



Editorial

Cada vez con más frecuencia leemos o escuchamos del calentamiento del planeta. Voces alarmadas se levantan clamando que se dejen de quemar combustibles fósiles y emplear compuestos químicos que dañan la

atmósfera. La alarma se agudiza cuando nos dicen que los hielos polares disminuyen y que los glaciares están retrocediendo. Podemos decir, con un alto grado de certeza, que muchas de estas voces desconocen en gran medida los procesos que intervienen en el clima del planeta. Y, esto mismo los lleva a alarmarse. Sabemos que a lo largo su historia geológica, nuestro planeta ha experimentado muchos cambios climáticos. El registro de estos cambios se ha conservado en sedimentos y restos fósiles de organismos, los cuales permiten reconstruir su evolución. Por ejemplo, sabemos que durante el Mesozoico, el periodo comprendido entre 110 y 100 millones de años se caracterizó por quizá la última mayor extensión marina. Grandes áreas continentales fueron cubiertas por las aguas del mar. Esto se debió a una gran actividad volcánica, especialmente submarina. También sabemos que hace 18 mil años se inició el retroceso de los hielos glaciares del norte de lo que ahora es Estados Unidos de América. En estos cambios, obviamente, no hubo participación humana. La Tierra respondió a los cambios como un sistema, y la vida siguió. En la mayoría de estos cambios el ser humano no fue afectado porque no existía; una vez presente, por ejemplo durante la última glaciación y después, resolvía el problema migrando de un lado a otro. Hoy día sería una tarea titánica cambiar el emplazamiento de las grandes ciudades. Se cuenta con datos de temperatura ambiental desde 1880. Los termómetros fueron colocados generalmente en ciudades, y más específicamente en aeropuertos. La actividad producida por los vehículos, la combustión, los calefactores, y almacenada en concreto, ha generado una base de datos sesgada, por lo que no es confiable para hacer inferencias de nivel global. Además, la información se concentró principalmente en el hemisferio norte, en especial en los países desarrollados. No es sino hasta fines de la década de los setentas cuando se empieza a contar con información satelital, esto es, global, de la distribución de temperaturas. Por lo tanto, el periodo con información confiable es demasiado corto para poder hacer predicciones fundadas. Se ha

determinado por ejemplo, que en algunas regiones se tienen algunos incrementos de temperatura (0.17° por década). Notablemente, la atmósfera no muestra un incremento perceptible. Por otro lado, apenas se empieza a comprender la actividad solar y su efecto en el clima de la Tierra, así como los efectos de las corrientes de aire de gran altitud (corrientes de chorro) y de las corrientes marinas (quien desee ver más sobre este tema puede acudir a <http://www.globalwarming.org/>). Por esta razón, considero conveniente que leamos con reserva lo que se nos dice sobre las predicciones del cambio climático que se avecina.

Un ejemplo local de los cambios de clima que han ocurrido en nuestra Tierra lo ilustra el trabajo de Van Devender sobre el desierto Sonorense, en este número. Por otra parte, en el trabajo de López Sáez y colegas se presenta un ejemplo de cómo la actividad orgánica se relaciona directamente con los diferentes ambientes. Cristina García nos expone cómo el trabajo de los arqueólogos puede ser apoyado por los geólogos. Y Juan Carlos García nos presenta una semblanza biográfica de Mary Anning, una mujer prácticamente desconocida, que hizo importantes hallazgos paleontológicos a pesar de ser menospreciada por sus contemporáneos: por ser mujer y por ser paleontóloga.

César Jacques Ayala

Editor

Contenido

Editorial	2
¿Ha cambiado el paisaje del desierto Sonorense? (Thomas R. Van Devender)	3
Mary Anning (1799-1847) (Juan Carlos García y Barragán).....	8
La geología en la arqueología, una herramienta indispensable (Cristina García M.)	9
Paleoecología de medios húmedos: el aporte de los microfósiles no polínicos (José Antonio López Sáez et al.)	13

Portada. Durante los períodos más fríos del final del Cuaternario, una parte del actual desierto Sonorense presentaba un paisaje como el que actualmente observamos en el desierto de Mohave, caracterizado por las yucas (*Yucca brevifolia*). El sahuaro y el palo verde se extendieron de nuevo en el área hace sólo 10,500 años. Foto de T.R. Van Devender.

Directorio

UNAM

Dr. Juan Ramón de la Fuente
Rector

Lic. Enrique del Val Blanco
Secretario General

Mtro. Daniel Barrera Pérez
Secretario Administrativo

Dr. René Drucker Colín
Coordinador de la Investigación Científica

Dr. Gustavo Tolson Jones
Director del Instituto de Geología

Dr. Héctor Arita Watanabe
Director del Instituto de Ecología

Dr. Thierry Calmus
Jefe de la Estación Regional del Noroeste

NUESTRA TIERRA

Dr. César Jacques Ayala
Editor

Dra. Ma. Cristina Peñalba
Dr. Martín Valencia Moreno
Editores Asociados

Dr. Hannes Löser
Editor Técnico y Diseño

Nuestra Tierra es una publicación de la Estación Regional del Noroeste, institutos de Geología y Ecología, que aparece semestralmente en primavera y otoño de cada año.

Estación Regional del Noroeste
Blvd. L. D. Colosio s/n y Madrid
Campus UniSon
83000 Hermosillo, Sonora, México
Tel. (662) 217-5019, Fax (662) 217-5340
nuestratierra@geologia.unam.mx
<http://www.geologia-son.unam.mx/nt.htm>

ISSN 1665-945X

Impresión: 500 ejemplares

Precio: \$ 15.00

En caso de utilizar algún contenido de esta publicación, por favor citar la fuente de origen. El contenido de los trabajos queda bajo la responsabilidad de los autores.

Ciencias ambientales

¿Ha cambiado el paisaje del desierto Sonorense?

Se considera al desierto Sonorense como el desierto "más tropical" de América del Norte porque tiene un clima con inviernos templados y lluvias monzónicas de verano provenientes de los océanos tropicales. Una de sus características es el atractivo paisaje de la vegetación de palo verde (*Parkinsonia microphylla*)-sahuaro (*Carnegiea gigantea*) en la parte noreste de la subdivisión altiplano de Arizona del desierto Sonorense, el cual tiene estructura semejante al matorral espinoso y a la selva baja caducifolia (Figura 1) localizados más al sur. También la presencia de árboles lo distingue de los matorrales de los desiertos de la Gran Cuenca, del Mohave y del Chihuahuense. En efecto, las raíces de la evolución de muchas plantas del desierto Sonorense se encuentran en los bosques tropicales secos del Terciario temprano.

La composición y estructura de las comunidades locales y las biotas (conjuntos de seres vivos: plantas y animales) regionales están determinadas por el clima. El aire frío del invierno, la lluvia y otras características del clima local son llevados desde regiones lejanas por la circulación atmosférica. Los eventos climáticos extremos, especialmente las heladas fuertes y las sequías severas son los factores más importantes que limitan los rangos geográficos de los organismos. Así, la marcada transición desde la zona templada con encinales cerca de Nogales en la frontera con Arizona hasta la selva baja caducifolia neotropical cerca de Alamos, la ciudad colonial en el sur de Sonora, refleja de norte a sur la disminución de las bajas temperaturas del invierno y el aumento de las lluvias del verano. Sorpresivamente, varias plantas y animales tropicales se encuentran muy al norte en la región oriental de Sonora debido a que las sierras fronterizas detienen las masas del aire muy frío del Ártico.

