

La paleoclimatología como herramienta de la biogeografía

María Guadalupe Masés-Solís

Resumen

La distribución actual de los seres vivos es resultado de la evolución y dispersión de las especies y de los cambios que han sufrido tanto el clima como la localización de tierras y mares a lo largo del tiempo. Es por ello que la biogeografía tiene un gran interés en el conocimiento de los ambientes del pasado. La paleoclimatología es la ciencia que se encarga del estudio del clima que existió antes de que los seres humanos empezaran a llevar un registro instrumental del clima. Los paleoclimatólogos se basan en los llamados "proxies" o indicadores naturales, para inferir cómo fueron las condiciones climáticas en el pasado y los procesos de cambio de las mismas. Entre los materiales que pueden ser considerados proxies se encuentran las plantas angiospermas, el polen atrapado en los sedimentos, los anillos de crecimiento del tronco de los árboles, el esqueleto de carbonato de calcio de los corales y rodolitos, la proporción de isótopos contenida en las conchas de algunos organismos marinos, el sedimento de los lagos y los glaciares, además de otros elementos. Por lo anterior, en este trabajo se recopiló información acerca de la utilidad de cada uno de dichos proxies para inferir las condiciones ambientales que persistieron en el pasado. Su estudio ha sido muy importante, ya que gracias a ello actualmente se sabe que en los últimos 4,000 años el clima de nuestro planeta ha oscilado entre etapas frías conocidas como glaciares y etapas cálidas parecidas a la actual, conocidas como interglaciares.

Palabras clave: dendrocronología, glaciares, isótopos de oxígeno, paleoclima, proxies, rodolitos

Abstract

The current distribution of the organisms is the result of evolution and dispersal of species and the changes of both, the climate and location of land and sea over the time. For this reason, the biogeography has a great interest in the knowledge of past environments. Paleoclimatology is the science that studies the climate that existed before humans began to take an instrumental climate record. Paleoclimatologists are based on so-called "proxies" or natural indicators to infer how were the weather conditions in the past and change processes therefore. Among the materials that could be considered proxies are angiosperm plants, pollen trapped in the sediments, the growth rings of the tree trunks, the skeleton of calcium carbonate of coral and rhodoliths, the proportion of isotopes contained in the shells of some marine organisms, sediment from lakes and glaciers, and other elements. In this paper was collected information about the usefulness of each of these proxies to infer the environmental conditions that persisted in the past. Their study has been very important because as a result it is now known that in the last 4,000 years, the earth's climate has oscillated between cold phases known as glacial and warm phases similar to the current one, known as interglacials.

Keywords: dendrochronology, glaciers, oxygen isotopes, paleoclimate, proxies, rhodoliths.

La biogeografía es la ciencia que trata del estudio de los patrones de distribución de los seres vivos en una escala espacial y temporal, así como de los factores y/o procesos que determinan dichos patrones (Contreras-Medina 2001). La distribución actual de los seres vivos es resultado de la evolución y dispersión de las especies y de los cambios que han sufrido a lo largo del tiempo tanto el clima como la localización de tierras y mares. Es por ello que la biogeografía tiene un gran interés en el conocimiento de los ambientes del pasado.

Sobre este aspecto, la biogeografía se auxilia de la paleoclimatología que es la ciencia que se encarga del estudio del clima que existió antes de que los seres humanos empezaran a llevar un registro instrumental del clima (Bradley 2015). Se sabe que los cambios climáticos provocaron modificaciones importantes en los sedimentos, en la flora y en la fauna que ahora se encuentran fosilizados, por lo que éstos han quedado como documentos que atestiguan los cambios climáticos. En ese sentido, los paleoclimatólogos no poseen ni trabajan con datos medidos instrumentalmente, sino que se basan en los llamados “proxies” o indicadores naturales, para inferir cómo fueron las condiciones climáticas en el pasado y los procesos de cambio de las mismas. Lo anterior debido a que los proxies pueden ir más allá del registro instrumental (Sánchez-Rojas *et al.* 2011).

