

Pasado y futuro

del cambio climático y el calentamiento global

Arantza Casas Ortiz y Elsa Arellano Torres

Resumen: Si bien el cambio climático es un concepto en boga, no lo es tanto la reflexión al respecto. Sabemos que la Tierra siempre ha pasado por periodos de enfriamiento y calentamiento, pero las afectaciones actuales parecen más graves. Hace 55-60 millones de años hubo un evento climático en el que el CO₂ se incrementó tanto como ahora, aunque en un lapso de 200 mil años, tiempo que permitió que las especies se adaptaran; en contraste, el actual calentamiento global está ocurriendo entre 20 y 50 veces más rápido. El pasado debería darnos pistas para prever el futuro próximo e impulsarnos a tomar decisiones.

Palabras clave: sistema climático terrestre, GEI, Máximo Térmico, paleoceanografía, paleoclimatología.

Maayat'aan (maya): Bix ka'achil yéetel bix bin yanik sáamal u k'eexpajal u k'iinil ja'ja'il wáaj ke'elil yéetel u chokojtal yóok'olkaab

Kóom ts'íibil meyaj: Kex le u k'eexpajal u k'iinil ja'ja'il wáaj u k'iinil ke'elil, le k'ajóola'an beey cambio climático jump'éeel ba'al jach táan u tsikbata'al, ma'atáan u jach tuukulta'al ba'ax ku taasik. K ojéel yóok'olkaabe' suuk u máansik k'iinilo'ob ke'elil bey xan chokojil, ba'ale' le talamilo'ob yaan bejla'e' táaj yaajo'ob. Yaan 55 wáaj 60 millones ja'abo'obak úuch jump'éeel noj ba'al ka jach na'ak le CO₂ beey bejla'e', ba'ale' le je'ela' úuch ichil 200 mil ja'abo'ob, yanchaj ya'abach k'iino'ob uti'al u suuktal le jejeláas ch'íibalo'ob; ma' beey bejla'e', tumen bejla'e' u chokojtal yóok'olkaab wáaj calentamiento globale' táan u yúuchul ichil 20 tak 50 téeno'ob jach seba'an. Ba'ax máanlil ka'ach úuchile' k'a'ana'an u ye'esik to'on ba'ax kun taal sáamal wáaj ka'abej yéetel k'a'abet u ka'ansiko'on k yéey ba'ax ma'alob ti' k kuxtal.

Áantaj t'aano'ob: sistema climático terrestre, GEI, jach chokojtaj, paleoceanografía, paleoclimatología.

Bats'i k'op (tsotsil): K'usitik ech'em xchi'uk k'usitik to ta xtal ta jkuxlebtike, ta xk'ixnaj xa sjunlej li banumile.

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Ep tael xa ta ael a'yejejetik ta xal xjel xa tal jkuxlebtik ta banumile, ja' jutuk no'ox a'ibil lek li smelolale. Ta xkuxlej li banumile jna'ojtik oy bak'intik ta sikub o mi mo'oje ta xk'ixnaj, pe lavie toj tsots ti k'usitik xjelan xa talele. Ta olon tale ta 55-60 millon sjabilal xae oy k'usi sok tal ta ik' ja' epaj talel li CO₂ xko'olaj jech k'ucha'al ta ora xa k'ak'al li'e, tey ech' lajunvinik mil sjabilal sventa xnop talel li chonbolometik oy ta banumile; ta ora li' ne, oy la ta jtob o mi lajuneb yoxvinik ti ta anil xa no'ox ta xk'ixnaj talel li banumile. Jech o xal sk'an ta jk'eltik ta partil sventa jtabetik smelolal k'uxi xu' ta xlekub tal li jkuxlebtike.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: k'uxi ta xk'ixnaj ta sikub li banumile, GEI, Máximo Térmico, paleoceanografía, paleoclimatología.

