

Los sedimentos marinos: huellas del clima en el Golfo de California

Dr. Luis Andrés Guerrero Murcia
Doctor en Ciencias de la Tierra, CICESE

Dr. Javier Helenes
P.h.D en Geología, CICESE

Abstract

The seafloor sediments from Alfonso Basin in the Gulf of California are like time capsules that help scientists uncover how the climate has changed over thousands of years. By studying tiny fossilized marine organisms and chemical traces in the mud, researchers found that ocean temperatures and rainfall increased during the Early Holocene —after the last Ice Age. This led to more nutrients flowing into the sea and boosted marine life at the base of the food chain. Interestingly, even though the environment became warmer and wetter, potentially harmful algae didn't grow out of control. This kind of research, carried out by Mexican science institutions, plays a significant role in helping us understand how ocean ecosystems have responded to climate changes in the past. With this knowledge, we can better prepare for what might happen in today's warming world and protect marine biodiversity and coastal fishing communities that depend on healthy oceans.

Keywords: Climate change, ocean productivity, Holocene, fossil dinoflagellates.

Resumen

Los sedimentos marinos del fondo de la Cuenca Alfonso, en el Golfo de California, guardan secretos del clima del pasado. Al estudiarlos, los científicos han podido reconstruir cómo eran las condiciones del océano hace miles de años, especialmente durante una etapa llamada Holoceno Temprano, cuando la Tierra empezaba a calentarse tras la última glaciación. Gracias al análisis de microorganismos fosilizados y de ciertos elementos químicos presentes en el lodo marino, se reveló que en ese periodo aumentaron tanto la temperatura del agua como las lluvias. Esto trajo

más nutrientes al mar y permitió un crecimiento mayor de vida microscópica marina. Aunque se esperaría que estas condiciones provocaran un aumento en organismos tóxicos, no fue así. Este tipo de estudios, realizados en colaboración entre instituciones científicas mexicanas, son clave para entender cómo han reaccionado los ecosistemas en el pasado, lo que a su vez ayuda a prepararnos mejor ante los efectos actuales del cambio climático y proteger la vida marina y las actividades pesqueras.

Palabras clave: Cambio climático, productividad oceánica, Holoceno, dinoflagelados fósiles.

Introducción

El océano es un testigo silencioso del tiempo. En sus profundidades, los sedimentos marinos acumulan registros de los cambios ambientales que han ocurrido durante miles de años. En la Cuenca Alfonso, ubicada en el Golfo de California (México), científicos han estudiado estos depósitos naturales para entender cómo ha variado el clima a lo largo de la historia.

Analizar este tipo de sedimentos es algo complejo, pero como todo proceso de investigación, conlleva una metodología que se resume a la extracción de los sedimentos mediante una herramienta especial del fondo marino, un procesamiento en laboratorio con algunos componentes, tales como ácidos, y un posterior análisis bajo el microscopio, que finalmente arrojará los números de conteos necesarios de estos microorganismos fósiles, para analizarlos con la bibliografía correspondiente y antecedentes necesarios, generando unos resultados que son puestos en una publicación científica como aporte de investigación.

Uno de los principales hallazgos de estas pesquisas es que el Holoceno Temprano, edad de la Tierra entre los 12,000 y 8,200 años, es un periodo que estuvo marcado por un aumento en la productividad marina (medida que se suele usar para decir que hubo muchos microorganismos marinos presentes en un periodo de tiempo definido en el mar) y las precipitaciones. Estos cambios fueron documentados mediante el análisis de microorganismos marinos llamados dinoflagelados (organismo unicelulares fitoplanctónicos), así como de elementos químicos presentes en los sedimentos, como el Carbono Orgánico Total (COT), el hierro (Fe) y el titanio (Ti).

Descifrando el pasado a través de los sedimentos

Se analizaron muestras del núcleo DIPAL IV, una perforación de 5.4 metros de profundidad en el fondo marino de la Cuenca Alfonso. Cada capa de sedimento representa un registro del clima en diferentes épocas. Entre los fósiles encontrados se encuentran los quistes de dinoflagelados, estructuras resistentes de estos microorganismos que permiten reconstruir las condiciones ambientales en las que vivieron.

