

volcánico como cársticas, esculpidas por la erosión del agua de ríos subterráneos.

En el año 2000 se realizó un descubrimiento notable: la cueva de los cristales de Naica, en Chihuahua. En esta cueva se encontraron cristales gigantes de selenita (o “piedra de la luna”) que miden entre seis y 11 metros de longitud y pesan unas 55 toneladas. Las condiciones ambientales de la cueva, situada a 290 m de profundidad, con temperaturas entre 45 y 50 °C y un porcentaje de humedad entre 90 y 100%, son prácticamente incompatibles con la vida humana. En el Proyecto Naica trabajó una extensa gama de profesionistas “extremos”, que supieron rescatar la belleza y el valor de estas formaciones para la ciencia.

Los sistemas de cuevas más conocidos de nuestro país son:

- Cueva de los cristales de Naica, Chihuahua.
- Sótano de las Golondrinas, San Luis Potosí.
- Sistema Cheve, Oaxaca.
- Cueva Suchiooc, Morelos.
- El Sumidero de Popoca, Veracruz.
- Sistema Purificación y El Zacatón, Tamaulipas.
- Sistema Ox Bel Ha, Sistema Sac Aktún y Sistema Nohoch Nah, Quintana Roo.
- Sótano del Barro, Querétaro.
- La Lucha, la Fosa de las Cotorras y El Chorreadero, Chiapas.

## VI. Sugerencias didácticas

1. **Motivación:** Cuando queremos abordar un tema nuevo es importante motivar a los estudiantes. En este caso el artículo de referencia puede resultar una buena manera de empezar. Una vez leído se pedirá a los alumnos que se organicen por equipos y que, a partir de la información proporcionada, más la que busquen en otras fuentes, respondan las preguntas que les sugerimos u otras surgidas de sus propios intereses e inquietudes:

- ¿Cuál es el ciclo de formación de estalactitas, estalagmitas y columnas?
- ¿Qué información se obtiene de las cuevas para reconstruir los cambios ambientales respecto a clima, aridez, cantidad de lluvia o productividad de la tierra?

- ¿Qué otros elementos presentes en las cuevas nos brindan información ambiental sobre el pasado?
- ¿Qué aplicaciones tienen los estudios dendrocronológicos? ¿Se realizan este tipo de estudios en México?

2. **Relacionar ideas:** Asimismo, es útil que elaboren un mapa de ideas en el que puedan relacionar las variables ambientales y las evidencias que aportan los diferentes indicadores climáticos indirectos.

3. **TIC:** En este caso encontramos en Internet numerosas imágenes que ilustran de manera exhaustiva los espeleotemas. Se podrá sugerir a los alumnos que elaboren pinturas, dibujos, esculturas o presentaciones en computadora, con el fin de montar una exposición. También los invitamos a explorar la página del Proyecto Naica (<http://naica.com.mx>).

4. **Proyecto Naica:** Dar a conocer este proyecto a nuestros alumnos no sólo resultará fascinante, sino que les permitirá apreciar cómo se plantea un trabajo multidisciplinario, los obstáculos, la creatividad para vencerlos y la riqueza de los resultados en varios campos del saber. Les recomendamos ampliamente que vean con sus alumnos el documental *Naica, viaje a la cueva de los cristales*, dirigido por el cineasta mexicano Gonzalo Infante.

## VII. Bibliografía y mesografía

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Laboratorio de dendrocronología: [http://www.inifap.gob.mx/transferecia\\_tec/lab\\_dendro.html](http://www.inifap.gob.mx/transferecia_tec/lab_dendro.html)

Las 10 cuevas más hermosas de México: <http://www.explorandomexico.com.mx>

Proyecto Naica: <http://naica.com.mx>

Staines Urías, F. (2008). “Cambio climático: interpretando el pasado para entender el presente”. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. Consultado en la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/104/10414313.pdf>

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.



Por: Clara Puchet Anyul y Sirio Bolaños

# Revelaciones de una CUEVA

De: Juan Pablo Bernal y Gertrudis Uruchurtu

Octubre 2011, No. 155 p. 10

### Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, como un complemento a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso “broche de oro” para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

### I. Relación con los temarios del Bachillerato UNAM

El artículo se relaciona con geografía y química, ya que trata de cómo, cuándo y por qué se formaron las cuevas y qué nos revela su estudio. Los procesos geológicos y físico-químicos por los que ha pasado nuestro planeta dejaron su huella no sólo en la superficie terrestre, también en estas oquedades donde no penetra la luz solar. Estas huellas ayu-

dan a entender cómo ha cambiado el medio ambiente a través del tiempo.

### II. Cómo se forman las cuevas

No todas las cuevas tienen el mismo origen. La mayoría se originan por procesos lentos —como la acción del viento o del oleaje— que las van esculpiendo a lo largo de miles de años. Otras son producto de un flujo de lava que se mantiene caliente mientras la parte exterior se enfría, de modo que al terminar de fluir queda un hueco que forma la cueva (o tubos de lava). Otras más se forman por disolución lenta de rocas de piedra caliza o yeso, debido a la presencia de grietas por las que escurre agua ligeramente ácida (cuevas cársticas). El dióxido de carbono atmosférico se disuelve en el agua y forma ácido carbónico, un ácido débil, que reacciona con el carbonato de calcio de la piedra caliza formando un compuesto soluble que es arrastrado por el agua. El lento escurrimiento de la solución de carbonato de calcio a través de la roca permite que el agua que se infiltra se enriquezca aún más en carbonato de cal-



cio. En el interior de la cueva el bicarbonato se descompone y desprende agua y dióxido de carbono, dando nuevamente carbonato de calcio. Como resultado de estas reacciones se forman figuras caprichosas y espectaculares llamadas espeleotemas. Cuando el carbonato de calcio escurre del techo de la cueva se forman unas estructuras colgantes llamadas estalactitas. Cuando las estalactitas gotean y se precipita la calcita en el suelo, se forman otras estructuras cónicas llamadas estalagmitas; si ambas estructuras se juntan forman columnas. El crecimiento de estas estructuras es muy lento y depende de la humedad y la temperatura, llegando a crecer de 0.005 a 0.5 milímetros en un año.