Desde que inició la pandemia de covid-19, las noticias no han dejado de afirmar que el cambio climático se mantiene pese al confinamiento y a la interrupción de mucha de la actividad económica. ¿Por qué pensar que la situación podría mejorar si no hemos hecho gran cosa para que suceda? Al reflexionar en esto nos interesó conocer qué noción se tiene sobre el cambio climático y el calentamiento global, aun cuando sabemos que son temas controversiales dependiendo de la fuente de consulta y de la perspectiva desde la que se les analice.

Con este fin contrastamos dos escenarios climáticos: el actual y uno que ocurrió hace 55-60 millones de años. Si nuestros lectores y lectoras tienen suficientemente claras algunas definiciones y procesos naturales, podrán valorar el tema con más imparcialidad, considerando que si bien el cambio climático y el calentamiento global no pueden revertirse automáticamente, sí podríamos ayudar a mitigar sus efectos y a reducir el impacto de la especie humana sobre el ambiente.

Una encuesta para indagar

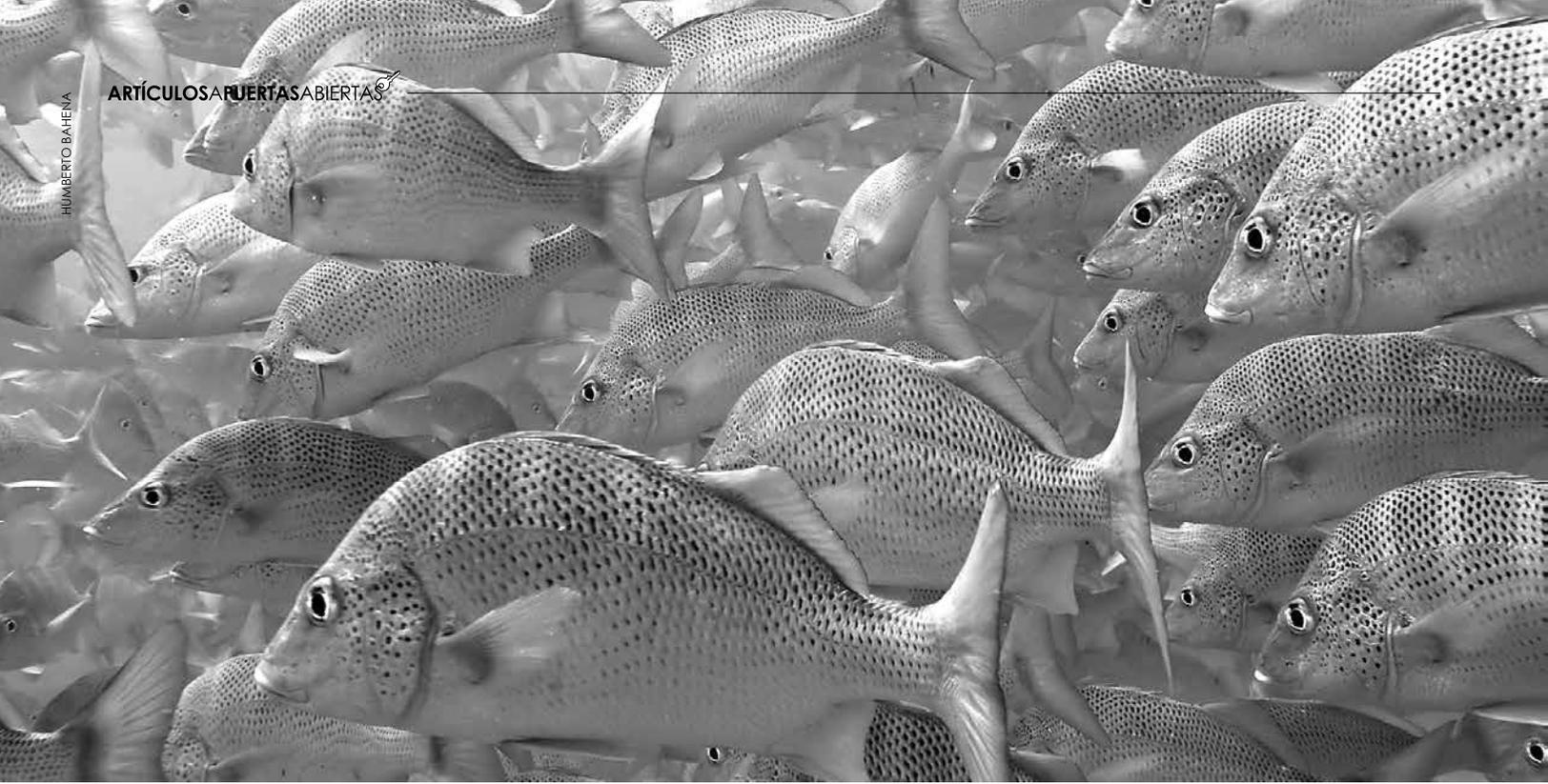
Durante el otoño de 2020 realizamos una encuesta en línea al público en general para indagar sobre qué se sabe del cambio cli-

