
El cambio climático,

¿ficción o realidad?...
una percepción desde
la comunidad internacional

Climate change, fiction or reality?...
A collection from the international community

Edwuid Pérez Palmar

Universidad Católica Cecilio Acosta,
Coordinación de Ciencias Sociales, Área de Geografía.
Maracaibo, Venezuela / Universidad de Los Andes,
Escuela de Geografía. Mérida, Venezuela.
edwuidperez@yahoo.com

Resumen

Con esta investigación se pretende determinar las evidencias del cambio climático a partir de los resultados de investigaciones hechas por organismos internacionales: Organización Meteorológica Mundial (OMM), Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Es una investigación documental de carácter descriptivo que se basa en una muestra de opiniones calificadas que se plasman en una matriz de análisis relacionadas con las variables cambio climático y comunidad internacional. Se asume como fundamento de este estudio los postulados científicos de Bernabéu (1993), Ayllón (2003), Viñas (2005), Carnero Contenti (2005) y McHugh (2007). Se concluye que los hallazgos basados en las reacciones de la Tierra evidencia un eminente cambio del clima planetario y por ello, la comunidad internacional ha tratado de contribuir a través de políticas y acuerdos internacionales al necesario compromiso de analizar las condiciones climáticas actuales.

Palabras clave: cambio climático; comunidad internacional; Organización de Naciones Unidas; condiciones climáticas; Organización Meteorológica Mundial.

Abstract

The purpose is to determine the evidence of climate change from the results of research undertaken by international organizations: World Meteorological Organization (WMO), the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), United Nations Environment Programme (UNEP). This is a documentary and descriptive study based on a sample of qualified opinions expressed in a matrix of analysis including climate change and international community variables. It is assumed as the basis of this research the postulates of the following scientists: Bernabeu (1993), Ayllón (2003), Viñas (2005), Carnero Contenti (2005), and McHugh (2007). It is concluded that findings based on reactions observed on Earth evidence eminent global climate change. Therefore, the international community has tried to contribute through policies, international agreements, and the necessary commitment to analyze current weather conditions.

Key words: climate change; international community; United Nations Organization; weather conditions; World Meteorological Organization.

1. Introducción

El presente estudio se enmarca en el análisis del cambio climático a partir de los planteamientos expuestos por expertos en el estudio del clima. Se esboza de manera general una descripción del sistema climático y su interrelación con las capas que conforman la geosfera⁽¹⁾, destacándose además las principales evidencias científicas que confirman el eminente cambio de los parámetros de temperatura y precipitación desde la evolución de la Tierra en distintos períodos geológicos, se toma los aportes científicos brindados por la paleoclimatología⁽²⁾ (Bernabéu 1993), y los datos de sedimentos oceánicos brindados por Cecilia McHugh (2007).

Por otro lado, se presenta el tratamiento que le ha dado la comunidad internacional [entre ellos se destacan: Organización Meteorológica Mundial (OMM), Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)], a la temática ambiental y en especial, al cambio climático desde la implementación de políticas internacionales que consensen entre los jefes de Estado de distintos países sobre las detecciones que se han hecho en el estudio de océanos, atmósfera, glaciares, y que los resultados apuntan a proyecciones que demuestran un acercamiento lento, pero progresivo en las fluctuaciones de los niveles de agua en los océanos, química del aire, superficie y presencia de glaciares y en los parámetros de temperatura global y régimen de precipitaciones.

Este hecho del cambio climático y de las organizaciones para el estudio del clima auspiciado por la comunidad internacional, demuestran que este problema debe

ser asumido como un acontecimiento que involucra no solo a los miembros del mundo de la geopolítica sino también al colectivo social y por ello, esta investigación pretende desarrollar de una manera fundamentada, pero sencilla las características que demuestran y explican el eminente cambio del clima de la Tierra.

Por lo tanto, determinar las evidencias del cambio climático a partir de los resultados de investigaciones hechas por organismos internacionales, mediante sustentos teóricos de expertos en materia del clima, así como señalar los organismos internacionales avocados a su estudio y cuáles acuerdos y tratados generados por los organismos internacionales relacionados con el cambio climático, se convierten en el propósito y principal objetivo de esta investigación.

2. Metodología

Este trabajo se enfocó en identificar y asumir los aspectos teóricos necesarios para determinar las evidencias del cambio climático, a partir de resultados de investigaciones hechas por organismos internacionales a través de expertos del clima terrestre.

En ese sentido, es un estudio descriptivo porque pretende demostrar las evidencias del cambio climático mediante bases conceptuales y teóricas propias de las teorías de la evolución del clima como lo es al análisis del polen fósil⁽³⁾ de Bernabéu (1993), planteamientos sobre cambios naturales y antropógenos en el clima expuestos por Ayllón (2003), basados en los postulados de Militin MilanKovitch (citado en Viñas, 2005) y los hallazgos sedimentarios en los océanos de McHugh (2007). Entendiéndose por estudios descriptivos (Hernández *et al*, 2010: 60) los que «*buscan especificar las propiedades im-*

portantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno».

