

Zubia Jocelyn Cisneros Ramos y Elsa Arellano Torres

Microfósiles marinos para reconstruir el pasado del océano y el clima

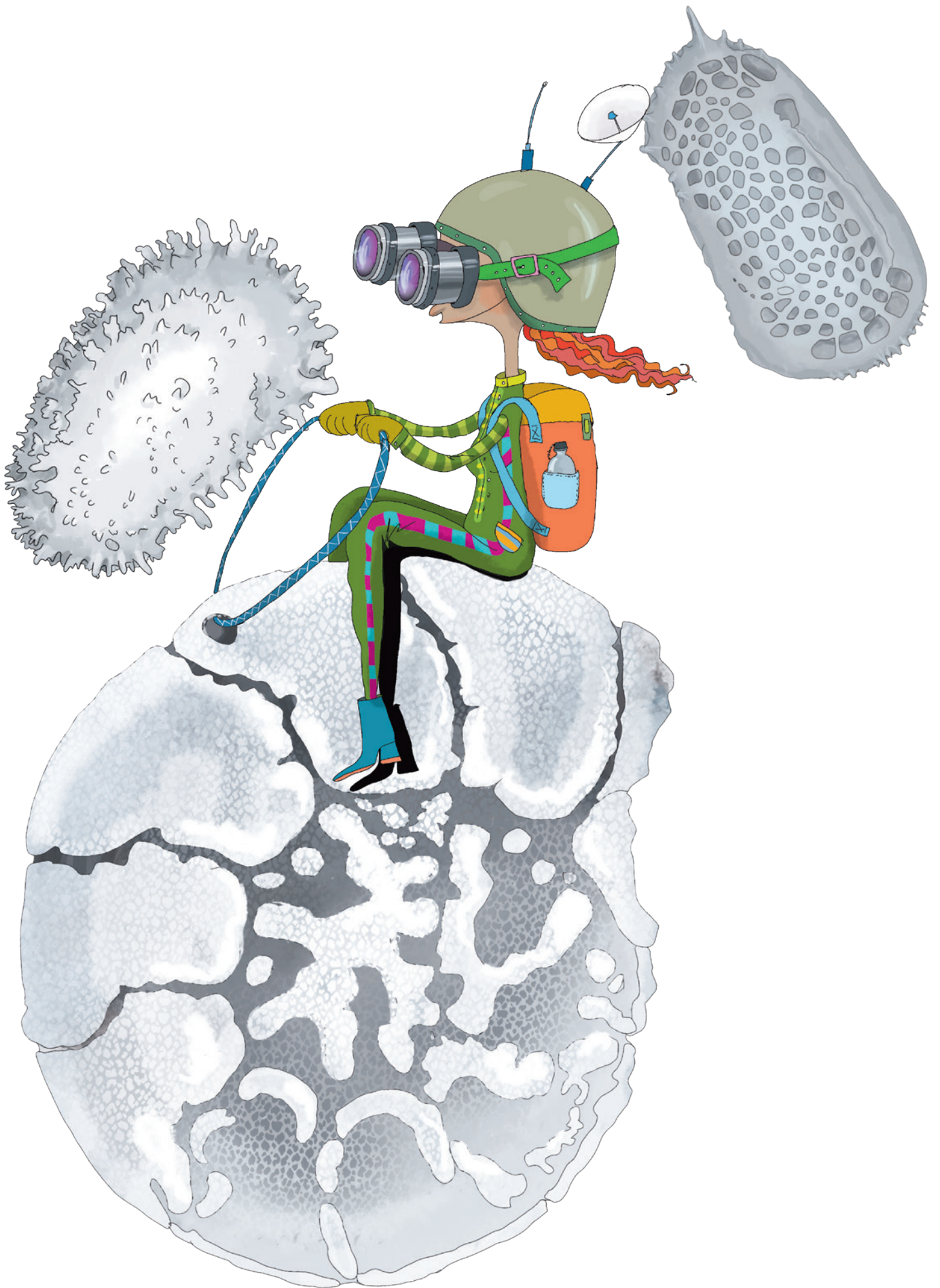
Diminutos fósiles marinos nos ayudan a conocer las condiciones de los océanos y del clima del pasado. Asimismo, permiten hacer reconstrucciones de eventos muy relevantes en la historia de la Tierra, dado que brindan información específica sobre el ambiente en el que habitaron las especies biológicas en cada periodo.

