

CAMBIOS CLIMÁTICOS Y CAUSAS QUE LOS ORIGINAN

Jean Pierre Bergoeing Guida*
jegadana@gmail.com

Fecha de recepción: 20 noviembre 2008 - Fecha de aceptación: 24 abril 2009

Resumen

El autor hace una reseña de los factores conducentes a los cambios climáticos que sufre la Tierra. Vulcanismo, bólidos extra terrestres y cambios de la órbita del planeta son los parámetros más importantes que se destacan.

Palabras clave: Basaltos, Trapps, CO₂, Cráter de impacto, meteoro, cambio orbital, precesión.

Abstract

An explanation of several elements that produce changes of the global weather climate on Earth is given by the author. Volcanism, meteors and changes on the Earth orbit are the main parameters of this article.

Key Words: Basalts, Trapps, CO₂, Impact crater, meteors, orbital change, precession.

Résumé

L'auteur explique les éléments qui conduisent aux changements climatiques de la Terre. Le volcanisme, les bolides extraterrestres et les changements de l'orbite terrestre sont les paramètres les plus importants mis en relief.

Mots clés: Basaltes. Trapps, CO₂, Cratère d'impact, météore, changement orbital, précession.

Introducción

Los cambios climáticos que sufre la Tierra son causados por diversos agentes que expondremos a continuación. Desde el nacimiento de las ciencias Geológicas y Geomorfológicas apenas un centenar de años, la comunidad científica ha constatado que la Tierra no ha tenido un clima uniforme. Así lo vemos plasmado en los fósiles vegetales que desde el Primario han dejado su huella que nos recuerda el medio en el cual se

formaron, así como las trazas de grandes eventos cuyas cicatrices nos permiten hoy estudiarlos y comprenderlos

Veremos que tres elementos fundamentales son los responsables de los grandes cambios climáticos del planeta: el vulcanismo, el impacto recurrente de meteoritos y los cambios cíclicos de la órbita terrestre o ciclos de Milankovitch. Con todo ello, es un verdadero milagro si la raza humana ha logrado sobrevivir y sobretodo reproducirse a lo que es hoy. El ser humano es el cuarto elemento faltante en esta explicación.

* Escuela de Geografía, Sede Rodrigo Facio, Universidad de Costa Rica.

El vulcanismo

Los basaltos de meseta constituyen las masas volcánicas erupcionadas más vastas del planeta por tratarse de lavas muy fluidas emergidas a través de fisuras de cientos de kilómetros de largo. Dos grandes conjuntos pueden ser dados como ejemplos. La meseta del Dekán en la India y la meseta de Columbia en los Estados Unidos de América – Canadá, los cuales reposan sobre rocas sedimentarias o cristalinas. Los basaltos fueron emitidos durante un periodo largo de 9 a 15 millones de años hasta constituir la masa topográfica imponente compuesta por 1.500.000 millones de metros cúbicos de material volcánico que cubren una superficie de 1.000 km². En el caso de la meseta de Columbia, se trata de basaltos toleíticos que descansan sobre series sedimentarias jurásicas y cretácica, estas luego fueron sometidos a la orogénesis neógena de la Cordillera Costera de las Rocosas. Tanto la creación de los Trapps del Dekán en India, hace unos 65 millones de años, y la meseta de Columbia, hace unos 10 millones de años, conllevaron a un cambio climático global del planeta por la continua emisión gaseosa, de cenizas y de polvo, en la atmósfera, a partir de las entrañas de la Tierra, en cantidades considerables como lo hemos hecho recalcar con los derrames lávicos. Los basaltos son las rocas silicatadas que más se alteran y, con ello, han jugado un papel preponderante en la reabsorción del gas carbónico CO₂ de la atmósfera que los mismo derrames lávicos basálticos habían producido hace 65 millones de años en el caso del Dekán. Según los cálculos modelizados por el equipo del Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS) de Francia (C. Dessert et al. 2001). Los 2/3 de los basaltos emitidos desaparecieron desde entonces dejando un volumen de tan solo 106 km³. El aumento del CO₂ que fue muy importante (1.050 ppmv), sea tres veces el contenido actual, recalentó la atmosfera terrestre de + 4° C. En tan solo 1.5 millones de años, la alteración continental reabsorbió el exceso de CO₂ emitido, bajando la temperatura de 4,55° C; es decir, un enfriamiento global de 0.55° C.

