

Expedición

Por Adriana Gaytán Caballero y Elva Escobar Briones

Del lecho marino en el Golfo de México emanan naturalmente petróleo, chapopote y metano. Por asombroso que parezca, estas sustancias son el sustento principal de una rica comunidad de organismos en un ecosistema al que no llega la luz solar.

Nos encontramos en el Golfo de México, a casi dos días de navegación de la costa y en aguas de tres kilómetros de profundidad. Recorrer esos tres kilómetros a pie sería como caminar 14 veces de

ida y vuelta la cancha del estadio Azteca. El robot de operación remota ROV Quest está listo para lanzarse a las profundidades desde el buque de investigación alemán *Meteor*.



↑ Placa de asfalto rodeada de organismos característicos de Mictlán.

Fotos cortesía MARUM M114: Natural hydrocarbon seepage

en el mar profundo

El aparato tarda una hora en llegar hasta el fondo del mar. Todo está listo —plan de trabajo, cuaderno de notas, lápiz y cámara—, así que podemos dedicar este rato a dejarnos embelesar por el azul intenso del mar y los destellos dorados del sol del amanecer. De tanto en tanto salen del agua peces voladores, desplegando sus aletas en forma de alas para escapar de sus depredadores.

Sorpresa en el fondo

Desde hace 15 años un grupo de científicos de la UNAM (entre ellos Elva Escobar, una de las autoras), de la Universidad de Bremen y de la Universidad de Florida han investigado la región conocida como Montículos de Campeche, en el sur del Golfo de México. El sitio más estudiado es el montículo Chapopote, el primer volcán de asfalto, que el equipo descubrió en 2003 (véase *¿Cómo ves?* No. 77).

En 2015 un grupo interdisciplinario de investigadores y estudiantes de Alemania, Austria, Estados Unidos y México integramos la expedición oceanográfica M114 Infiltraciones Naturales de Hidrocarburos para explorar el lecho marino de la misma región. La expedición se organizó en dos etapas: la primera fue una exploración indirecta, por medio de ecosondas que reconocen la diferencia de velocidad del sonido durante el trayecto desde la superficie hasta el fondo del mar, y recolección de muestras para analizar químicamente el agua. La segunda etapa consistió en una ronda de



↑ Flujo plegado de asfalto con gusanos de tubo.

↓ “Chimeneas blancas” con hidrocarburos rodeadas por gusanos de tubo, sobre sedimento abisal.



observaciones y recolección de muestras de forma directa, por medio de un robot de operación autónoma (el ROV Quest).

Es la mañana del 11 de marzo del 2015. Todos los miembros de la expedición nos encontramos alrededor de una pantalla en la que se ve el azul oscuro que captan las siete cámaras del robot. El sensor de profundidad anuncia la llegada al fondo a 3 141 metros. Vemos un fondo lodoso de color café claro y nada más. Pero a medida que avanza el ROV Quest descubrimos una superficie de color negro con puntos blancos en movimiento,

¡Son organismos y los hay a montones! La superficie negra es asfalto, o chapopote, un tipo de petróleo de consistencia densa como el que se usa para pavimentar calles, pero éste emana naturalmente del lecho marino.

Los organismos que encontramos son poco comunes, con largas extremidades y formas alargadas, de colores claros (blanco, naranja, rosa, violeta) que resaltan contra la superficie negra. De vez en cuando detenemos el robot para hacer acercamientos y tratar de reconocer organismos y estructuras, tomar fotografías u obtener muestras. Los especialistas en geología tratan de explicar el origen del asfalto mientras los especialistas en química indagan la cantidad de compuestos químicos diluidos en el agua. Los especialistas en biología tratamos de reconocer especies y la forma en que se agrupan o distribuyen en los pliegues y recovecos del asfalto. Todos

observamos con emoción este asombroso descubrimiento: son las primeras imágenes de un nuevo ecosistema.

Mictlán

A veces nos levantamos de la silla para estirar las piernas o preparar café y nos turnamos para comer y seguir observando. Llevamos ya 11 horas de inmersión y ha llegado el momento de que el robot regrese al barco y de preparar todo para procesar las muestras. Pero antes debemos pensar cómo llamar a este descubrimiento. La votación es unánime:

todos los participantes de la expedición estamos de acuerdo en que el lugar parece la entrada al inframundo. Lo llamaremos Mictlán (los especialistas dicen "Mictlan"), nombre que daban los nahuas al lugar de los muertos.

