

APORTES DE LAS GLACIACIONES A LA HISTORIA GEOLÓGICA DE LA TIERRA Y LA EVOLUCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

MAIDANA, Germán Esteban

Instituto Superior del Profesorado “Dr. Joaquín V. González”. Cátedra de Ciencias de la Tierra. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

germanmaidana@yahoo.com.ar

RESUMEN

El objetivo del presente artículo es analizar la importancia de las glaciaciones para comprender la reconstrucción de las secuencias de evolución, distribución y extinción de distintas especies y en la explicación de cómo estos eventos geológicos y climáticos han moldeado los patrones de diversidad de los organismos actuales. Para ello se trabajó con una recopilación, lectura, análisis y comparación de bibliografía sobre glaciaciones y Geología Histórica. Entre los resultados más destacados se mencionan la teoría de la Tectónica de Placas y los procesos vinculados a las variaciones en la órbita terrestre que han contribuido a la explicación de los períodos glaciales e interglaciales, entre otros. Además la comprensión de la estrecha relación de estos períodos con la evolución y distribución de distintos organismos coadyuva en la conservación de recursos y preservación de ambientes naturales frente a los cambios climáticos que se avecinan.

Palabras clave: glaciaciones – evolución - geología histórica – paleogeografía.

GLACIATIONS CONTRIBUTIONS TO THE GEOLOGICAL HISTORY OF THE PLANET AND THE EVOLUTION AND DISTRIBUTION OF SPECIES

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze the importance of understanding glacial reconstruction sequences evolution, distribution and extinction of different species, and in explaining how these events have shaped geological and climatic diversity patterns of modern organisms. This was achieved with a collection, reading, analyzing and comparing literature Glaciations and Historical Geology. Among the most important results can be mentioned that the theory of plate tectonics and the processes related to variations in Earth orbit have contributed to the explanation of glacial and interglacial periods. Besides understanding the close relationship of these periods with the evolution and distribution of different agencies can help in resource conservation and preservation of natural environments compared to climate changes that lie ahead.

Keywords: glaciations – evolution - historical geology – paleogeography.

Introducción

Un *período glacial* es una época en la que los glaciares de casquete y los glaciares de montaña eran mucho más extensos que en la actualidad, producto de inviernos algo más suaves en las latitudes medias a altas que significan mayores nevadas totales; mientras que, veranos más fríos producirán una reducción de la fusión de la nieve, es decir, se reduce la amplitud térmica global. Un invierno más frío produciría más nieve pero eso no importaría si toda la nieve se fusionara durante un verano cálido. Hoy, aproximadamente un 2% de toda el agua continental se encuentra en forma de hielo principalmente en el casquete glacial de Groenlandia y en el continente Antártico. Sin embargo, los casquetes glaciales no constituyen un rasgo constante de la geografía de la Tierra.

A principios del siglo XX se había establecido una división cuádruple del período glacial cuaternario para Norteamérica y Europa. Las divisiones se basaron en depósitos que estaban bien expuestos. Estas divisiones tradicionales permanecieron hasta que testigos de sondeos de sedimentos procedentes del suelo oceánico registraron mucho más completo, el cambio climático. A diferencia del registro glacial de la Tierra que está interrumpido por numerosas discontinuidades estratigráficas, los sedimentos del suelo oceánico proporcionan un registro ininterrumpido de los ciclos climáticos durante este período.

Los estudios de esos sedimentos del fondo oceánico demostraron que se han producido ciclos glaciares/interglaciares aproximadamente cada 100.000 años. Se identificaron alrededor de veinte ciclos de enfriamiento y calentamiento para el período glacial cuaternario. Durante la glaciación, el agua, congelada en latitudes altas redujo el nivel de los océanos y formaron pasarelas continentales que permitieron la migración de especies cuyos efectos evolutivos observamos en la biodiversidad actual. Luego, la fusión de los hielos conllevó la generación de una complejidad ecológica espacial y temporal. También las modificaciones climáticas supusieron grandes dificultades para las diversas especies vegetales y animales las cuales tuvieron que hacer frente a tales fluctuaciones. Algunas especies lograron adaptarse, otras se extinguieron y otras restringieron su distribución geográfica.

El objetivo de este trabajo es analizar a las glaciaciones como fenómenos repetitivos que tienen múltiples orígenes y cuyas consecuencias constituyen una ayuda muy valiosa para los estudios de la historia geológica del Planeta y la evolución de la vida.