Durante el periodo de alteración continental el CO₂ en estado gaseoso pasa a ser una solución dando ácido carbónico (H₂CO₃) que

contribuye en la disolución de los minerales y en la formación de iones bicarbonatados (HCO₃⁻). Estos iones son transportados por los ríos al mar donde al saturarse facilitan la precipitación de los bicarbonatos (CaCO₃). Sin embargo durante la reacción de precipitado, solo un mol de bicarbonato sobre dos consumidos precipita realmente, el segundo es nuevamente expulsado a la atmósfera bajo forma de CO₂. Cuando interviene la alteración de los minerales silicatados la totalidad de los iones bicarbonatados vienen de la atmósfera lo cual representa después de precipitar un consumo de un mol de bicarbonato o de CO₂ atmosférico. Pero cuando interviene la alteración de los minerales carbonatados solo la mitad de los iones bicarbonatados viene del CO₂ atmosférico la otra parte es dada por la roca. En este caso el balance final de consumo es nulo ya que los mol de CO₂ consumidos por la alteración vuelven a la atmósfera durante el precipitado de los carbonatos en los fondos oceánicos. Por consiguiente en una escala de un millón de años, solo la alteración de los silicatos consume realmente el CO₂ de la atmósfera. (C. Dessert et al. 2001).

El equipo científico compuesto por geólogos de la Universidad de Roskilde de Dinamarca; de la Universidad de Oregón y de la Universidad de New Jersey, estudió las temperaturas de los océanos prehistóricos, constatando que hace 55 millones de años; es decir, a comienzos del Terciario (Paleoceno-Eoceno), intensas erupciones volcánicas acompañaron la separación entre Groenlandia y Europa, creando lo que hoy es el Océano Atlántico Norte. Constataron que la temperatura media de la Tierra era de 5 °C a 6 °C, más alta que actualmente. Esta intensa actividad volcánica provocó la evacuación de 1.500 gigatoneladas de carbono tanto en los océanos como en la atmósfera bajo la forma de metano y CO₂. Causó la muerte de muchas especies marinas por la acidificación de los océanos. Para hacer este estudio, se analizó la cantidad de argón apresado en los minerales volcánicos, fruto de las erupciones de hace 55 millones de años. Ambos gases son típicos del efecto invernadero que conduce al calentamiento global atmosférico. Según el estudio citado, el fenómeno duró 10.000 años y le tomó 200.000 años a la atmósfera para recuperar las temperaturas anteriores. Hoy, las emisiones