### III. Un mundo de secretos bien guardados

Recientemente los geoquímicos han descubierto que las estalagmitas encierran la historia de los cambios climáticos que acontecieron en la superficie a lo largo de millones de años, y que su composición puede aportar datos acerca de la cantidad de lluvia, la aridez, la productividad de la tierra y los incendios forestales que ocurrieron en el pasado geológico en el área situada encima de la cueva.

Para saber la antigüedad de la estalagmita se usa el método de la desintegración radiactiva de pequeñas cantidades de uranio (U). Las sales que contienen uranio son solubles en el agua de lluvia y pueden ser



arrastradas durante el proceso de disolución de la roca caliza quedando atrapadas en la calcita al momento de la sedimentación. Por el contrario, las sales de torio (Th) son insolubles en agua y no están presentes al iniciarse la formación de la estalagmita. Con el paso del tiempo, el decaimiento radiactivo del uranio genera torio, de modo que mientras más tiempo haya pasado desde que el uranio quedó atrapado, mayor cantidad de torio se habrá formado. Con cada capa que se va sedimentando podemos descubrir los cambios climáticos que fueron aconteciendo durante el lapso de su formación. Cuando ya se cuenta con el fechamiento de las diferentes capas de la estalagmita, se hace un análisis cuantitativo de los isótopos del oxígeno que contiene la roca caliza. Se sabe que la caliza de las estalagmitas incorpora en su molécula el oxígeno del agua de lluvia y que por lo tanto contendrá una cantidad de 180 proporcional a la de la lluvia. De esta manera, al conjuntar la datación por decaimiento radiactivo y las posibles variaciones en la relación isotópica de 160/180 del carbonato de calcio, los geoquímicos logran reconstruir la historia de la precipitación pluvial de diferentes zonas y han encontrado que los periodos de intensas lluvias alternan con los de sequía en forma cíclica.

La proporción de otros elementos contenidos en la roca de la estalagmita revela otros secretos. Por ejemplo, mayor cantidad de magnesio o estroncio que de calcio en una capa de las estalagmitas se relaciona con épocas de sequía; las variaciones en la concentración de fósforo y en la cantidad de ácidos húmicos y fúlvicos en las estalagmitas se



han utilizado como indicadores de la productividad de los suelos sobre la cueva. Y estudios recientes sugieren que los incendios forestales serían responsables de una mayor cantidad de yodo en las estalagmitas, por lo que sus cambios relativos en el tiempo permiten hacer una reconstrucción de la frecuencia con que los incendios afectaron la zona en el pasado geológico.

### IV. La importancia de los climas pasados

La caracterización de los climas pasados reviste una gran importancia científica, pues la variación climática que hoy se atribuye a las actividades humanas sólo puede explicarse si se conoce la variación climática natural.

La paleoclimatología intenta reconstruir los climas pasados a partir de indicadores climáticos indirectos debido a que no existen registros de datos climatológicos de ninguna región del planeta anteriores a 1800 (Staines, 2008).

Los indicadores indirectos más utilizados son los sedimentos del fondo marino y de los lagos, las muestras cilíndricas de hielo, las bandas de crecimiento del coral, los anillos de crecimiento de los árboles y los depósitos de minerales en cuevas. Para utilizar cualquier indicador climático indirecto es necesario determinar si es sensible a los cambios del parámetro que se desea medir, después hay que calibrarlo de acuerdo con la relación entre la variación del parámetro de estudio y la variación del indicador indirecto. Por ejemplo, los anillos de crecimiento secundario de un árbol registran las condiciones climáticas en que se formaron, de tal manera que los anillos anchos significan muchos



días cálidos y agua suficiente, mientras que los anillos delgados son un reflejo de condiciones de sequía o heladas.

A partir de varios indicadores climáticos indirectos fue posible reconstruir las temperaturas promedio de los últimos 1000 años en el hemisferio norte, de modo que tenemos un referente con el cual comparar las temperaturas actuales, pero debe tenerse en cuenta que las "paleotemperaturas" tienen una mayor incertidumbre asociada a los datos que las temperaturas medidas directamente.

Aunque las temperaturas se han elevado en forma continua desde finales del siglo XIX, existe cierta controversia acerca de la magnitud del cambio (en el sentido de si rebasa la variabilidad natural esperada) y de que las causas sean exclusivamente producto de la actividad humana (Staines, 2008).

En México se han generado más de 30 cronologías de árboles, una de ellas con más de 1000 años de extensión (INIFAP, 2010). Entre mayor es la cobertura y extensión de las series de tiempo, más relevancia tienen para entender el clima del pasado, obtener una reconstrucción histórica de las precipitaciones y hacer predicciones sobre la disponibilidad de los recursos hídricos. Asimismo, las reconstrucciones históricas de la producción de maíz en el centro de México han permitido entender la influencia que tuvo la producción de maíz en el desarrollo sociocultural de las civilizaciones prehispánicas.

### V. Cuevas en México

México es un territorio privilegiado en cuanto a la formación de cuevas. Existen más de 7000 cuevas y cavernas, tanto de origen