De esta manera, se analizaron documentos para argumentar la postura crítica de los autores ante las teorías del cambio climático. Así, se pudo realizar un arqueo bibliográfico, cuya información fue analizada a través de unidades de análisis mediante una matriz descriptiva que facilitó realizar una síntesis interpretativa a través del procedimiento metodológico de la triangulación: «...la combinación de dos o más teorías producto de la fase de revisión documental, de diversidad de datos para el estudio de un fenómeno singular, de la opinión del autor de la investigación. La triangulación implica reunir una variedad de datos y métodos referidos al mismo tema.» (Palella y Martins, 2012: 184).

3. Resultado y discusión

El cambio climático global es definido por el Vocablo Meteorológico Internacional de la OMM, (Publicación OMM-No. 182, citado por Viñas, 2005: 20), como aquello que «abarca todas las formas de inconstancia climática, con independencia de su carácter estadístico o causas físicas. Los cambios climáticos pueden resultar de factores tales como las variaciones en la radiación solar, los cambios a largo plazo de elementos de la órbita terrestre (excentricidad, oblicuidad de la eclíptica, precesión de los equinoccios), los procesos internos naturales del sistema climático o el reforzamiento antropógeno (por ejemplo, aumento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono y de otros gases de efecto invernadero)».

En ese sentido, es necesario comprender la atmósfera como escenario donde se desarrolla el balance de radiación, cuyas ca-

racterísticas químicas generan los gases de invernadero que permite el funcionamiento del sistema climático planetario.

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve al planeta Tierra y se divide teóricamente en varias capas concéntricas sucesivas. Estas son, desde la superficie hacia el espacio exterior, troposfera, estratósfera, mesósfera, ionósfera, exósfera y magnetósfera. La química del aire está determinada por la presencia de componentes permanentes: nitrógeno (78 %), oxígeno (21 %), argón (0.94 %), dióxido de carbono (0.03 %), gases raros: neón, helio, criptón, xenón, vapor de agua (0.03 %), y componentes accidentales como hollín, polvo meteórico, sales marina y cenizas volcánicas (Ayllón, 2003). Asimismo, la atmósfera está conformada por los GEI (gases de efecto invernadero), cuya existencia en estado natural es vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (N₂O) ozono en la estratósfera (O₃).

Comprender la atmósfera, su composición y estructura es esencial para el análisis del clima, y por ello, Sallies (2008), considera que el sol como cuerpo caliente emite radiación de onda corta (Ley de Stephan Boltzman: la longitud de onda de la radiación emitida por un cuerpo de temperatura mayor a 0° Kelvin = -273°C, es inversamente proporcional a su temperatura absoluta); por lo tanto, el mismo autor señala que la atmósfera es transparente a la energía solar y, en ese sentido, el rayo solar la atraviesa sin calentarla e incide sobre la superficie de tierras y mares y éstos sí se calientan, transmitiendo luego el calor al aire por convección. Esta dinámica se llama balance de radiación, cuyo proceso es determinado por dispersión ante la presencia de nubes o

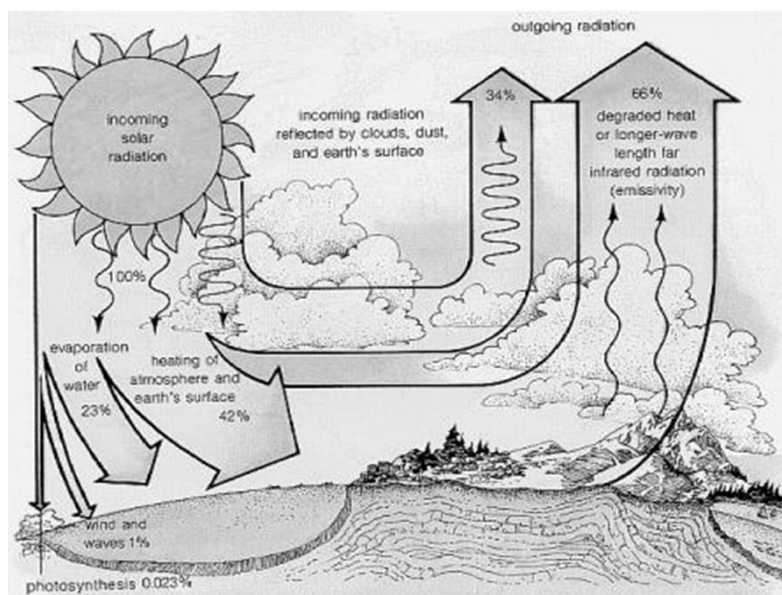


Figura 1 Balance de radiación. *Fuente:* Alberto Rogelio Sallies (2008)

partícula en suspensión y por reflexión ante la existencia del color de la superficie (la nieve refleja mucho más que una pradera y por tanto, presenta un mayor albedo⁽⁴⁾).

Luego de describir el balance de radiación es necesario puntualizar algunos elementos del sistema climático. El mismo está integrado por cinco grandes componentes: atmósfera, hidrósfera, criósfera, litósfera y biósfera, donde cada uno tiene funciones bien definidas en la conformación del clima global, esto significa que los fenómenos del clima resultan de la interacción de estos cinco componentes (Sallies, 2008).

La interacción de los componentes del clima se presentan cuando desde la hidrósfera (océanos y mares), los flujos de energía se transfieren a través de las corrientes marinas, las cuales transportan aguas cálidas desde los trópicos a altas latitudes y, a su vez, aguas frías de los polos hacia lati-

tudes más bajas; por su parte, la atmósfera presenta grandes movimientos verticales ascendentes y descendentes de aire (convección) y horizontales o vientos (advección); la criósfera⁽⁵⁾, comprende el hielo de Antártida y Groenlandia, el permafrost⁽⁶⁾ (suelo congelado) y los glaciares de montaña. Tienen el mayor albedo de la Tierra 80 %. Presentan una dinámica de retroalimentación fuertemente positiva.