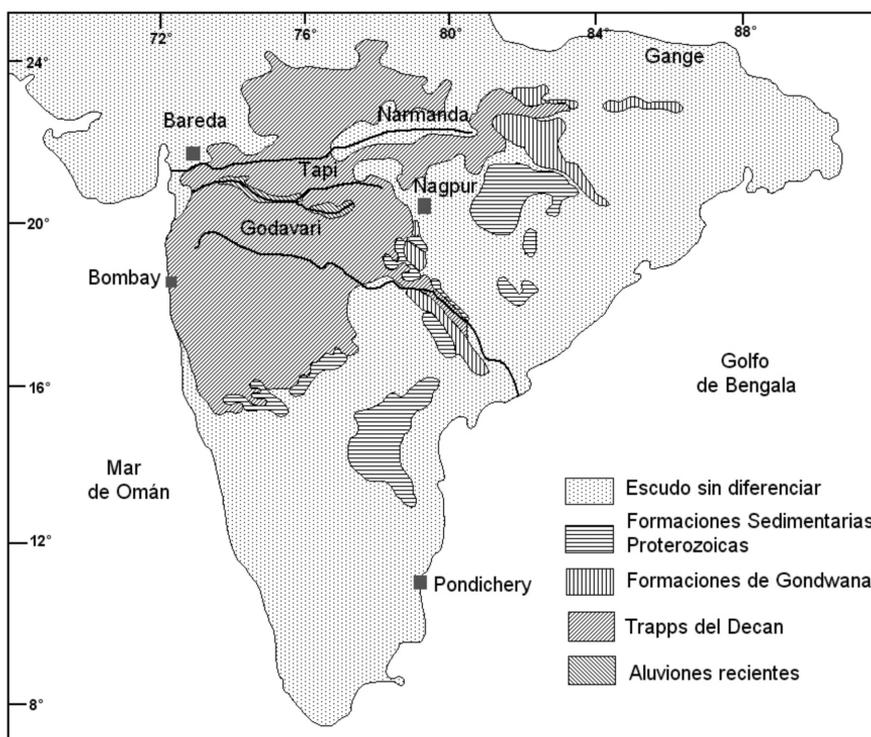


Fig. 1. Los Trapps del Dekán, India, responsables de la contaminación de la atmósfera por CO_2 y el aumento de la temperatura global de 4°C . hace 65 millones de años.

de combustibles fósiles, producto de la actividad humana, son mucho mayores que las del fenómeno geológico citado. (Storey, 2007)

Asteroides y meteoritos

La misteriosa extinción de los dinosaurios hace 65 millones de años es atribuida al impacto de uno o varios meteoritos, así como al vulcanismo fisural del Dekán en la India y en el Atlántico Norte, o concomitantemente a ambos efectos.

La mayor parte de los asteroides y cometas conocidos giran en el espacio en una agrupación que se conoce con el nombre de Cinturón de Asteroides, la cual se encuentra entre Marte y Júpiter. Este cinturón está a una distancia del Sol comprendida entre 2 y 3,5 Unidades Astronómicas. Estos asteroides giran alrededor del Sol en órbitas de entre 3 y 6 años. Actualmente, existen

unos 4.000 objetos catalogados como NEO, según NeoDys «Near Earth Objects - Dynamic Site», un proyecto de la Universidad de Pisa que proporciona información actualizada de este tipo de astros. Finalmente, si un NEO se aproxima a menos de 0,05 Unidades Astronómicas (7 millones y medio de kilómetros) de la Tierra, se le denomina PHA (asteroide potencialmente peligroso, por sus siglas en inglés). De ellos, hay clasificados unos 800 en la actualidad y son los que representan un peligro para la civilización si en verdad alguno llegara a chocar contra el Planeta, pues afectaría de manera global al mismo. Sin embargo, los cálculos de las trayectorias y de cada aproximación a la Tierra tienen grandes incertidumbres, debido a que los elementos orbitales (semi-ejes mayor y menor, distancia mínima al Sol, excentricidad, entre otros) no se conocen con total precisión, de esta forma, cualquier predicción está sujeta a un margen de error apreciable.

El Asteroide 2004 MN4, también conocido como Apófisis. Los astrónomos han detectado un asteroide que podría acercarse peligrosamente a unos 38.000 kilómetros de la Tierra entre el 2029 y el 2036 y podría simplemente causar la extinción de gran parte de la vida en nuestro planeta.

Asteroides que han impactado la Tierra.

El planeta ha conocido grandes catástrofes en eras geológicas pasadas las cuales terminaron con gran parte de la flora y la fauna (Bergoeing, 2004). El gran cataclismo provocado a finales del Cretácico, y que dio inicio al Terciario, fue la caída del Asteroide Chicxulub en Yucatán, este terminó con la vida de los grandes saurios. El bólido medía más de 10 km de diámetro y dejó un cráter de impacto de más de 180 km de diámetro. Descubierta por el geólogo Glen Penfield, este quedó impresionado por la gran cantidad de tectitas encontradas alrededor del cráter de impacto. El impacto tuvo como consecuencia una oscuridad total, durante uno o más años, por el polvo acumulado en la atmósfera el cual impidió a la flora reproducirse y, con ello, la cadena alimenticia afectó a la fauna de herbívoros y esta la

de carnívoros. En los años ochenta, Luis Walter Álvarez, de la Universidad de California, basado en el descubrimiento de Penfield, estableció la hipótesis de un gran cambio climático producido en el límite K/T del Cretácico con el Terciario, debido al nivel anormal de Iridio, encontrado en el mundo entero, en ese estrato geológico, elemento químico raro aportado por los cuerpos extra-terrestres, pero que abunda en las márgenes del Caribe. (Figura 2)