Los seres humanos tenemos un interés innato por preguntarnos acerca del pasado y los procesos naturales que dieron lugar a nuestro presente, de manera que en la ciencia se han desarrollado disciplinas, metodologías y herramientas para conseguir estas respuestas. Una de estas disciplinas es la paleoceanografía, que se dedica a estudiar y reconstruir las condiciones del océano a lo largo de la historia de la Tierra. Los microfósiles, una de sus herramientas, son restos de organismos microscópicos (caparazones u otras partes duras) que han quedado preservados en los sedimentos oceánicos. Mediante metodologías y técnicas especializadas, los microfósiles son útiles para reconstruir los paleoambientes y, con ello, conocer y estudiar la temporalidad de los estratos donde se depositaron.

Estudiar un mundo invisible

Por mucho tiempo la humanidad desconoció la existencia de los microfósiles, dado que son imperceptibles para nuestros sentidos. Entre los siglos XVI y XVII, la curiosidad por conocer y estudiar a organismos diminutos llevó a desarrollar y perfeccionar el microscopio moderno; en el siglo XIX surgieron diversas técnicas de microscopía para la caracterización de organismos y materiales; durante los siglos XX y XXI, la tecnología ha seguido avanzando para hacer los equipos cada día más accesibles y precisos; por ejemplo, para poder ver los microfósiles encontrados en los sedimentos oceánicos.

Pero, ¿por qué exactamente resultaría indispensable estudiar a los microfósiles para entender cómo eran los océanos en el pasado? Esta pregunta podría tener



