



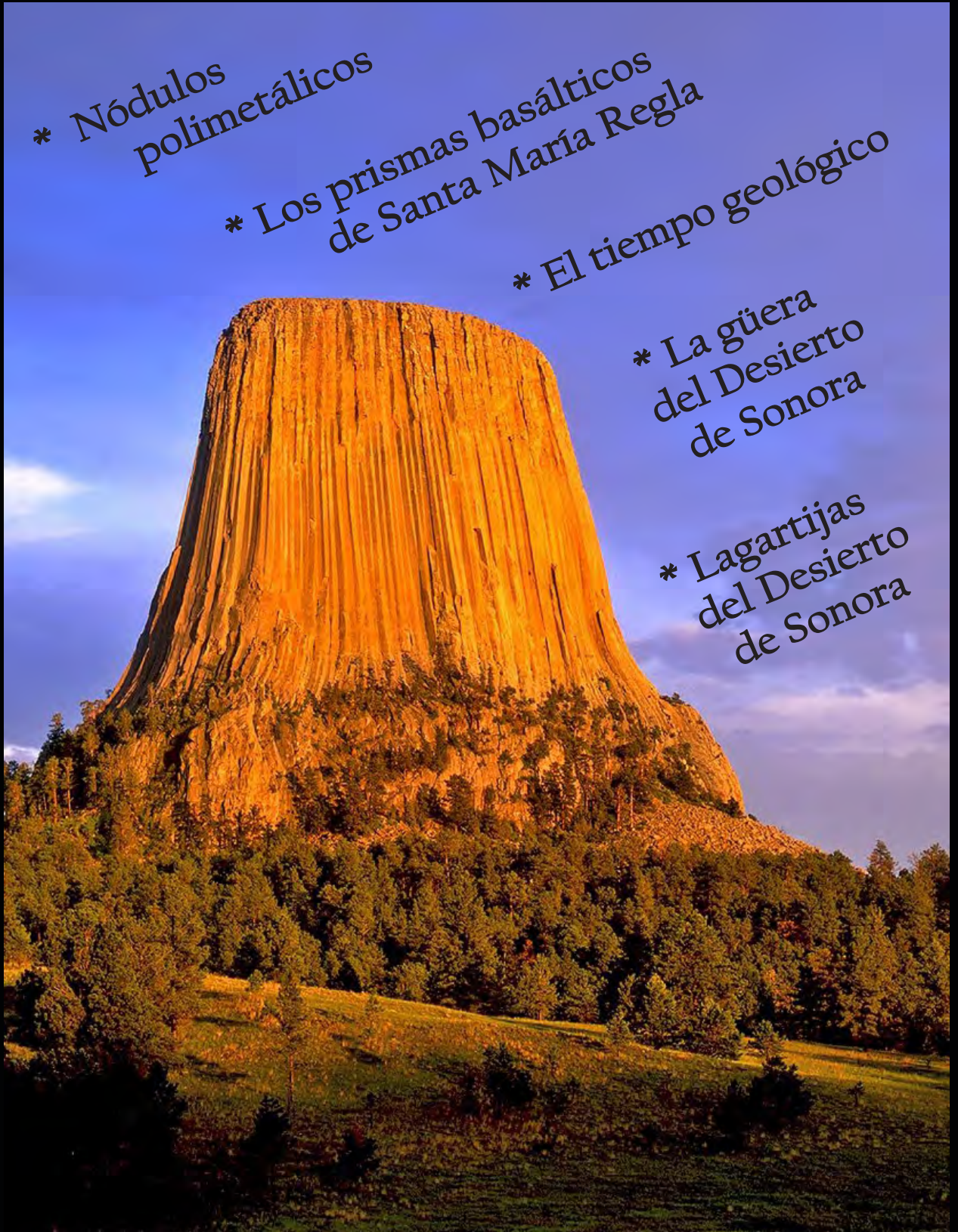
NUESTRA TIERRA



Órgano de difusión de la
Estación Regional del Noroeste, UNAM

Número 24
30 de diciembre de 2015
Hermosillo, Sonora, México

Nuestra Tierra Divulgación de la Ciencia



* Nódulos
polimetálicos

* Los prismas basálticos
de Santa María Regla

* El tiempo geológico

* La güera
del Desierto
de Sonora

* Lagartijas
del Desierto
de Sonora



Editorial

En este número de Nuestra Tierra se presentan artículos diversos que nos brindan un abanico de posibilidades de apreciación de nuestro entorno y de la naturaleza. Por un lado Cabrera y Pacheco abordan la existencia de recursos minerales naturales (nódulos polimetálicos) en el fondo marino; mostrándonos una perspectiva histórica de su legislación, interesante, si consideramos que los recursos de un país deberían ser de todos sus habitantes, y su explotación sustentable. Por otro lado, Omaña et al. nos hablan sobre los prismas basálticos de Santa María Regla mostrándonos el resultado de un fenómeno geológico y físico de formación de rocas, los prismas con su patrón regular, son dignos de una visita para su admiración. En el artículo del tiempo geológico, García y Barragán nos lleva de la mano a entender cómo se mide el tiempo, más allá del periodo de nuestra existencia; cómo hemos llegado actualmente a determinar el tiempo geológico de manera más confiable, lo cual nos permite ubicar cronológicamente cuándo ocurrieron muchos procesos naturales en el planeta y entender así su dinámica.

Dos artículos más nos informan sobre seres con los que cohabitamos el planeta, y, en especial, el desierto. Por un lado Meling et al. nos presentan a una especie de tarántula del desierto, *Aphonopelma chalcodes*, permitiéndonos conocer los mitos y realidades que rodean a estos animales. Por último, el artículo de Lara sobre ecología térmica de lagartijas en el Desierto Sonorense, nos describe cómo estos organismos son capaces de manera activa de conservar y regular las temperaturas que requieren para su funcionamiento, lo que logran a través de lo que se denominan estrategias de termorregulación en especies del desierto.

Contenido

Editorial	2
La zona económica exclusiva mexicana y los nódulos polimetálicos como recursos submarinos estratégicos (M. A. Cabrera Ramírez y P. M. P. Valdovinos).....	3
Los prismas basálticos de Santa María Regla, Hidalgo: un sitio espectacular en México (L. Omaña, B. E. Buitrón Sánchez y A. Ortega-Rivera)	6
El tiempo geológico: cómo se descubrió su dimensión (Juan Carlos García y Barragán).....	7
La güera del Desierto de Sonora: <i>Aphonopelma chalcodes</i> (A. E. Meling López, A. M. Meling Navarro, A. I. Meling Navarro, A. L. Navarro Verdugo).....	14
Ecología térmica de lagartijas en el Desierto Sonorense (R. A. Lara Resendiz)	17

Portada

Ilustración del artículo: "Los prismas basálticos de Santa María Regla, Hidalgo: un sitio espectacular en México". **Figura 5.** La Torre del Diablo, llamada originalmente Mato Tipila en lengua lakota, que significa "apuesto del oso". Fue nombrado monumento nacional y se encuentra en las "Black Hills" en Wyoming, Estados Unidos de Norteamérica. web: Taringa.com.

Directorio

UNAM

Dr. Enrique Graue Wiechers

Rector de la UNAM

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas

Secretario General de la UNAM

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez

Secretario Administrativo de la UNAM

Dr. William Henry Lee Alardín

Coordinador de la Investigación Científica

Dra. Elena Centeno García

Directora del Instituto de Geología

Dr. Francisco Molina Freaner

Jefe de la Estación Regional del Noroeste

NUESTRA TIERRA

Dr. César Jacques Ayala

Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología UNAM

Editor en Jefe

Dra. María Amabel Ortega-Rivera

Estación Regional del Noroeste, I. Geol., UNAM

Dr. Juan Carlos García y Barragán

Estación Regional del Noroeste, I. Geol., UNAM

Dra. Clara L. Tinoco Ojanguen

Instituto de Ecología, ERNO-UNAM

Dra. Ma. Cristina Peñalba Garmendia

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora

Editores Asociados

Dra. María Amabel Ortega-Rivera

Estación Regional del Noroeste, I. Geol. UNAM

Editora Técnica y Diseño

Para recibir la revista gratis por correo electrónico, enviar un email solicitándolo a:

amabel@unam.mx

Enviar sus contribuciones al Dr. César Jacques a:

nuestratierra@geologia.unam.mx

Nuestra Tierra es una publicación de la Estación Regional del Noroeste, del Instituto de Geología de la UNAM, que aparece semestralmente en junio y diciembre de cada año.

Estación Regional del Noroeste

Blvd. L. D. Colosio y Madrid s/n, Campus UniSon

Hermosillo, Sonora, México, 83000

Tel. (662) 217-5019, Fax (662) 217-5340

<http://www.geologia-son.unam.mx/nt.htm>

Facebook [Nuestra Tierra Divulgación de la Ciencia](#)

ISSN 1665-945X

Impresión: 1000 ejemplares

Precio: \$ 30.00

En caso de utilizar algún contenido de esta publicación, por favor citar la fuente de origen. El contenido de los trabajos queda bajo la responsabilidad de los autores.



Geología Marina

La zona económica exclusiva mexicana y los nódulos polimetálicos como recursos submarinos estratégicos

Mayumy Amparo Cabrera Ramírez
y Pedro Martín Pacheco Valdovinos

Departamento de Geología, Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior s/n,
04510, México D.F., México o
mayumycr@unam.mx

Establecimiento del Mar territorial y la Zona Económica Exclusiva

Los recursos submarinos son los materiales que nos proporciona el mar y representan un beneficio directo para la sociedad; explorarlos y consecuentemente explotarlos requiere del establecimiento de una legislación para su óptima administración. Es así como nace el Derecho del Mar cuya evolución histórica se remonta a la Edad Antigua durante el Imperio Romano, en el que cada Estado prolongaba su soberanía sobre el mar de manera ilimitada.

Durante la Edad Media, el concepto que se tenía en relación con la propiedad del océano y sus recursos, era que el mar próximo a las costas de un Estado pertenecía a éste y no es sino hasta el siglo XVI que aparece la tesis del "Mar libre", la cual establecía que el mar pertenecía a todos o a nadie, por tanto, ningún Estado podía apropiarse parcial o totalmente de los mares, ya que estos no pueden ser habitados como las tierras.