Tan complejos y fascinantes como la biota y la historia natural del desierto Sonorense actual, los registros fósiles nos deleitan con historias de paisajes dinámicos, bestias increíbles y climas siempre cambiantes que no le piden nada a los cuentos de la literatura infantil.



Figura 1. Selva tropical caducifolia en el área de Alamos, sur de Sonora. Foto del autor.

Los glaciares, los lagos pluviales y las edades de hielo

Durante una excursión de campo en los Alpes Suizos, un joven médico llamado Louis Agassiz se dio cuenta de que algunas grandes rocas dispersas en una área abierta (bloques erráticos; Figura 2) y masas alargadas de derrumbes rocosos (morrenas) eran producto de un glaciar que existió en el pasado. En 1840 publicó sus ideas sobre la gran Edad de Hielo en un artículo titulado *Etude sur les Glaciers*. Pronto se descubrieron evidencias de glaciares de montaña y continentales en varios lugares de Europa y de América del Norte. Aunque Agassiz nunca aceptó la teoría de la evolución de Carlos Darwin, llegó a ser un sistemático y paleontólogo famoso en Harvard University en Boston, Estados Unidos de América. La tortuga de los cerros (*Gopherus agassizii*) fue nombrada en su honor.

Mientras Agassiz hacía sus descubrimientos, los botánicos en Europa y un poco más tarde en Estados Unidos descubrían en los sedimentos de ciénegas y turberas, hojas y luego granos de polen de plantas que actualmente crecen en climas más fríos. Anteriormente, la tundra se encontraba en lo que actualmente son los bosques boreales de Europa y América, y el bosque de pinabete (*Picea*) sustituía a los bosques deciduos templados de América del Norte.

Años más tarde, los últimos dos millones de años de la historia de la Tierra se reconocieron como el Pleistoceno - el único período del tiempo geológico que se basa en el clima en vez de en etapas de evolución encontradas en los fósiles de animales -. En un principio se reconocieron cuatro edades de hielo con base en los depósitos terrestres de Europa, América del Norte y América del Sur. Sin embargo, estudios posteriores de indicadores isotópicos climáticos (zooplancton) en núcleos continuos de sedimento del fondo del océano registraron de 15 a 20 ciclos glaciares en el Pleistoceno. Las edades de hielo fueron cerca de diez veces más largas que los períodos interglaciares, los cuales duraron de 10,000 a 20,000 años. El interglaciar actual (el Holoceno) empezó hace cerca de 11,000 años en el occidente de América del Norte.

En el último período glacial (el Wisconsin), el enorme casquete glacial *Laurentida* cubría la mayor parte de Canadá y se extendía hacia el sur hasta los estados de Nueva York y Ohio. Los bosques boreales con pinabete y pino en su distribución más al sur llegaban has-



Figura 2. Grandes bloques de roca fueron arrastrados por los glaciares en las épocas más frías del Cuaternario, y depositados lejos de su lugar de origen, en terrenos con un sustrato geológico diferente. En la imagen se observan bloques erráticos del sureste de Alaska. Foto gentilmente proporcionada por la Dra. Sharon Johnson/GeoImages (<http://geogweb.berkeley.edu/GeoImages.html>)



Figura 3. En la última era glacial el lago pluvial Lahontan cubrió el actual lago Winnemucca hasta unos 150 m. Foto del autor.

ta el norte de Louisiana y en la actual Gran Llanura su presencia más al sur ocurría en el Panhandle de Texas. En la región occidental de Estados Unidos, los glaciares cubrían la cima de las montañas Rocallosas y la sierra Nevada; los lagos pluviales Bonneville y Lahontan (Figura 3) tenían una profundidad de más de 150 m. Bastante agua estaba congelada en la Tierra lo que causó que el nivel del mar bajara cerca de 100 metros.

Migraciones y edades de hielo

Durante cada período glacial, los niveles bajos del mar cerraron el estrecho de Bering y unieron Siberia y Alaska en una misma región. Al principio de cada período interglaciar, el casquete glacial del Canadá se fundió y permitió que los animales de Asia colonizaran el resto de América del Norte. En ocasiones, los registros fósiles de algunos animales bastante conocidos proporcionan información histórica sorprendente. Por ejemplo el cheetah (*Acinonyx jubatus*), actualmente endémico de África, es un descendiente de un emigrante de América del Norte del Plioceno tardío. El cheetah americano (*A. trumani*) sobrevivió en América del Norte hasta hace menos de 20,000 años, posiblemente hasta que llegaron los Paleoindios hace 13,000 años. El león (*Panthera leo*) actualmente se encuentra en áreas tropicales de África y el suroeste de Asia, pero tenía una distribución amplia en Europa y América del Norte en los bosques templados del Pleistoceno tardío (*Panthera leo leo* y *Panthera leo atrox*). El tigre/jaguar (*Panthera onca*), actualmente el símbolo de las áreas tropicales del Nuevo Mundo, migró a América del Norte proveniente de Asia a través de los bosques boreales del Pleistoceno temprano. Una subespecie más grande pero ahora extinta (*Panthera onca augusta*) tenía una distribución amplia en los bosques

templados del sureste de Estados Unidos del Pleistoceno tardío. En la actualidad el tigre alcanza su límite de distribución norte en el matorral espinoso y los bosques de encino en Sonora y Arizona. Otras sorpresas son los camellos que evolucionaron en América del Norte y después colonizaron Eurasia (camellos y dromedarios) y América del Sur (llamas), y las hienas y los osos pandas que llegaron de Asia a América del Norte por un corto tiempo, pero no sobrevivieron. Fósiles de hiena del Pleistoceno temprano se encuentran cerca del Golfo de Santa Clara, en el noroeste de Sonora y en el Rancho 111 cerca de Safford, Arizona.

Los Toris, historiadores del desierto

En 1962, los biólogos Phil Wells (plantas) y Clive Jorgenson (mamíferos) escalaron el pico de Aysees al sur de Nevada buscando táscales o encinos relictos. Cuando bajaban, encontraron en una cueva una masa orgánica de color oscuro con un agradable aroma de coníferas, la cual estaba llena de ramitas de táscale! Después de fechar la muestra con radiocarbono se encontró que tenía una edad de 10,100 años, lo que mostró que estos depósitos del color del ámbar eran una nueva fuente de fósiles en los desiertos más secos de América del Norte. Wells nombró estas masas ambarrinas con fósiles (Figura 4) como "packrat middens" o depósitos de paleomadriguera de *Neotoma* spp. - "rata del monte" o "tori" en las lenguas yaqui y mayo de Sonora - (Figura 5). "Middens" es un término arqueológico en inglés para los depósitos de restos de artefactos que indican la presencia de un antiguo asentamiento humano.



Figura 4. Los restos de paleomadriguera de ratón contienen fósiles bien conservados de las plantas de los desiertos. Obsérvense agujas de piñón (árbol de clima templado) en esta muestra de 14,000 años de edad de un área del oeste de Arizona cubierta hoy día por palo verde y sahuaro. Foto del autor.