Las últimas investigaciones, a partir de los años noventa, sugieren que el asteroide dejó un cráter de 300 km. de diámetro, y que el borde primitivo de 180 km de diámetro es solo una parte de esta estructura. Esto permitiría pensar que el asteroide era de mucho mayor tamaño. Los estudios recientes llevan a confirmar que fueron varios y no un solo asteroide que impactó la Tierra durante el Terciario. (Bergoeing, 2004)

Meteor Crater es un cráter de impacto meteórico que se encuentra a unos 24 km de Flagstaff al norte del Desierto de Arizona en Estados Unidos de América; también, se le denomina Cráter Daniel Barringer, pues fue él quien lo descubrió en 1891 y lo definió como un cráter

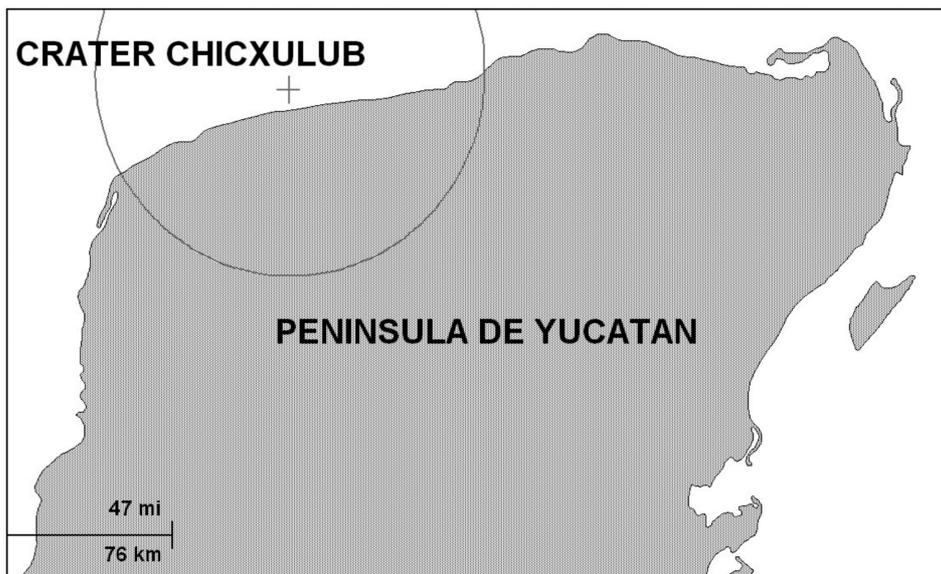


Fig. 2. Área de impacto del asteroide Chicxulub de hace 65 millones de años que creó un cráter de impacto de un diámetro de 150 km.

de impacto. Se encuentra a 1.740 m. de altitud, tiene una profundidad de 170 m. y un rim o cráter caldérico mayor de 45 m. que sobresale en la meseta. Está datado de hace unos 50.000 años cuando la meseta del Colorado sufría del clima frío de la última glaciación, y la fauna era la de los Mamuts lanudos. (Hoyt, 1987).