Existe toda una clasificación sobre su morfología, es decir, las formas de sus quistes y la relación que dicha morfología puede tener con respecto a la manera en cómo se alimentaban cuando estaban vivos en el agua de mar. Algunos de ellos hoy en día, son principalmente autótrofos, es decir, al igual que las plantas que hacen fotosíntesis, éstos también realizan su proceso de nutrición a través del aprovechamiento de la energía solar. Existe otro grupo de los llamados heterótrofos, que como su nombre lo indica, se alimentan de otros microorganismos, que incluso pueden

ser también otro tipo de dinoflagelados. Con este orden de relación entre su morfología y sistema de alimentación, se han podido establecer grupos que han dado pie a la identificación de ciertos géneros e incluso a nivel de especies. A su vez, estas especies han podido ser asociadas por abundancia y diversidad con ciertos tipos de clima, que a su vez pueden estar relacionados con las corrientes marinas, variación de la precipitación (lluvias), cambios en el nivel medio del mar, cambios de temperatura del agua, etc. (Flores-Trujillo, 2009).

Además, la medición de ciertos elementos químicos como el carbono orgánico total (TOC), el Hierro (Fe) y el Titanio (Ti) ayudó a comprender la disponibilidad de nutrientes y la influencia de las lluvias en la zona. Un aumento en el carbono orgánico indica mayor actividad biológica, mientras que la reducción del hierro y el titanio sugiere un incremento en la erosión y el transporte de sedimentos desde la tierra hacia el mar (Mejía-Piña et al., 2016). El análisis de estos elementos se lleva a cabo mediante un procedimiento complejo de laboratorio y que formó parte de una colaboración entre instituciones públicas de educación en México, específicamente entre el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) y la Universidad Autónoma de Baja California (UABC).

Resultados clave del estudio

Aumento de la productividad marina

Uno de los principales hallazgos fue el incremento en la cantidad de quistes de dinoflagelados durante el Holoceno Temprano. En particular, la especie *Tuberculodinium vancampoe*

(Rossignol, 1962), que prefiere aguas cálidas, se volvió más común. Esto sugiere que la temperatura del océano aumentó y que hubo más nutrientes disponibles para el fitoplancton, lo que favoreció una mayor productividad marina.

Cambios en la temperatura y las precipitaciones

El análisis de los sedimentos reveló que durante la transición del Dryas Reciente (fue un período frío abrupto que ocurrió al final del Pleistoceno, entre aproximadamente 12,900 y 11,700 años atrás. Se caracteriza por un retorno a condiciones glaciales en muchas regiones del hemisferio norte, interrumpiendo el calentamiento progresivo que conducía al Holoceno) al Holoceno Temprano, tanto la temperatura como la cantidad de lluvias aumentaron (Rasmussen et al., 2006). Esto quedó reflejado en una disminución en las concentraciones de Hierro y Titanio, lo que indica una mayor erosión de suelos y el arrastre de sedimentos hacia el mar. Esta condición permitió un aumento en la producción de fitoplancton, el primer eslabón de la cadena alimenticia marina.

Estabilidad de especies tóxicas

A pesar de los cambios ambientales, las especies de dinoflagelados potencialmente tóxicas, como *Gymnodinium catenatum*, no mostraron un incremento significativo en su abundancia. Esto sugiere que el calentamiento climático no necesariamente provocaría un aumento en las floraciones algales nocivas en esta región.

Hoy en día existe una gran cantidad de científicos dedicados a crear un sistema de alerta temprana que permita, entre otras, establecer una predicción, con cierto grado de certidumbre, sobre la

generación de las mareas rojas. Las mareas rojas son también conocidas en el medio científico como Florecimientos Algales Nocivos (FANs), que son los principales causantes de, no solo un cambio a rojo de la coloración del mar, si no de la intoxicación de un gran número de peces. Dicha intoxicación, si bien no necesariamente acarrea la muerte del pez, si lo ubica en una condición de vulnerabilidad en la cadena alimenticia y por supuesto, lo convierte en un candidato no apto para el consumo humano.