Materiales y métodos

La metodología de trabajo comenzó por la búsqueda, selección y consulta de bibliografía especializada sobre los temas a abordar. Luego se procedió al tratamiento analítico de dichas fuentes. Este trabajo consta de varias secciones:

- Causas de las glaciaciones.
- Efectos de las glaciaciones en la distribución, evolución y extinción de las especies.
- Consecuencias de las glaciaciones en la Argentina.
- La historia más reciente.

Causas de las glaciaciones

Cualquier teoría que intente explicar las causas de las épocas glaciales debe responder a dos preguntas básicas: 1- ¿Qué causó el comienzo de las condiciones glaciales?; y 2- ¿Qué causó la alternancia de etapas glaciales e interglaciales que han sido documentadas en el Pleistoceno? La primera pregunta interroga sobre las tendencias a largo plazo de la temperatura en una escala de millones de años y la segunda pregunta se refiere a cambios en un plazo más corto (Tarbuck y Lutgens, 2004). Al respecto se conocen dos posiciones diferentes. En primer lugar, una conjunción de condiciones parece haber favorecido el repetido aumento y desaparición de grandes mantos de hielo sobre los continentes en un período que abarca hasta dos ó tres Ma. Para ello hay que tener en cuenta las épocas glaciales antiguas tales como las glaciaciones del inicio y del final del Paleozoico en el continente de Gondwana. En segundo lugar están las causas inmediatas que son responsables de producir una glaciación en un momento determinado, de provocar un deshielo a continuación y de la repetición de este ciclo.

La primera pregunta puede responderse a través de la teoría de la Tectónica de Placas. Entre los factores que pueden provocar una época glacial completa que dure dos ó tres Ma. se pueden considerar las siguientes posibilidades:

1- *Una posición favorable de los continentes con respecto a las regiones polares.* Estructuras glaciares en los actuales continentes africano, australiano, sudamericano e indio indican que esas regiones, ahora tropicales o subtropicales, experimentaron un período glacial cerca del final del Paleozoico hace unos 250 Ma. Sin embargo, no hay pruebas de que existieran glaciares de casquete durante ese mismo período en las actuales altas latitudes de América del Norte y Eurasia. ¿Fue el clima de esas latitudes tropicales o subtropicales semejante, en alguna ocasión, al clima actual de Groenlandia y la Antártida? ¿Por qué no se formaron glaciares en América del Norte y Eurasia?

En la actualidad se sabe que las áreas que contienen esos rasgos de glaciares antiguos estuvieron juntas formando un supercontinente localizado en latitudes lejanas a sus posiciones meridionales actuales. Posteriormente, esta masa de tierra se separó y sus fragmentos, desplazándose en placas diferentes derivaron a sus posiciones actuales. Durante el pasado geológico los movimientos de las placas fueron responsables de cambios climáticos extraordinarios en la medida que los continentes se dirigían hacia posiciones latitudinales diferentes donde las tasas de precipitaciones de nieve excedían a las tasas de ablación. (Strahler, 1987).

También pudieron ocurrir cambios en la circulación oceánica que alteraron el transporte del calor, la humedad y otros componentes del clima. La presencia de masas continentales puede bloquear el flujo de las corrientes oceánicas templadas hacia los polos que tenderían a convertir los climas polares en templados. En la actualidad, el océano Ártico está conectado con los océanos Atlántico y Pacífico únicamente por angostos estrechos. Ese océano mantiene una capa de hielo marino durante todo el año generando un clima frío que se une al de las masas continentales contiguas. La Antártida estaba ubicada en el polo sur desde antes de la era en que vivieron los dinosaurios pero después de que se desprendieran América del Sur y Australia, lo que permitió la instalación de una corriente oceánica circunantártica que contribuyó al enfriamiento del aire polar (Folguera, 2009). Los primeros mantos de hielo formados en el polo sur aumentaron el reflejo de la luz solar de la Tierra rechazando así la absorción de calor procedente del Sol, proceso que derivó en un progresivo enfriamiento del planeta entero.

2- *Una retirada de los océanos de los cratones continentales acompañada de un levantamiento epirogénico generalizado.* A fines del Mesozoico los mares continentales poco profundos ocupaban grandes extensiones en cambio, durante el Mioceno, los mares se habían retirado hasta los bordes de los continentes. Este descenso del nivel del mar en relación a los continentes suele atribuirse a un movimiento epirogénico positivo general de las placas continentales. También puede haber sido causado por un aumento en la profundidad media de las cuencas oceánicas en tanto que la tasa de expansión del fondo oceánico decrecía tras la alta tasa de expansión del período Cretácico.