mático y el calentamiento global. El 100% de los participantes afirmaron haber escuchado ambos términos, y aunque el 48% aseguraba conocer la diferencia, realmente no los distinguían. Tal falta de claridad en parte se debe a un incorrecto manejo de la información y a que son temas sobre los que no se reflexiona lo suficiente. Por eso brindaremos a continuación algunas referencias, partiendo de que son procesos complejos que corresponden al sistema climático terrestre.

Podemos imaginar este sistema como un conjunto de esferas o componentes (atmósfera, hidrósfera, litósfera y biósfera) con características físicas, químicas y biológicas específicas, las cuales se ensamblan a la perfección y permiten que las condiciones climáticas se mantengan constantes por tiempos definidos en escalas de décadas, siglos, miles o millones de años. Todas las esferas mantienen múltiples interacciones entre sí, de modo que se modifican por procesos que acentúan o atenúan sus efectos. Si alguna sufre alteraciones —aumento en la concentración de gases de efecto invernadero o de la temperatura, una disminución en la humedad o en el número de especies vegetales—, la respuesta es la modificación del sistema climático.

La Tierra ha pasado por gran variedad de eventos en los que se ha congelado por miles de años y luego se ha calentado por otros tantos. Cada etapa de enfriamiento y calentamiento necesita de muchísimos años y múltiples factores para desarrollarse. Entre cada intervalo de variación ocurre un cambio climático con modificaciones tales, que el ambiente nunca vuelve a ser igual. Un precursor de estos cambios pudo ser un enfriamiento o calentamiento global, pero centrémonos en este último; lo definiremos como un fenómeno en el que la temperatura promedio de la superficie terrestre aumenta porque se absorbe y se retiene el calor proveniente de la energía solar. Otros factores terrestres, como la ausencia de hielo polar, la disminución de la vegetación y el aumento de dióxido de carbono (CO₂) o metano (CH₄), pueden acentuar el efecto invernadero de la atmósfera, causando que el planeta se caliente todavía más.

Cuando las interacciones entre las esferas del sistema se transforman, el clima y sus efectos también lo hacen, aunque dejan un registro geoquímico o pistas de las condiciones climáticas en restos de organismos microfósiles en las cuencas oceánicas y lacustres. Gracias a estas pistas se conoce cómo han ocurrido las transiciones climáti-



cas a lo largo del tiempo. La paleoclimatología y la paleoceanografía son las ciencias que se encargan, respectivamente, de estudiar los registros del clima en el pasado, y el papel del océano como regulador climático a diferentes escalas de tiempo. Así podemos obtener información sobre cómo ha variado el sistema climático en periodos previos a la aparición de la humanidad, y estimar a futuro las respuestas del sistema climático.

Evento de transición Paleoceno-Eoceno

Hablemos de un evento climático que nos recuerda lo que está sucediendo en el presente; ocurrió hace 55 millones de años y duró unos 200 mil años: el Máximo Térmico de la transición Paleoceno-Eoceno o PETM, por sus siglas en inglés. Se identifica climáticamente como un aumento en la temperatura superficial del planeta debido a mayores concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI). Desde luego que ese incremento no fue por quemar hidrocarburos, sino por múltiples e intensas erupciones volcánicas, seguidas del derretimiento de suelos congelados y hielo polar.