Los proxies pueden ser de naturaleza química, física o biológica y deben de cumplir con dos características principales. En primer lugar un proxy debe ser sensible a los cambios que se dan en el ambiente en el que se desarrolla (Gall 1983 *In: Sánchez-Rojas et al.* 2011) y también debe conservarse a través del tiempo de manera inalterada (Smol 1992 *In: Sánchez-Rojas et al.* 2011).

Existe una variedad de materiales que pueden ser considerados proxies, entre los cuales se encuentran los restos morfológicos y la mineralogía de organismos, la estructura de los sedimentos, los constituyentes orgánicos e inorgánicos preservados en los sedimentos y en las grandes estructuras de hielo de los glaciares, además de otros

elementos (Sánchez-Rojas *et al.* 2011). A continuación describiré sólo algunos de los más importantes.

Algunos métodos de estudio para determinar paleoclimas utilizan a las plantas como indicadores naturales. Jack A. Wolfe (1995), fue un paleobotánico que utilizó los fósiles de las hojas de las plantas angiospermas como proxies. Observó que las hojas que tenían márgenes lisos, provenían de climas cálidos mientras que las que poseían bordes dentados o aserrados, eran de climas fríos. Con respecto al tamaño de las hojas, encontró que las hojas grandes provenían de entornos de alta humedad y las más pequeñas de sitios con menos precipitación.

Otro método muy utilizado para analizar variaciones climáticas ocurridas en determinadas regiones geográficas a partir de plantas, es el análisis polínico de los sedimentos formados durante diferentes épocas (Rivera-Arrizabalaga 2004). Debido a que existe una estrecha relación entre el suelo, la vegetación y el clima (Ruiz-Zapata *et al.* 1996), y a que el material de la pared de los granos del polen (exina) es sumamente resistente y puede preservarse hasta millones de años (Guerrero-Arenas & Jiménez Hidalgo 2009), es posible reconstruir el paisaje vegetal de una región en particular a partir de los depósitos de polen y determinar así las condiciones climáticas de dicha región en el pasado.

También hay estudios acerca de las condiciones climáticas del pasado basados en los anillos de crecimiento de los árboles (dendrocronología). Dichos anillos se forman anualmente y son archivos naturales de condiciones como la temperatura, precipitación y composición química del aire o del agua. Los anillos anchos corresponden a años de mucha lluvia y abundantes nutrientes, mientras que los anillos delgados revelan años de sequía (Giraldo-Jiménez 2011). Por lo anterior, los anillos de los árboles marcan con claridad estaciones húmedas, secas, frías y cálidas que existieron en el pasado.

Los organismos marinos también han sido empleados como indicadores naturales.

Dentro ellos encuentran los corales, éstos precipitan un esqueleto de carbonato de calcio en forma de aragonita, el cual crece en tasas de milímetros a centímetros por año. Durante su crecimiento, en el esqueleto se forman bandas anuales al igual que en los troncos de los árboles, las cuales pueden ser utilizadas para el desarrollo de cronologías. Conforme crecen, los corales incorporan isótopos y elementos traza, los cuales dejan un sello de las condiciones ambientales presentes en el ambiente marino durante la precipitación del esqueleto (v.g. temperatura del agua, evaporación, precipitación, escorrentía y circulación oceánica) (Felis & Pätzold 2004). Por otro lado, los rodolitos (algas rojas coralinas) también forman un exoesqueleto de carbonato de calcio pero en forma de calcita y anillos de crecimiento, y por lo tanto sirven de indicadores naturales. Debido a que estas algas tienen un crecimiento muy lento ($1-3 \text{ mm año}^{-1}$) y a que no permanecen fijos en un lugar sino que son movidos por las corrientes de agua, los ejemplares de varios centímetros de grosor, guardan un registro de las condiciones climáticas de un amplio intervalo de tiempo y de una gran variedad de ambientes (Foster *et al.* 2013).

Otros estudios paleoambientales se basan en el conocimiento de la proporción de isótopos estables del oxígeno O_{16} y O_{18} , los cuales tienen la característica de no transformarse con el tiempo (Guerrero-Arenas & Jiménez Hidalgo 2009).