Figura 1. Nódulo polimetálico. Alternancia en el color de las láminas (negro-ocre) que representan las intercalaciones de birnessita-asbolán y todorokita que forman el nódulo polimetálico, colectado cerca de Isla Clarión, México, MIMAR VI.

Sin embargo, la búsqueda del hombre por el control de mayores extensiones de espacios terrestres y marítimos a efectos de dominar el comercio y la navega-

ción, lo llevó a establecer límites convenientes para cubrir esta necesidad; es así que la extensión de franja marina cercana al borde costero quedó entregada a la capacidad de control que cada Estado podía ejercer sobre ella. En el siglo XVIII se acuñan los conceptos de "mar territorial" y "alta mar": el primero reconocía que la soberanía de un Estado se extendiera fuera de su territorio hasta una zona de mar adyacente a sus costas cuyo límite exterior estaría controlado por el alcance de una "bala de cañón"; en el resto del mar (alta mar) existía libre navegación, comercio y explotación de recursos. El hecho de que una bala de cañón designara el límite exterior del mar territorial provocó grandes desavenencias entre los Estados, ya que el alcance de la bala dependía de la tecnología y calidad de los cañones. Para el siglo XIX la ausencia de un acuerdo mundial llevó a distintos países a establecer un límite exterior de su mar territorial a su convenir, como es el caso de Inglaterra quien lo fijó en 3 millas, México en 9 millas y Francia en 11 millas, entre otros. En la primera mitad del siglo XX aún no existía un acuerdo internacional en relación a la extensión del mar territorial.



Figura 2. Sección transversal de un nódulo polimetálico. Al centro un núcleo de arcilla, alrededor capas concéntricas de birnessita y asbolán. Colectado durante la campaña MIMAR VI.

Durante la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos proclama una zona de jurisdicción marítima de 200 millas marinas, límite hasta el cual, sus barcos de guerra patrullaban. Al final de la guerra proclama la soberanía sobre su plataforma continental y establece zonas de conservación pesquera en áreas de alta mar contiguas a sus costas mostrando su interés económico sobre los recursos marinos. En consecuencia se cambia la tradicional distinción entre mar territorial y alta mar abriendo el panorama hacia nuevos espacios marítimos, lo que provocó una modificación en el Derecho del Mar.

Por otro lado, varios Estados e instituciones consideraron que los beneficios económicos de la extracción de los recursos submarinos, no deberían ser única-

mente para los países con el capital suficiente para minarlos, ya que el recurso también se encontraba en aguas internacionales, por lo que existía la inquietud mundial sobre la administración de estos recursos. Esta administración se vio aminorada con la creación de la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos, fundada en 1970 por la Asamblea General de las Naciones Unidas para ser el organismo responsable de regular las actividades de exploración y explotación en aguas internacionales. Con esto, se llegó al reconocimiento internacional de un límite para el mar territorial y un nuevo concepto de zonas de jurisdicción marítima denominado Zona Económica Exclusiva. Así, la delimitación de las áreas marítimas necesitó de la creación de un Derecho Internacional del Mar, el cual es un tratado multilateral establecido en la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar en 1982. En este tratado se acuerda que todo Estado tiene derecho a establecer la anchura de su mar territorial hasta un límite que no exceda de 12 millas marinas, medidas a partir de líneas de base determinadas de conformidad con la misma Convención. Además, reconoce la Zona Económica Exclusiva, como un área situada más allá del mar territorial, adyacente a éste, y esta zona no puede extenderse más allá de 200 millas marinas contadas desde las líneas de costa.

Por otro lado, después de la Segunda Guerra Mundial se puso a disposición de la ciencia la tecnología militar de la época, lo cual generó avances significativos en la exploración de los fondos marinos y con ello el descubrimiento de nuevos recursos minerales, entre los que se encuentran los sulfuros polimetálicos, las costras enriquecidas en cobalto y los nódulos polimetálicos.

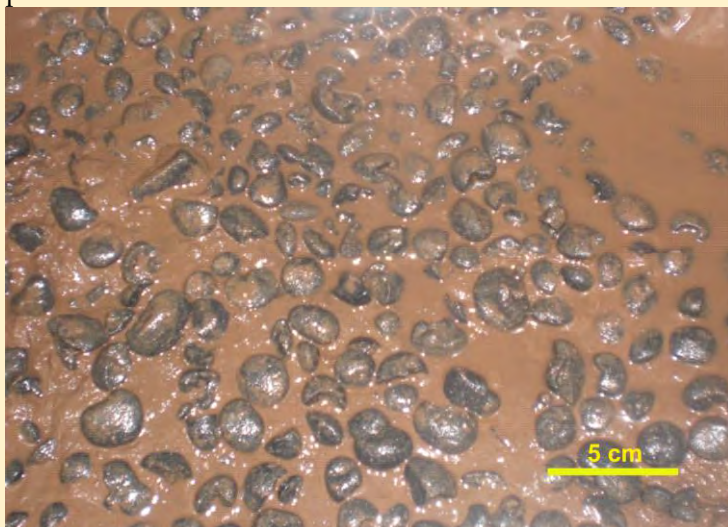


Figura 3. Nódulos polimetálicos semisepultados colectados durante la campaña oceanográfica MIMAR VI.

¿Qué son los nódulos polimetálicos?

Los nódulos polimetálicos, antiguamente llamados nódulos de manganeso, son concreciones formadas por capas concéntricas de hidróxidos de hierro y manganeso alrededor de un núcleo (Figuras 1 y 2), el cual generalmente consiste de restos fósiles de dientes de tiburón, fragmentos de basalto, fragmentos de calizas, pómez, radiolarios o micronódulos. Su formación está asociada con uno o varios procesos entre los que se encuentran: la precipitación directa de los metales disueltos en el agua marina, la incorporación de los metales que se encuentran depositados en el sedimento del fondo marino y la actividad de microorganismos que ayudan en la precipitación de los hidróxidos. El tamaño de los nódulos varía desde partículas microscópicas hasta nódulos mayores a 20 cm, pero en general, su tamaño oscila entre 5 y 10 cm de diámetro. Su textura superficial es lisa, pocas veces rugosa o mixta (rugosa de un lado y lisa del otro). Los nódulos se encuentran en el fondo marino, generalmente semisepultados, aunque en algunas áreas llegan a estar completamente cubiertos por sedimento (Figura 3).

Distribución geográfica e importancia económica

Aunque los nódulos polimetálicos se encuentran distribuidos en todos los océanos del mundo, en años recientes la zona de fractura Clarión Clipperton (ZFCC), ubicada en el océano Pacífico central (Figura 4), ha sido considerada como la más importante a nivel mundial por el potencial económico de los nódulos polimetálicos. Los nódulos están constituidos por los minerales birnessita, todorokita y asbolán, los cuales presentan cantidades menores de metales estratégicos, entre los que se encuentran el cobalto, el níquel y las tierras raras.

Los usos del níquel y el cobalto en la industria moderna están relacionados con las superaleaciones contra la corrosión, mientras que los de las tierras raras se concentran mayoritariamente en la industria automotriz, donde se utilizan en la fabricación de imanes que requieren los vehículos híbridos, además de los nuevos usos en las tecnologías avanzadas de defensa (sistemas de comunicaciones) y ahorro de energía (televisores de led, tabletas, turbinas eólicas, trenes de levitación magnética), que señalan su mayor expansión en los últimos años.

Estudios en México

En la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Pacífico Mexicano (Figura 5), los primeros estudios de estos

recursos son los llevados a cabo durante la campaña oceanográfica MIMAR II en 1986 a bordo del buque oceanográfico "El Puma" (Carranza y Rosales 2003). En 2009 una nueva campaña oceanográfica denominada MIMAR VI (Figura 6), permitió coleccionar nódulos polimetálicos en los alrededores de la isla Clarión y realizarles análisis sedimentológicos, mineralógicos y químicos.

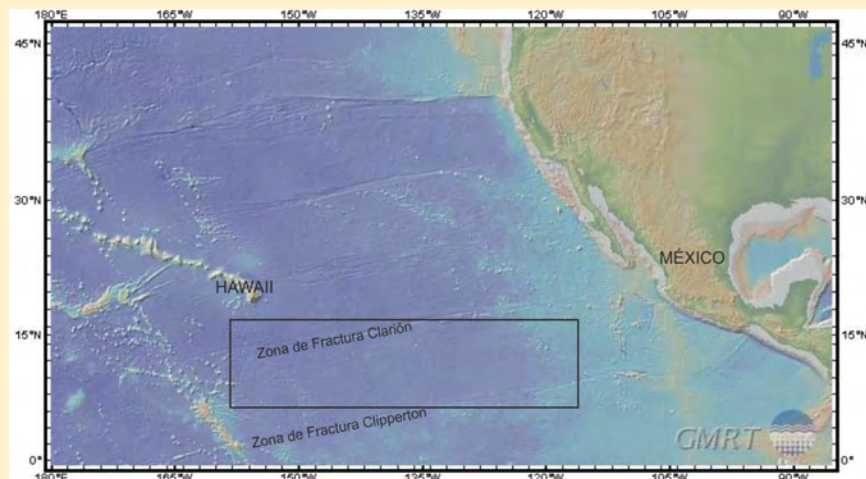


Figura 4. La zona considerada la más rica en nódulos polimetálicos (recuadro) se encuentra entre las zonas de fracturas de Clarión y de Clipperton en el Pacífico Ecuatorial. (Modificado de Ryan et al. 2009).



Figura 5. Mar territorial y zona Económica Exclusiva de México.

Tomado de http://cuentame.inegi.org.mx/hipertexto/zona_economica.htm

Estos análisis químicos arrojaron como resultados valores de cobre (de 0.5% a 1.2%), níquel (0.9 %), cobalto (0.27 %) y tierras raras totales (de 472 a 1355 ppm) (Cabrera et al. 2013). Comparando con los nódulos que presentan un interés económico mundial, cuyas concentraciones de metales son: níquel (1.4 %), cobre (1.3 %), cobalto (0.25 %) y tierras raras (1200 ppm), estos valores permiten concluir que los nódulos

colectados en territorio marítimo mexicano podrían convertirse en un reservorio estratégico, que puede asegurar el suministro de materias primas en los próximos siglos.