La biósfera es consecuencia de la composición de la atmósfera y del clima y, a su vez, la atmósfera es resultado de la actividad biológica (J. Lovelock, citado por Sallies, 2008). Por último, el papel de la litósfera influye en todo intercambio con la atmósfera a través del vulcanismo; las erupciones de los volcanes inyectan partículas a la estratósfera que pueden permanecer mucho tiempo e interceptan y dispersan la radiación solar.

En el **cuadro 1** se esboza una idea generalizada de la atmósfera como escenario del desarrollo del clima global, se procede al análisis de teorías en relación al cambio climático y los organismos internacionales que estudian el clima.

Cuadro 1 Matriz descriptiva acerca de las posturas científicas que asumen los expertos en estudio del clima

| Teoría Científica (Categorizado por variables) | Revisión bibliográfica (Síntesis interpretativa) | Posición del investigador |
|---|---|--|
| <p>Polen Fósil, herramienta de investigación para comprender el clima del pasado</p> | <p>El científico español Manuel Bernabéu (1993: 5), postula el análisis del polen fósil como recurso de investigación científica en peleclicmatología a partir del supuesto de que <i>"el clima es la principal causa de los cambios observados en la vegetación, con la cual la abundancia o carencia de polen de cada especie queda ligada a este factor"</i>, en ese sentido, y con el desarrollo de un método estadístico, permitió determinar que durante el último periodo glacial en las latitudes bajas, la temperatura media anual en la superficie del planeta era inferior a la actual. En cuanto al régimen de precipitaciones, se concluye que era menor que el de hoy.</p> | <p>En síntesis, se aprecia que este es un dato muy generalizado acerca del pasado climático del planeta; sin embargo, los vestigios de vida en el pleistoceno y en otros periodos geológicos perpetuados en los registros fósiles demuestran que si ha habido cambios en el clima terrestre, y por tanto, el funcionamiento global del clima en el pasado se interpreta a partir de la comprensión de cómo vivían las especies de vida (incluidos flora y fauna), cómo evolucionaban, y cómo se modificaba el ambiente, incluido el clima imperante. Por lo expuesto, se concluye que así como el clima fue cambiando en su evolución tanto temporal como espacial, los elementos que lo integran también, por ello, se considera que hace 40.000 años existía una diferencia de 4 °C inferior a la temperatura media global actual, en cuanto al régimen de las precipitaciones se demuestra que este era 30 % inferior que el de hoy.</p> |
| <p>Los hallazgos geológico-sedimentario de los océanos para comprender el clima del pasado</p> | <p>A partir de los hallazgos hechos por el Dr. James Austin (2007) y la Sedimentología Cecilia McHugh (2007: video) del Programa de Perforación de Océanos del buque de investigación oceanográfico Joides Resolutios determinaron que <i>"los sedimentos del mar contienen la historia o el secreto del clima de la Tierra"</i>. La investigación se basó en la obtención de sedimentos excavados a través de un largo tubo que penetraba el lecho marino, las muestras de sedimentos que se obtienen son sometidas a una serie de pruebas, inspecciones y exámenes, el sedimento se estudió para determinar la edad de los microfósiles y los esqueletos minúsculos de los organismos marinos, para tratar de reconstruir el ambiente que existía en esa época, estudiando los esqueletos de plantas y animales que habitaron el océano en el momento de la deposición del sedimento.</p> | <p>Estas afirmaciones permiten concluir que las muestras de sedimentos en el lecho oceánicos contienen vestigios que testifican el comportamiento de la vida, y por ende, el comportamiento climático del pasado en la Tierra.</p> <p>Este método llevado a cabo por estos investigadores es validado por el reconocimiento que brinda la sedimentología cuando a través de facies (cuerpos sedimentarios caracterizados por su litología, estructuras físicas y biológicas), se logra los significados paleoambientales y paleoclimáticos de la época o periodo geológico que se pretende estudiar.</p> <p>En efecto, el estudio hecho por Austin (2007) y McHugh (2007), revelan que en un pasado la Tierra tuvo cambios drásticos en el nivel de los mares, así mismo, concluyeron que los polos se derriten a causa del calentamiento del planeta, y que para interpretar este calentamiento se necesita tomar muestras de los últimos 35 millones de años para así entender la historia de cómo respondió la Tierra antes los cambios producidos tanto por la naturaleza como por el hombre.</p> <p>Por tanto, los sedimentos oceánicos permiten contestar las interrogantes de cómo se conformó el clima del pasado en la Tierra y que éste a su vez si ha sufrido cambios bruscos tanto en los elementos de temperatura como el régimen de lluvias.</p> |