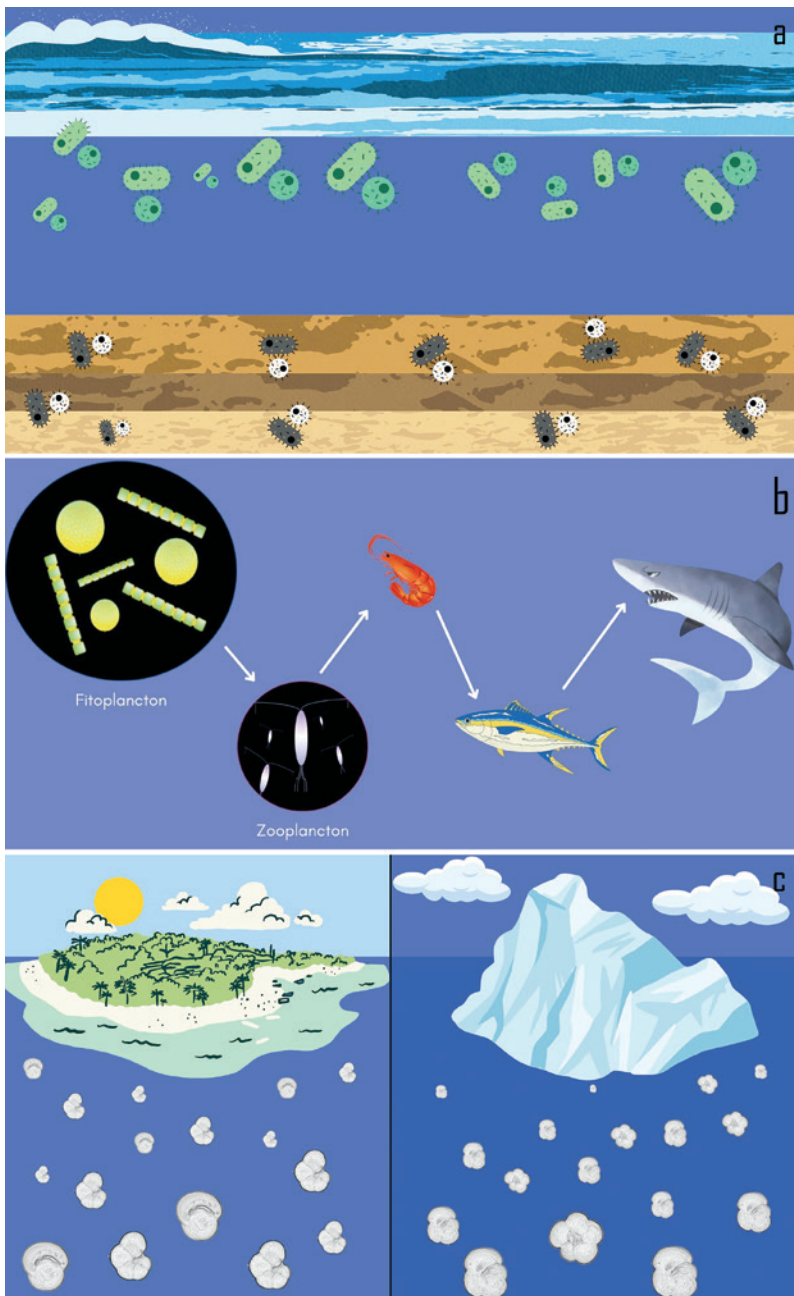


Figura 1. Importancia de los microfósiles: a) primeras formas de vida y sedimentación; b) base de las redes tróficas; c) condiciones ambientales y cambios en sus comunidades.

varias respuestas, dependiendo del objetivo de cada investigación, pero aquí daremos tres razones generales (véase la Figura 1).

Primero, debido a que la vida surgió en los océanos y los microorganismos fueron los primeros seres vivos en poblar nuestro planeta. Con el paso del tiempo, continuaron evolucionando en otros más complejos; es decir, pasaron de ser células simples, a

crear complicadas estructuras de protección y sostén. Así, los restos de los organismos preservados en las múltiples capas de sedimentos nos ayudan a reconstruir la evolución de la vida en los océanos (véase la Figura 1a).

Asimismo, la aparición de productores primarios fotosintetizadores permitió que se generaran cadenas alimentarias que propiciaron diversas y complejas formas de vida (véase la Figura 1b). Por esta razón, al estudiar las abundancias y la distribución de los organismos que componen la base de las redes tróficas, podemos reconstruir la evolución de los ecosistemas marinos.

Por último, cabe considerar que los organismos cambian y se adaptan cuando las condiciones en la superficie del mar se ven afectadas por fluctuaciones en el clima. Estudiar los conjuntos de microfósiles y sus diferencias a lo largo del tiempo ayuda a reconstruir de forma indirecta las características del ambiente en que habitaron, como la temperatura, la productividad biológica o la intensidad de las corrientes (véase la Figura 1c).

Por lo tanto, la importancia de los microorganismos radica en que ellos mismos en incontables ocasiones han estado involucrados en reescribir la historia de la vida en el planeta. Precisamente, como dijo Louis Pasteur: “son los microbios los que tendrán la última palabra”.

■ El plancton marino

En el océano superficial, los microfósiles que cuentan dicha historia conforman el plancton marino, el cual es la base de las redes alimentarias por ser sumamente abundantes y fungir como un componente fundamental de los ciclos biogeoquímicos de carbono, nitrógeno, fósforo y silicio.

Por definición, la palabra *plancton* hace referencia a aquellos organismos que no tienen estructuras de locomoción y derivan o flotan en la columna de agua siendo transportados por las corrientes y las olas. Hay dos tipos: el fitoplancton y el zooplancton. Los primeros son organismos que viven en la superficie y llevan a cabo la fotosíntesis; es decir, son productores primarios y están encargados de producir entre