Figura 5. Las ratas de cuello blanco (*Neotoma albigula*) usan abundantes restos de plantas para construir sus madrigueras, incluyendo espinas de chollas. Foto del autor.

Los siguientes 20 años, los fósiles de estos depósitos se usaron para reconstruir la vegetación de los últimos 45,000 años en todos los desiertos de América del Norte. En el desierto Sonorense de la parte suroeste de Arizona, existieron antes de los últimos 11,000 años bosques “de la edad de hielo” con piñón (*Pinus monophylla*), táscate (*Juniperus* spp.), encinillo (*Quercus turbinella*) y dátíl de Joshua (*Yucca brevifolia*), en elevaciones de 550 a 1525 m. Muy pocos o ninguno de los actuales árboles, arbustos o suculentas del altiplano de Arizona estaban presentes. En el actual valle del bajo río Colorado, el táscate de California (*Juniperus californica*), el dátíl de Joshua y la hediondilla/gobernadora (*Larrea divaricata*) crecían en elevaciones de 240 a 550 m. El matorral del desierto Sonorense se formó hace cerca de 8000 a 9000 años, en el Holoceno, conforme las plantas de los bosques se alejaron a zonas más templadas y húmedas de las partes altas y septentrionales. En el Holoceno medio, los sahuaros y la hierba del bazo/rama blanca (*Encelia farinosa*) crecían junto con la uña de gato (*Acacia greggii*) y el palo verde azul (*Parkinsonia florida*). Hace cerca de 4500 años, se formó el actual matorral del desierto con la llegada del palo verde de hoja finita (*P. microphylla*), la pitahaya (*Stenocereus thurberi*) y el palo fierro (*Olneya tesota*).

Los climas cambiantes del desierto Sonorense

Los fósiles de plantas y animales nos ayudan a entender los climas del pasado. Animales como los peces, las tortugas del agua (*Kinosternon* spp.) y los

anfibiaos son indicadores de habitats acuáticos. Los fósiles son más útiles cuando se pueden identificar hasta especie, ya que permiten hacer inferencias basándose en su distribución, sus tolerancias fisiológicas y la historia natural del habitat. Por ejemplo, encontrar la rana del sabinal (*Leptodactylus melanonotus*; Figura 6) en la fauna del rancho La Brisca en la parte norte-central de Sonora, 240 km al norte de la población actual más cercana, sugiere que el clima interglaciar de hace alrededor de 100,000 años era más tropical que en la actualidad. Sin embargo, algunas especies extintas como los mamuts, los camellos y algunos caballos son menos útiles ya que ellos vivieron en un rango de habitats muy amplio. Los fósiles de los depósitos de tori en general son excelentes para la reconstrucción de los paleoclimas porque se pueden identificar hasta especie y son excelentes para ser fechados por radiocarbono.

Los depósitos de tori encontrados en el desierto Sonorense y con edades de más de 9000 años contienen de forma constante plantas perennes que en la actualidad se localizan en elevaciones altas en los bosques templados o el chaparral, o en latitudes más altas en el actual desierto de Mohave. Estas plantas, junto con las anuales de invierno, reflejan paleoclimas con veranos mucho más frescos que hoy en día, más precipitación de invierno procedente de tormentas ligadas a frentes del Pacífico (Figura 7), y principalmente un monzón de verano muy corto.



Figura 6. Fósiles de la rana del sabinal *Leptodactylus melanonotus* encontrados en el Rancho La Brisca, 240 kilómetros al norte de su actual área de distribución, indican que el clima de hace unos 100,000 años fue más tropical que el actual en Sonora. Foto del autor.



Figura 7. Semillas de plantas anuales como la amapola amarilla (Eschscholzia californica ssp. mexicana) en las paleomadrigueras de ratón indicaron que los climas del desierto Sonorense tuvieron más lluvias de invierno que en la actualidad. Foto del autor.

La interpretación del Holoceno medio ha sido controvertida. Ernst Antevs fue un geólogo que basándose en varvas (capas anuales de sedimentos muy finos) de los lagos suecos diseñó una secuencia de períodos climáticos para los últimos 10,000 años. En 1955 propuso una cronología climática similar para los sedimentos de playa de un lago en una región con lluvia de invierno en el estado de Oregon, la cual se aplicó a todo el oeste de los Estados Unidos de América. La comunidad antropológica con frecuencia se refirió al clima caliente y seco del "Altitermal" (de los últimos 7500 a 4000 años) para explicar la erosión, el derrumbe de poblaciones y otras calamidades. Sin embargo, en 1961, Paul Martin, estudiando el polen en sedimentos de un arroyo, concluyó que la precipitación de verano en el sur de Arizona durante el Holoceno medio fue mayor que en la actualidad. En las sierras Puerto Blanco y Tinajas Altas del suroeste de Arizona, la uña de gato y el palo verde azul están restringidos a los arroyos del desierto; en el Holoceno medio, estos árboles crecieron en las faldas rocosas, indicando que los climas fueron más lluviosos que en la actualidad en la región noroeste del desierto Sonorense.

Aunque durante los últimos 4000 años los veranos han sido calientes y el monzón de verano está bien establecido, los climas continúan oscilando en varias escalas de tiempo. Incluso la muestra más joven de depósitos de tori de la sierra Puerto Blanco en Organ Pipe Cactus National Monument, tiene plantas no encontradas hoy en día cerca de la cueva del depósito; ésta es la herencia de heladas o sequías en los últimos siglos. Una muestra de este sitio con fecha de hace 990 años tiene casi el doble del total actual de las especies

del lugar, indicando que por un período corto de tiempo la precipitación fue mayor en las estaciones de verano e invierno. Es interesante que éste sea el mismo período en que las culturas de Trincheras, Sonora, y la Hohokam de las áreas de Phoenix y Tucson, Arizona, estaban floreciendo.



Figura 8. La vegetación de matorral del desierto Sonorense es una mezcla compleja de hierbas que estaban presentes en los bosques abiertos de la era glacial, y árboles, arbustos y cactus que inmigraron al área en los últimos 11,000 años. Estas comunidades dinámicas responden continuamente a las fluctuaciones climáticas, sin llegar a alcanzar un equilibrio. Foto del autor.

Los registros fósiles nos han demostrado que la biota y el paisaje del desierto Sonorense han sido dinámicos por millones de años, en respuesta a los cambios del clima en muchas y variadas escalas del tiempo (Figura 8).

Traducido por Ana Lilia Reina Guerrero, Arizona Sonora Desert Museum, Tucson, Arizona. Original en inglés publicado en *Sonorensis*, vol. 24, núm. 1, invierno de 2004, pp. 12-15

Autor

Thomas R. Van Devender, Arizona Sonora Desert Museum, Tucson, Arizona, EE.UU.; yecora4@comcast.net

Mary Anning (1799-1847)



Figura 1. Retrato de Mary Anning pintado por B.J.M. Donne.

© Natural History Museum, London.