¿Por qué un descenso relativo del nivel del mar y una reducción de la extensión superficial del agua oceánica han de tender a promover una época glacial? Las grandes masas continentales tienden a tener inviernos más fríos (y también veranos más calientes) que los océanos adyacentes en la misma zona latitudinal. Un aumento en la elevación de la superficie de un continente tendería a bajar la temperatura media cercana a la superficie del suelo, pero la magnitud del levantamiento de las zonas interiores de los continentes puede haber sido demasiado pequeña para acarrear ninguna consecuencia. Un aumento de la actividad tectónica y volcánica a finales del Cenozoico provocó el levantamiento de encumbradas cadenas montañosas capaces de atrapar grandes cantidades de nieve y hacer así posible el inicio de lo que habría de convertirse en casquetes de hielo. (Strahler, 1987).

3- *Un período sostenido de actividad volcánica incrementada a escala planetaria durante un largo período.* El lazo de unión entre actividad volcánica y glaciación radica en la emisión de vastas cantidades de polvo volcánico extremadamente fino durante erupciones volcánicas explosivas. El polvo rápidamente alcanza la alta atmósfera y se

esparce por todo el Globo en periodos que pueden variar de pocos meses a uno o dos años siguientes a la erupción. Las partículas de polvo provocan cambios climáticos que pueden tener un alcance planetario. El efecto climático de un velo de polvo estratosférico es el de provocar un enfriamiento de las temperaturas atmosféricas medias cercanas a la superficie de la Tierra (Strahler, 1987).

Debido a que la velocidad del movimiento de las placas es muy lenta, cambios apreciables en las posiciones de los continentes sólo se producen a lo largo de grandes períodos de tiempo geológico. Por lo tanto, los cambios climáticos desencadenados por el desplazamiento de las placas son extremadamente graduales y ocurren a una escala de millones de años.

En cuanto a la segunda pregunta, dado que los cambios climáticos producidos por el movimiento de las placas son extremadamente lentos, la teoría de la Tectónica de Placas no puede utilizarse para explicar la alternancia entre los climas glacial e interglacial que se produjo durante el Pleistoceno. Por lo tanto hay que considerar algún otro mecanismo desencadenante que pueda causar cambios climáticos a una escala de millares antes que de millones de años. En la actualidad se acepta que los ciclos de glaciación e interglaciación que se han repetido por lo menos 20 ó 30 veces durante el Pleistoceno pueden estar vinculados a variaciones de la órbita terrestre. Esta hipótesis fue desarrollada por primera vez y defendida con intensidad por el científico yugoslavo Milutin Milankovitch (1879-1958) y se basa en la premisa de que las variaciones de la radiación solar entrante son un factor principal en el control del clima terrestre. Este científico formuló un modelo matemático basándose en los siguientes elementos:

1. Variaciones en la *excentricidad* de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. La forma de la órbita de la Tierra cambia durante un ciclo que dura unos 100.000 años y lo hace gradualmente de una órbita casi circular a una más elíptica y luego al revés.
2. Cambios en la *oblicuidad* del ángulo que forma el eje con el plano de la órbita terrestre. En la actualidad el eje de rotación está inclinado unos 23°5' con respecto al plano de la órbita terrestre. Durante un ciclo de 41.000 años este ángulo oscila entre 21°5' y 24°5'.
3. La *fluctuación* del eje de la Tierra denominado *precesión*. El eje de la Tierra se bambolea como el de un trompo que no mantiene un ángulo fijo. Por consiguiente, el eje apunta a diferentes zonas del cielo durante un ciclo de unos 26.000 años. (Tarbuck y Lutgens, 2004)

Estas tres variables no causan variaciones en el total de la energía solar que alcanza el suelo. En cambio, su efecto se deja sentir porque cambia el grado de contraste entre las estaciones; inviernos algo más suaves en las áreas situadas entre latitudes medias a altas significan mayores nevadas totales, mientras que veranos más fríos producirán una reducción de la fusión de la nieve. Se demostró que los ciclos de cambio climático se corresponden estrechamente con los periodos de oblicuidad, precesión y

excentricidad orbital y, por lo tanto, se concluye que los cambios en la geometría de la órbita terrestre son la causa fundamental de la sucesión de los periodos glaciares del Cuaternario (Novas, 2006).