Dichos isótopos son tomados del agua por los foraminíferos y bivalvos en su proceso de calcificación por lo que quedan atrapados en sus conchas. Se sabe que en climas cálidos el isótopo más ligero (O_{16}) se evapora más rápidamente del agua marina, mientras que en aguas más frías no, por lo que, una vez que se conoce la proporción de cada uno de los isótopos en las conchas de los foraminíferos y bivalvos fósiles presentes en los sedimentos marinos, es posible establecer una correlación importante entre las variaciones frío/calor de épocas pasadas (Rivera-Arrizabalaga 2004).

También puede utilizarse como un proxy la acumulación de sedimentos formados sobre lechos de lagos en un clima estacional. Ya que

los sedimentos se depositan en capas finas y delgadas cuando el lago está congelado, y en capas más gruesas, cuando los arroyos arrastran materiales sueltos una vez producido el deshielo. Estos estratos alternados indican estaciones y, quizá, ciclos más largos.

Por otro lado, los glaciares que se forman por la acumulación de nieves anuales durante miles de años también se utilizan para determinar climas pasados. Dentro de las propiedades de los glaciares que se ocupan para la determinación de climas pasados se encuentran las partículas de polvo y burbujas de aire atrapadas en ellos. La composición y características de las partículas de polvo y burbujas de aire corresponderán a las de la atmósfera existente en el momento de la nevada en cuestión (Guerrero-Arenas & Jiménez Hidalgo 2009). El hielo de los glaciares también contiene los mismos isótopos de oxígeno que el agua de mar, los cuales quedan atrapados en el hielo cuando las nubes que se forman por la evaporación del agua de mar se precipitan en forma de nieve sobre los continentes, así que también por medio de análisis en bloques de hielo se pueden determinar variaciones frío/calor en épocas pasadas (Rivera-Arrizabalaga 2004)

Gracias al estudio de estas evidencias paleoclimáticas, actualmente se sabe que en los últimos 4,000 años el clima de nuestro planeta ha oscilado entre etapas frías conocidas como glaciares y etapas cálidas parecidas a la actual, conocidas como interglaciares (Sánchez-Rojas *et al.* 2011).

Como se mencionó en un principio, la biogeografía se auxilia ampliamente de la paleoclimatología. Un ejemplo de su utilidad es que gracias al análisis de muestras cilíndricas de hielo extraídas de los glaciares de Groenlandia y la Antártida se tiene gran conocimiento de las glaciaciones del Pleistoceno, siendo este uno de los periodos mejor estudiados hoy día (Guerrero-Arenas & Jiménez Hidalgo 2009).

Por otro lado, con el análisis de los isótopos de oxígeno en sedimentos marinos se han intentado realizar curvas de alta resolución, con el fin de conocer mejor las variaciones

de temperatura de las superficies oceánicas, su relación con los fenómenos glaciares y sus consecuencias en los respectivos ecosistemas y hábitats humanos, consiguiendo así dataciones más precisas de los últimos 300,000 años (Rivera-Arrizabalaga 2004).

Además, en función de datos climáticos aportados por diagramas polínicos, núcleos de hielo y de sedimento marinos junto con los restos de animales encontrados en diversos yacimientos de Europa y próximo Oriente, se han podido establecer dos prototipos generales de flora y fauna que corresponden a los periodos fríos y cálidos del periodo OIS3 (periodo interglaciar de hace 60,000-40,000 años aproximadamente) (Rivera-Arrizabalaga 2004). Otro caso es la Investigación Palinológica de la Formación Amagáen el cual se presentan los resultados de polen y esporas obtenidos de muestras de la región La Clariata, Municipio de Amagá, Departamento de Antioquia. El análisis determinó la vegetación predominante en cada capa de sedimentos. Un análisis más se realizó en una turbera de Colombia, en el cual se analizaron las especies de granos de polen y se pudieron determinar los cambios en la composición y cobertura vegetal en y alrededor de la turbera y por lo tanto la historia del medio ambiente y el clima local.