A pesar de que la vida de Mary Anning ha sido el tema de varios libros y artículos, poco se sabe, comparativamente, acerca de su vida, y mucha gente no sabe de sus contribuciones a la paleontología en los primeros días de esta disciplina. ¿Cómo alguien puede ser calificada como la más grande

estudiosa de los fósiles que el mundo jamás haya conocido y ser tan ignorada que aun muchos paleontólogos no conocen sus contribuciones? Ella fue una mujer en una Inglaterra dominada por hombres.

Mary Anning nació en 1799, siendo sus padres Richard y Mary Anning de Lyme Regis, en la costa sur de Gran Bretaña. Los acantilados en Lyme Regis fueron -y todavía son- ricos en fósiles espectaculares de los mares del período Jurásico. Richard y Mary tuvieron tantos como diez hijos, pero sólo dos de ellos, Mary y Joseph, alcanzaron la madurez. Richard fue ebanista y un colector ocasional de fósiles. Desafortunadamente, Richard murió en 1810, dejando a su familia con deudas y sin alguien que contribuyera al sostenimiento de la familia. Sin embargo, él heredó sus habilidades de buscador de fósiles tanto a su esposa como a sus hijos, quienes más tarde fueron afortunados en participar en el naciente campo de la paleontología.

La familia Anning vivió en la pobreza y el anonimato vendiendo fósiles de Lyme Regis, hasta el inicio de los años 1820, cuando el colector profesional de fósiles el Teniente Coronel Thomas Birch conoció a la familia y se compadeció de su desesperada situación

financiera. Birch decidió realizar una subasta para vender todos los fósiles de su fina colección y donar las ganancias a la familia Anning. El creyó que los Annings no deberían vivir en “tan serias dificultades” considerando que ellos habían “encontrado casi todo el material valioso, el cual había sido sometido a investigación científica...”. Hasta este punto la madre de Mary había llevado el negocio de la colecta de fósiles. A mediados de los años 1820, la hija Mary quien se había convertido en la mejor observadora y anatomista acabada de los Anning, empezó a llevar el negocio de fósiles de la familia. Joseph estaba, en ese tiempo, dedicado al oficio de la tapicería y no colectaba ya fósiles.

A Mary Anning se le acredita el primer descubrimiento de fósiles de ictiosaurio (un reptil de linaje desconocido parecido a una orca o a un tiburón, como una forma de adaptación a la vida en el mar, que vivió desde el Triásico hasta el Cretácico Tardío). Aunque esto no es completamente cierto, ella sí ayudó a descubrir el primer espécimen de *Ichthyosaurus* conocido por la comunidad científica de Londres. Este espécimen fue probablemente descubierto entre 1809 y 1811, cuando Mary tenía sólo 10 ó 12 años de edad. Y mientras que Mary encontró la mayoría de los restos, su hermano había descubierto parte de la bestia doce meses antes. De hecho, toda la familia Anning se involucró en la búsqueda de fósiles, aunque las habilidades y la dedicación de Mary produjeron descubrimientos notables y así le dio a la familia sin padre un medio para vivir. Los fósiles que Mary y su familia encontraron y prepararon fueron afanosamente buscados, no sólo por museos y científicos, sino por los nobles de Europa, muchos de los cuales tenían ricas colecciones privadas de fósiles y otras “curiosidades”.

Mary comercializó muchos descubrimientos importantes, incluyendo el ya mencionado ictiosaurio y



Figura 2. Ictiosaurio. Se atribuye a Mary Anning el primer hallazgo de estos fósiles, en los alrededores de Lyme Regis, Inglaterra. Foto cortesía de Tony Gill, Charmouth.

otros esqueletos de ictosaurio de muy buena calidad. Pero tal vez el hallazgo más importante, desde un punto de vista científico, fue su descubrimiento del primer plesiosaurio. El famoso anatomista francés George Cuvier dudó de la validez del espécimen cuando él examinó por primera vez un dibujo detallado del ejemplar. Una vez que Cuvier se dio cuenta de que se trataba de un hallazgo verdadero, los Annings fueron legitimados y se convirtieron en respetados "fosilistas" a los ojos de la comunidad científica.

A pesar de este reconocimiento, la mayoría de los hallazgos de Mary terminaron en museos y en colecciones personales sin el crédito dado a ella como la descubridora de los fósiles. A medida que el tiempo pasaba, Mary Anning y su familia fueron olvidados por la comunidad científica y por la mayoría de los historiadores, debido a la falta de documentación adecuada de sus habilidades especiales. Lo que también ayudó a ignorar a Mary Anning y su contribución a la paleontología fue su nivel social y su género. Muchos científicos de ese tiempo no podían creer que una joven con un pasado educativo tan pobre pudiera tener el conocimiento y las habilidades que ella mostraba. Por ejemplo, en 1824, lady Harriet Silvester, la viuda del anterior cronista de la Ciudad de Londres, escribió en su diario después de visitar a Mary Anning:

".....la extraordinaria cosa en esta joven es que ella se ha hecho tan cuidadosamente versada con la ciencia

que en el momento en que ella encuentra huesos ella sabe a qué especie pertenecen. Ella arregla los huesos en un marco con cemento, hace dibujos, y manda hacer grabados de ellos.... Es ciertamente un maravilloso ejemplo de un don divino que esta pobre muchacha ignorante haya sido así bendecida, que sólo leyendo y con aplicación ella haya llegado a tal grado de conocimiento, así como al hábito de escribir y hablar con profesores y otros hombres versados en la materia, y todos ellos reconocen que ella entiende más de ciencia que ninguna otra persona en este reino."

La alabanza de lady Silvester es alta, aunque debe notarse que la frase "don divino" se invoca para explicar cómo tal mujer pudo posiblemente ser tan conocedora. Es claro, sin embargo, que Anning no fue solamente una coleccionista, sino una persona muy versada en el conocimiento científico de lo que ella coleccionaba, y que se ganó el respeto de los científicos de su tiempo. Sus descubrimientos fueron importantes en la reconstrucción del pasado y de la historia de la vida del mundo.

Transcripción libre al español de un texto original publicado en internet por el Museo de Paleontología de la Universidad de California en Berkeley, Estados Unidos de América.

Autor

Juan Carlos García y Barragán, Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM; jcarlosg@servidor.unam.mx

Arqueología

La geología en la arqueología, una herramienta indispensable

La arqueología es la ciencia que estudia el pasado del hombre con base en sus restos materiales, es decir, examina los objetos que utilizaron los antiguos pobladores para satisfacer sus necesidades y que han perdido hasta nuestros días. Son artefactos como fragmentos de ollas, metates, rocas utilizadas como herramientas, objetos hechos con materiales orgánicos, concha o hueso y elementos como los restos de sus casas, lugares para preparar alimentos, para retener o controlar el agua, etc. Todo esto forma parte del objeto de

estudio de la arqueología, cuyo propósito es reconstruir formas de vida, estrategias de subsistencia, costumbres y muchos otros aspectos de la vida de nuestros predecesores.