¿Pero qué tiene que ver el PETM con la actualidad? Las concentraciones de GEI tuvieron valores similares a los que presencia-

mos ahora ($\text{CO}_2 = 416 \text{ ppm}$), de acuerdo con evidencia paleoclimática, aunque la gran diferencia es que aquel incremento de CO_2 no ocurrió en 180 años, sino en 200 mil. La lenta tasa de calentamiento permitió que muchas especies terrestres tuvieran tiempo suficiente para adaptarse y diversificarse, evitando su extinción masiva.

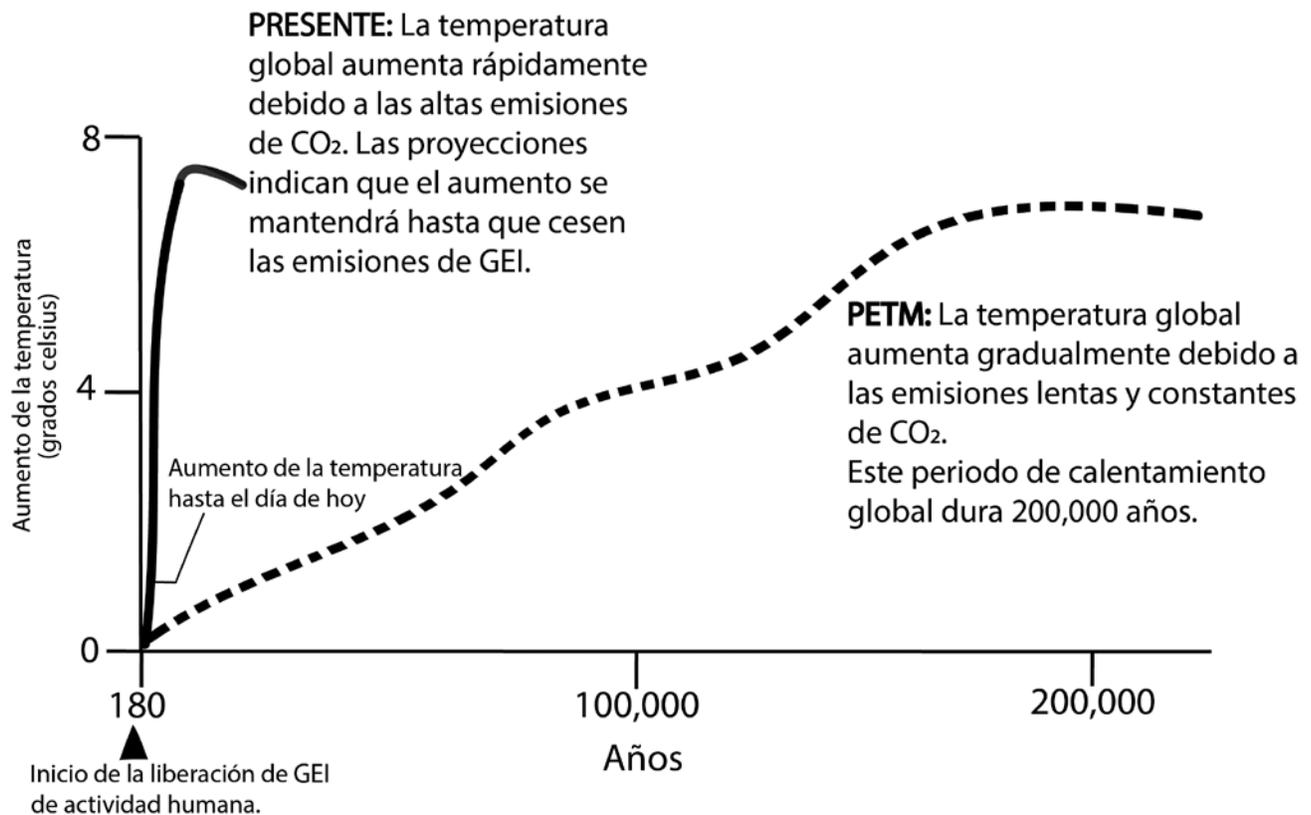
Y entonces, ¿qué desencadenó el calentamiento global del PETM? Mirando al sistema terrestre en su conjunto, sabemos que la circulación oceánica es otra variable esencial en la regulación del clima de la Tierra. Hoy en día, los oceanógrafos saben que en el mar no solo existen corrientes superficiales, sino también corrientes profundas. La circulación oceánica superficial ayuda a distribuir y direccionar el transporte de calor y humedad por todo el planeta gracias a los vientos, pero la circulación profunda es diferente. El patrón de las corrientes oceánicas profundas se parece a una montaña rusa con rutas definidas. Hoy sabemos que inicia en el Atlántico Norte como una corriente de agua fría polar muy densa que se hunde y fluye por los fondos oceánicos hacia el hemisferio sur. Ahí se mezcla y se calienta un poco, pierde densidad y profundidad, y asciende cerca de la zona subtropical donde sigue su viaje hacia zo-