Sin embargo, aunque se cuenta con la tecnología de exploración y minado a nivel internacional, primero se deben de tomar en cuenta las repercusiones ambientales que la consecuente explotación de estos recursos pueda tener en el medio marino. Es así que a partir de 2004 se lleva a cabo un programa piloto de minado liderado por la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos, cuyas metas son conocer los cambios que pudiera haber en los ecosistemas relacionados y, en la medida de lo posible, tratar de aminorarlos. Aunado a lo anterior, dicha autoridad organiza talleres anuales en los que México participa, con la finalidad de establecer líneas de base ambientales, que permitirán un desarrollo sustentable en el momento en que se realice la explotación de los recursos submarinos dentro y fuera de nuestro territorio.

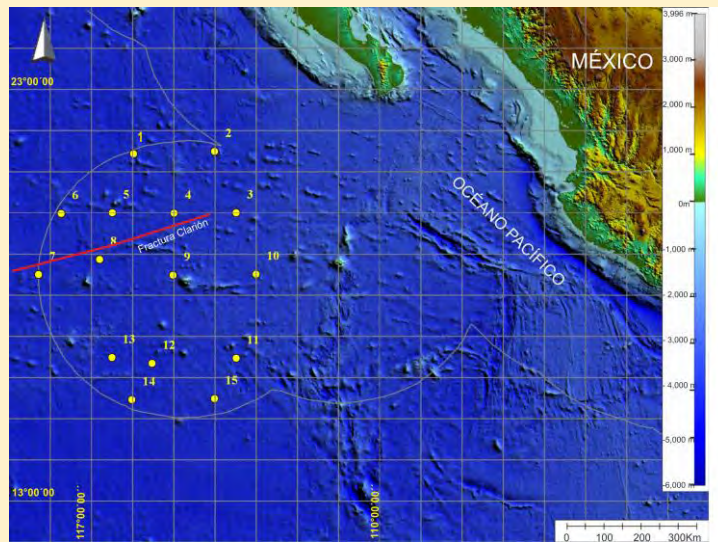


Figura 6. Estaciones de colecta de nódulos polimetálicos durante la campaña oceanográfica MIMAR VI a bordo del buque oceanográfico "EL PUMA".

Referencias

- Cabrera, Ramírez M.A., Carranza Edwards A. and Olivares Cruz M., 2013. Morphology and Texture of Polymetallic Nodules and their Association with Sediments of the Mexican Pacific. *Marine Georesources and Geotechnology* 31:154-175
- Carranza Edwards. A. y Rosales H. L., 2003. Los Nódulos Polimetálicos de la Zona Económica Exclusiva de México. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 1:1-8.
- Ryan, W.B.F., Carbotte, S.M., Coplan, J.O., O'Hara, S., Melkonian, A., Arko, R., Weissel, R.A., Ferrini, V., Goodwillie, A., Nitsche, F., Bonczkowski, J., and Zemsky, R. (2009) *Global Multi-Resolution Topography Synthesis. Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10, Q03014.

Geología

Los prismas basálticos de Santa María Regla, Hidalgo: un sitio espectacular en México

Lourdes Omaña¹, Blanca Estela Buitrón Sánchez¹ y Amabel Ortega-Rivera²

¹Departamento de Paleontología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, D. F., México 04510

²Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, México 83000

lomanya@geologia.unam.mx

Los volcanes, al hacer erupción generalmente arrojan ceniza volcánica y/o mayormente lava; esta última se enfría relativamente rápido al extenderse sobre la superficie terrestre. Sin embargo, la lava puede tomar algo de tiempo en enfriarse completamente y, mientras que la superficie del flujo de lava al contacto con el aire o agua se enfría rápidamente haciendo una costra de roca, por debajo de esta costra la lava tarda más en enfriarse. Al irse enfriando lentamente la lava se contrae, y se rompe o fractura en geometrías características. Esto sucede especialmente en lavas de composición basáltica o los llamados basaltos. Cuando la contracción surge y las fracturas ocurren con centros igualmente espaciados (ver Figura 1), entonces la geometría desarrolla un patrón hexagonal. Por otro lado, si al contraerse la lava las fracturas no están separadas a distancias iguales, entonces se pueden formar otras geometrías de 4 u 8 lados. El patrón de fractura que se forma en la superficie de enfriamiento tenderá a propagarse hacia abajo al irse enfriando la lava, formando fracturas largas. Mientras que la lava se enfría para formar un basalto, esta puede fracturarse y formar columnas o pilares regulares más o menos verticales con forma de prismas poligonales, predominando las formas hexagonales. Estas columnas o prismas pueden formarse en variedad de tamaños, algunas son muy pequeñas y otras son muy grandes. En conclusión, las columnas basálticas (también llamadas columnata basáltica u órganos basálticos) se forman por la fractura progresiva de la roca durante el enfriamiento relativamente lento de lava en algunas coladas o flujos de lava, también en chimeneas volcánicas o en calderas que no llegan a desbordarse o va-

ciarse repentinamente, por lo que su enfriamiento sucede "in situ".

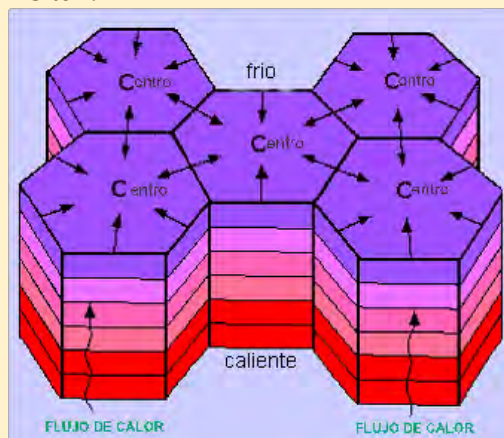


Figura 1. Desarrollo del patrón hexagonal de las columnas de basalto, Tomado de: <http://homepage.usask.ca/~mjr347/prog/geoe118/geoe118.054.html>

Estas grietas o fracturas que se forman son un caso especial de diaclasa o fractura de la roca denominada disyunción columnar. Además de basaltos, esta disyunción columnar se puede formar, aunque es menos frecuente, en rocas volcánicas de diferente composición química como andesitas, dacitas y riolitas. Debido a que el 64.7% de las rocas que forman la corteza terrestre son ígneas, y de este porcentaje el basalto y el gabro (su equivalente intrusivo) representan el 42.5%, es de esperarse que la mayor parte de los prismas o columnas sean de composición basáltica.



Figura 2. Prismas basálticos de Santa María Regla, por Alexander von Humboldt, quien quedó impresionado por las rocas y las dibujó en 1803, para darlas a conocer al mundo publicado en el libro *Vue des Cordillères et monuments des peuples indigènes de l'Amérique* ("Vista de la Cordillera y monumentos de los pueblos indígenas de América"). Wikipedia.

Se sabe que el agua puede jugar un papel importante en la formación de columnas en los flujos de lava al ayudar a que se empiecen a enfriar rápidamente las lavas (Sánchez Rojas y Osorio Pérez, 2008).

Ejemplos clásicos de este tipo de formaciones geométricas en basaltos son los que se encuentran en Huasca de Ocampo, al sureste de Hidalgo, donde se pueden observar los maravillosos prismas basálticos localizados en la cercanía de la ex hacienda de Santa María Regla. Estas formaciones fueron dadas a conocer en todo el mundo por el naturalista alemán Alexander von Humboldt, quien las dibujó a lápiz en 1803. Estos bosquejos se exhiben actualmente en el Museo Británico de la ciudad de Londres (Figura 2).

Las dimensiones de los prismas de Santa María Regla y San Miguel Regla, varían en diámetro desde unos centímetros hasta 1.5 m; generalmente son verticales, aunque los hay curvados, horizontales y con alturas hasta de 30 m (Figura 3 y 4 respectivamente). Cada fractura se desarrolla por un proceso de tensión individual y, en general, presenta de 30 a 60 cm de largo. La edad del derrame que generó la formación de los prismas es 2.58 ± 0.15 millones de años, que corresponde al inicio del Pleistoceno temprano (Sánchez Rojas y Osorio Pérez, 2008).

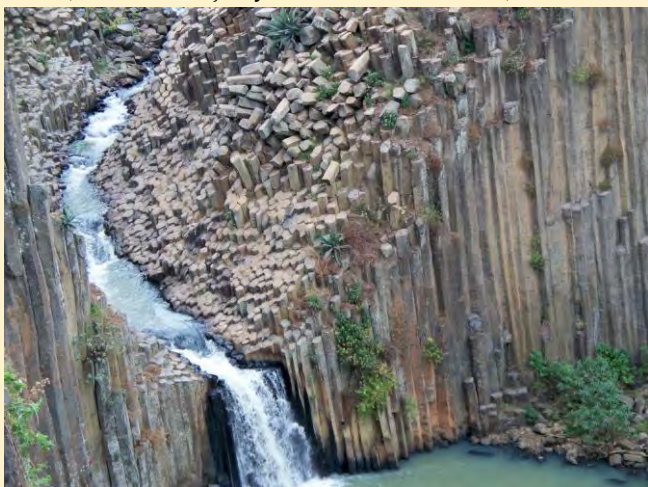


Figura 3. Los prismas basálticos de Santa María Regla (México) se localizan dentro del centro vacacional de Santa María Regla, Municipio de Huasca de Ocampo, Hidalgo. Fotografía de Wikimedia Commons.

En México existen otras localidades donde podemos encontrar este tipo de formaciones. Por ejemplo, entre los poblados de Jamay y Ocotlán, en el talud sur de los cerros que ven hacia Chapala (Jalisco) y en el Salto de San Antón, Cuernavaca, Morelos. Se ha documentado la formación de prismas basálticos en otras muchas regiones de México y el mundo. Por ejemplo, hay prismas en Estados Unidos de Norteamérica (Figura 5, ver portada). También se han reportado en Escocia, Islandia, Irlanda del Norte y Hong Kong (Figuras 6,

7, 8 y 9 respectivamente, ver contraportada), y en muchas otras regiones sobre la Tierra.



Figura 4. Los prismas basálticos de San Miguel Regla, Municipio de Huasca de Ocampo, México. Fotografía de Wikimedia Commons.

Las autoras dedican este trabajo a la Dra. Gloria Alencaster Ybarra, fundadora del Departamento de Paleontología del Instituto de Geología, UNAM, por su interés por saber y conocer sobre los prismas basálticos de Santa María Regla.

Referencias

Sánchez Rojas, E., Osorio Pérez, M., 2008. Geología y Petrogénesis de los prismas basálticos de Santa María Regla, Hidalgo: Geociencia, Revista del Servicio Geológico Mexicano 3, 5-24.