Como muchas otras disciplinas, la arqueología necesita de las técnicas y conocimientos producidos en otras ciencias: la ecología, geografía, arquitectura, química, física, biología, las ciencias del hombre y muchas otras; pero sobre todo de las ciencias de la Tierra como la geología. A lo largo de los años de la práctica arqueológica, se han creado especializaciones en su aplicación, las cuales han respondido a necesidades específicas conforme a la región que se estudia y/o al momento de la historia que se investiga: de esta forma, ahora ejercemos arqueología histórica, arqueología subacuática, arqueología de alta montaña, arqueología industrial, arqueología moderna o arqueología

logía del paisaje, entre otras. Una de éstas, la arqueología prehistórica¹, se ha practicado desde los inicios de la concepción de la arqueología como ciencia; su objeto de estudio es el hombre temprano. En México, la arqueología prehistórica se ha enfocado a temas relacionados con el poblamiento del continente americano, la organización social, las adaptaciones culturales al ambiente, el cambio de sociedades nómadas a sedentarias y el cambio de estrategias de subsistencia de caza, recolección y pesca a las primeras manipulaciones de genotipos de plantas y animales que dan paso a la agricultura, procesos culturales de larga duración, que abarcan por lo menos 10,000 años.

En este periodo de la historia, las sociedades, entre otros aspectos, se caracterizaron principalmente por satisfacer sus necesidades con los elementos que el ambiente en que vivían les proporcionaba, apropiándose de éste más que en otras etapas de la historia. Muchos de los objetos han desaparecido, por haber sido de materiales orgánicos; rara vez y, en casos muy particulares, se preservan. Lo que encontramos la mayoría de las veces son únicamente las rocas que modificaron y utilizaron como herramientas para cortar, raspar, tajar, perforar o golpear. De estas herramientas las más conocidas son las puntas de proyectil (Figura 1 y contraportada), cuyo nombre nos habla de su función. No sólo las puntas, sino todas las herramientas de piedra poseen características a través de las cuales un ojo entrenado podrá distinguir, clasificar y comparar la técnica con que fueron manufacturadas, para qué fueron utilizadas, sobre qué tipo de objeto se utilizaron o simplemente si tienen la forma original o si se encuentran fragmentadas.

La información que arroja el análisis de estos artefactos o de un conjunto de artefactos, es comparada con otros conjuntos de herramientas de piedra y cuando los hay, con otro tipo de objetos y elementos arqueológicos, y de esta manera se establece un *corpus* de posibles actividades que realizaron los fabricantes de estos objetos.

Los artefactos y elementos arqueológicos que se encuentren agrupados en un área determinada, constituyen un sitio arqueológico y, ya que fueron creados por el hombre, se les considera unidades culturales. Normalmente se encuentran enterrados o sobre los sedimentos de cuevas, terrazas aluviales, pavimentos del desierto u otros depósitos físicos, lo que también los hace parte del registro geológico, además porque están sujetos al impacto que a largo plazo tienen los

agentes naturales en su preservación o integridad física. La correcta interpretación de estos depósitos a la par culturales y naturales, conformados por componentes físicos, químicos, biológicos y culturales, es la respuesta a preguntas que solamente mediante trabajos interdisciplinarios² es posible generar. Así, la arqueología retoma conceptos de la geomorfología, sedimentología, pedología, estratigrafía y geocronología, entre otras, dentro de las geociencias (Figura 2).

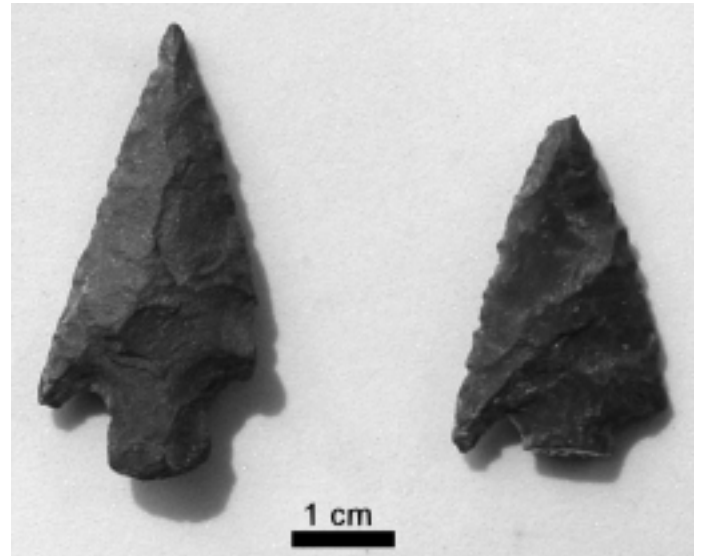


Figura 1. Dos puntas de proyectil tipo San Pedro encontradas en el sitio arqueológico La Playa, Sonora.

Haciendo un poco de historia, la contribución original que la geología hizo a la arqueología fue situar los sitios arqueológicos y sus constituyentes en un contexto temporal relativo y absoluto, mediante la aplicación de los principios estratigráficos y las técnicas de geocronometría. Desde finales del siglo XIX, la geología ha estado presente en los debates del poblamiento del continente americano al interpretar la estratigrafía de los sitios donde se han encontrado artefactos y elementos que se han considerado como característicos del hombre temprano y que permiten calcular su edad. La edad de muchos sitios arqueológicos ha sido estimada mediante la correlación de las características del estrato en donde se encuentran los artefactos y el resto de la estratigrafía del sitio, con la topografía y los depósitos creados durante los episodios climáticos particulares del Cuaternario. Aunque actualmente es más común fechar un contexto mediante el método del radiocarbono u otro método de fechamiento absoluto, sin embargo, con el fin de asegurar una correcta interpretación de estas fechas sigue siendo necesario el pleno conocimiento del contexto

estratigráfico y sedimentológico, así como la historia posterior al depósito que permita evaluar la posibilidad de una contaminación de la muestra, que pueda sesgar el fechamiento. Por otro lado, una interpretación acertada del contexto arqueológico implica el conocimiento de su formación, tanto en el ámbito natural como cultural. Es decir, los factores químicos, físicos y biológicos presentes en la formación natural de un contexto, son responsables del depósito, alteración y destrucción del contexto cultural. En este sentido, la geología nos aporta esta información a escala local y regional. De esta manera podemos evaluar si el registro arqueológico es representativo de un tipo de sitio en un área y en un momento determinado en el tiempo.

Otro aspecto en que la geología contribuye en la arqueología con su conocimiento, es en la reconstrucción del paisaje durante el momento de ocupación de un área o región, ya que éste está integrado por componentes vivos (ámbito biológico) y no vivos (paisaje geomorfológico), y es dinámico. Su reconstrucción antes, durante y después de su ocupación, provee de información sobre la interacción hombre - Tierra y en algunos casos, se puede llegar a identificar los factores que hayan causado cambios culturales. En la generación de todos estos datos, se integra además la información que los estudios faunísticos y botánicos nos puedan aportar; de esta forma el contexto arqueológico se puede ver en su completa dimensión biológico-físico-cultural, lo que permite una interpretación más acertada sobre el comportamiento humano en un espacio y momento determinado.

Podríamos mencionar muchos ejemplos en que la geología ha sido de gran utilidad en el trabajo arqueológico y en que esta combinación de disciplinas ha dado como resultado un aporte importante en el conocimiento de la historia del hombre. Estos trabajos interdisciplinarios se han llevado a cabo sobre todo en el estudio de sitios relacionados con el Pleistoceno y la presencia de los primeros hombres en el continente americano.