| Teoría Científica (Categorizado por variables) | Revisión bibliográfica (Síntesis interpretativa) | Posición del investigador |
|--|--|--|
| Cambio climático | <p>Desde los planteamientos hechos por Ayllón (2003), se atribuye el cambio climático a causas naturales y antropógenas. Entre las naturales están: 1. El incremento de las manchas solares en ciclos de 11 años de duración; 2. Asimismo, Ayllón, basada en lo expuesto por la Teoría Astronómica de Milankovitch, considera tres parámetros orbitales en el cambio del clima, a) Precesión de los equinoccios, b) Inclinación del eje de rotación y, c) Excentricidad de la órbita. De igual forma, las causas antropogénicas son: 1) Incremento en la atmósfera de dióxido de carbono, metano, ozono, clorofluorocarbonos y óxidos de nitrógenos mediante las actividades industriales; 2) Deforestación y sobreexplotación de pastos; 3) Creciente urbanización y expansión de la mancha urbana.</p> | <p>Los factores descritos, tanto de origen natural como antropógenos demuestran que si hay un eminente cambio climático, y que el funcionamiento del clima de la Tierra en su evolución temporal y espacial ha manifestado distintas transformaciones que han adecuado el ambiente y la vida en función de la extinción o génesis de nuevas formas biológicas; sin embargo, a lo largo de la historia geológica de la Tierra se ha determinado que el funcionamiento de la naturaleza ha presentado cambios de clima, ejemplo de ello : a) Glaciación Devónica; b) Glaciación entre los períodos Carbonífero y Pérmico y c) Glaciación del Pleistoceno; estos eventos glaciales generaron fluctuaciones en los parámetros atmosféricos; no cabe duda entonces, que la temperatura media global en estos períodos tuvieron descensos que refrigeraron la atmósfera de la Tierra, por ende, el rápido descenso térmico entre los polos y el ecuador, aceleraba la circulación atmosférica. Anunciado esto, el actual período (Holoceno, pero algunos geólogos emplean el concepto moderno del período Antropoceno), donde prevalece la civilización y que a escala del tiempo histórico, ésta ha desarrollado modos del vida que ha elevado el uso intensivo de los recursos naturales y la explotación masiva de los minerales, generando así industrias, economías y tecnologías que han maximizado el desequilibrio de todos los sistemas de la geosfera.</p> |
| Comunidad Internacional que estudia el clima de la Tierra | <p>Organización Meteorológica Mundial (OMM), Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (siglas en inglés: IPCC), Comisión Oceanográfica Intergubernamental (siglas en inglés: IOC), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Estos organismos del estudio del clima de la Tierra no sólo se han dedicado a la investigación científica, sino que también han promovido encuentros, protocolos, cumbres, convenciones que han reunido delegados de países para acordar políticas internacionales que viabilicen la pronta reflexión y acciones políticas sobre el cambio del clima; entre éstos destacan: 1) Primera conferencia Mundial sobre el Clima (organizada por la OMM, Ginebra, 1979); 2) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Organizado por la ONU, Conferencia sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro 1992); 3. Protocolo de Kioto, de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1997); 4. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Copenhague, 2009), 5. XVI Conferencia Internacional de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, (Cancún, 2010).</p> | <p>En esta sección, se concluye a partir de los planteamientos que arrojó el tercer informe del Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (2001). Este informe concluye en lo siguiente: 1. Las concentraciones de CO₂ seguirá aumentando durante el siglo XXI debido, principalmente, a la quema de combustible fósiles. 2. La estabilización de concentraciones de CO₂ 450 ó 650 ppm⁷ (en la actualidad alcanzan los 380ppm) requeriría que las emisiones desciendan por debajo de los niveles de 1990 en el plazo de unos pocos decenios o de un siglo, disminuyendo a partir de entonces una pequeña fracción de las emisiones actuales. 3. Durante el siglo XXI, la temperatura media mundial de la superficie aumentará un ritmo sin precedentes en los últimos 10.000 años. Para el periodo 1990-2100 se prevé un aumento que oscilará aproximadamente entre 1,5 y 3 °C. El ascenso térmico será especialmente acusado en latitudes media y altas del hemisferio norte. 4. Aumento considerable del nivel medio del mar (entre 9 y 90 cm) a lo largo del siglo XXI, que proseguirá en siglos posteriores. 5. Aumento del promedio de las precipitaciones a escala mundial con acusadas diferencias regionales y con un mayor número de episodios extremos en muchas áreas. 6. Aumento del riesgo de sequías, especialmente en áreas interiores continentales de latitudes medias.</p> |

Fuente: Elaboración propia a partir de Bernabéu (1993), Ayllón (2003), Viñas (2005), Carnero Contenti (2005), Austin y McHugh (2007)

4. Conclusiones

En general, el sistema climático global es un escenario donde convergen los componentes atmósfera-hidrosfera-criósfera-litósfera-biosfera, y es por ello, que la complejidad de su funcionamiento está supeditada al equilibrio que cada uno de estos componentes tienen. En ese sentido, las diversas investigaciones científicas sobre la Tierra y su composición, han demostrado que tanto la esfera líquida, sólida, congelada y gaseosa presentan alteraciones a lo largo del tiempo geológico y más aún en el tiempo histórico (éstas se evidencia en las distintas eras geológicas y se han intensificado en la historia de la humanidad por los avances industriales y tecnológicos).