También se han realizado estudios a partir de indicadores naturales para conocer los efectos del cambio ambiental en el Mioceno a partir de la medición de isótopos estables de oxígeno en el paleosuelo de Siwakil.

Debido a sus características fisiográficas y localización geográfica, México se encuentra en la frontera entre los climas templados y tropicales, lo cual lo hace un área de gran interés para la realización de estudios paleoclimáticos. Sin embargo son pocos los estudios realizados en nuestro país comparado con los realizados en zonas de altas latitudes (Sánchez-Rojas *et al.* 2011).

El desarrollo de esta ciencia es importante, ya que entender la historia del clima puede darnos información sobre la historia de los organismos de la Tierra. Además, en los últimos años los estudios paleoclimáticos han

despertado el interés de la comunidad científica debido al cambio climático. La información de estas investigaciones permitirá elaborar mejores modelos para predecir qué ocurriría si, por ejemplo, se eleva la temperatura media global del planeta ya que las circunstancias ocurridas en el pasado podrían repetirse (Guerrero-Arenas & Jiménez Hidalgo 2009).

Por lo anterior se requiere que más científicos despierten su interés en el estudio de esta ciencia, no sólo en México, sino en otras regiones del mundo. Ya que se requieren datos que abarquen largos periodos de tiempo para calibrar los modelos de cambio climático futuro, con el fin de establecer los efectos que se podrían esperar (Sánchez-Rojas *et al.* 2011).

Referencias

- Bradley R.S. 2015. Paleoclimatology. Reconstructing climates of the Quaternary. 3a ed., Elsevier, Amherst, Massachusetts, 667 pp.
- Contreras-Medina R., I. Luna-Vega & J.J. Morrone. 2001. Conceptos biogeográficos. Elementos, ciencia y tecnología 8(41): 33-37.
- Felis T. & J. Pätzold. 2004. Climate reconstructions from annually banded corals. Global environmental change in the ocean and on land. TERRAPUB. Tokyo. 489 pp.
- Foster M.S., G.M. Amado-Filho, N.A. Kamenos, R. Riosmena-Rodríguez & D.L. Steller 2013. Rhodoliths and Rhodolith Beds. Smithsonian contributions to the marine sciences. 39:143-155.
- Gall J. C. 1983. Ancient sedimentary environments and the habitats of living organisms: Introduction to palaeoecology. Springer-Verlag, Germany. 219 pp. In: Sánchez-Rojas G., C. Ballesteros-Barrera & N.P. Pavón. 2011. Cambio climático. Aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad. Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. 120 pp.
- Giraldo-Jiménez J.A. 2011. Dendrocronología en el trópico: Aplicaciones actuales y potenciales. Colombia Forestal 14(1): 97-111.
- Guerrero-Arenas R. & E. Jiménez-Hidalgo. 2009. Los climas del pasado. ¿Cómo ves? 128: 22-24.
- Rivera-Arrizabalaga A. 2004. Paleoclimatología y cronología del Würm reciente: un intento de síntesis. Zephyrus 57:27-53.

Sánchez-Rojas G., C. Ballesteros-Barrera & N.P. Pavón. 2011. Cambio climático. Aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad. Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. 120 pp.

Smol J.P. 1992. Paleolimnology: an important tool for effective ecosystem management. *Journal of Aquatic Ecosystem Health* 1: 49-58. In: Sánchez-Rojas G., C. Ballesteros-Barrera & N.P. Pavón. 2011. Cambio climático. Aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad. Universidad Autónoma de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo, México. 120 pp.

Ruiz-Zapata B., A.A. Andrade-Olalla, M. Dorado Valiño, M.J. Gill-García, T. Martín-Arroyo & A. Valdeolmillos-Rodríguez. 1996. Reflexiones sobre la palinología del cuaternario y su aplicación en la reconstrucción paleoambiental y paleoclimática. I: representación polínica de la vegetación. *Geogaceta*. 20(1): 217-220

Wolfe J.A. 1995. Paleoclimatic estimates from tertiary leaf assemblages. *Annual Reviews Earth Planet Science*. 23:119-42.

Recibido: 31 de marzo del 2016

Aceptado: 14 de julio del 2016