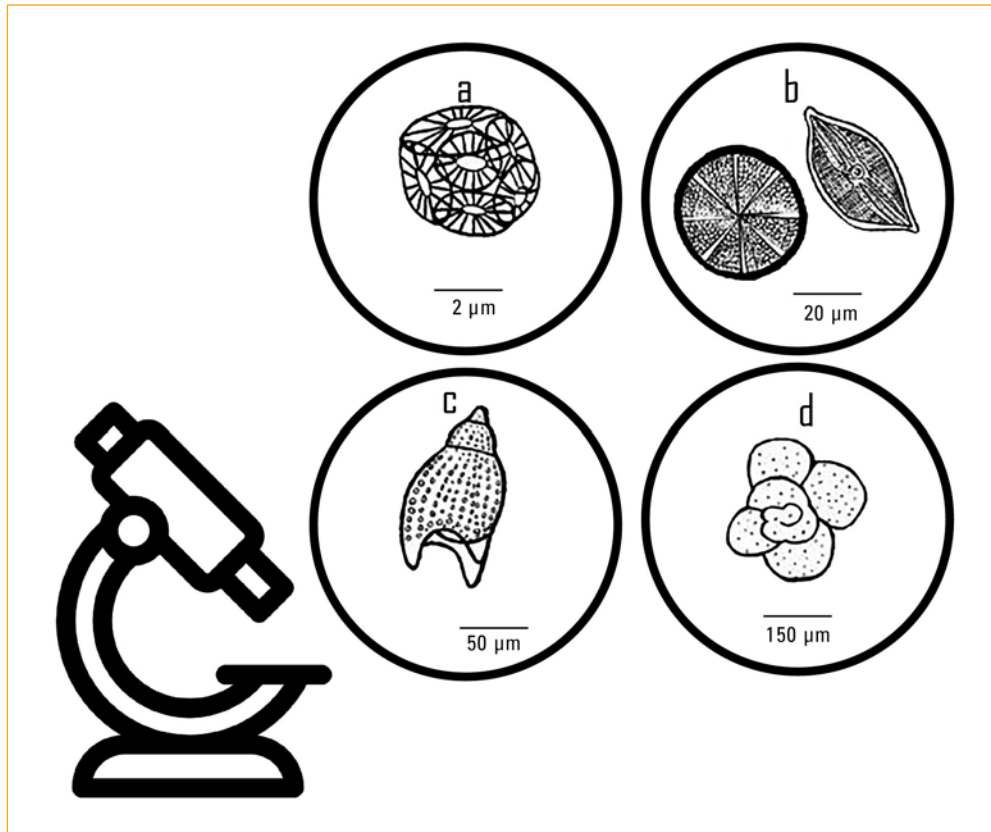


Figura 2. Microfósiles y componentes del plancton marino. Algas fotosintetizadoras, como: *a)* cocolitofóridos, con placas hechas de carbonato de calcio; y *b)* diatomeas, recubiertas de sílice. Protozoarios respiradores, como: *c)* radiolarios, con espinas hechas de sílice; y *d)* foraminíferos planctónicos, con cámaras hechas de carbonato de calcio.

50% y 80% del oxígeno que respiramos. Algunos organismos del fitoplancton son algas, entre las que encontramos cocolitofóridos y diatomeas (véanse las Figuras 2a y 2b). Por otro lado, el zooplancton está integrado por consumidores que son respiradores, representados por protozoarios y larvas de animales. Algunos protistas del zooplancton son los foraminíferos y los radiolarios (véanse las Figuras 2c y 2d). Curiosamente, los cuatro grupos de organismos que acabamos de mencionar son considerados microfósiles.

La distribución y la diversidad del plancton están condicionadas por las características del ambiente marino y los cambios de temperatura, luz, nutrientes, cantidad de alimento, circulación del mar, entre muchos otros factores. Dado que son muy sensibles a los cambios en su ambiente, esta misma sensibilidad hace que dichos organismos sean muy útiles como paleoindicadores de las condiciones de los océanos y el clima del pasado.

Los microfósiles y un viaje en el tiempo

Si quisiéramos viajar al pasado para conocer las condiciones de la Tierra en un periodo determinado, tendríamos que usar una máquina del tiempo que, en este caso, no se trata de un aparato como los que vemos en las películas de ciencia ficción, sino que consiste en las señales y pistas que se quedan guardadas en las rocas y capas de sedimentos cuando mueren los organismos; de manera particular, estamos hablando de los microfósiles. En los sedimentos encontramos restos de estructuras duras, formadas de carbonato de calcio, sílice o materia orgánica, conocidas como testas, frústulas o quistes, dependiendo del organismo que estudiemos. Al ser recolectados, cuantificados y analizados, los restos revelan una gran variedad de información acerca de cómo era su entorno. Es decir, estas pistas ayudan a reconstruir escenarios del clima y los océanos del pasado.