El meteorito causante del cráter estaba formado por una masa de níquel y hierro de tan solo 50 metros de diámetro, el cual impactó la superficie de la meseta a unos 13 km/segundo con un ángulo de 80°. Se piensa que la mitad de las 300.000 toneladas que componían al meteorito se volatilizaron antes del impacto. La explosión causada por el impacto equivale a unas 2.5 megatoneladas de TNT; es decir; la fuerza de una explosión atómica 150 veces superior a la de Hiroshima; además, desplazó en la atmosfera una onda de choque equivalente a unas 6.5 megatoneladas de TNT y devastó todo a su alrededor, fundiendo la roca del lugar y transformando el mineral de carbón existente en diamantes y londsaleita que es una forma diamantífera. Se han encontrado fragmentos de hasta 30 toneladas en un área de 260 km². Se piensa que el impacto produjo un sismo superior a unos 5.5 ° en la escala de Richter; sin embargo, por el tamaño del meteorito, este no tuvo un impacto en el clima terrestre y la flora recolonizó el área al cabo de un centenar de años. No obstante, el impacto produjo una onda calórica expansiva que se desplazó a unos 2.000 km/hora calcinando todo en un radio de unos 22 km.

Este ejemplo nos permite comprender mejor el impacto meteorito de hace 65 millones de años el cual impactó el norte de la Península del Yucatán conocido como Chicxulub (Figura 2)

Las variaciones climáticas durante el cuaternario

El Cuaternario se inicia hace unos dos millones de años y se ha caracterizado por grandes cambios climáticos que han afectado al planeta, en particular grandes periodos de glaciaciones intercalados por periodos más breves llamados interglaciares (Figura 3).

Milutin Milankovitch, ingeniero civil y matemático serbio, se interrogó sobre los cambios

de la órbita terrestre alrededor del sol, el cual sufre numerosas perturbaciones a lo largo de los miles de años en su ciclo orbital y crea pulsaciones glaciares durante periodos largos. La excentricidad, la inclinación axial y la precesión de la órbita de la Tierra varía en el transcurso del tiempo y esto condujo a las glaciaciones del Cuaternario.

Constató que la órbita de la Tierra alrededor del Sol no es completamente circular y que cambia continuamente. La forma de la órbita de la Tierra varía de ser casi circular (excentricidad, baja de 0,005) a ser ligeramente elíptica (excentricidad alta de 0,058) y tiene una excentricidad media de 0,028. El componente mayor de estas variaciones ocurre en un período de 413.000 años. Igualmente, se dio cuenta que al interior de este período oscilatorio existen dos otros menores de 95.000 y 125.000 años que se combinarían en uno solo de 100.000 años. Igualmente, que en el ciclo precesional de 26.000 años, la rotación de la órbita elíptica de la Tierra disminuye creando ciclos estacionales de 21.000 años. Adicionalmente, el ángulo terrestre con relación a la eclíptica varía entre 22°.1' a 24°.5' en ciclos de 41.000 años (oblicuidad de la eclíptica). Actualmente, el ángulo es de 23° 44' y decrece constantemente.

| Periodo | Inicio | Duración |
|-------------|--------|----------|
| Postglacial | 10 | - |
| Würm | 80 | 70 |
| Riss-Würm | 120 | 40 |
| Riss | 250 | 130 |
| Mindel-Riss | 350 | 100 |
| Mindel | 650 | 300 |
| Günz-Mindel | 700 | 50 |
| Günz | 1200 | 550 |
| Donau-Günz | 1800 | 600 |
| Donau | 2100 | 300 |

Fig. 3. Periodos glaciares e interglaciares cuaternarios en miles de años.

En resumen, las variaciones de los movimientos oscilatorios de la Tierra en su traslación alrededor del Sol, en su rotación diurna y en su nutación conducirían a los grandes cambios climáticos cíclicos que ha conocido el planeta durante este periodo. En una vuelta completa de precesión (25.767 años), la Tierra realiza más de 1.300 bucles de nutación. En conclusión, cada cierto tiempo, los cuatro factores se alían para producir un período glacial. Estos períodos son mucho más largos (unos 100.000 años) que los breves intervalos interglaciares. Ninguno de ellos por sí solo podría desencadenar quizá una glaciación, pero cuando confluyen las condiciones favorables entonces se inicia el proceso; sin embargo, los cálculos no coinciden con la realidad. Las variaciones orbitales son demasiado leves. Lo que ocurre es que debe tenerse en cuenta dos retroalimentaciones positivas: el aumento del albedo terrestre y la disminución de CO_2 . A este respecto, podemos decir que el CO_2 atmosférico ha ido en disminución constante a través de los diferentes periodos geológicos. (Figura 3)