nas polares; se enfría nuevamente y reinicia su recorrido.

Los paleoceanógrafos han reconstruido las corrientes oceánicas durante el PETM, y han hallado que la formación de aguas profundas se encontraba principalmente en el hemisferio sur, no en el Atlántico Norte, además de que el agua del océano profundo era menos fría, en parte por un evento volcánico significativo.

Actualmente, que haya corrientes de agua fría en el fondo oceánico es muy importante porque funcionan como un sistema de refrigeración, proveen una buena oxigenación a las profundidades oceánicas y permiten que diferentes organismos vivan en ellas; además, favorecen la formación de zonas de gran diversidad biológica. Sin embargo, durante el PETM, todo eso no ocurrió; su final tardó unos 30 mil años, que fue lo que demoró el enfriamiento de las condiciones climáticas del planeta. Hoy en día los oceanógrafos analizan el futuro de la circulación oceánica profunda, dado que sus cambios son muy lentos comparados con la superficie. Este análisis interesa porque si bien sabemos que estamos afectando funcionalmente al océano, el proceso y las secuelas son inciertos (figura 1).

Figura 1. Aumento de la temperatura global en el presente y durante el PETM.



Fuente: Modificada de Sinclair, P. (2011). Graph of the Day: Scientific American on Today's Greenhouse vs. History-the PETM. *Climate Denial Crock of the Week*. <https://bit.ly/3PIQ8xy>

El pasado es la clave del presente

Como un breve resumen, podemos afirmar que el cambio climático es un proceso natural que incluye fases de enfriamiento y calentamiento que pueden durar desde cientos hasta miles de años. Tomamos como referencia el PETM porque es un evento análogo al calentamiento que atestigüamos en nuestros días. Aunque las fuentes de emisiones de GEI en el presente derivan más bien de la actividad humana, ambos eventos se centran en el vínculo entre la concentración de GEI y la elevación de la temperatura global, entre otros cambios colaterales.

Se ha cuantificado que la temperatura superficial del planeta se ha incrementado 1 °C en 150 años, y aunque no lo parezca, es un aumento que no habría ocurrido en tan corto tiempo en forma natural. Comparado con la tasa promedio de calentamiento global del PETM, se advierte que el actual es en-

tre 20 y 50 veces más rápido, por lo que las especies terrestres, incluida la humana, no podrán adaptarse a variaciones ecológicas y ambientales tan abruptas.

Al recordar el tiempo que tardó el restablecimiento de las condiciones climáticas al finalizar el PETM (después de 30 mil años), resulta difícil imaginar que la humanidad pueda esperar tantos miles de años para regresar a la estabilidad climática previa a nuestra aparición. Y más aún con nuestro acelerado estilo de vida. Por eso el estudio del pasado nos ayuda a colocar en perspectiva lo que realmente ocurre en el presente. Además, es posible deducir que el actual calentamiento global tendrá implicaciones de gran magnitud, como variaciones en los patrones de circulación oceánica, la inevitable extinción de especies y una infinidad de afectaciones a las actividades sociales y económicas.