Cada microfósil ofrece un tipo de información diferente, dependiendo del ambiente en el que

se desarrolló y habitó el organismo estudiado. Por ejemplo, si se quiere reconstruir la productividad primaria y el contenido de nutrientes en el ambiente marino, se puede hacer uso de algas como coccolitofóridos y diatomeas. Mientras que, si se busca reconstruir corrientes, temperatura y salinidad oceánicas, es mejor emplear protozoarios como radiolarios y foraminíferos. Lo anterior tiene que ver en gran medida con la composición química de sus estructuras y su nivel de sensibilidad a dichos parámetros.

¿Pero cómo aseguramos que ciertamente se reconstruya el pasado? Para ello, es importante que entendamos el presente lo mejor posible en términos de tendencias, procesos y fenómenos. Viendo los patrones que ocurren actualmente, se puede hacer una analogía con algún evento anterior, e incluso llegar a predecir el futuro por medio de modelos conceptuales o matemáticos.

■ Armar el rompecabezas del clima

■ Si alguna vez viste películas o series de detectives, te habrás percatado de que, para reconstruir la escena del crimen, siguen una serie de pasos: la observación de la escena, la colecta de la evidencia y el análisis por diversos especialistas. De manera similar, las personas que se dedican a la paleoceanografía estudian los océanos y climas del pasado. Lo primero que hacen es pensar en algún sitio de interés y preguntarse qué es lo que desean conocer o reconstruir de ese lugar; por ejemplo, hay quienes buscan reconstruir los cambios ocurridos en el nivel del mar, la abundancia y diversidad de especies, la productividad biológica, o bien las modificaciones en la intensidad y dirección de las corrientes.

Lo siguiente es investigar acerca del área de estudio, ya que es indispensable conocer el presente para entender el pasado, además de que lo que ocurre en la actualidad brinda una clara referencia o punto de partida. Después, se deben seleccionar los instrumentos, las herramientas y los métodos a utilizar para recolectar la evidencia.

Por ejemplo, para recuperar muestras o secuencias de sedimentos marinos, se extraen núcleos (columnas) de sedimentos cuya obtención requiere de

nucleadores o dragas. Estos tubos estrechos contienen material geológico muy fino, como arenas o lodos, entre los que vienen los microfósiles y el material biogénico que se ha acumulado durante mucho tiempo. De manera sorprendente, los núcleos marinos pueden ser tan cortos como pocos centímetros y tan largos como cientos de metros, todo depende de cuánto tiempo atrás se quiera “viajar en el tiempo”.

Una vez extraídos, los núcleos se llevan al laboratorio para analizarlos con instrumentos y equipos específicos, como diversos microscopios, espectrómetros de masas, analizadores elementales, entre otros, y así obtener los datos de interés. Más adelante, los resultados obtenidos son interpretados y comparados con estudios locales o regionales. Este último paso es el más complejo, pues los datos se ponen a prueba antes de darles un sentido robusto a las investigaciones. Cada evento paleoclimático que se reconstruye es en realidad un rompecabezas, cuya evidencia está formada por múltiples piezas, colocadas por múltiples investigaciones. A continuación, ejemplificamos una reconstrucción paleoceanográfica realizada con microfósiles encontrados en México, los cuales vivieron durante el evento paleoclimático conocido como Último Máximo Glacial.

■ El México del pasado

■ El Último Máximo Glacial fue una época muy fría, aproximadamente hace 20 mil años, que persistió durante varios miles. Durante ese evento, los glaciares alcanzaron un tamaño tan grande que cubrieron el norte de Europa, Asia y Norteamérica. Aunque México no se cubrió de hielo, sí presentó características climáticas y oceánicas muy extremas, incluso opuestas a las que hoy conocemos. Los resultados de múltiples estudios en la región continental sugieren que durante el Último Máximo Glacial el clima en el sureste de nuestro país fue más frío y seco, a pesar de que hoy es una región húmeda y cálida.