En Sonora, se ha relacionado la evidencia más antigua del hombre con las puntas Clovis (Fotografía de contraportada), las cuales representan al complejo cultural más antiguo del continente³ fechado por el método de radiocarbono para 11,000 y 10,800 a.p. Está caracterizado por grupos humanos nómadas cuya actividad de subsistencia principal fue la cacería de grandes mamíferos, aunada a la recolección de plantas silvestres y otras actividades de apropiación del medio ambiente.

A mediados del siglo pasado, el arqueólogo Julian Hayden se interesó por realizar investigación en la sierra de El Pinacate, Sonora (Figura 3). Propuso la existencia de evidencias de ocupación humana muy antigua en muy buen estado de conservación, debido, según su opinión, a la geología de El Pinacate: las herramientas de piedra que localizó se encontraban sobre un pavimento del desierto (una concentración de gravas que mantiene una superficie estable y que es común en regiones áridas) y tenían una gruesa capa de barniz del desierto o pátina (una capa negra a café que contiene hierro, manganeso y arcilla que se forma sobre las rocas que están incorporadas a los pavimen-

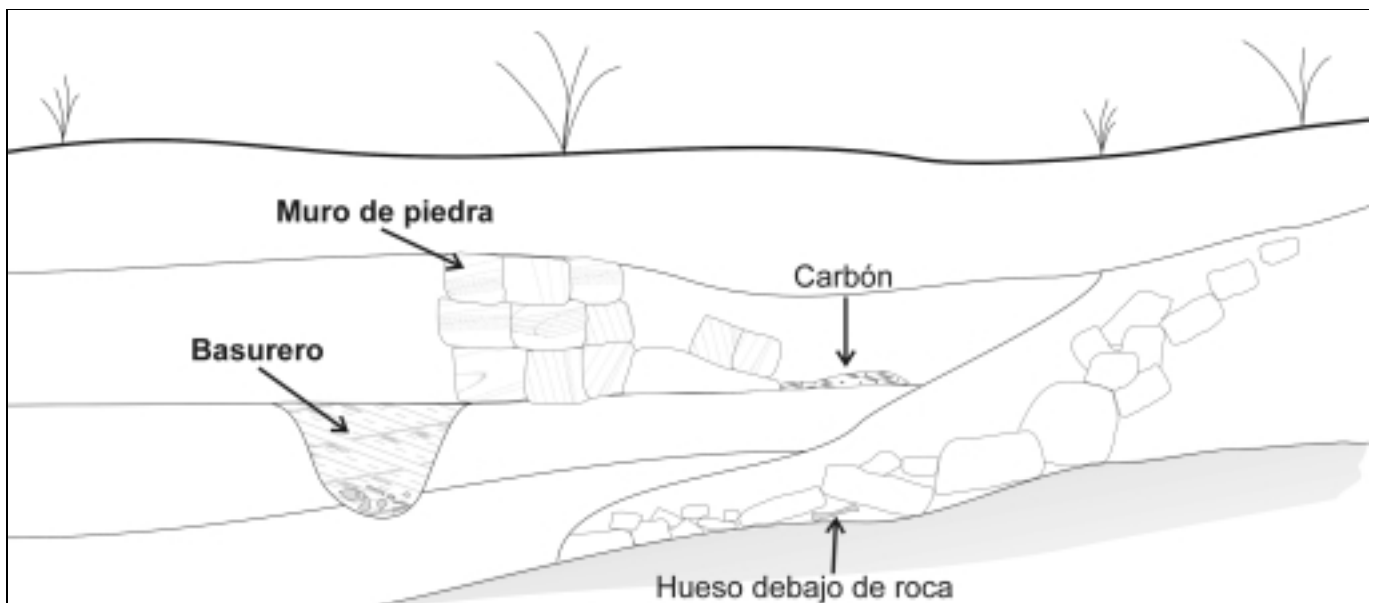


Figura 2. Restos arqueológicos en diferentes contextos estratigráficos.

tos o sobre éstos). Su investigación a lo largo de más de 20 años, lo llevó a establecer una antigüedad mayor de la presencia del hombre por lo menos en Sonora. Para llegar a esta aseveración se valió de la información sobre los procesos de formación del pavimento del desierto y del barniz del desierto. Hayden encontró y estudió varios indicadores de cambios climáticos y su relación temporal, como la cantidad de caliche formado en los sedimentos asociados a los artefactos. De esta manera concluyó que el grupo humano que fabricó estas herramientas estuvo presente en El Pinacate en una fase pluvial alrededor de 19,000 a.p. La utilización de una técnica de fechamiento conocida como *cation-ratio dating* –datación por frecuencia de cationes-, le ayudó a sustentar su propuesta de antigüedad. Sin embargo, actualmente existe un debate importante sobre la exactitud de la técnica. Arqueológicamente hablando, artefactos con características similares a las que Hayden encontró en El Pinacate ya se habían localizado en el desierto de Colorado y en California, también en contextos geológicos similares, recibiendo la denominación de Complejo San Dieguito. La controversia sobre la antigüedad de estos restos materiales y la caracterización de este complejo, no fue retomada sino hasta fechas recientes, al publicarse un artículo sobre el sitio Dateland, localizado en Arizona, en el cual también se encontraron elementos arqueológicos con algunas de las características que Malcom Rogers y Julian Hayden habían propuesto para el Complejo San Dieguito. Si bien es cierto que en la actualidad existen nuevas propuestas sobre la formación del pavimento del desierto, con el hallazgo de Hayden y con base en sus resultados, la información sobre el hombre temprano en México incrementó, algo que a largo o corto plazo influye en el conocimiento de la historia del hombre a nivel no solamente local o regional, sino que también tiene implicaciones a escala continental. Por otro lado, en el 2001, al estar investigando el sitio arqueológico La Playa (Fotografía de contraportada), ubicado en el municipio de Trincheras, Sonora, se encontraron artefactos semejantes sobre un pavimento del desierto, que presentan pátina en varios grados. Este hallazgo generó una

investigación particular sobre dichos materiales y su relación con otros elementos arqueológicos en el sitio, estudio que consecuentemente evaluará los resultados de Hayden en contextos semejantes.

Una vez más, no se podrá resolver esta investigación solamente mediante las técnicas arqueológicas; es indispensable conocer el contexto en que se trabaja en toda su dimensión, no solo cultural, sino también biológico y físico, y será aquí nuevamente donde la geología con su *corpus* de técnicas y de conocimiento, se convertirá en una herramienta indispensable en el conocimiento de la historia del hombre.

- 1 Formalmente, Prehistoria se refiere a cualquier momento anterior al Periodo Histórico (en Sonora el inicio de éste se ha establecido a partir de 1600 d.C.), sin embargo también se refiere al momento de la historia del hombre en que éste era nómada y no tenía conocimiento del cultivo de las plantas; es esta última definición a la cual nos referimos.
- 2 A medida que se han incrementado estos trabajos, se han generado subdisciplinas arqueológicas como zooarqueología, arqueometría, arqueobotánica, entre muchas otras y recientemente geoarqueología.
- 3 Con base en nuevas evidencias arqueológicas, en Sudamérica es altamente cuestionado el hecho de que los grupos Clovis hayan sido los primeros pobladores del continente en el hemisferio sur.