Geocronología

El Tiempo Geológico: cómo se descubrió su dimensión

Juan Carlos García y Barragán

Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, UNAM
 Blvd. L. D. Colosio y Madrid s/n, Campus UniSon
 Hermosillo, Sonora, México, 83000
jcarlosg@unam.mx

Cuando uno pregunta por el tiempo, refiriéndose a los años, la mayor parte de la gente tiene un concepto muy limitado de su extensión, pues siempre lo relacionan con la edad de una persona, o bien, con hechos históricos. Es muy común que se piense en decenas, centenas o miles de años, pero más allá de esas cantidades, parecería que el tiempo es una dimensión desconocida o bien, que solo unas cuantas personas pueden relacionarlo con el infinito.

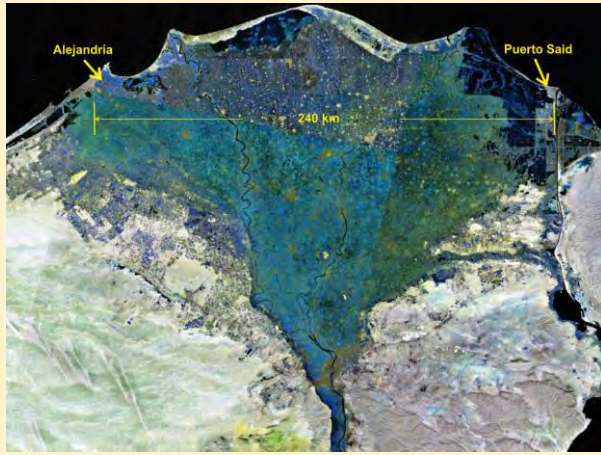


Figura 1. Desembocadura y delta del río Nilo, Egipto. La anchura de este delta, desde Alejandría en el oeste, hasta Puerto Said en el este, es de aproximadamente 240 km. En dirección norte-sur, alcanza 160 km. Se ha estimado que antes de que se construyera la presa de Asuán, había partes de este delta que recibían más de 90 metros de espesor de sedimentos por año. La parte superior o suelo más fértil, en este delta, tiene espesores de 21 metros. La parte superior de la imagen es el norte geográfico (Imagen tomada de Wikipedia).

Si uno es más concreto y pregunta por la edad de una roca, un afloramiento, un cerro, o aún, la edad de la Tierra, las respuestas serán tan disímboles como sorprendentes. Solo en tiempos recientes, valga la paradoja, la ciencia ha avanzado lo suficiente como para conocer con precisión bastante aceptable, la edad del material geológico, sea un mineral, un fósil, una roca o hasta una montaña. Uno de los primeros intentos por encontrar la edad de la Tierra se apoyó en una interpretación cronológica de la Biblia, la cual resultó bastante peculiar: en 1658, el arzobispo primado de Irlanda, James Ussher, fijó el año de creación de la Tierra como 4004 años antes de Cristo (a. C.). No fue sino hasta fines del siglo XVIII e inicios del XIX, que esta interpretación fue desechada por ilógica por los naturalistas y/o científicos de esa época.

Es importante indicar que la unidad de tiempo reconocida universalmente es el año. De tal manera que es práctica muy común abreviar año como "a". Por extensión y utilizando el Sistema Internacional de Unidades, en geología se usan las siguientes unidades: ka (kiloaños) = miles de años; Ma (mega-años) = millones de años y Ga (giga-años) = miles de millones de años. Sin embargo, cuando los geólogos se refieren únicamente a cantidades de años, sin ningún significado de edad, entonces millones de años se abrevia solo como m. a.

Un eón es una de las grandes divisiones del tiempo geológico. El eón Fanerozoico comprende desde 541 Ma hasta el presente. El super-eón Precámbrico abarca desde 4,600 Ma hasta 541 Ma, e incluye a los eones Hadeano, Arqueozoico y Proterozoico.

Ahora examinemos los primeros intentos serios por conocer la dimensión verdadera del tiempo geológico: en Egipto, ya desde el siglo V a. C., Herodoto observó el delta del río Nilo y razonó que deberían de haber pasado miles de años para que se pudiera acumular un volumen enorme de sedimentos hasta formar ese gran delta (Figura 1). Observaciones en diferentes partes del mundo, para determinar el espesor de sedimentos depositados, solamente durante el eón llamado Fanerozoico, estimaron una cifra aproximada de 137,160 metros. A un ritmo de depósito aproximado de 30.48 cm cada mil años, el espesor de sedimentos antes mencionado, representaría una edad de 450 Ma, que corresponde a la época del Ordovícico Tardío (incluida en la era Paleozoica, ver Figura 2). Es obvio que la tasa de sedimentación no es un método confiable para medir el transcurso del tiempo geológico, puesto que intervienen muchísimos más factores en la naturaleza que afectan la dinámica de estos procesos.

Principios básicos de geología y relación entre rocas y tiempo geológico.

No fue sino hasta el siglo XVII que se llevaron a cabo investigaciones detalladas acerca de la relación entre rocas y los fósiles incluidos en las mismas. Niels Stensen (o Nicolás Steno, por su nombre latinizado) publicó en 1669 un estudio sobre la región montañosa en los alrededores de Toscana, Italia, y propuso algunos principios básicos de geología. Una de sus observaciones más importantes fue que los estratos sedimentarios se depositan de forma horizontal, capa sobre capa, de modo que las más antiguas son las que se encuentran en la base de una secuencia, y las más jóvenes son las que se encuentran en la cima de la misma.

Una de las primeras escalas del tiempo geológico fue propuesta por Johann Lehmann en 1756, quien reconoció tres edades de rocas:

Primitivas, que serían todas las rocas cristalinas como el granito,

Secundarias, como las rocas sedimentarias que incluían fósiles y

Aluviales, que serían los suelos y las gravas.

Poco tiempo después, en 1760, Giovanni Arduino, un geólogo-minero italiano, propuso cuatro divisiones:

Primitivas, rocas que forman los núcleos de las montañas,

Secundarias, rocas sedimentarias que se depositan en la superficie de la Tierra formando estratos,

Terciarias, sedimentos sin consolidar y

Volcánicas, las rocas que se formaron de las lavas expulsadas a través de los volcanes.

Aquí es oportuno mencionar la contribución de la paleontología, que es el estudio de los fósiles, para el “dimensionamiento” del tiempo en una primera aproximación.

En Escocia, a finales del siglo XVIII, el granjero, químico y médico James Hutton, observó con atención un afloramiento de rocas sedimentarias en el sitio llamado Siccar Point, Berwickshire, cerca de Edimburgo.

El hecho que atrajo su atención es que un conjunto de areniscas en posición casi vertical, del Silúrico Tardío, con una edad de 425 Ma, estaban cubiertas por rocas del Misisípico Medio (346 Ma) con una inclinación casi horizontal (Figura 3). Es necesario mencionar que Hutton, obviamente, no conocía con precisión la edad de estas rocas; lo que él sí sabía es que el Silúrico es más antiguo que el Misisípico, por lo que él se preguntó cómo era posible que las rocas más antiguas, que se habían depositado en forma horizontal, pudieran haber cambiado su posición a casi vertical, y luego ser cubiertas por otras rocas sedimentarias horizontales. El límite entre las capas era una superficie de erosión. ¿Qué fue lo que pasó en el lapso de 80 millones de años?

Esta y otras preguntas quedarían por resolverse hasta el siglo XX, con el advenimiento de la teoría de la Tectónica de Placas y el descubrimiento de la radiactividad como un medio para medir el tiempo geológico; sobre este último tema platicaremos un poco más adelante.

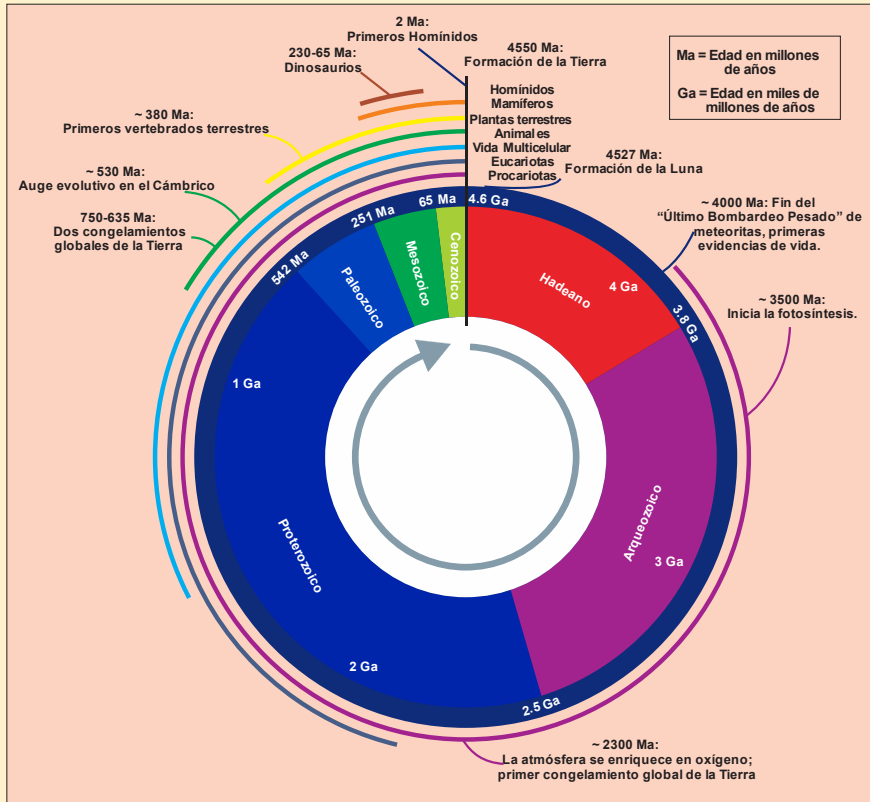


Figura 2. Representación circular del tiempo geológico. Como lo indica la flecha gris en el interior del círculo, el tiempo corre en el sentido de las manecillas del reloj. En este esquema se hace énfasis en las proporciones del tiempo geológico. Por ejemplo: la edad de la Tierra es de aproximadamente, 4600 millones de años, mientras que la aparición de los primeros homínidos tiene apenas 2 millones de años. También se indica la duración de algunos organismos: los dinosaurios solo vivieron 165 millones de años, mientras que los procariontes prácticamente han vivido desde hace 4000 millones de años (Imagen tomada de Wikipedia).