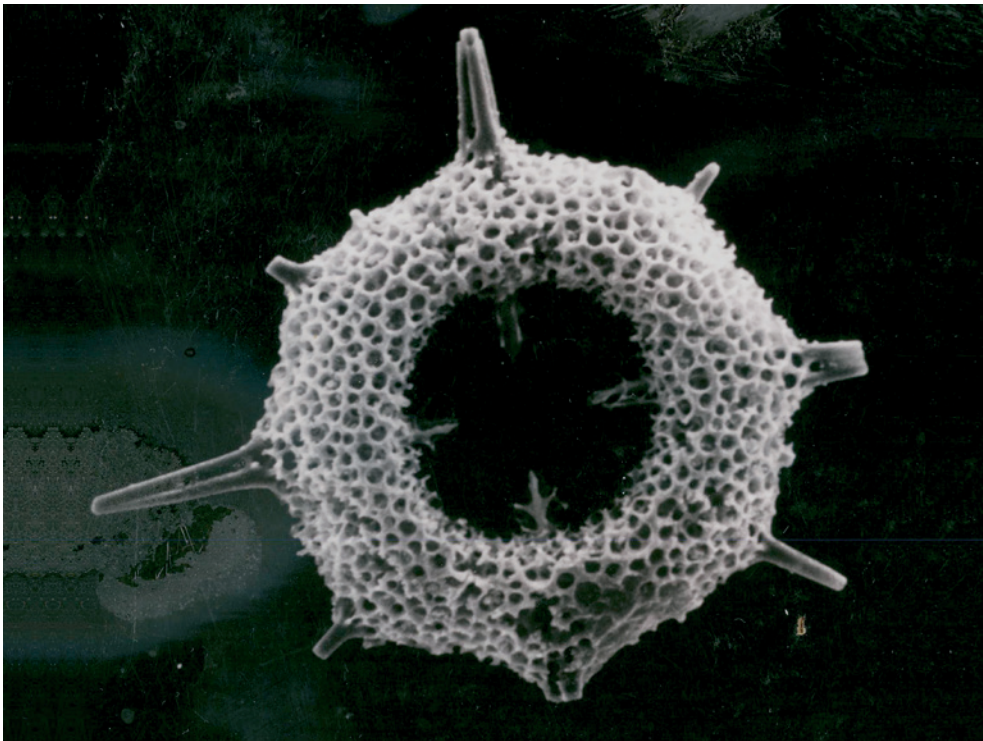
El clima de México, además de la radiación solar que recibe, está asociado a la Zona de Convergencia Intertropical, un cinturón de bajas presiones ubicado en la región ecuatorial, donde los vientos alisios convergen formando nubes y precipitaciones inten-

sas. Cuando este cinturón se desplaza hacia el norte y se ubica cerca de nuestro territorio, nos encontramos en la estación de lluvias, mientras que cuando se desplaza al sur, nos encontramos en la estación de secas. Por ello, hoy el clima del golfo de México se caracteriza por ser cálido-subhúmedo con lluvias en verano (junio a septiembre), vientos del norte en otoño e invierno (octubre a febrero) y una época de secas en primavera (febrero a mayo). El golfo de México tiene aguas cálidas que varían estacionalmente (entre invierno y verano) entre los 18 y 30 °C, con salinidades entre los 36 y 36.5 partes por mil. Los foraminíferos planctónicos que hoy viven en esta región son característicos de aguas oceánicas cálidas, poco productivas, con variaciones considerables en la salinidad, dada la alta evaporación y las zonas de descargas de ríos.

Ahora bien, en el golfo de México se han hecho estudios pioneros desde las décadas de 1970 y 1980 que iniciaron con la reconstrucción de las condiciones oceánicas del pasado (paleoceanográficas) del Último Máximo Glacial mediante microfósiles como foraminíferos planctónicos. Los foraminíferos son protistas del plancton cuyas conchas o esqueletos están hechos de carbonato de calcio. Con ellos se

ha logrado reconstruir la temperatura del mar o las corrientes oceánicas, para lo cual se han empleado diferentes metodologías geoquímicas, bioestratigráficas y paleoecológicas que proveen información indirecta acerca de los ambientes antiguos. Para las metodologías geoquímicas se analizan las conchas como un mineral, a partir de la información por la composición química de sus estructuras. En tanto, para el análisis bioestratigráfico (reconocimiento de estratos a través de sus fósiles) y paleoecológico (relación de los organismos fósiles con su ambiente) se requiere identificar a las especies. Tras conocer a las comunidades de organismos presentes en las capas de sedimento, se investiga su distribución, abundancia y ecología, para darles a los datos un sentido biológico.