La explicación matemática de Milankovitch es interesante; sin embargo, a ella se le deben agregar otras variables para explicar los grandes cambios climáticos que ha sufrido el

planeta, como son las erupciones volcánicas de gran magnitud, como el caso del Yellowstone cada 600.000 años (Bergoeing 2005), así como el impacto de bólidos venidos del espacio los cuales han alterado la constante matemática de Milankovitch (Bergoeing 2004).

Finalmente, podemos agregar un nuevo elemento que es el hombre. En efecto, desde la entrada a la Segunda Revolución Industrial (1880), las emisiones de CO_2 de las industrias, cada vez más importantes, por el consumo de minerales fósiles como el carbón particularmente de China y Japón, pero igualmente las emisiones de las industrias estadounidenses, japonesas y europeas que a pesar de los filtros no disminuyen las emisiones aumentando, así el efecto invernadero, han disparado en el último decenio el contenido de CO_2 de la atmósfera (Figura 4).

Cabe preguntarse, ¿el recalentamiento global de la atmósfera que conducirá fatalmente al deshielo total de los polos puede alterar la circulación de las grandes corrientes marinas? Ello porque el agua dulce polar disminuye el fenómeno de upwelling (subida de las aguas frías del fondo oceánico menos saladas y consecuentemente bajada de las aguas cálidas oceánicas más saladas, completando de este modo un ciclo)

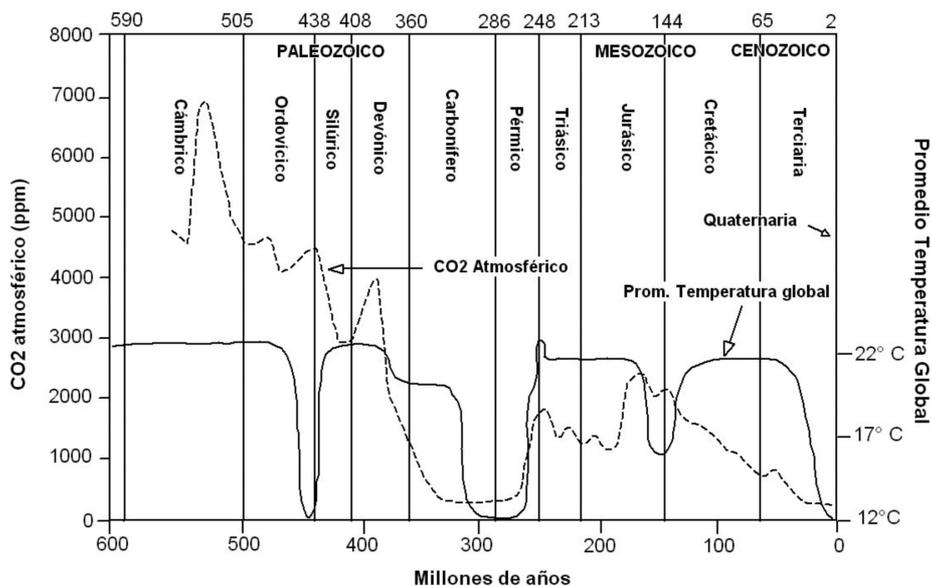


Fig. 4. Gráfico de temperaturas y CO_2 mundiales a través de las Edades geológicas según R.A.

