al menos una parte del mar se descongelase.

- ¿Cómo sobrevivió la vida? En esta época, la vida estaba constituida por microorganismos acuáticos. Algunas especies pudieron sobrevivir porque al congelarse lentamente el agua se transforma en hielo muy transparente, y la escasa luz que lograba atravesar la enorme capa de hielo sobre el mar bastaba para mantener el primer eslabón de la cadena alimenticia. Otra posibilidad más plausible es que las cianobacterias pudiesen sobrevivir en las numerosas fumarolas del fondo marino (en las dorsales oceánicas), sin necesidad de la luz solar y del oxígeno, alimentándose de carbonatos y CO₂; y formando un ecosistema que seguramente no fue perturbado por la glaciación.

TEORÍA

Tierra bola de nieve es el nombre de una teoría paleo climática que sostiene la ocurrencia durante el período Criogénico de una o varias glaciaciones de escala global, durante las cuales la totalidad de los continentes y océanos de la Tierra quedaron cubiertos por una gruesa capa de hielo y alcanzaron temperaturas medias de -50 °C. La Tierra surcaría entonces el espacio como una gran bola blanca de hielo, de ahí su evocador nombre.

Sus defensores sostienen una duración de al menos una decena de millones de años, lo que convertiría a este evento no sólo en la mayor glaciación jamás experimentada por la Tierra sino también en la más duradera. Se cree que su impacto sobre la biosfera fue tal, que la vida estuvo cerca de desaparecer por completo del planeta.

Se han propuesto al menos cuatro eventos de glaciación global hace entre 750-580 millones de años, aunque con causas y magnitud diferentes, por lo que el término “Tierra bola de nieve” es a veces usado de forma genérica para referirse a glaciaciones de alcance casi global, y no sólo al episodio de hace 750 millones de años.

La teoría es todavía objeto de controversia científica. En particular se carece de consenso sobre el mecanismo generador y su extensión real.

Algunos científicos, en base a una reinterpretación del registro geológico, niegan que fuera global y la reducen a un evento de alcance similar a las recientes glaciaciones del Holoceno.

Aunque en su formulación actual es a veces atribuida a Hoffman, se trata de una teoría de lenta gestación, fruto del trabajo de numerosos científicos a lo largo de cinco décadas, durante las cuales ha ido acumulando nuevas evidencias y refinando sus planteamientos.

Desde 1985 el número de artículos científicos publicados ha experimentado un notable incremento, probablemente no ajeno al aumento de la inquietud suscitada por la teoría del cambio climático antropogénico.

La constatación de la existencia de depósitos glaciales proterozoicos data de 1871 con la publicación de los estudios de Thomson sobre yacimientos escoceses; desde entonces se sucedieron los hallazgos de nuevos yacimientos en distintas partes del mundo.

Conclusión.

La causa más probable de un aumento repentino O₂ es la evolución de la fotosíntesis oxigénica una revolución biológica, pero la evidencia preliminar de moléculas orgánicas fósiles sugiere que la que la fotosíntesis oxigenica la existía medio billón de años antes de la bola de nieve de Makganyene. Diferentes conjuntos de datos geoquímicos sugieren que el aumento de O₂ más del 1% PAL ocurrió en algún momento entre 2,4 y 2.2 Ga hace mil millones de años. La resolución de la trayectoria detallada del aumento de O₂ y su relación con la bola de nieve Makganyene es un área activa de investigación actual.

Se han propuesto varias teorías astronómicas para desencadenar tierras de bola de nieve. En 2005, Alex Pavlov y sus asociados sugirieron que las tierras de bola de nieve se produjeron cuando el Sistema Solar encontró nubes moleculares gigantes en los brazos espirales de nuestra galaxia. Una prueba isotópica de su hipótesis aún no ha dado sus frutos

Bibliografía

- Hoffman, Paul F. and Daniel P. Schrag. Snowball Earth. Scientific American.com, enero 21, 2000 https://atmos.washington.edu/~davidc/ATMS211/articles_required/Hoffman2000_snowball.pdf
- Uriarte, Antón. Historia del clima de la tierra. <https://docplayer.es/8353786-Historia-del-clima-de-la-tierra-anton-uriarte.html>