¿Cómo fue el golfo de México durante el Último Máximo Glacial? A partir del reconocimiento de los conjuntos de especies que en él habitaban (véase la Figura 3), a la par de otros estudios, sabemos que las aguas superficiales fueron menos cálidas (aproximadamente de 1.5 a 2 °C más bajas), más salinas y densas de lo que son en la actualidad. La corriente principal del golfo, la corriente de Lazo, tuvo cambios en su intensidad. Aparentemente, la disminu-



ción de la temperatura durante el Último Máximo Glacial parece no haber provocado muchos cambios, pero implicó que la cantidad de energía solar que recibía la Tierra fuera menor a la actual, y que la distribución de la radiación y el calor potenciaran cambios no sólo regionales sino globales. Para darnos una idea, durante el Último Máximo Glacial el hielo polar se acumuló tanto que el nivel del mar disminuyó entre 100 y 120 metros respecto al actual.

■ **El pasado como clave para entender el futuro**

■ Gracias a la sensibilidad del plancton marino ante los cambios en su ambiente, la paleoceanografía reconstruye escenarios oceánicos y climáticos centrados en eventos de hace miles de años. No obstante, los microfósiles del plancton son igual de útiles para conocer el presente como la historia de la Tierra, por-

que ayudan a comprender el impacto de un cambio climático. Hay factores que afectan la distribución espacial y abundancia de las especies, que asimismo se seguirán modificando con los climas extremos. En el futuro cercano, cada especie responderá de una manera distintiva, ya sea que llegue su extinción en los próximos años, o bien haya cambios en su distribución espacial y abundancia, como lo han hecho ya en otras épocas. De esta manera, el plancton seguirá quedando en el registro sedimentario como evidencia de que alguna vez estuvo presente, a partir de la información que brinda acerca del lugar al que una vez pertenecieron los microfósiles.

Y aunque todavía se desconoce mucha información del pasado, conforme más y más investigaciones suman sus interpretaciones, más detalles se obtienen para las diferentes regiones. Entonces, es así como las reconstrucciones oceánicas y climáticas del pasa-