La relevancia de los fósiles y la posición de los estratos

En 1777, el clérigo Giraud de Soulavie propuso una división en cinco partes de las rocas de la provincia del Vivarais, en el sur de Francia, y notó que el tipo de rocas se repetía en la sucesión sedimentaria, aunque eso no ocurría con los tipos de fósiles: había un cambio en el tipo de fósiles conforme se subía en la secuencia. Él tuvo la habilidad de proponer que nuevas formas reemplazaban a antiguas formas de vida. Soulavie sugirió que los fósiles y no la litología podrían ser la clave para determinar la edad relativa de las rocas.

Edades basadas en salinidad y tasas de enfriamiento

Otro intento por medir el tiempo geológico provino de medir la cantidad de sal en los océanos comparada con la cantidad de sal que los ríos aportaban cada año. Aquí se consideró que el cuerpo original de agua de los océanos era agua dulce. Inicialmente se calculó que la sal del mar sería de 16 cuatrillones de toneladas, esto es, 16×10^{12} t, y que cada año se agregaban 160 millones de toneladas de sal por medio de los ríos, derivadas de la erosión de suelos y rocas. Siguiendo esta línea de razonamiento, la edad de la Tierra sería de apenas 100 Ma, que corresponde al límite entre el Cretácico Temprano y el Cretácico Tardío. Este cálculo fue fallido porque en ese tiempo se ignoró la enorme cantidad de sal que se encuentra en las secuencias sedimentarias en muchas partes del mundo.



Figura 3. Imagen del sitio conocido como Siccar Point, condado de Berwickshire, al sureste de Edimburgo, Escocia. Estratos ligeramente inclinados de la arenisca conocida como "Old Red Sandstone" de 345 Ma (Misisípico o Carbonífero temprano) cubren en discordancia angular a otra arenisca de 425 Ma (Silúrico). La importancia de esta estructura reside en el hecho de que esta última formación de arenisca debió depositarse en forma horizontal. Un evento tectónico la deformó hasta situarla en posición vertical. Después de un periodo equivalente a 80 millones de años, durante el cual ocurrió intensa erosión y depósito horizontal de sedimentos, éstos cubrieron discordantemente a la primera formación (Imagen tomada de Wikipedia).

A fines del siglo XIX, en Inglaterra, el afamado físico William Thomson, conocido como Lord Kelvin, fijó la edad de la Tierra en 70 Ma, apoyándose en el concepto de tasa de enfriamiento. Lord Kelvin supuso que la Tierra originalmente fue "arrancada" del Sol como una esfera en estado de fusión. De esta forma, la temperatura original de la Tierra debería de haber sido la temperatura de fusión de cualquier roca ígnea promedio, la cual es de alrededor de 1150 °C. El enfriamiento gradual de la Tierra, supuso él, se debió al fenómeno de conducción de calor, sin haber tomado en cuenta el fenómeno de convección. Sin embargo, el error esencial partió del hecho que en esa época todavía no se conocía la radiactividad, la cual es una fuente de calor importantísima en el interior de la Tierra. Aunque al final de su vida, Lord Kelvin sí supo de la radiactividad y su efecto térmico, él no hizo ningún cambio en su cálculo inicial de la edad de la Tierra, y como era una figura muy influyente en el medio científico, tuvo que pasar tiempo después de su muerte, para revisar y modificar este cálculo

La radiactividad como método de medición del tiempo geológico

La metodología moderna para conocer la edad de rocas y minerales proviene del descubrimiento de la radiactividad. En 1896, Henri Becquerel demolió las teorías de Lord Kelvin con este maravilloso descubrimiento, dando así la razón a los geólogos y biólogos de esa época, en referencia a una dimensión mucho más grande del tiempo geológico.

Fue así como se supo que el decaimiento natural de los elementos radiactivos en la corteza terrestre era el principal responsable de su calor y no un calor residual dejado por el estado original de fusión de la misma. Los cálculos que probaban que el calor generado por los elementos radiactivos en la corteza de la Tierra eran más que suficientes para aportar el flujo de calor, fueron hechos por el físico Robert John Strutt.

Sin embargo, la consecuencia más importante del descubrimiento de la radiactividad fue la generación de un método confiable para determinar edades absolutas de las rocas o minerales que contenían sustancias radiactivas. Se encontró que durante el proceso de decaimiento radiactivo, los elementos eran transformados en otros, hasta que finalmente se alcanzaba un estado estable. En algunos casos, un elemento cambiaba directamente de radiactivo a un elemento estable; en otros, la transformación se hacía por medio de etapas más prolongadas. En la primera década del siglo XX, un químico norteamericano, Bertram Borden Boltwood, encontró que el uranio, un elemento radiactivo, eventualmente decaía a plomo estable, y que la proporción de plomo/uranio era consistentemente más grande cuánto más antigua era la roca. La tasa o proporción de decaimiento parecía ser constante: la mitad de la cantidad original de uranio decaía en una cierta cantidad de tiempo; la mitad de la cantidad restante decaería después de otra cantidad igual de tiempo, y así sucesivamente. Ningún proceso físico o químico altera esta tasa de decaimiento, la cual es, matemáticamente, exponencial. Midiendo

La radiactividad es el decaimiento o desprendimiento espontáneo de partículas subatómicas de ciertos elementos químicos inestables llamados isótopos radiactivos, los cuales producen grandes cantidades de energía debido a la transformación de una pequeña cantidad de masa.

las cantidades de plomo y uranio y conociendo el período de desintegración de la mitad de los átomos de los elementos radiactivos en transformación, Boltwood razonó que se podía calcular la cantidad de tiempo que había pasado desde que por primera vez el uranio había quedado atrapado en los cristales o minerales de una roca.

Utilizando este método con el uranio y la serie de decaimiento a plomo, y una estimación burda de las

TABLA DEL TIEMPO GEOLÓGICO					
EÓN	ERA	PERÍODO	millones de años	Hechos geológicos o biológicos más relevantes	
FANEROZOICO	CENOZOICO	CUATERNARIO	2.58	La Revolución Industrial aumenta el bióxido de carbono. Aparecen las primeras civilizaciones; inicia la agricultura. Inicia y finaliza la edad del hielo. Surge el <i>Homo habilis</i> . Aparecen los megamamíferos como el mamut.	
		NEÓGENO		Aparecen los mamíferos y aves modernos. El crecimiento de bosques extensos reducen considerablemente el bióxido de carbono.	
		PALEÓGENO	23	Evolución importante y dispersión de plantas modernas con flores. Aparecen los primeros pastos y se forma la cubierta de hielo de la Antártida. Empieza la formación de los Alpes. La India choca contra el continente asiático, iniciando la formación de la cadena montañosa de los Himalaya.	
	MESOZOICO	CRETÁCICO	65	Al final de este período ocurre una gran extinción, incluidos los dinosaurios. Aparecen las primeras plantas con flores y existen nuevos y abundantes insectos. La evolución de los dinosaurios culmina con una gran diversificación.	
		JURÁSICO	145	Abundan las gimnospermas y los helechos. Aparecen las primeras aves y los lagartos. Se rompe Pangea.	
		TRIÁSICO	201	Aparecen los corales modernos. Se forma la cordillera de los Andes.	
		PÉRMICO	252	Se forma Pangea; 95 % de la vida se extingue. Se forman los Montes Urales en Rusia.	
		CARBONÍFERO	298	Proliferación de insectos con alas. Primeros reptiles y bosques que forman carbón. Aparecen los primeros árboles, los vertebrados terrestres y tiburones.	
	PALEOZOICO	DEVÓNICO	358	Primeras plantas con semillas e insectos sin alas.	
		SILÚRICO	419	Primeras plantas vasculares; primeros peces con mandíbulas. Abundantes corales rugosos y tabulares.	
		ORDOVÍCICO	443	Las primeras plantas verdes y hongos aparecen en los continentes. Diversificación importante de vertebrados.	
		CÁMBRICO	485	Aparecen los primeros cordados; foraminíferos, hongos y algas continúan hasta el presente. Importante diversificación de formas de vida.	
	PRECÁMBRICO			541	Primeras formas de vida ~ 4000 Ma; roca más antigua: 4030 Ma; mineral más antiguo 4404 Ma
				4600	

Compilación hecha por Juan Carlos García y Barragán

Figura 4. Tabla del Tiempo Geológico. Los nombres y límites en años entre los períodos han sido tomados de la Carta Cronostratigráfica Internacional de abril de 2015.

vidas medias involucradas en la serie de decaimiento en los diferentes pasos, Boltwood llegó a conclusiones sorprendentes acerca de las edades para los diferentes períodos de la era Paleozoica, que resultaron ser de varios cientos de millones de años, así como de más de 1500 m. a. para algunas rocas del Precámbrico. Después de todo, los evolucionistas tenían la razón. El refinamiento del uso del decaimiento radiactivo para fechar rocas o minerales, el proceso llamado fechamiento radiométrico, ha resultado ser el método más confiable para conocer la edad de rocas, minerales, fósiles o artefactos antiguos. De esta forma, se ha podido establecer una tabla del tiempo geológico bastante exacta aunque todavía no se conocen con precisión los límites entre diversas edades, sobre todo del Precámbrico (Figura 4).

A continuación proporcionamos una breve historia acerca de los primeros intentos por construir una tabla

del tiempo geológico y cómo o por qué se atribuyeron los nombres de los eones y de los períodos de las eras Paleozoica y Mesozoica.

SUPEREÓN PRECÁMBRICO

El término Precámbrico es reconocido por la Comisión Internacional de Estratigrafía como un término general que incluye los eones **Hadeano**, **Arqueozoico** y **Proterozoico**. De aquí que algunos geólogos le den la categoría de supereón.

El Precámbrico se llama así porque precede al período Cámbrico, el cual es el primero del eón Fanerozoico. Abarca el mayor tiempo geológico de la Tierra, pues va desde los 4600 Ma hasta 541 Ma, es decir que abarca 4059 m. a., o bien el 88 % del tiempo geológico. Solo hasta la década de 1960 se empezó a conocer un poco más del Precámbrico. El registro de fósiles en este eón es pobre en comparación con el eón Fanerozoico. La mayor parte de las rocas del Precámbrico han experimentado intenso metamorfismo, ocultando sus orígenes, o bien han sido destruidas por erosión o sepultadas por rocas del Fanerozoico.