y con ello reduce su extensión, en particular en lo que concierne al Gulf Stream o Corriente del Golfo que es la moderadora del clima de Siberia, Europa y América del Norte. ¿Tal cambio radical no podría conducir rápidamente a una nueva glaciación? Desde hace 18.000 años, al final del máximo glacial Würmiense hasta nuestros días, el nivel marino se ha elevado de unos 120 metros, alcanzando su máximo en el Flandense, hace unos 6.500 años. Desde entonces, el nivel del mar no ha variado sustancialmente, pues se ha elevado de 0.1 a 0.2 mm/año. Sin embargo, con el inicio de la Revolución Industrial (1880), el recalentamiento atmosférico se ha ido incrementado notablemente durante el siglo XX. Desde el año 1900, el aumento del nivel del mar se ha elevado de 1 a 3 mm./año. Desde 1992, los programas satelitales TOPEX Poseidón y JASON han medido elevaciones del nivel del mar de 3 mm/año. Las causas son el recalentamiento climático que ha provocado el inicio del deshielo de los glaciares continentales y de los inlandsis Antártico y de Groenlandia, así como del casquete Polar Norte. Según los últimos cálculos realizados por el Grupo de Expertos Intergubernamentales sobre la Evolución del Clima (GIEC), de aquí al 2100 el nivel del mar deberá elevarse de unos 88 cm. a 1 m. por sobre el nivel actual. Por ello, países como Alemania, Bélgica, Dinamarca, Holanda y el Reino Unido han creado planes de contingencia ante la eminente subida del nivel del mar que afectará- sin lugar a dudas- las costas más bajas, particularmente las del mar del Norte.

Referencias bibliográficas

- Arnault S. (1996). *Study of Mass and Heat Transport of the Tropical Atlantic Ocean Using Model Simulations and Topex/Poseidon Altimeter Data*. LODYC, CNRS/ORSTOM/UPMC, Paris, France,
- Berger A. & Loutre M.F. (2002) *An Exceptionally Long Interglacial Ahead?* Science 23 August 2002: Vol. 297. no. 5585, pp. 1287 – 1288 DOI: 10.1126/Science.1076120
- Berger, A. (1993). *Water Vapour, CO₂ and insolation over the last glacial-interglacial Cycles*. Phil. Trans. Geol. Society of London, Vol. 341, p. 253-261.
- Berger, A. (1988). *Milankovitch theory and climate*. Reviews of Geophysics, Vol. 26, p. 624-657
- Bergoeing J. P. (2002). *Eje terrestre y cambios climáticos* Revista norte grande n° 29-2002 pp 149-153 Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Bergoeing J. P. (2004). *Impacts météoriques et changements climatiques*. Revista Geográfica n° 135, 2005. IPGH. Mexico DF, Mexico.
- Bergoeing J. P. (2005). *¿Apocalipsis Volcánica?*. Revista Reflexiones, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Costa Rica Volumen 83 – 2. San José, Costa Rica.
- Carton, J. (1996). *The Ocean's Role in Climate Variability and Hurricane Development in the Atlantic Sector*. University of Maryland College Park, USA, Aviso Newsletter #6
- Damec D. D. (1996). *Studies of the Seasonal and Interannual Variability of Large Scale Frontal* Goddard Space Flight Center, USA, Aviso Newsletter #6
- Delort R. & Walter F. (2001). *Histoire de l'environnement européen*. Presses Universitaires de France. P.U.F.
- Dessert, C., Dupré B., François L. M., Schott J., Gaillardet J., Chakrapani G. and Bajpai S. (2001) *Erosion of Deccan Traps determined by river [Image] geochemistry. Impact on global climate and 87Sr/86Sr ratio of seawater*. Earth Planet. Sci. Lett. 188, pp. 459-474.

Hays, J.D.; Imbrie, J. & Shackleton, N.J. (1976). *Variations in the earth's orbit: pacemaker of the Ice Ages*. Science, Vol. 194, p. 1121-1132.

Hoyt W. (1987). *Coon Mountain Controversies*, Tucson, University of Arizona Press,

Schwarzacher, W. (1991). *Milankovitch cycles and the measurement of time*. G. Einsele;

W. Ricken & A. Seilacher editors in *Cycles and events in stratigraphy*, Springer-Verlag, p. 855-863.

Storey M. (2007). *Des scientifiques lient les éruptions volcaniques qui ont formé l'océan atlantique nord à d'anciens épisodes de réchauffement climatique*. Sciences du Globe. <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/43478.htm>