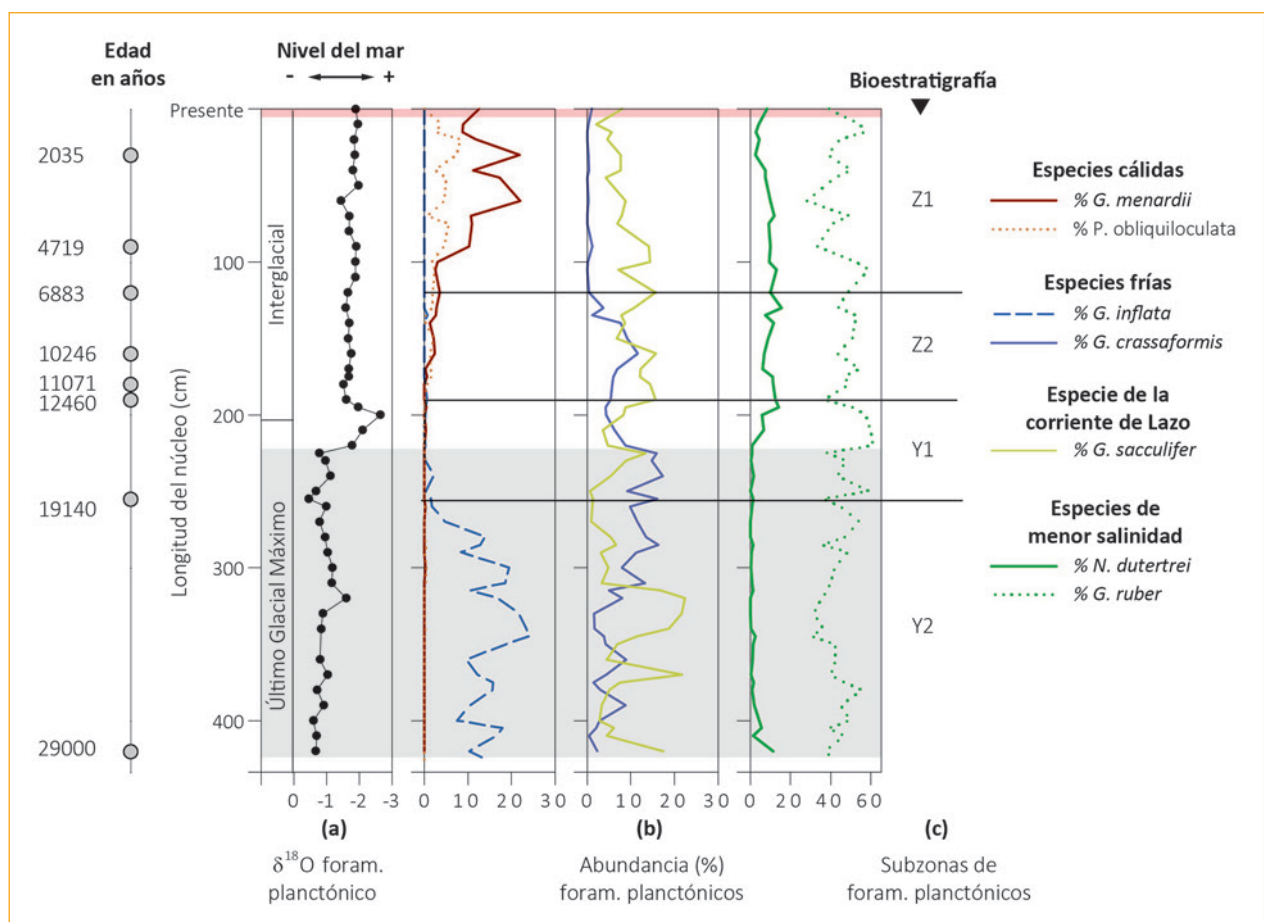


Figura 3. Abundancia de foraminíferos planctónicos en el tiempo y su paleoecología. Análisis realizados en un núcleo de sedimento del golfo de México desde el Último Máximo Glacial (banda gris) hasta el presente (banda roja). Los puntos grises representan edades; la geoquímica (δ¹⁸O) indica cambios en el nivel del mar; la bioestratigrafía (derecha) nombra subzonas (Y2 a Z1) conforme a especies indicadoras para cada estrato.

do nos permiten comprender mejor las interacciones entre los componentes del sistema climático. Y no sólo eso, también ayudan a entender y hacer proyecciones a futuro de posibles eventos que se pudieran repetir o parecerse a eventos pasados. Lo anterior es relevante para tomar las decisiones pertinentes y enfrentar, como naciones, los múltiples riesgos vinculados con el actual cambio climático.

Zubia Jocelyn Cisneros Ramos

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
zubiakis@ciencias.unam.mx

Elsa Arellano Torres

Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.
elsa_arellano@ciencias.unam.mx

Lecturas recomendadas

- Arellano-Torres, E. y M. Machain-Castillo (2017), "Late Pleistocene-Holocene variability in the southern Gulf of Mexico surface waters based on planktonic foraminiferal assemblages", *Marine Microgeology*, 131: 44-58.
- Brunner, C. A. (1982), "Paleoceanography of surface waters in the Gulf of Mexico during the late Quaternary", *Quaternary Research*, 17(1):105-119.
- Daners, G. y M. Verde (2008), "Fósiles microscópicos", en D. Perea (ed.), *Fósiles de Uruguay* (pp. 1-47), Montevideo, DIRAC.
- Metcalf, S., S. O'Hara, M. Caballero y S. Davies (2000), "Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico a review", *Quaternary Science Reviews*, 19(7): 699-721.
- Shuman, B. (2014), "Approaches to Paleoclimate Reconstruction", D. Alderton y S. A. Elias, *Encyclopedia of Geology* (pp. 179-184), Oxford, Academic Press.