No se sabe cuándo se originó la vida en la Tierra, aunque se ha encontrado carbón de 3.8 Ga en rocas en algunas islas al oeste de Groenlandia, que se cree es de origen orgánico. Sin embargo, la evidencia más certera de vida se encontró en el oeste de Australia, donde se documentaron bacterias bien conservadas de 3.46 Ga de edad. La primera evidencia de vida compleja es un conjunto diverso de organismos de cuerpo suave cuya edad varía entre 542 y 600 Ma. A este conjunto se le conoce como Fauna Ediacara, que también es el nombre del período más joven del Proterozoico (el último eón del supereón Precámbrico), y que se debe al sitio del mismo nombre en Australia. Justamente al término de este período es cuando aparecen organismos con conchas duras y de diversificación mayor, lo que marcó el inicio del período Cámbrico.

EÓN FANEROZOICO

El origen etimológico de Fanerozoico proviene del griego *faneros*, visible, y *zoos*, vida, que significa vida visible. Este eón incluye las eras Paleozoica, Mesozoica y Cenozoica, que a su vez abarcan 12 períodos, del más antiguo al más joven: Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero, Pérmico, Triásico, Jurásico, Cretácico, Paleógeno, Neógeno y Cuaternario. La escala moderna del Tiempo Geológico

(Figura 4) se empezó a desarrollar durante el siglo XIX. Siguiendo las ideas de William Smith, los periodos geológicos se establecieron sobre la base de edades relativas y el contenido de fósiles en las secuencias de rocas sedimentarias.

Era Paleozoica

La era Paleozoica (del griego: vida antigua) se dividió en periodos establecidos por los trabajos de varios geólogos británicos. En 1831 Adam Sedgwick hizo un estudio detallado de las rocas deformadas sedimentarias y volcánicas del norte de Gales. Él propuso el nombre de periodo *Cámbrico* para estas rocas, aplicando el nombre romano de Cambria para Gales. Casi al mismo tiempo, Roderick Murchison publicó una descripción de una secuencia sedimentaria en el sur de Gales, la cual nombró periodo *Silúrico*, de acuerdo al nombre de la antigua tribu galesa de los silures. Sin embargo, estos dos periodos se traslapaban, creando un conflicto con el nombre y edad de las rocas descritas por estos autores. El conflicto no fue resuelto hasta que en 1879 Charles Lapworth reconoció que una secuencia intermedia separaba a los dos periodos mencionados. De esta forma, él propuso el periodo *Ordovícico*, en honor al nombre de otra tribu galesa antigua, la de los ordovices.

El periodo *Carbonífero* fue nombrado en 1822 por los geólogos británicos William Coneybeare y William Phillips. Se eligió este nombre porque grandes cantidades de carbón ocurrían en muchas secuencias de esta edad. Los geólogos norteamericanos sintieron que era necesario subdividir este periodo en las épocas *Misisípica* y *Pensilvánica*. El primer periodo fue definido por Alexander Winchell en 1870 y corresponde con la etapa temprana del Carbonífero. Este nombre fue tomado por el río Mississippi, ya que a lo largo de sus riberas, afloran rocas de esa edad. Las rocas del Pensilvánico afloran extensamente en el estado de Pennsylvania, las cuales fueron cartografiadas y nombradas por Henry Shaler Williams en 1891.

La Estratigrafía es la rama de la Geología que estudia los sedimentos y rocas que se formaron en la superficie de la Tierra en forma de capas. A su vez, la Cronoestratigrafía define el orden en que dichas capas se formaron según su edad, definida ésta por métodos físicos muy exactos, como es la medición del decaimiento radiactivo o fechamiento radiométrico. Los sitios donde se han asignado edades precisas se llaman localidades-tipo.

William Lonsdale estudió los fósiles de una secuencia marina de gran espesor que Adam Sedgwick y Roderick Murchison estudiaron juntos en el condado de Devon, en el sur de Inglaterra. A primera vista, la secuencia era del Cámbrico o bien del Ordovícico. Sin embargo, los fósiles indicaban que se trataba de un periodo diferente a aquellos, por lo que se le nombró como *Devónico*, en referencia al condado donde se encontró.

A Roderick Murchison también se le acredita haber nombrado al periodo *Pérmico*, pues fue invitado por el zar de Rusia para que estudiara la geología de la región de Perm. Él encontró, al oeste de los montes Urales, fósiles que aparentemente eran más jóvenes que los del periodo Carbonífero, aunque más antiguos que los de un periodo llamado Triásico.

Era Mesozoica

Las tres subdivisiones de la era Mesozoica (que en griego significa vida intermedia) fueron nombradas de acuerdo a unidades de roca que afloran en diferentes partes de Europa occidental. La región tipo del periodo *Triásico* se encuentra en el centro de Alemania, donde la unidad consiste de dos secuencias de rocas continentales, lacustres y fluviales, separadas por una secuencia marina. El nombre Triásico se refiere a la triple división que le atribuyó Friederich August Von Alberti en 1834.

El periodo *Jurásico* fue nombrado por las montañas del Jura en la frontera entre Francia y Suiza. Las rocas de esta región fueron estudiadas por el geólogo alemán Alexander von Humboldt en 1799, y son famosas por su rico contenido de fósiles.

El periodo *Cretácico* incluye los afloramientos de caliza pura en los acantilados de Dover, Inglaterra, y en otras partes de las cuencas de Londres y París. El nombre deriva del latín creta, que significa caliza. Estas rocas fueron estudiadas por el geólogo belga Jean d'Omalius d'Halloy, quien las nombró en 1822.

Era Cenozoica

Los nombres de los periodos del Cenozoico (que en latín significa vida reciente), inicialmente el Terciario y el Cuaternario, reflejan la terminología original de Johann Gottlob Lehmann y Giovanni Arduino. Sin em-

bargo, la escala moderna del tiempo geológico ya no admite el término Terciario, y lo ha sustituido por *Paleógeno* y *Neógeno*, conservando hasta ahora el término Cuaternario. No obstante, ya existen propuestas bien fundadas para cambiar la asignación de este último período e incluirlo en el Neógeno, aunque todavía no hay un consenso generalizado para oficializar su cambio.

Tabla 1 Eventos naturales en la Tierra y duración de los mismos

	<i>Evento</i>	<i>Duración</i>
	Formación de nubes	Minutos
Atmósfera	Tornado	Horas
	Huracán	Días
	Duración de las edades de hielo	Miles de años
	Inundación instantánea en un arroyo en el desierto	De minutos a horas
Hidrosfera	Inundación en un sistema fluvial importante	Días a meses
	Circulación de aguas profundas en el océano	Años
	Tiempo de vida del pasto	Meses
Biósfera	Tiempo de vida de un árbol de secuoya	Cientos a miles de años
	Crecimiento de un bosque	Cientos a miles de años
	Deslizamiento de suelos	Minutos
Geósfera	Erupción	Horas
	Elevación de un sistema montañoso	Decenas de millones de años

Fenómenos naturales y su duración

El concepto de tiempo geológico no está únicamente relacionado con una escala temporal de millones de años. Así como hay procesos que se dan muy lentamente, cuyos efectos son patentes solo después de millones de años, otros fenómenos naturales geológicos se dan en fracciones cortas de tiempo. Los sismos y explosiones volcánicas, y en general los riesgos y peligros geológicos que estudia la geología ambiental, son un claro ejemplo de ello. De igual manera, otros procesos que tienen lugar en la superficie de la Tierra, tanto biológicos como hidrológicos y atmosféricos, se desarrollan a distintas escalas de tiempo (Tabla 1).

Escala moderna del Tiempo Geológico

La Comisión Internacional de Estratigrafía ha establecido oficialmente la Carta Cronoestratigráfica Internacional por medio de fechamientos radiométricos alrededor del mundo. Igualmente, ha establecido las localidades-tipo donde se pueden situar con toda precisión, los límites entre edades que se utilizan y

que tienen validez a nivel global. Esta labor se ha venido desarrollando a lo largo de más de seis décadas debido a la urgente necesidad de uniformizar tanto la terminología como la definición de las eras, períodos, épocas y edades, las cuales son subdivisiones del tiempo geológico. A medida que se van descubriendo nuevas localidades-tipo o se definen radiométricamente los límites entre edades, la mencionada comisión publica las actualizaciones de la Carta Cronoestratigráfica. La más reciente de éstas fue publicada en abril de 2015 y se puede consultar en el sitio: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2015-01.pdf>.

Las localidades alrededor del mundo donde se han efectuado mediciones radiométricas precisas de rocas y han resultado uniformemente constantes, se han denominado "Puntos y Secciones Estratotipos de Límites Globales" (GSSP, por sus siglas en inglés). Coloquialmente se les conoce como "clavos dorados". Estos límites numéricos precisos entre las diferentes edades se aplican de manera universal y no son susceptibles de cambios en el futuro. Sin embargo, no todos los límites entre edades han sido definidos; aún quedan muchos de ellos por medirse radiométricamente. Los casos más difíciles se encuentran en el eón Precámbrico, pues la tectónica ha deformado las rocas más antiguas y esto impide efectuar mediciones radiométricas confiables.

La roca más antigua y el mineral más antiguo en la Tierra

A raíz del descubrimiento de la radiactividad, los geólogos han hecho análisis geocronométricos de miles de rocas y minerales en todo el mundo. Si consideramos que la edad de la Tierra se estima en alrededor de 4600 millones de años, los cálculos obtenidos de rocas y minerales se acercan cada vez más a esta estimación. Inicialmente se creía que los resultados obtenidos de estos análisis eran fechas absolutas, es decir, que eran exactas e inamovibles. Sin embargo, a medida que han avanzado más la geología isotópica, la geoquímica y otras ramas de la física y la química, se ha visto que intervienen muchísimos factores en la naturaleza que impiden conocer con toda precisión la edad de los materiales rocosos. Los siguientes datos que aquí presentamos, casi seguramente, cambiarán en el futuro próximo, justamente por el refinamiento en las técnicas analíticas.

En 1999 se fechó la que parece ser la roca más antigua: la roca metamórfica llamada Gneiss Acasta se encuentra en la región del lago Slave, en el noroeste de

Canadá. El resultado del fechamiento fue de 4.031 Ga (cuatro mil treinta y un millones de años). Por otro lado, el mineral más antiguo que se ha fechado es un cristal de circón que se encontró en una roca conglomerádica metamorfozada que pertenece a una unidad llamada Gneiss Narryer en el oeste de Australia. Su edad se calculó en 4.374 Ga (cuatro mil trescientos setenta y cuatro millones de años).