El montículo de asfalto Mictlán alcanza los 250 metros de elevación sobre el fondo marino. Es un poco más alto que el cerro de la Estrella, en la Ciudad de México, que culmina a 225 metros. En el centro tiene una gran cavidad. Parece un volcán, pero no lo es: estos montículos se forman por los movimientos ascendentes de depósitos de sal y petróleo enterrados a unos 10 kilómetros bajo el lecho marino que pugnan por acomodarse según sus densidades, como el agua y el aceite mezclados. La sal así extruida forma montículos y proporciona conductos por los que pueden salir el petróleo y el chapopote, que luego se derraman alrededor del montículo, forman hilos y estructuras ascendentes, o de plano suben flotando hasta la superficie.

No sólo hay asfalto en este ecosistema. En ciertos sitios encontramos un petróleo muy líquido que sale del fondo lodoso en forma de burbujas negras o a través de estructuras blancas (posiblemente un precipitado generado por bacterias) con aspecto de tubos. Esta manera de emanar del petróleo nunca se había visto: ¡otro descubrimiento!

En otros sitios el petróleo tiende a ser más denso y crear estructuras en forma de hebras o látigos que se alargan porque el material flota, pero no lo suficiente para desprenderse del suelo. El denso asfalto



↑ Afloramiento de hidrato de metano en la "colina de los hidratos" rodeado de gusanos de tubo *Escarpia* sp. y otros organismos más pequeños.

↓ Organismos típicos de los carbonatos en la infiltración de metano en Mictlán.



que se derrama cubriendo una superficie de hasta un kilómetro cuadrado genera elaboradas formas que recuerdan las de la lava solidificada: asfalto plegado y asfalto de consistencia dura y rugosa.

Prosigue el recorrido. El asfalto es menos abundante ahora y observamos nuevamente el fondo lodoso de color café con restos de conchas esparcidas. El robot se aproxima a una pendiente que indica el borde del cráter. La luz de la cámara nos muestra un campo blanco. Aparece una colina de más de 10 metros cuadrados, erizada por grandes gusanos tubícolas (en

forma de tubo) entre los que vemos salir burbujas de gas. A este hábitat lo llamamos "colina de los clatratos" por los afloramientos de estas estructuras que encontramos justo en los sitios por donde salen las burbujas.

Los clatratos están hechos de una red de jaulas de moléculas de agua que encierran moléculas de algún gas, principalmente metano, además de butano, etano y propano. Se les conoce también con el nombre de "hidratos de gas" o "hidratos de metano". La particularidad de los clatratos es que el gas que encierran se encuentra comprimido y llega a cantidades sorprendentes: un metro cúbico de clatrato puede contener hasta 164 metros cúbicos de metano y 0.8 de agua. Los clatratos se forman en condiciones particulares, a profundidades y temperaturas muy especiales. Un cambio mínimo de estas variables desestabiliza el material. Las jaulas moleculares se rompen y el gas comprimido se libera violentamente.

Detectamos una cantidad impresionante de gas metano y de ácido sulfúrico que sería tóxica para nosotros. En cambio para los organismos de Mictlán es fuente de alimento. Mictlán es un ecosistema de infiltración fría en un montículo de asfalto. A diferencia de las ventilas hidrotermales (véase *¿Cómo ves?* No. 121), los ecosistemas de infiltración fría son poco conocidos. Ambos tipos de ecosistema se basan en la quimiosíntesis, proceso que llevan a cabo bacterias y arqueobacterias y que consiste en transformar un compuesto inorgánico en alimento. Así, estos microorganismos sustentan un

COMPONENTES DE UN ECOSISTEMA ÚNICO

Petróleo

El reservorio de donde brota el asfalto en Mictlán se encuentra enterrado bajo una capa de sedimento de aproximadamente 150 metros de espesor. Este reservorio se alimentó a su vez de uno aún más profundo, con rocas que van del periodo Jurásico (hace 200 millones de años) al Terciario (hace 65 millones de años). La viscosidad del asfalto puede ser suficiente para permitir su ascenso, pero una vez que surge, rápidamente se inmoviliza, quizá debido a un incremento en la viscosidad por la pérdida de compuestos volátiles, procesos de biodegradación o disolución por agua.

Ácido sulfhídrico

El ácido sulfhídrico se encuentra naturalmente como componente del petróleo, gas natural, gases volcánicos, ventilas hidrotermales y aguas termales. En Mictlán encontramos concentraciones de entre 200 y 400 partes por millón (ppm). Es una de las fuentes de energía a partir de las cuales las bacterias hacen la quimiosíntesis. También promueve la reacción química con el petróleo que da origen a las rocas carbonatadas.