Los cambios de la Tierra, y más específicamente del clima, tienen un orden natural y otro antropogénico, tal como lo afirma Ayllón (2003), basada en la teoría de Milankovitch cuando expone los factores naturales del cambio del clima, pero estos cambios de orden natural el planeta los ha experimentado en sus 4.500 millones de años, las evidencias de la paleoclimatología y la sedimentología confirman que ha habido cambios climáticos en distintos períodos geológicos, lo cierto es que en el holoceno (actual período de la escala geológica, otros ya plantean un período llamado antropoceno) la situación cambia, debido a que los estudios científicos afirman que a comienzos del siglo XIX, el progreso científico y tecnológico han despertado el uso extensivo de los recursos naturales y minerales. Entre esos recursos están el petróleo, el carbón y el gas que contienen el carbono asimilado por la biomasa de hace más de 300 millones de años (carbono fosilizado), en ese sentido, la industria arroja ese carbón a través de las

diversas fábricas maximizando la concentración de CO₂ en la atmósfera.

De allí entonces, que los diversos organismos del estudio del clima han orientado sus investigaciones a la comprensión de la atmósfera terrestre, sus componentes y procesos, y organizaciones como el Panel Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (IPCC), organismo dependiente de la ONU, ha demostrado que el clima de la Tierra está cambiando y que las evidencias de ese cambio es notorio, por tal motivo se concluye:

- 1) Los hallazgos basados en las reacciones de la Tierra evidencia un eminente cambio del clima planetario y por ello, la comunidad internacional ha tratado de contribuir a través de políticas y acuerdos internacionales el necesario compromiso de analizar las condiciones climáticas actuales.
- 2) Los resultados apuntan a proyecciones que demuestran un acercamiento lento pero progresivo en las fluctuaciones de los niveles de agua en los océanos, química del aire, superficie y presencia de glaciares y en los parámetros de temperatura global y régimen de precipitaciones.
- 3) El indetenible crecimiento industrial afianza cada vez más la demanda de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), lo que obliga a la comunidad internacional a dar respuestas más efectivas a través de compromisos de acción política más inmediata y determinantes, ejemplo: mayor participación de la UNESCO en asuntos referidos al estudio y análisis del clima con fines de discusión y debate en el seno de la ONU por parte de jefes de Estados; esto sin duda

iniciaría la era de los gobiernos con conciencia climática.

- 4) Repensar la noción de desarrollo, en este caso acompañado del adjetivo «desarrollo sustentable», a partir de una educación ambiental que involucre a la educación desde sus inicios, el fin, formar a las nuevas generaciones desde el concepto finito de los recursos que la Tierra como sistema geosférico ofrece. Ejemplo: una educación para el cambio climático.
- 5) tener en cuenta que las dimensiones del problema del cambio climático abarca aspectos sociales, económicos y políticos, por lo que se hace un llamado a pensar los programas climáticos en términos políticos, es decir políticas públicas y sociedad civil; así todos los involucrados tendrían una noción de que el problema global del clima amerita atenciones locales y regionales.

5. Notas

Las ideas plasmadas en este artículo recogen una versión de la ponencia presentada en la Jornada de Riesgos y Educación, realizada en la Universidad del Zulia, ciudad de Maracaibo, Venezuela, del 06 al 08 de mayo de 2013.

- (1) Geosfera: parte sólida que está en el interior de la Tierra y está representada por rocas, minerales y suelos, que forman una esfera concéntrica conocidas como capas (corteza, núcleo y manto). La palabra geósfera se utiliza en un doble significado para identificar la parte sólida de la Tierra y cada una de las partes que componen el planeta (litósfera, atmósfera, hidrósfera y biósfera). [On line]: <http://conceptodefinicion.de/geosfera/>
- (2) Paleoclimatología: La palabra paleoclimatología se deriva de la raíz griega «paleo» que significa «antiguo», y del término clima. Por tanto, es el estudio del clima pasado. Así mismo, el paleoclima es el clima que existió antes de que los seres humanos empezaran a hacer mediciones instrumentales de temperatura, precipitación, presión, velocidad y dirección del viento. En estos términos, los paleoclimatólogos no poseen ni trabajan con datos medidos instrumentalmente, sino que se basan en los llamados «proxy» o indicadores naturales, para inferir como fueron las condiciones climáticas en el pasado y los procesos de cambio de las mismas. Los cambios climáticos provocaron, evidentemente, modificaciones importantes en los sedimentos, en la flora y en la fauna, que ahora se encuentran fosilizados, los cuales han quedado como documentos que atestiguan los cambios climáticos. Los indicadores naturales (proxy) son registros naturales de la variabilidad climática, los cuales se pueden obtener de los anillos del tallo de los árboles, de extracciones de hielo (*ice cores*); de polen fosilizado, sedimentos oceánicos, del coral

y fósiles. También existe otro tipo de indicadores, denominados geoindicadores, que son ayudados por satélites, GPS e instrumentos para realizar mediciones sobre los cambios en los procesos geológicos:

- i) **Extracciones de hielo:** El hielo localizado en altas montaña y en las regiones polares, se ha acumulado capa sobre capa por muchos siglos. Los paleoclimatólogos perforan el hielo profundo y muestrean los llamados «núcleos o testigos de hielo». Estos núcleos contienen polvo, burbujas de aire o isótopos de oxígeno, que son usados para interpretar el clima pasado, del área donde fue recogida la muestra. Además, contienen registros de composición paleoatmosférica, incluyendo concentraciones de gases traza, impurezas químicas de origen terrestre y marino, isótopos cosmogénicos, y aerosoles de origen volcánico, humano y de desiertos.
- ii) **Sedimentos lacustres y oceánicos:** Los paleoclimatólogos perforan el fondo de cuencas para obtener núcleos o testigos de sedimento, los cuales consisten en materiales producidos en el océano o lagos, o que fueron arrastrados de suelos cercanos. Los sedimentos son importantes porque preservan microfósiles y compuestos químicos, que son usados para interpretar e inferir sobre el paleoclima. Aquellos sedimentos depositados en determinadas condiciones de clima (temperatura, humedad) formaron rocas, tales como carbonatos, evaporitas, capas rojas y carbones, que también son usados como elementos para la reconstrucción del clima.
 - a) **Evaporitas:** Se formaron por depósitos salinos cuando por evaporación las sales disueltas en el agua del mar o en lagos salados, sobrepasaron su punto de saturación. El orden de depósito de las sales formadas, y su composición, depende de la temperatura del agua y del contenido de iones. Las evaporitas se depositaron siempre en climas cálidos y secos; y actualmente su formación a gran escala no es común. Según varios autores, la relación con altas temperaturas, señala que las aguas oceánicas durante los periodos no glaciares fueron probable y sustancialmente más altas que en la actualidad. Esto significa que la tasa de evaporación y depositación de las sales fue más alta en esas épocas que en la actualidad.
 - b) **Capas rojas:** Son el resultado de la erosión de los macizos montañosos, como consecuencia de procesos orogénicos; se presentan en forma de areniscas de color rojo, por la presencia de óxidos férricos. De acuerdo con Von Houten (1964), las capas rojas son sedimentos depositados en condiciones oxidantes correspondientes a medios no marinos, principalmente, donde las

plantas crecen dispersas. Además, para su formación prevalecen los climas templados o cálidos, y bajo condiciones áridas. Estos climas en las áreas de depósito, se deducen a partir de la asociación de otras rocas y de la flora que prevaleció en las antiguas condiciones.

- c) Paleosuelos: La estructura del suelo está influenciada por las condiciones climáticas, por eso, cuando hay un cambio climático, que provoca una ruptura en el equilibrio ambiental, puede por ejemplo, desaparecer el bosque protector y el suelo se degrada. Las series estratigráficas proporcionan datos importantes del clima, en la época en que se formó el suelo. En climas secos y áridos, el carbonato de calcio precipita en varios niveles formando costras calcáreas. En cambio en climas cálidos y húmedos, cuando el subsuelo está formado por rocas plutónicas (y prospera una selva tropical), los compuestos solubles resultantes de la meteorización son arrastrados (Ca, Mg, Na, K) por escorrentía superficial, quedando una fase de color rojo, formada por hidróxidos de hierro y aluminio, caolín y cuarzo, que constituyen las lateritas. Volviendo al caso de la desaparición del bosque, si se observaran las series estratigráficas de su suelo, las lateritas habrían desaparecido quedando solo la costra ferruginosa; indicando así un cambio climático que provocó la desaparición del bosque y la formación lateríticas.
- d) Carbones: Los carbones carboníferos se formaron en llanuras de inundación, en ambientes límnicos, en ambientes deltáicos, en estrechas cuencas costeras y en llanuras expuestas tras una abrupta regresión marina, y por acumulación de restos vegetales en zonas pantanosas. Como se ve, todos estos medios sugieren condiciones de clima débilmente húmedos. Por esta razón, el carbón es un buen indicador de humedad del clima de la época en que se formaron las turberas y carbones.
- e) Carbonatos: Su formación está relacionada con la temperatura del mar. Al aumentar ésta, la solubilidad de las sales decrece y por tanto incrementa su depositación. Por lo tanto, los carbonatos pueden considerarse como indicadores de climas cálidos tropicales o subtropicales.
- f) Dunas: Las dunas fósiles están formadas por areniscas redondeadas y pulimentadas por efecto de su arrastre por el viento; que en muchas ocasiones permite determinar la dirección del viento dominante en la época de su formación. También son indicadores climáticos, puesto que siempre se localizan en zonas desérticas, desprovistas de vegetación donde los vientos soplan en dirección constante.

iii) Fósiles: Los seres vivos han estado siempre ligados a determinados ambientes ecológicos, de forma que al sufrir alteraciones sensibles, se produce su emigración a los ambientes más favorables o, si esto no es posible, se extinguen. Por eso, un cambio de fauna significativo, suele ser consecuencia de un cambio ambiental importante que refleja un cambio climático correlativo. Entre los grupos biológicos marinos, se estudia el plancton, sobre todo los foraníferos, los corales y en menor grado los moluscos. Referente a la fauna continental se estudian los reptiles y mamíferos; y por otra parte, de la flora se estudian los granos de polen y las esporas.