Por lo que respecta a Sonora, las rocas y los minerales más antiguos se encuentran en la región de Caborca; curiosamente, también son los más antiguos de México. La roca más antigua tiene alrededor de 1.8 Ga, se encuentra al sur de Pitiquito y pertenece a una formación llamada Gneiss granítico Bámori. El mineral más antiguo que se ha fechado en Sonora hasta ahora, se encuentra en el cerro Carnero, 5 km al sureste de Altar. Se trata de un circón incluido en el Esquisto Altar, que resultó tener 2.9 Ga (comunicación verbal de César Jacques, mayo de 2015).

Zoología

La güera del Desierto de Sonora: *Aphonopelma chalcodes*

Alf Enrique Meling López

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la
Universidad de Sonora (DICTUS), Universidad de Sonora

Adriana María Meling Navarro, Colegio Bosco,

Alfa Ivana Meling Navarro, Colegio Pestalozzi,

Adriana Leticia Navarro Verdugo, UNISON, Navojoa

Narciso Navarro Gómez UNISON, Hermosillo

alf.meling@unison.mx

Introducción

La mayoría de la gente cree que son feas, horribles; para otros, son repugnantes y de mucho cuidado por ser venenosas. Existen varios mitos acerca de ellas, pero la ciencia está para demostrar su belleza y su docilidad; aunque estos términos son subjetivos. Lo cierto es que son muy grandes y producen veneno, tienen el cuerpo cubierto de pelos y viven en hoyos tapizados con seda producida por ellas mismas. La güera del desierto de Sonora, es la araña de mayor tamaño del noroeste de México; recibe su nombre debido a que las hembras son color claro que contrasta con lo oscuro del abdomen y las patas. También se le conoce como la rubia del desierto de Sonora, pero su nombre científico es *Aphonopelma chalcodes*. Pertenece a los terafósidos, una de las familias más abundantes del orden de las arañas, con más de 300 especies. En las

planicies, costa, valles y zona montañosa de Sonora, por las noches, después de las lluvias de verano, se ven cientos de tarántulas vagar por los montes y carreteras.

La güera de Sonora es temida por la mayoría de la gente, porque se cree que es muy peligrosa debido a que contiene veneno y pelos urticantes que se dice pueden llegar a matar personas. Los pelos –mencionan– se introducen en la piel, entran en los tejidos y llegan al corazón a través de las venas y sobreviene un paro cardíaco. También se cree, que si una persona camina de noche por el monte durante el verano, una tarántula puede brincarle al cuerpo e inyectarle su mortal veneno con sus enormes colmillos. Una hipótesis que surge de estas creencias sugiere que las tarántulas están en peligro o amenazadas, ya que las personas por temor a ellas las matan, disminuyendo la cantidad de tarántulas año tras año.

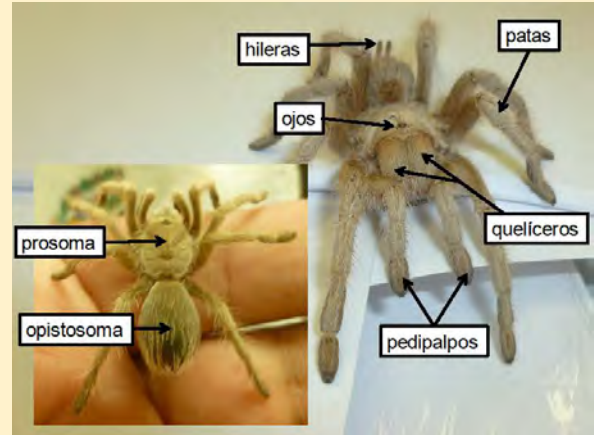


Figura 1. Nombres de las principales partes del cuerpo de la güera de Sonora, *Aphonopelma chalcodes*.

Se ha registrado que las hembras viven hasta 20 años y los machos no sobrepasan los 10. Las hembras son más grandes y robustas y su color es de un marrón claro; los machos son esbeltos y negruzcos con el opistosoma (abdomen -ver Figura 1-, equivocadamente la gente le dice ponzoña), muchas veces, rojizo. Aunque solo un experto puede distinguir los sexos de esta especie a simple vista, se puede identificar al macho mediante unas estructuras en forma de ganchos en el primer par de patas llamadas espuelas (Figura 2). En la mayoría de las arañas se pueden reconocer los sexos fácilmente, ya que los machos presentan sacos espermáticos en la punta de los pedipalpos (extremidades frontales que algunos confunden con el primer par de patas). Los pedipalpos son abultados como si tuvieran puestos guantes de boxeo, pero en los migalomorfos (suborden que agrupa a las tarántulas) los pedipalpos son largos y los sacos espermáticos no son tan notorios.

Los primeros enemigos de una tarántula son sus hermanos y su madre. Las arañas son depredadores feroces, no toleran otros individuos cerca de ellas, solo unos instantes durante la reproducción. Por lo tanto, después de eclosionar deben abandonar la cueva de su madre en la primera oportunidad. La madre está molesta por tener inquilinos y por tener que compartir su alimento; obviamente no son muy maternas.

En un estudio realizado con la tarántula güera de Sonora, en una carretera donde existe poca circulación de vehículos al norte de la ciudad de Hermosillo, durante 10 años consecutivos, se mostró que el 58% de las tarántulas observadas se encontraron muertas (aplastadas).



Figura 2 Macho de la güera del desierto de Sonora. En el círculo se aprecia la espuela de una pata delantera que identifica a los machos. (Foto de Alf Enrique Meling López).

Morfología

La morfología de una tarántula (Figura 1) sigue el patrón básico de las arañas. Su cuerpo está compuesto por dos partes: prosoma y opistosoma. En el prosoma o cefalotórax (cabeza) se encuentran 4 pares de patas laterales ambulatorias, un par de largos pedipalpos frontales y un par de quelíceros frontales (piezas bucales que sirven para manipular alimento) con un par de colmillos de gran tamaño conectados, cada uno, a una glándula de veneno. También existe un grupo de ocho ojos que no son muy funcionales. El opistosoma se conoce también como abdomen y contiene las aberturas de los pulmones y los orificios genitales. En su parte terminal se encuentra un par de hilanderos (el término correcto es hileras) bien desarrollados que son la prolongación externa de las glándulas de la seda; son las únicas tarántulas que también poseen hileras en las patas. Las arañas, por lo general, contienen siete diferentes tipos de glándulas que producen seda. Estas glándulas las utilizan de una en una o varias a la vez para producir la gran variedad de telas que caracterizan a los arácnidos. Las tarántulas solo utilizan la

seda para recubrir sus madrigueras, a veces señalar la entrada de sus cuevas y que sirvan como detectores de insectos. Las hembras hacen un capullo con la seda donde guardan sus huevos, los machos construyen una sábana donde depositan el esperma que después colocan en los sacos espermáticos de sus pedipalpos.

Cortejo

La güera de Sonora raras veces sale de su madriguera. En ocasiones se les encuentra merodeando en busca de alimento o de algún macho cuando estos no se acercan; también salen cuando su cueva es siniestrada o la tarántula es molestada por algún roedor o reptil. Esta especie no coloca tapaderas en la entrada de sus cuevas y es fácil encontrarlas porque se puede localizar la tela que, a veces, sobresale de la entrada de sus madrigueras. Al final del túnel construyen una cámara donde viven, comen y colocan sus capullos.

Los machos y las hembras desocupan sus cuevas y buscan una más grande conforme crecen; raramente algún macho pequeño deambula sin razón alguna. Los machos, cuando llegan a la madurez sexual, salen en busca de parejas, y algunas veces al primer intento de apareamiento son mutilados o comidos por las hembras. Esto sucede porque no mandaron o recibieron las señales adecuadas. Aunque no hay datos sobre esto, se piensa que un porcentaje significativo de machos sufre mutilaciones o son consumidos por las hembras debido a su inexperiencia. Se cree que la mayoría de los machos que salen de sus cuevas en busca de hembras mueren el año en que maduran sexualmente por causas naturales. Observaciones de tarántulas en cautiverio indican que un porcentaje bajo de machos que tuvieron pareja, quedaron vivos al año siguiente, incluso algunos sobrevivieron varias temporadas. Los machos se acercan a la entrada de la cueva donde se localiza una hembra, con los pedipalpos dan golpecitos haciendo que la hembra salga, ya sea como una forma de responder positivamente o porque siente que es una señal de algún insecto. Una vez afuera la hembra, el macho continúa con golpecitos sobre la cabeza de la hembra o rozándole las patas. El acto sexual dura un instante, alrededor de 5 segundos. Se colocan frente a frente, el macho obliga a la hembra a incorporarse utilizando las patas traseras y es en ese momento que el macho inactiva a la hembra sujetándole los colmillos con las espuelas (ganchos) que tienen en el primer par de patas. Después, con los palpos localiza la abertura genital de la hembra y deposita el esperma. Concluido el acto sexual se retira en forma veloz, a buscar otra

hembra o a morir por ahí. En un experimento con 10 parejas en cautiverio, machos y hembras se colocaron en recipientes separados, luego se colocaron en parejas y el acto sexual se llevó a cabo rápidamente; después, los machos se retiraron inmediatamente de la hembra. En un caso el macho fue devorado. Tres machos continuaron reproduciendo por, al menos, una temporada más. Los machos mudaron su caparazón al menos tres veces por año. Uno de ellos vivió en cautiverio 7 años hasta su última reproducción (pasó de tener un cefalotórax de 1.7 cm a 2.4 cm en 7 años; se desconoce su edad de captura pero ya era un juvenil reproductor).