Adicionalmente durante estos periodos de FANs, se establece por parte de la secretaría de pesca, una restricción a la actividad pesquera, lo que trae como consecuencia pérdidas económicas a los pobladores de pesca artesanal que viven en la regiones cercanas a la Cuenca Alfonso en el sur del golfo de California. Por esta razón, el trabajo del que aquí hacemos mención es un trabajo que contribuye, como antecedente científico, al sistema de alerta temprana que se pretende crear para el control y monitoreo de las mareas rojas.

Implicaciones para el futuro

Comprender cómo el clima ha cambiado en el pasado nos ayuda a predecir cómo responderán los ecosistemas marinos ante el calentamiento global actual. Durante el Holoceno Temprano, el océano fue capaz de adaptarse a los cambios en temperatura y precipitación sin generar impactos negativos en las especies marinas. Sin embargo, hoy en día, factores adicionales como la contaminación y la actividad humana pueden alterar este equilibrio.

El estudio de los sedimentos marinos en la Cuenca Alfonso proporciona información valiosa para el desarrollo de modelos ambientales que ayuden a

anticipar los efectos del cambio climático en los océanos. La conservación de estos ecosistemas es clave para garantizar la estabilidad de la biodiversidad marina en el futuro.

Conclusión

El análisis de los sedimentos en la Cuenca Alfonso ha permitido reconstruir la historia climática del Holoceno Temprano y revelar tendencias importantes:

1. Mayor productividad marina: La evidencia sugiere que el Golfo de California experimentó un aumento en la actividad biológica gracias a condiciones más cálidas y húmedas.

2. Aumento de temperatura y lluvias: El incremento en las precipitaciones favoreció el transporte de nutrientes hacia el mar, lo que benefició la vida marina.

3. Estabilidad de especies tóxicas: A pesar de los cambios climáticos, las especies de dinoflagelados potencialmente tóxicas no mostraron un crecimiento descontrolado. Estos hallazgos son esenciales para comprender cómo los ecosistemas marinos pueden responder a los desafíos ambientales actuales. Con esta información, es posible diseñar estrategias más efectivas para la protección de los océanos y la mitigación de los efectos del cambio climático.

Para saber más:

1. Douglas, R., Gonzalez-Yajimovich, O., Ledesma-Vázquez, J., y Staines-Urías, F., Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California, *Quat. Sci. Rev.*, 26, pp. 115–129, 2007.

2. Roy, P. D., Quiroz-Jiménez, J. D., Chávez-Lara, C. M., Sánchez-Zavala, J. L., Pérez-Cruz, L. L., y Sankar, G. M., Humid Pleistocene–Holocene transition and early Holocene in sub-tropical northern Mexico and possible Gulf of California forcing, *Boreas*, 43 [3], pp. 577–587, 2014.

3. Staines-Urías, F., González-Yajimovich, O., y Beaufort, L., Reconstruction of past climate variability and ENSO-like fluctuations in the southern Gulf of California (Alfonso Basin) since the last glacial maximum, *Quat. Res.*, 83 [3], pp. 488–501, 2015.

Referencias

[1] Flores-Trujillo, J. G., Helenes, J., Herguera, J. C., y Orellana-Cepeda, E., Palynological record (1483–1994) of *Gymnodinium catenatum* in Pescadero Basin, southern Gulf of California, Mexico, *Mar. Micropaleontol.*, 73 [1-2], pp. 80–89, 2009.

[2] Mejía-Piña, K. G., Huerta-Díaz, M. A., y González-Yajimovich, O., Calibration of handheld X-ray fluorescence (XRF) equipment for optimum determination of elemental concentrations in sediment samples, *Talanta*, 161, pp. 359–367, 2016.

[3] Rasmussen, S. O., Andersen, K. K., Svensson, A. M., Steffensen, J. P., Vinther, B. M., Clausen, H. B., *et al.*, A new Greenland ice core chronology for the last glacial termination, *J. Geophys. Res.: Atmospheres*, 111 [D6], 2006.

[4] Rossignol, M., Análisis de polen de sedimentos marinos cuaternarios en Israel II - Sedimentos del Pleistoceno, *Polen y esporas*, 4 [1], pp. 121–148, 1962.