- a) Foraníferos: No toleran grandes cambios de temperatura ni de densidad del agua del mar. Ciertas especies son características de los mares fríos, mientras que otras lo son de los cálidos. Así, en un sondeo, por la presencia de una u otras especies, se pueden detectar los cambios climáticos acontecidos durante el tiempo que representa la profundidad del sondeo.
- b) Coral: El coral es construido a partir de carbonato de calcio, mineral extraído de las calizas. El carbonato de calcio contiene oxígeno, isótopos de oxígeno y trazas metálicas, que pueden ser usadas para determinar la temperatura del agua, en la que el coral creció. Estos registros de temperatura son usados para reconstruir el clima durante el periodo de tiempo o de vida del coral. Los corales se desarrollan en las temperaturas medias del mar superior a los 22 °C y aguas bien iluminadas, limpias y transparentes. Por estas condiciones ecológicas tan estrictas, la presencia de arrecifes en una serie estratigráfica, constituye uno de los indicios más seguros de existencia de mares cálidos en épocas pretéritas.
- c) Moluscos: Algunos de las especies, como los *Pelecípodos*, al ser organismos sedentarios, proporcionan datos más seguros con relación a la temperatura del agua del mar. Así, diferentes especies son tanto de mares cálidos como fríos, que al experimentar cambios significativos en la temperatura del agua marina, desaparecen estrictamente, ya que su capacidad móvil es bastante lenta para emigrar a mejores condiciones.
- d) Reptiles: Son animales ectotérmicos, es decir, que su temperatura corporal depende del medio ambiente, por lo que sus posibilidades de supervivencia son limitadas. Los actuales, no soportan temperaturas próximas a los 40 °C y cuando ésta desciende por debajo de los 10 °C, entran en un letargo que, evidentemente ha de ser limitado en el tiempo, y mueren a temperatura próxima a los 2 °C. Por esta circunstancia, suponiendo que los reptiles de épocas remotas

tuviesen las mismas limitaciones, su preponderancia durante el mesozoico indica que en esta época, la temperatura ambiental fue más propicia para el desarrollo de estos vertebrados.

- e) Mamíferos: Son muy difíciles de interpretar, desde un punto de vista climático, pues cuando sólo se conocen sus esqueletos, no es fácil deducir el ambiente en que vivieron, y mucho menos el clima de entonces, salvo algunos casos especiales, como roedores y ungulados estos se consideran características de ambientes ecológicos definidos y para el mioceno se han realizado estudios estadísticos de fósiles, que revelan un cambio climático de bosque a sabana y de húmedo a seco.
- f) Flora: La flora es especialmente sensible a los cambios climáticos, por razón de su dependencia del suelo y de las condiciones de humedad y temperatura, que son necesarias para su desarrollo. Por estas razones son buenos indicadores climáticos, y sus fósiles se utilizan con éxito para caracterizar el clima de una determinada época geológica.
- iv) Polen fosilizado: Las especies vegetales se distinguen por la morfología y fisonomía de sus hojas, tallos y estructuras en general, frutos y flores. Pero los paleoclimatólogos las diferencian por sus granos de polen, ya que cada especie y género vegetal produce granos de polen con características muy diferentes. Los granos de polen son muy bien preservados en las capas de sedimentos que se forman en el fondo de estanques, lagos y océanos; y los análisis que se le hacen en cada capa de sedimento, revela que clase de vegetación predominó en el tiempo en que el depósito se formó. Los paleoclimatólogos, o más exactamente los palinólogos (los expertos en lecturas de polen) hacen inferencias sobre el clima pasado, basados en los tipos de plantas encontradas en cada capa de sedimento.
- v) Anillos del tallo de árboles: El crecimiento de los árboles es influenciado por las condiciones climáticas que afrontan durante este proceso, y reflejan estas variaciones climáticas en los patrones del ancho, densidad y la composición isotópica de sus anillos. Por ejemplo, en regiones de clima templado, los árboles generalmente producen un anillo durante el año, revelando así, las condiciones climáticas que prevalecen durante cada año en la zona de vida de los respectivos árboles.
- vi) Geoindicadores: Otra manera de interpretar y reconstruir el paleoambiente, se realiza con los geoindicadores. Estas son medidas de la magnitud, frecuencia, proporción y tendencias de los procesos geológicos que ocurren en el planeta Tierra. Los geoindicadores se usan para monitorear y determinar la magnitud de cambios de sistemas

fluviales, costeros, desiertos, montañas, etc. Revelan también lo que sucede en el medio ambiente (condiciones y tendencias); por qué sucede (causas y enlaces entre las actividades humanas y el ambiente) y por qué es significativo (efectos ecológicos, económicos y de salud). A través de una investigación del pasado, con ayuda de los proxy y los geoindicadores, se establecen fundamentos para inferir los cambios climáticos actuales y del futuro. Uno de los geoindicadores usados (entre muchos) son las fluctuaciones glaciares. Éste, por ejemplo mide el movimiento del glaciar, la longitud y el volumen; los cuales pueden causar efectos significativos en el ambiente, por ejemplo, el descongelamiento puede causar inundaciones catastróficas. Como se ha podido apreciar, los indicadores naturales (o proxy data) pueden ser usados para extender los registros climáticos y evaluar así, el calentamiento del globo en los últimos 140 años. El calentamiento global durante el siglo XX es atribuido, por muchos científicos, al efecto invernadero causado por las actividades antropógenas. Otros sugieren que existen otros factores responsables del mismo, así como cambios naturales en el número y tamaño de erupciones volcánicas o el incremento de la radiación solar. Este último punto de vista es el tomado por paleoclimatólogos, los cuales suministran información sobre estos cambios del ambiente a largo plazo, que quizás son la causa fundamental de los cambios climáticos durante años. Desde esta perspectiva, los cambios en el clima son normales y hacen parte de la variabilidad natural de la tierra, pues están relacionados con las interacciones en la atmósfera, el océano y el suelo, así como la cantidad de radiación solar que llega a la tierra. [On line]: <http://fluidos.eia.edu.co/hidrologiaii/articuloseshii/temasvariados/paleoclima/paleoclima.html>.