La teoría de la Tectónica de Placas proporciona una explicación para lapsos espaciados y no periódicos de las condiciones glaciares en diversos momentos del pasado geológico mientras que la teoría propuesta por Milankovitch aporta una explicación para la alternancia de episodios glaciares e interglaciales del Pleistoceno. Estas ideas no representan las únicas explicaciones posibles de periodos glaciares. Quizá intervengan, y probablemente así sea, otros factores, por ejemplo el humano.

Algunos efectos indirectos de las glaciaciones en la distribución, evolución y extinción de las especies

A medida que el hielo avanzaba muchos animales se vieron obligados a migrar. Esto indujo a esfuerzos que algunos organismos no pudieron tolerar y, por lo tanto, se produjeron extinciones. Al cabo de miles de años hubo un retroceso muy lento del hielo y, tanto el avance como el retroceso, resultaron catastróficos para el entorno pues al sobrevenir el deshielo en algunos casos se desencadenaron enormes inundaciones que arrasaron parte de la vida animal y vegetal. En otros casos estas inundaciones ofrecieron nuevas oportunidades de desarrollo a las especies mejor dotadas. (Attenborough *et. al.*, 1990).

Otro fenómeno climático asociado a las épocas glaciares fue el incremento del gradiente térmico entre altas y bajas latitudes y la consecuente generación de vientos que afectaron a la flora y a la fauna. El clima del hemisferio Sur está parcialmente regulado por el anticiclón Antártico el que, a su vez, está rodeado por un cinturón de bajas presiones. Durante la última glaciación el anticiclón Polar duplicó su extensión y produjo un corrimiento hacia el norte de las fajas climáticas adyacentes. El depósito típico de los periodos glaciares es el loess, sedimento transportado a grandes distancias en suspensión en la tropósfera. Sus depósitos son muy abundantes en la zona periglacial de China y norte de Europa. En la región pampeana también existen sedimentos loéssoides profundamente modificados que da origen a paleosuelos soldados (Tófaló, 2010). Por esto las fases más frías de los periodos glaciares llegaron a afectar mucho más allá de las altitudes elevadas.

En realidad se alteró todo el clima de la Tierra y, en consecuencia, la distribución de la vegetación. Al tiempo que los bosques de coníferas y caducifolios de las zonas templadas avanzaban hacia el Ecuador a causa del avance de los hielos, los precedía una zona de pastos y matorrales secos. Las regiones ecuatoriales, ocupadas hoy por selvas eran, durante las glaciaciones, algo más secas y fragmentadas en unidades menores entre las cuales se intercalaban pastizales de sabana tropical. El cambio climá-

tico originó su parcelación en refugios diseminados en los que se pudieron mantener las condiciones de calor y humedad suficientes.

A diferencia de los animales, los vegetales no pudieron migrar hacia el Ecuador a medida que la Tierra se iba enfriando y, con el avance del hielo, perecieron numerosas poblaciones. Al cambiar el clima, algunos vegetales consiguieron germinar y afianzarse en zonas situadas más al sur de sus latitudes habituales. Las poblaciones septentrionales en cambio, sufrieron un gradual exterminio debido a lo riguroso del clima pero algunas semillas de estos árboles que lograron dispersarse hacia el sur pudieron germinar allí donde antes había habido demasiado calor y sequedad en exceso; así fue cómo los vegetales pudieron desplazarse hacia el sur y escapar al avance de los hielos. Los árboles pueden migrar a una velocidad de varios centenares de metros por año tal como ocurre con los avellanos que han llegado a desplazarse 1,5 km en sólo un año (Attenborough *et al.*, 1990).

En Europa los efectos experimentados durante las épocas de avance glacial fueron en algunos aspectos más severos que en América del Norte. Los sistemas montañosos europeos, Alpes y Pirineos, discurren de este a oeste y son lo bastante elevados como para desarrollar sus propias masas de hielo interponiéndose, de este modo, a la expansión hacia el sur de los vegetales y los animales amenazados por el hielo en su avance desde el norte. Algunos árboles, como por ejemplo la cicuta y el tulipero, se extinguieron de Europa durante las sucesivas glaciaciones pero consiguieron sobrevivir en América del Norte donde la libertad para extender su hábitat no se vio restringida por ninguna cadena montañosa.