Autor

*Cristina García M., Centro INAH Sonora;
lacrix@hmo.megared.net.mx*



Figura 3. Área de ceniza volcánica en El Pinacate, Sonora. Foto: Júpiter Martínez

Paleoecología de medios húmedos: el aporte de los microfósiles no polínicos

Los medios húmedos (turberas, lagos, lagunas, ciénagas, etc.) se comportan como auténticos ecosistemas, existiendo en ellos una componente abiótica (características físicas y químicas) y una componente biótica (organismos productores, consumidores y descomponedores), que interrelacionan entre ellas interna y externamente, para definir diferentes tipos de nichos ecológicos (éstos incluyen el espacio físico que ocupan los seres vivos, su papel funcional en la cadena alimenticia y sus requerimientos ambientales de temperatura, humedad, pH, etc.) que vienen fundamentalmente determinados por las características del agua. De manera genérica, éstos pueden subdividirse en dos tipos: medios oligotróficos (pobres en nutrientes) y eutróficos (ricos en nutrientes), existiendo alternativas intermedias de tipo mesotrófico.

Los estudios paleoecológicos permiten conocer la evolución temporal de los medios húmedos a través de los llamados microfósiles no polínicos (algas,

hongos, bacterias, zooplancton [animales microscópicos que flotan en el agua], etc.). Estos microfósiles están contenidos en el sedimento acumulado en los lagos, ciénagas, etc. Por medio de sondeos puede extraerse ese sedimento, y su análisis microscópico detallado desde los niveles profundos más antiguos hasta los más actuales, superficiales, permite determinar los conjuntos de animales y

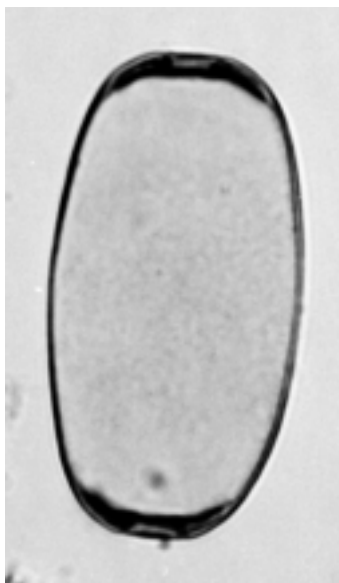


Figura 1. *Amphitrema flavum*.

vegetales microscópicos que se fueron sucediendo en ese medio a medida que se depositó el sedimento. Por otra parte, la aplicación de técnicas de datación alber-

ga además la posibilidad de determinar el momento cronológico preciso en el cual las condiciones ambientales de estos medios pudieron cambiar y los factores que produjeron este cambio.

Dentro del zooplancton se encuentran los protozoos, organismos animales unicelulares capaces de moverse en aguas libres. Dentro de ellos aparece el grupo de los rizópodos, representados en el registro fósil por sus „tecamebas“ o quistes ameboides. Uno de los más característicos es *Amphitrema flavum* (Figura 1), indicador de sedimentos depositados en condiciones pobres en nutrientes y húmedas, de pH bajo y, en general, de niveles de agua altos. Nunca lo encontraremos en medios ricos en nutrientes. *Assulina seminulum* (Figura 2) es otro rizópodo asociado a los medios húmedos, capaz de sobrevivir en condiciones más secas que el anterior. Una especie del mismo género, *Assulina muscorum* (Figura 3), también se asocia a estos nichos, siendo capaz de sobrevivir no sólo en ciénagas sino también entre cepellones de musgos en condiciones aún más secas. Un último rizópodo al que nos referiremos es *Arcella* sp. (Figura 4), un quiste discoidal de gran talla y generalmente hialino, con una ornamentación estriada muy característica, cuya identificación en el registro fósil sería indicativa de condiciones siempre húmedas, generalmente bajo un substrato de naturaleza turbosa y, en ciertas ocasiones, relacionado con niveles ricos en microcarbones. En resumen, los rizópodos, cuando aparecen en el registro paleoambiental, nos estarían indicando medios húmedos, aguas limpias, pobres en nutrientes, donde la presión antrópica (la acción del hombre) sería nula o escasísima. Además, por su capacidad de alimentarse de bacterias, fitoplancton y partículas orgánicas, contribuyen a purificar el agua.

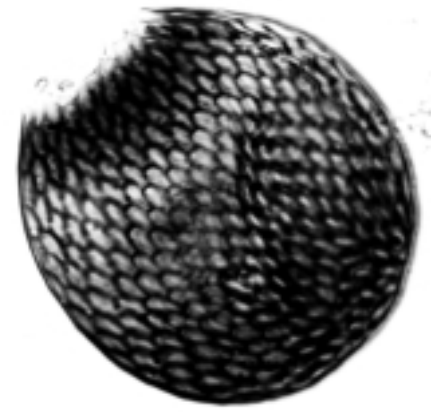


Figura 2. *Assulina seminulum*.



Figura 3. Assulina muscorum.

Al contrario que los rizópodos, las algas zignematáceas ofrecen un panorama del medio bastante distinto. La más frecuente de todas ellas es *Spirogyra*, representada en el registro fósil por sus zigósporas o aplanósporas (esporas sin flagelos), de formas esferoidales, elipsoidales o poligonales,

y de gran talla. *Spirogyra* aparece asociada a aguas de curso lento o estancadas, dulces, ricas en materia orgánica, poco profundas y a veces con pH elevado. Al igual que *Spirogyra*, otras dos zignematáceas son indicadores de condiciones paleoecológicas similares, en concreto los tipos *Mougeotia* y *Zygnema*. Las esporas de *Mougeotia* son muy características por sus formas tetragonales, con dos lados opuestos y cóncavos y ángulos muy marcados en sus extremos, y tienen unos requerimientos ecológicos similares a los de *Spirogyra*, aunque muchas especies son capaces de vivir en aguas más limpias o mesotróficas. De hecho, *Mougeotia* parece preferir condiciones del medio con tendencia a la mesotrofia, al menos durante la primavera, momento durante el cual jugaría, posiblemente, un papel pionero colonizando zonas recién inundadas. Una comparación entre la abundancia de *Spirogyra* y *Mougeotia* nos podría dar una idea entre la evolución ecológica de una ciénaga desde momentos con mayor abundancia de nutrientes a otros donde éstos escasearían. Ambas son capaces de sobrevivir en ambos tipos de nichos ecológicos; no obstante, los máximos de *Spirogyra* sólo aparecen en el caso de aguas con carácter fuertemente eutrófico, es decir, muy ricas en nutrientes, siendo su presencia esporádica en aguas más pobres en ellos, mientras que en el caso de *Mougeotia* ocurre lo contrario. La tercera zignematácea que no podemos obviar es el género que da nombre a la familia: el tipo *Zygnema*. Sus formas fósiles corresponden a zigósporas o aplanósporas de difícil ubicación taxonómica, que al igual que en los casos anteriores son indicativas de aguas de curso lento o estancadas, poco profundas, mesotróficas a eutróficas. Convendría hacer notar que tanto *Zygnema* como *Spirogyra* presentan especies que, desde el punto de vista de la sistemática, se irían al taxón opuesto. O sea, que hay especies de *Zygnema* que hacen zigósporas parecidas al tipo *Spirogyra*, y viceversa; al menos en el ámbito mediterráneo. Por eso, el valor paleoecológico de ambos tipos establecido

para el norte de Europa debe ser visto con reservas en el área mediterránea, sobre todo en las posiciones más meridionales. Las condiciones óptimas de esporulación para *Spirogyra* se situarían entorno a los 20° C, momento que debería ocurrir en primavera; y las de *Mougeotia* entre 10 y 15° C, lo que ya denota una diferencia significativa respecto a *Spirogyra*. *Mougeotia*, por tanto, podría esporular en condiciones de menor termicidad – al menos primaveral – que *Spirogyra*, que posiblemente irían relacionadas con sus preferencias antes comentadas. La temperatura óptima de crecimiento para *Zygnema* se situaría entre 15 y 20° C; esto es, en un término medio entre *Spirogyra* y *Mougeotia*.