- (3) Polen fósil: La cubierta externa del grano de polen le da cierta resistencia contra los rigores del proceso de fosilización que suele destruir materiales más delicados. El polen, especialmente el de plantas polinizadas por el viento (anemófilas), es producido en grandes cantidades, se acumula sobre el suelo y queda cubierto bajo capas de sedimentos. Por eso existe un extenso archivo de polen fósil que puede ser asociado con las plantas que lo producen. La disciplina de la paleopolinología se dedica al estudio del polen fósil. Proporciona información útil para la bioestratigrafía y también sobre la abundancia y variedad de plantas en determinados lugares y épocas; esto sirve para documentar los paleoclimas. El polen más antiguo encontrado pertenece al período Devónico. Su cantidad y variedad ha ido creciendo a través del tiempo. [On line]: <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/polenfosil.htm>
- (4) Albedo: Porcentaje de radiación electromagnética reflejada por una superficie. Strahler, A. 1989.

- (5) Criósfera: Parte de la corteza terrestre en la cual se forma el hielo (del griego *kryos* = hielo) y donde se producen procesos relacionados con él o donde prevalecen en gran parte del año condiciones crióticas, es decir, donde los suelos o rocas están a temperaturas bajo cero. La criósfera es el componente del sistema terrestre que contiene agua en un estado sólido; se encuentran en regiones cubiertas por nieve o hielo, sean tierra o mar. Incluye la Antártida, océano Ártico, Groenlandia, norte de Canadá, norte de Siberia y la mayor parte de las cimas más altas de cadenas montañosas. Juega un rol muy importante en la regulación del clima global. [On line]: <http://cambioclimaticoglobal.com/criosfer>
- (6) Permafrost: Regolito y sustrato rocoso permanentemente helados en los climas fríos de las regiones árticas y subárticas (Strahler, 1989).
- (7) PPM: Partes por millón (abreviado como ppm) es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla. Generalmente suele referirse a porcentajes en peso en el caso de sólidos y en volumen en el caso de gases (caso del ppm utilizado en calidad del aire). [On line]: <http://www.depeca.uah.es/depeca/repositorio/asignaturas/32317/UnidadesCalidadAire.pdf>.

6. Referencias citadas

- AUSTIN, J. 2007. *Hallazgos Sedimentarios en los océanos*. Información tomada de Posada-Swofford A. Video científico: Dinosaurios Sumergidos. Edit. Destino. Miami Beach, EE.UU.
- AYLLÓN, T. 2003. *Elementos de Meteorología y Climatología*. Editorial. Trillas. (2ª Edición). México D.F. México.
- BERNABÉU, M. 1993. *La evolución del clima*. Editorial: Edibook, S.A. Barcelona, España.
- CARNERO C. 2005. *Comunidad Internacional y Cambio Climático Global*. Centro Argentino de Estudios Internacionales. Disponible en: <http://www.caei.com.arg>.
- CONFERENCIA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO. 1992. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Rio de Janeiro, Brasil. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.
- CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. 2009. Copenhague, Dinamarca. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/spa/11a01s.pdf>.

- HERNÁNDEZ, R; FERNÁNDEZ, C. y P. BAPTISTA. 2010. *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw-Hill, Interamericana Editores. (5ª Ed). México.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/>
- INTERGOVERNMENTAL OCEANOGRAPHY COMMISSION. Disponible en: <http://ioc-unesco.org/>
- McHUGH, C. 2007. Hallazgos sedimentarios en los océanos. Información tomada de Posada-Swofford A. Video científico: Dinosaurios Sumergidos. Edit. Destino. Miami Beach, EE.UU.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. 2003. *Boletín*, Volumen 52 N° 2, Abril de 2003. Ginebra, Suiza.
- PALELLA S. y F. MARTINS. 2012. *Metodología de la investigación cuantitativa*. Editorial FEDUPEL. Caracas, Venezuela.
- PRIMERA CONFERENCIA MUNDIAL SOBRE EL CLIMA. 1979. OMM. Ginebra, Suiza. Disponible en: http://canviclimatic.gencat.cat/es/politiques/acords_internacionals/primera_conferencia_mundial_sobre_el_clima_1979/
- CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 1997. Protocolo de Kioto. Disponible en: http://unfccc.int/essential_background/kyoto_protocol/items/6034.php
- SALLIES, A. 2008. *Cambio Climático-Calentamiento Global*. Conferencia en la Casa de la Cultura de la Municipalidad de Olavarría. Disponible en: http://pensardesdeolavarria.blogspot.com/2008_07_01_archive.html.
- STRALHER, A. N. 1989. Geografía Física. Edición Omega (3ª Ed). Barcelona, España.
- VIÑAS, J. 2005. *¿Estamos cambiando el clima?* Editorial Equipo Sirius. Madrid, España.
- VON HOUTEN. 1964. *Paleoclimatología*. Información tomada de Guerra Velásquez J., Afanador Ardila A. Disponible en: <http://fluidos.eia.edu.co/hidrologiaii/articuloseshii/temasvariados/paleoclima/paleoclima.html>
- XVI CONFERENCIA INTERNACIONAL DE NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO. 2010. Cancún, México. Disponible en: http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/informecancun.pdf.