Debemos reconocer que el actual cambio climático no es algo que la humanidad podrá controlar en el futuro, y la realidad es que todos, como humanidad, somos responsables, aunque no estamos totalmente conscientes de la situación. Es por ello que el compromiso individual con nuestro entorno es relevante, y la tarea consiste en analizar qué acciones pueden mejorar tanto el ambiente que nos rodea, como nuestro futuro. Existen trabajos que se enfocan en crear planes y propuestas de adaptación y mitigación del cambio climático. Debemos consultarlas, y a partir de la información que vamos obteniendo decidir cuáles medidas podríamos implementar. Si bien no existen estrategias perfectas, lo fundamental es reflexionar sobre nuestros hábitos de consumo y guiarnos hacia aquello en lo que podemos contribuir. ☞

Tabla 1. Definiciones

Sistema climático	Interacción que consta de al menos cuatro componentes o esferas: la <i>atmósfera</i> o capa gaseosa de la Tierra; la <i>hidrósfera</i> o capa acuosa conformada por ríos, lagos, océanos y agua congelada; la <i>litósfera</i> que corresponde a la corteza terrestre, y la <i>biósfera</i> o el complejo conjunto de organismos vivos, donde queda incluida la humanidad.
Variabilidad climática	Se refiere a las condiciones climáticas que exceden los valores medios o “normales” para una región geográfica determinada. Suceden en todas las escalas temporales y espaciales; sin embargo, sus causas pueden ser naturales o propias del mismo sistema climático, por ejemplo, una alteración en la humedad debido al cambio de dirección de una corriente oceánica que no permite el paso de vientos húmedos a otra región del planeta. O bien, pueden ser consecuencia de las actividades humanas que impactan en el sistema climático, como las emisiones de GEI a la atmósfera por quema de combustibles fósiles y deforestación.
Cambio climático	Variación en el clima que persiste durante largos periodos y que se atribuye a diferentes procesos naturales internos (erupciones volcánicas, cambios en la composición de hielo oceánico o en la distribución de la vegetación, actividades antropogénicas) o externos (actividad solar). Se suma a la variabilidad del clima observada durante periodos de tiempo comparable.
Calentamiento global	Se refiere al aumento a largo plazo de la temperatura media atmosférica en el sistema climático como consecuencia de la intensificación o prolongación del efecto invernadero.
Registro geoquímico en oceanografía	Registro de señales químicas que se obtienen a partir del análisis de microfósiles o rocas sedimentarias. Estos datos permiten realizar interpretaciones sobre las condiciones del ambiente (temperatura, nivel del mar, salinidad, circulación oceánica) durante la formación de los organismos y las rocas.
Mitigación ambiental	Intervención humana encaminada a reducir las fuentes de gases de efecto invernadero para atenuar sus efectos negativos.
Efecto invernadero	Proceso natural en el cual la radiación térmica emitida por la superficie del planeta es absorbida por los gases de efecto invernadero, provocando un aumento en la temperatura global. Es un componente esencial en la regulación del clima en el planeta.
Paleoceanografía	Ciencia que estudia la historia de los océanos a escala geológica, enfocándose en patrones de circulación oceánica, geología, química y patrones de sedimentación.
Paleoclimatología	Ciencia que estudia los patrones y causas del cambio climático en el pasado, con la finalidad de ofrecer información que permita entender la variabilidad climática a largo plazo para evaluar condiciones climáticas extremas.

Bibliografía

- Cárdenas Guzmán, G. (2018). Economía circular. Del objeto desechable a la producción sustentable. *¿Cómo ves?*, (230).
- Lee, H. (2020, 23 de marzo). Un calentamiento global súbito empezó en una inundación de magma. *Investigación y Ciencia*. <https://bit.ly/3tcbAFJ>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). (2012). *Huella ecológica, datos y rostros*. México: Semarnat. <https://bit.ly/3mbL3LU>

Arantza Casas Ortiz es pasante de licenciatura en la Universidad Nacional Autónoma de México | araco@ciencias.unam.mx |

Elsa Arellano Torres es profesora en la Universidad Nacional Autónoma de México | elsa_arellano@ciencias.unam.mx | ORCID 0000-0001-5237-8636