A lo largo del período glacial aparecieron especies nuevas y que otras empezaron en aquel entonces, a escindir y hoy se hallan en proceso de convertirse en nuevas especies. Las de rápida reproducción, como las aves o los peces del género *Cyprinodon*, evolucionan muy deprisa. En el caso de los animales y de los vegetales que pueden necesitar varias décadas hasta alcanzar la madurez reproductiva y producir una nueva generación son necesarios miles de años para evolucionar hacia nuevas especies. Esto puede darse a través de la *dispersión* y la *vicariancia*. Un caso de *dispersión* es el de los papamoscas europeo y asiático, pequeñas aves migratorias insectívoras. Se trasladan desde África (donde pasan el invierno) hacia Europa y Asia para beneficiarse de los días más largos y la rica alimentación que les ofrece el verano templado. Tanto el papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*) como el papamoscas collarino (*Ficedula albicollis*) o mosceta de collar se dan en Europa durante el verano pero la distribución de éste último está localizada más hacia el sur. A pesar de su similitud, las dos especies no se cruzan entre sí aunque estén, sin duda, estrechamente emparentadas. Hace menos de un millón de años, estos papamoscas constituían una única especie. Sus hábitos migratorios pueden darnos la clave de su evolución separada. El papamoscas cerrojillo se dirige en otoño hacia el oeste y atraviesa el Mediterráneo internándose en África a través del sur de la Península Ibérica. En cambio, el papamoscas

collarino migra hacia el este a través de Turquía y el Cercano Oriente. Estos hábitos se desarrollaron probablemente durante el último período glacial al quedar separadas sus zonas de cría por la capa de hielo. Así fue cómo las dos poblaciones de papamoscas no pudieron encontrarse durante las épocas de reproducción. Los papamoscas evolucionaron independientemente y, en la actualidad, a pesar de hallarse en contacto, apenas muestran interés por la otra especie además de conservar las antiguas costumbres migratorias propias de cada una. En este caso, la glaciación habría propiciado la evolución de dos especies a partir de una.

Otro caso de *dispersión* es el de la *Picea blanca* de América del Norte que se halla extendida por una amplia franja que atraviesa Canadá y penetra en Alaska. Sin embargo, existen poblaciones aisladas de este árbol en zonas accidentadas tales como los Black Hills de Dakota situadas al sur de su dominio. Esta distribución tiene su explicación en la historia evolutiva que, empujado hacia el sur durante la última glaciación sobrevivieron como reliquias hoy aisladas de la franja principal de distribución geográfica. Testimonios fósiles confirman que *Picea blanca* produce grandes cantidades de polen que se han conservado en sedimentos lacustres constatando la antigua distribución meridional de este árbol. La *Picea blanca* de Dakota aún no ha evolucionado hacia una nueva especie ya que su ritmo reproductivo es lento y hace poco tiempo que quedó aislada (Crisci *et al.*, 1990).

Un caso de *vicariancia* es el del gorila del género *Gorilla* que habita las selvas tropicales de África. La fragmentación de estas selvas con los cambios climáticos del período glacial es probablemente la causa principal de la división actual en dos poblaciones, una occidental y otra oriental buscando refugio en los reductos forestales que sobrevivieron. Si bien, tras la glaciación, la selva volvió a recuperarse, la aparición de nuevas barreras tales como el río Congo y la destrucción del hábitat por parte del hombre han impedido que las dos poblaciones volvieran a fusionarse. Aunque siguen siendo una misma especie han formado dos razas distintas (*Gorilla gorilla* y *Gorilla beringei*) y con el tiempo probablemente acabarán por originar dos especies distintas de gorila.

Otro caso de *vicariancia* ocurre en el desierto de Nevada en EE.UU. Allí existen lagunas y charcas que dan acogida a unas 20 especies de peces ciprinodontiformes. Los machos son de un azul irisado y las hembras verdes dándose, entre las diversas especies, una gran similitud. Al final de la última glaciación, las condiciones ecológicas de esta región eran de mucha humedad y las conexiones existentes entre los varios medios acuosos permitían a los peces ir de uno a otro y cruzarse entre sí. Transcurrida la glaciación el clima devino más árido y, en los últimos seis o siete mil años, los lagos se redujeron y aislaron. Los ciprinodontiformes quedaron así divididos en poblaciones aisladas dando lugar cada una de ellas a una especie diferente como la *Aplocheilidae* y la *Cyprinodontoidei*.