Metano

El metano (CH_4) es el componente principal del llamado gas natural. En Mictlán se pueden registrar concentraciones de hasta 962 000 ppm en los clatratos. Al igual que el ácido sulfhídrico, es fuente de energía para realizar quimiosíntesis, en este caso por arqueobacterias.

oasis de biodiversidad en la inmensidad del fondo marino, adonde no llega la luz solar y por lo tanto no puede haber fotosíntesis. Las ventilas hidrotermales se asocian a sitios geológicamente activos con temperaturas de hasta 400 °C, mientras que las infiltraciones frías se caracterizan por temperaturas típicas de mar profundo (de entre 2 y 4 °C) y se forman en sitios en los que hay reservorios de metano y quizá petróleo en el subsuelo.

Montículo biodiverso

Hay almejas blancas sobre el fondo lodoso en la periferia del asfalto. Sobre el asfalto negro resaltan tapetes de bacterias blancos o naranjas, así como agregaciones

de gusanos de color rojo intenso que forman tubos blancos o grises. Estos organismos no tienen sistema digestivo. En su lugar poseen una cámara interna en la que hay bacterias que hacen la quimiosíntesis a partir de los gases que emanan del fondo del mar y brindan alimento al gusano. A cambio éste les proporciona un hogar.

Vemos agregaciones de mejillones de diversos tamaños (hasta de 20 centímetros de largo). Éstos se establecen también sobre el asfalto, cerca de la salida de burbujas de gas y afloramientos de clatratos, en conjunto con una gran abundancia de organismos de colores claros, como caracoles, pepinos de mar, peces, camarones y langostillas. Las esponjas forman racimos y capas blancas sobre el asfalto. Si se hace un acercamiento se puede apreciar una gran cantidad de organismos pequeños que conviven compartiendo refugio y alimento. Ejemplo de ello son las esponjas y pólipos de corales sobre los gusanos tubícolas, así como poliquetos con escamas, estrellas de mar y crustáceos que se encuentran sobre los tapetes de bacterias, en el asfalto o incluso sobre los hidratos de gas.

Una de las especies de mejillón encontrada en Mictlán presenta una característica nunca antes registrada: tiene en su interior tres tipos de simbioses (organismos que le ayudan a vivir) que realizan la quimiosíntesis: una especie de arqueobacteria que consume metano (metanotrófica), así como dos especies de bacterias, una que utiliza el ácido sulfhídrico y una que utiliza derivados del petróleo. También observamos este tipo de simbiote dentro de dos especies de esponjas.

¿Por qué los distintos tipos de organismos que habitan Mictlán eligen ciertos hábitats? Quienes estudiamos la ecología de este sitio llegamos a la conclusión de que algunas especies se alimentan de los microorganismos que forman los tapetes bacterianos, otras se establecen en lugares propicios para sus simbioses, con altas concentraciones de metano o ácido sulfhídrico, y otras más se encuentran

MÁS INFORMACIÓN



- Escobar Briones, E., *La biodiversidad del mar profundo en México*, CONABIO, México, 2000.
- *Capital natural de México, Vol. 1: Conocimiento actual de la biodiversidad, "Los ecosistemas marinos"*, CONABIO, México, en: www.biodiversidad.gob
- Reserva de la Biosfera, *Zona marina profunda Golfo de California* en: www.conanp.gob.mx/datos_abiertos/DGCD/32.pdf

dispersas por todo el ecosistema, lo cual indicaría que son organismos carroñeros o depredadores.

Laboratorio natural

Cuando volvemos de la expedición nuestros amigos y familiares nos preguntan cuál es la importancia del descubrimiento de Mictlán. Por sus características físicas y químicas así como por su gran actividad biológica, este sitio constituye un laboratorio natural que permite entender los procesos de formación y emisión de gas y aceites en los fondos marinos, y cómo lo aprovechan los organismos que ahí viven. La expedición oceanográfica M114 Infiltraciones Naturales de Hidrocarburos obtuvo una visión general de Mictlán, de sus componentes y características. Conocer mejor el lecho marino permite usarlo, con un equilibrio entre la extracción de recursos energéticos (petróleo y metano) y la conservación de ecosistemas únicos en el planeta.

Queda por explorar gran parte del territorio marino de México. ¿Qué otros nuevos descubrimientos están aguardando? Las nuevas expediciones lo revelarán. 🗨️

En memoria del Dr. Heiko Sahling.

Adriana Gaytán Caballero es candidata a doctor en el posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, y profesora de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Elva Escobar Briones es investigadora y actual directora del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, así como profesora de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.