En resumen, si analizáramos el sedimento del fondo de un lago o una ciénaga para determinar qué cambios ambientales se dieron en los últimos años, siglos o milenios, la comparación entre las tecamebas de rizópodos y las esporas de zignematáceas nos permitiría acometer dos tipos de estudios: 1) la evolución del contenido en nutrientes del medio húmedo por un lado (aguas transparentes o cargadas de organismos) y 2) la alternancia de fases más húmedas con otras más secas, o lo que es lo mismo, el grado de precipitación efectiva del medio (lluvias). Las zignematáceas también nos indicarían la temperatura del agua.

Otros microfósiles no polínicos nos brindan también una valiosísima información sobre la evolución del nivel de las aguas y su grado de contaminación o trofia. Nos estamos refiriendo a las cianobacterias. En general, éstas viven en ambientes con pH comprendido entre 7.0 y 8.5, y muchas de ellas han jugado un papel pionero en los medios húmedos pobres en componentes nitrogenados y humus.

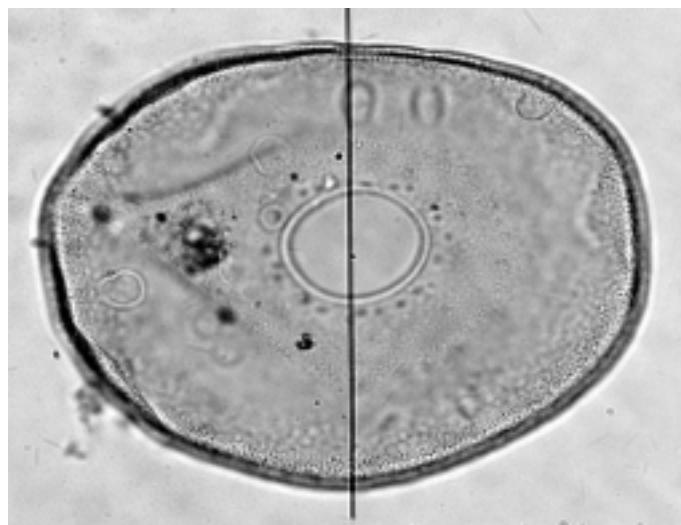


Figura 4. Arcella sp.



Figura 5. Tipo Rivularia.

En estas situaciones, ciertas cianobacterias han sido capaces de fijar el nitrógeno (convertir el nitrógeno del aire en nitratos y nitritos que son asimilables por otros organismos), enriqueciendo así el medio acuático y permitiendo la entrada de otros organismos como las plantas acuáticas. Entre las más comunes encontramos los heterófitos del tipo *Rivularia* (Figura 5) y las vainas mucilaginosas del tipo *Gloeotrichia* (Figura 6). *Rivularia* puede fijar el nitrógeno, capacidad que le permite ser pionera sobre suelos húmedos. En los medios pobres en nutrientes es frecuente su asociación con *Amphitrema flavum*. *Rivularia* sería indicativa de aguas limpias (no eutrofizadas), donde el impacto humano debería ser bajo e incluso nulo, sin un aporte auxiliar de nitrógeno al suelo. Sin embargo, también puede aparecer cuando se produce un aporte indirecto de nutrientes a lagos o lagunas, especialmente del fósforo derivado de actividades agrícolas.

Otras cianobacterias importantes son *Aphanizomenon* y *Anabaena*. El incremento del impacto humano ha generado el proceso de eutrofización de las aguas (enriquecimiento en nutrientes) favoreciendo el aumento de cianobacterias y la producción de sus toxinas. Es entonces cuando tanto lagos como estanques tienden a modificar las condiciones de la relación fósforo/nitrógeno, de tal manera que ésta se desplaza hacia el dominio del fósforo, hecho frecuente en aguas ricas en nutrientes. En estas condiciones, la ventaja de las cianobacterias como fijadoras de nitrógeno es evidente. Sin embargo, tanto *Aphanizomenon* como *Anabaena* tienen requerimientos ecológicos diferentes. En aguas más o menos profundas, ambos organismos pueden estar presentes en grandes cantidades. *Aphanizomenon* no vive exclusivamente en medios limitantes en nitrógeno sino que también puede competir con otras especies bajo condiciones limitantes para el fósforo e incluso la luz. Por su parte, *Anabaena* está mucho más restringida a condiciones limitantes de nitrógeno, y nunca aparece en grandes cantidades bajo otras condiciones de limitación. La paleoecología de ambas cianobacterias muestra que una intensificación del impacto humano conduce a un incremento sustancial del fósforo en el agua, causado por la gran biomasa de fitoplancton que consume la mayoría del nitrógeno disponible, dando lugar a condiciones limitantes de nitrógeno. En conclusión, la identificación de

estas dos cianobacterias en el registro fósil es importante en el conocimiento de cambios acaecidos en ecosistemas lacustres o húmedos en general, que pueden ser directamente puestos en relación con impactos de origen antrópico. Dado que los sedimentos pueden fecharse por distintos métodos, estos microfósiles nos pueden indicar en qué período de la historia el ecosistema empezó a ser afectado u ocupado por el hombre.



Figura 6. Tipo Gloeotrichia.

Autores

José Antonio López Sáez, Lourdes López Merino, Laboratorio de Arqueobotánica, Departamento de Prehistoria, Instituto de Historia, CSIC, Madrid, España; Carole Cugny, GEODE, UMR 5602 du CNRS, Université de Toulouse-Le Mirail, Toulouse, Francia; Didier Galop, Laboratoire de Chrono-Ecologie, UMR 6555 du CNRS, Besançon, Francia; alopez@ceh.csic.es

Contraportada. Arriba: Área conocida con el nombre de malpaís en el sitio arqueológico La Playa. Probablemente éste sea el lugar de campamento de los primeros habitantes de este importante sitio. Foto de la autora. Abajo izquierda: Hallazgo más antiguo de una punta de proyectil asociada a huesos de bisonte en Folsom, Nuevo México, encontrado en un depósito geológico del Pleistoceno terminal u Holoceno temprano. Abajo derecha: Punta tipo Clovis encontrada en el sitio arqueológico El Bajío, Sonora. (Artículo "La geología en la arqueología, una herramienta indispensable")