La fragmentación del hábitat de un vegetal o un animal puede conducir a nuevos brotes evolutivos pero también a su extinción (Sánchez, 2009). Al término de la última glaciación, hace unos 10.000 años, se extinguieron más del doble de especies animales y vegetales que en cualquier período precedente de avance y retroceso de los hielos. Las extinciones más espectaculares son las que corresponden a la llamada “megafauna”, animales cuyo cuerpo excede los 50 kg de peso. La mayoría de ellos eran mamíferos como el mamut, el mastodonte, el oso de las cavernas, el perezoso terrestre, el tigre dientes de sable y el canguro gigante, pero había también algunas aves. Los grandes mamíferos son vulnerables a los cambios ambientales en virtud de que sus períodos de gestación son más prolongados y la cantidad de descendientes es más baja en comparación con otras especies de menor tamaño. Además, los jóvenes de especies que alcanzan portes considerables requieren cuidados intensivos durante un tiempo más largo que los animales pequeños (Attenborough *et al.*, 1990).

Pero no fue la magnitud del cambio (de hecho profundos cambios climáticos venían ocurriendo desde principios del Pleistoceno) sino el breve tiempo en que se desarrollaron los cambios. El de la temperatura del final de la última glaciación fue extremadamente rápido y, en algunas regiones del planeta, la temperatura subió 7°C en sólo 50 años. Se especula que el cambio climático hacia condiciones más húmedas y calurosas habría fomentado la expansión de insectos que propagan enfermedades.

Consecuencias de las glaciaciones en la Argentina

Los efectos de la última glaciación en América del Sur habrían sido menores que en el Hemisferio Norte. Ello se debería a que Sudamérica tiene una forma triangular en su extremo austral y está rodeada de vastas extensiones oceánicas que atenúan las temperaturas extremas y, además, está íntegramente ubicada dentro de las franjas tropical y subtropical. Sólo la región andina tiene un clima frío de montaña en casi todas las latitudes. Esta cadena actúa, en algunos de sus sectores, como una barrera orográfica al sistema de vientos húmedos provenientes del océano Pacífico.

En la Patagonia la glaciación más antigua tuvo lugar entre siete Ma y cinco Ma, la última glaciación alcanzó su máximo alrededor de los 25.000 años y finalizó hace 16.000 años. Los hielos cubrieron parte de la región andina desde Neuquén hasta Tierra del Fuego y también parte de la región extra-andina donde se desarrollaron extensas áreas de suelos congelados. La merma de las precipitaciones y el descenso de la temperatura determinaron la disminución del bosque de *Nothofagus* (ñires, lengas, coihues) y su reemplazo por una vegetación de tundra. En las Sierras Pampeanas los glaciares habrían descendido hasta los 1.100 m de altura. Se infiere que durante la última glaciación el anticiclón del Pacífico Sur habría cobrado fuerza a lo que se le sumaron los vientos generados en la zona de hielos continentales. El resultado habría sido un desplazamiento de 1.500 km al NE del clima frío y seco patagónico. Durante

este periodo frío se depositaron en la región pampeana varios metros de areniscas eólicas entrecruzadas producto de los fuertes vientos del SO y la intensa deflación en las zonas englazadas. Se estima que se habrían formado dunas de hasta 100 m de altura que habrían cubierto una superficie de 180.000 km² conocida como el “mar de arena pampeano”. El cambio climático siguiente habría sido acompañado por mayores precipitaciones que determinaron el desarrollo de suelos y la fijación de las dunas. La región del río de la Plata no fue alcanzada por el avance de los glaciares pero la zona se habría enfriado entre 2°C y 6°C menos que la actual que en promedio es de unos 19°C anual. Era más fría, ventosa y seca ya que los océanos se enfriaban, no había posibilidades de evaporación y las lluvias mermaron, (Novas, 2006).

Para reconstruir el clima pampeano se recurre a los fósiles. El tapir (*Tapirus terrestres*), la rata espinosa (*Proechimys albispinus*) y el pecarí de collar (*Pecari tajacu*) habitan regiones selváticas húmedas; el guanaco (*Lama guanicoe*), el zorro colorado (*Lycalopex culpaeus*), la comadreja patagónica (*Lestodelphys halli*), el piche patagónico (*Zaedyus pichiy*) y el ñandú petiso (*Pterocnemia pennata*), las zonas áridas. El hallazgo en sedimentos de Ensenada y Luján (provincia de Buenos Aires) de restos fósiles de esos animales ayudaría a deducir el tipo de clima imperante en los momentos en que ellos vivieron. La distribución geográfica de los mamíferos es sensible a los cambios climáticos por lo que han sido muy utilizados para reconstruir la historia paleoclimática y biogeográfica de la región pampeana.

La fauna que ocupó el área pampeana hace 25.000 años, experimentó un recambio importante que estaría relacionado con el advenimiento de un clima más frío y seco (Athor, 2012). La fauna previa contiene una variedad de cérvidos, abundantes llamas y grandes herbívoros (litopternos, toxodontes, megaterios). En los estratos más jóvenes decrecen los ramoneadores, se incrementan los grandes pastadores y hace su aparición el pequeño avestruz patagónico. Los datos de polen confirman que la región pampeana, que en aquel entonces era una zona de dunas, tuvo una cobertura vegetal tipo estepa correspondiente a un clima árido-semiárido semejante al de la Patagonia actual. Estas condiciones secas y frías se mantuvieron hasta el inicio del Holoceno. Este lapso contiene los últimos grandes mamíferos autóctonos sudamericanos como *Megatherium*, *Myiodon*, *Toxodon* y el gliptodonte *Doedicurus*. El cambio climático del Holoceno está evidenciado por la formación de suelos y la expansión de los mamíferos subtropicales.

También coincide con una elevación del mar de 4-5 metros respecto del nivel actual lo que se tradujo en una ingresión marina cuya fauna de moluscos indica influencia de aguas cálidas o templado-cálidas, al menos hasta los 44°S. El patrón biogeográfico presente se definió recién después de los 4.400 años cuando se instalaron faunas de aguas más frías por la influencia de la corriente de Malvinas, (Camacho, S/D).

La historia más reciente

A partir del siglo XIX la temperatura global inició un nuevo ascenso denominado por algunos “Edad Industrial” por su coincidencia con el inicio de la Era Industrial. Uno de los problemas es establecer cuál es la temperatura de referencia, o tiempo “normal” y, en función de eso, determinar cuánto se está apartando de ella en la actualidad. Las curvas de temperatura elaboradas usando diferentes métodos muestran un ascenso que varía entre 0,6°C y 0,8°C desde el año 1900. Tales curvas también muestran que el ascenso en los últimos 30 años fue más acelerado que en el período previo. Se nota una disminución de la amplitud térmica por el ascenso de las temperaturas mínimas, así como una elevación de más de 70 m del nivel de congelamiento en los Andes Tropicales. Las precipitaciones muestran variaciones menos significativas, aunque se advierte una ligera disminución en la región subtropical y un incremento en la franja tropical lo que está indicando un fortalecimiento de la circulación atmosférica tropical. También se conserva una marcada retracción en los glaciares patagónicos, con la excepción del Perito Moreno en el lago Argentino aunque, en este caso, su avance puede estar controlado por factores no climáticos.

Para ubicar el calentamiento global actual en su contexto nada mejor que recurrir a las enseñanzas que nos deja la historia de la Tierra. Desde una perspectiva de la geología histórica las glaciaciones del Pleistoceno representan una más (ni siquiera la más severa) de las numerosas que ha experimentado el planeta desde el Precámbrico y el Holoceno es una de las tantas oscilaciones cálidas de los últimos 2,5 Ma, (Quintana, 2013). Así, desde la perspectiva del tiempo geológico, el calentamiento actual está muy lejos de ser excepcional y, además, está ocurriendo dentro de un lapso de alta variabilidad climática. ¿Qué parte del mismo es debido a causas naturales y qué parte es antropogénico? Esta cuestión no es menor teniendo en cuenta la opinión casi general de “calentamiento global: acción humana”. Un análisis científico debe resolver cuál de las cuatro posibilidades siguientes tiene mayor sustento:

- 1- El calentamiento habría ocurrido de todos modos aun si el hombre no existiera (o no contaminara).
- 2- El hombre incrementó en alguna medida el calentamiento “natural”.
- 3- El hombre es el único responsable del calentamiento presente.
- 4- Una cuarta opción sugiere que la acción contaminante del hombre puede desembocar en un enfriamiento del Planeta.

Es extremadamente difícil separar la acción humana de la natural pues hay evidencias de cambios climáticos rápidos a distintas escalas cuyo origen no es el mismo. También hay casos en los que se ha forzado la evidencia científica para sustentar agendas políticas o de grupos económicos que podrían resultar beneficiados o perjudicados por las medidas correctivas, dependiendo del factor que se identifique como principal causante, (Benedetto, 2010).

Conclusión

La historia de la Tierra a través de sus períodos glaciares e interglaciares deja varias enseñanzas. La primera es que es un planeta altamente dinámico, tanto en sus procesos internos como externos. La segunda es la compleja interacción que existe entre los factores endógenos (vulcanismo, tectonismo, etc.), exógenos (la biosfera y las envolturas de hielo, agua y gases) y astronómicos (excentricidad, cambios en la oblicuidad, fluctuación). La tercera es que el clima ha sido una de las principales variables de la historia de la Tierra, trayendo consigo cambios significativos en el nivel del mar y en la evolución, distribución y extinción de las especies.

No hay dudas de que nuestro planeta ha entrado en un ciclo de calentamiento y que esto modificará en alguna medida ciertos escenarios geográficos. No en vano este fenómeno ha recibido tanta atención del mundo científico y ha tenido tanta repercusión en los medios de comunicación masiva. Incluso algunos informadores no demasiado ilustrados en el tema aventuran un escenario apocalíptico donde las ciudades y las islas desaparecen bajo el mar y los huracanes y los incendios arrasaron el planeta (¡hasta los tsunamis han sido asociados con este fenómeno!).

Otro aspecto se refiere a las predicciones a futuro pues los cambios de temperatura involucrados son del orden de décimas de grado, razón por la cual, las proyecciones contienen un alto grado de incertidumbre. La actual tendencia al calentamiento del planeta, cualquiera sea su origen, podría inducir un enfriamiento no sólo por el incremento de temperatura de las aguas superficiales sino también por el decrecimiento de la salinidad a altas latitudes debido al aporte de agua dulce por ablación parcial de los casquetes glaciales. Ambos factores desactivarán la circulación termohalina ¿Esto quiere decir que vamos hacia una pequeña edad de hielo? La respuesta sigue siendo difícil. La modelización de los parámetros que rigen la circulación termohalina tiene la dificultad que impone la escasez de datos oceanográficos precisos (por ejemplo mediciones de la tasa de mezcla de aguas oceánicas de diferentes propiedades, profundidad a la que ocurre, etc.) y por ello las estimaciones a corto plazo (decenas de años), pueden tener errores significativos.

Como quiera que sea, la humanidad debe estar preparada para enfrentar bruscos cambios climáticos pues la naturaleza nos enseña que éstos ocurren aún sin la colaboración humana y también que pueden ser mucho más intensos y duraderos que los del presente. Si la temperatura sigue aumentando dará lugar a climas nunca vistos en este planeta y no se sabe qué especies, tanto animales como vegetales, serán capaces de adaptarse a ellos. De hecho, es posible que algunas de ellas no consigan habitar en esos nuevos climas y terminen extinguiéndose, o bien evolucionando a otras. Lo que está fuera de duda es que cualquier reducción que se logre en la emisión de gases invernadero y en la deforestación va a contribuir positivamente en la estabilidad del clima.

Referencias

- Athor, J. (ed.) (2012). *Buenos Aires. La historia de su paisaje natural*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Universidad Maimónides. Vázquez Mazzini Editores.
- Attenborough, D.; Whitfield, P.; Moore, P.; Cox, B. (1990). *El Planeta Vivo*. Plaza y Janes Editores S.A. Barcelona.
- Benedetto, J. (2010). *El continente de Gondwana a través del tiempo*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina.
- Camacho, H. (S/D). La Biogeografía histórica y la deriva de los continentes.
- Crisci, J.; Morrone, J. En busca del paraíso perdido: la Biogeografía Histórica. *Revista Investigación y Ciencia* 5. Dic 89-Ene 90. Bs. As.
- Folguera, A. (2006). *Introducción a la Geología*. Editorial EUDEBA. Bs. As.
- Novas, F. (2006). *Buenos Aires, un millón de años atrás*. Editorial Siglo XXI Editores.
- Quintana, C. (2013). *La pequeña Edad de Hielo. El tren del cambio climático 1310-1850*. Fundación de Historia Natural Félix de Azara. Universidad Maimónides. Vázquez Mazzini Editores.
- Sánchez, T. (2009). *La historia de la vida en pocas palabras*. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
- Strahler, A. (1987). *Geología Física*. Editorial Omega. Barcelona.
- Tarback, E.; Lutgens, F. (2004). *Ciencias de la Tierra*. Editorial Prentice Hall. Madrid.
- Tófaló, R. (Comp.) (2010). Geología de la Llanura Pampeana. *cuaternario.materias.gl.fcen.uba.ar/index.php/download_file/.../129/*