Las hembras fecundadas depositan un capullo lleno de huevos fecundados al fondo de su madriguera. La eclosión de los huevos produce de 50 hasta 300 pequeñas tarántulas, de las cuales, se cree, sólo sobreviven hasta adultos poco más del 3% (aunque no hay estudios al respecto). En algunas especies de arañas y otras tarántulas llegan a poner hasta 1200 huevos. Una vez que eclosionan, las pequeñas arañas se alimentan por regurgitación de la madre. Un porcentaje considerable de los huevos no eclosionan y muchas pequeñas tarántulas mueren antes de la primera muda. Pero después de la primera muda, empiezan a alimentarse de sus hermanos, o son comidas por la madre; es cuando salen en busca de una madriguera propia. En ese momento pueden ser depredadas o morir por inanición ya que no encontraron un lugar donde habitar. Algunas de estas pequeñas tarántulas quedan enanas y permanecen en la cueva de su madre desconociéndose más acerca de su comportamiento. La hembra madura sexualmente a los 4 años y puede vivir hasta 14 o 15 años. Se tiene registro de una hembra que vivió en cautiverio 20 años.

El veneno y los pelos urticantes

Las arañas utilizan el veneno para defenderse, para paralizar a sus presas y para degradarlas. El veneno es un compuesto de sustancias químicas que provocan reacciones diversas. El animal puede o no utilizarlo y sabe controlar la cantidad de éste. Cuando una tarántula pica no siempre inyecta veneno, pero cuando lo inyecta es para paralizar a su presa. Una vez capturado su alimento es necesario hacerlo acuoso y succionarlo, ya que no pueden masticar porque no tienen dientes. Generalmente las presas son insectos y ellos también tienen una coraza que protege sus cuerpos, por lo que algunos depredadores mastican al insecto y luego se lo comen; las tarántulas no pueden

hacer esto, en cambio inyectan veneno al interior del insecto. El veneno es un compuesto de enzimas que degrada los tejidos internos del insecto haciendo una especie de gel nutritivo, el cual es absorbido por la araña. En algunos casos hasta el exoesqueleto (caparazón o coraza) del insecto es degradado y absorbido por completo, en algunas ocasiones ni siquiera dejan una sola pata o resto de evidencia.

El abdomen está recubierto por pelos que les son urticantes a ciertas personas, y que la tarántula utiliza para ahuyentar a sus enemigos desprendiéndose de ellos. Cuando la tarántula se ve acechada o en peligro frota sus patas traseras sobre el abdomen y desprende sus pelos haciendo una nube, la cual es irritante para el depredador o para quien la moleste. Por eso, a veces, encontramos a tarántulas con el abdomen sin pelos, los que se reponen de nuevo una vez que la tarántula muda de caparazón.



Figura 3. Adriana María Meling Navarro mostrando la güera de Sonora en un evento de divulgación de la ciencia en la XX Semana Nacional de la Ciencia y Tecnología, celebrado en octubre de 2013 en la Universidad de Sonora, campus Navojoa (con permiso del que figura en primer plano: Gonzalo López Almeida).

Conclusiones

La güera de Sonora es el modelo ideal de tarántula para mascota y es como los perros: algunos son mansos, otros muy bravos. Es la más dócil de todas las especies de tarántulas que existen, por eso es utilizada en divulgación de la ciencia (Figura 3), para que se conozca sobre su vida y cómo se diferencian de otros artrópodos, especialmente de los insectos. También se busca demostrar que estas especies son útiles depredando plagas y animales molestos y no son peligrosas. Conocer acerca de ellas es impresionante, necesario para su conservación y muy divertido.

El peor enemigo de las tarántulas es nuestra ignorancia; destruimos su hábitat, las exterminamos impunemente. ¿Sería posible acercarnos un poco a la güera de Sonora para conocer su maravilloso mundo?

Ecología

Ecología térmica de lagartijas en el Desierto Sonorense

Rafael Alejandro Lara Resendiz.

Department of Ecology and Evolutionary Biology)

University of California, Santa Cruz, USA.

rafas.lara@gmail.com

Las lagartijas como modelo de estudio en termorregulación

Los organismos endotérmicos, como aves y mamíferos, pueden regular su temperatura corporal de forma interna, pero necesitan mayor energía para mantener constante su temperatura y realizar sus actividades biológicas cotidianas. En contraste, los animales ectotérmicos, como los anfibios y reptiles, son incapaces de regular su temperatura y, por lo tanto, recurren a fuentes externas de calor para termorregular y realizar sus procesos biológicos (p. ej. alimentación, digestión, crecimiento, socialización, reproducción, etc.). Es por esto que los reptiles deben mantener su temperatura corporal dentro de niveles óptimos, a pesar de vivir en hábitats extremadamente variables. Esto se logra por medio de estrategias de termorregulación, las cuales permiten la absorción y disipación del calor y son fundamentales para evitar descender de la temperatura óptima o llegar al sobrecalentamiento.

Los reptiles tienen tres mecanismos físicos principales para absorber y disipar calor. Primero, la conducción o tigmotermia que es la absorción de calor a través del sustrato; segundo, la convección o heliotermia que es la absorción de calor por medio del aire; y tercero, la absorción calorífica directa por medio de la radiación solar (Figura 1). Además de estos modos de transferencia de calor, los reptiles tienen diversas estrategias conductuales para termorregular como: el cambio de coloración, diferentes posturas y movimientos con respecto al sol o viento, la orientación y altura de percha, y la variación del horario y periodo de actividad, sólo por mencionar algunos ejemplos.

Dentro del grupo de los reptiles, las lagartijas han sido ampliamente estudiadas dentro del campo de la ecología térmica, la cual es una parte de la biología que estudia la relación de los seres vivos con su medio ambiente térmico. En este campo de estudio las lagartijas han sido un buen modelo ya que comparten

atributos fisiológicos con otros ectotermos, han sido ampliamente estudiadas, son relativamente abundantes, fáciles de encontrar en campo y mantener en condiciones de laboratorio. Desde la década de 1940 se realizaron los trabajos pioneros de termorregulación utilizando a las lagartijas como modelo de estudio en ambientes desérticos, donde experimentan altas fluctuaciones térmicas. Desde entonces, los avances tecnológicos han permitido evaluar los requerimientos térmicos de reptiles en vida silvestre y bajo condiciones controladas de laboratorio (Figura 2, ver contra portada), y también monitorear con gran detalle la temperatura ambiental y a nivel de microhábitat (Figura 3). Los principales dispositivos utilizados para investigar la termorregulación han sido termómetros portátiles, resistentes y precisos, dispositivos transmisores de radio-telemetría y también pequeños registradores llamados *iButtons* (Figura 2, ver contra portada); además para registrar parámetros de temperatura ambiental se han utilizado aparatos registradores de temperatura o *data loggers* (Figura 3). Actualmente con estos instrumentos se ha podido detallar profundamente las estrategias de termorregulación de los reptiles, la calidad térmica en múltiples ambientes y para conocer si son vulnerables al cambio climático.

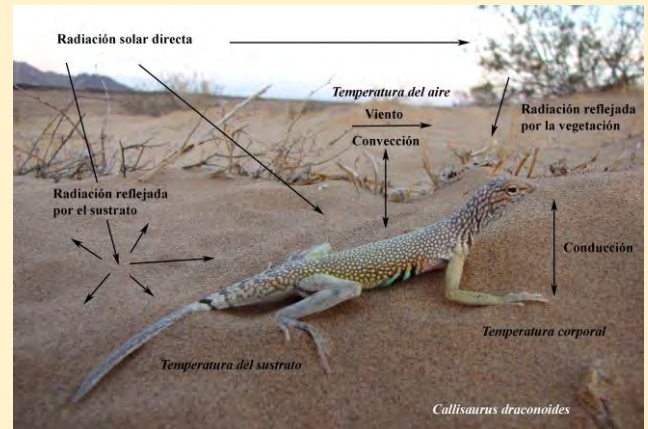


Figura 1. Principales mecanismos de intercambio de energía calorífica utilizados por los reptiles.

Estrategias de termorregulación en ambientes desérticos

Una de las estrategias conductuales más sobresalientes de los reptiles y otros animales en ambientes desérticos es evitar los momentos más cálidos del día. Muchas especies presentan un patrón bimodal de actividad, es decir, los mayores picos se presentan durante la mañana y la tarde, incluso durante el crepúsculo, periodo en el cual hay alta calidad térmica, es decir, cercana a sus requerimientos de temperatura. Este patrón de actividad, también se presenta en varias serpientes y tortugas, ya que en un día de

verano a medio día el calor podría causar sobrecalentamiento con daños letales. Sin embargo, hay lagartijas como *Dipsosaurus dorsalis* (la iguana del desierto) o las del género *Aspidoscelis*, quienes tienen la capacidad de poder estar activas durante medio día bajo altas temperaturas (~50° C) e incluso mantienen su temperatura corporal cercana a 40° C.

Por otro lado, muchos organismos con hábitos nocturnos aprovechan el calor almacenado durante el día en el sustrato, rocas, laderas, etc., para realizar sus actividades en ausencia de la radiación solar. Este es el caso de los geos de los géneros *Phyllodactylus* o *Coleonyx* que realizan sus actividades de alimentación, socialización y cópulas, cuando la temperatura les permite mantenerse dentro de los límites térmicos mínimos para desplazarse y escapar de los depredadores. Las zonas áridas durante el crepúsculo y primeras horas de la noche proporcionan microclimas adecuados para que los reptiles nocturnos mantengan su temperatura corporal dentro del intervalo preferido con poco esfuerzo termorregulador.

Otros ejemplos clásicos de conductas termorreguladoras en el desierto son las lagartijas cornudas del género *Phrynosoma* (Figura 4), quienes antes del amanecer pueden emerger de su refugio nocturno para aprovechar los primeros rayos del sol al máximo o permanecer parcialmente enterradas con la cabeza fuera del sustrato y absorber la mayor cantidad de radiación solar y con la circulación sanguínea irradiar el calor al resto del cuerpo. Estas estrategias les permiten mantenerse imperceptibles ante depredadores e iniciar su actividad con temperaturas adecuadas. Otra estrategia particular que presenta *Phrynosoma* es la orientación del cuerpo con respecto a posición del sol, la cual sumada a la capacidad de aplanar el cuerpo (Figura 4) ayudan a incrementar la absorción y disipación calorífica para termorregular eficientemente sin exponerse a temperaturas extremas.

Calidad térmica del Desierto Sonorense

La calidad del hábitat es la capacidad del ambiente para proveer las condiciones apropiadas para la sobrevivencia de un individuo y de su población. La calidad térmica del hábitat está ligada con los umbrales máximos o mínimos térmicos de tolerancia de los organismos, y puede afectar la reproducción, la conducta, el rendimiento fisiológico, la distribución, e incluso, en casos extremos, causar la extinción de poblaciones.

Particularmente, el Desierto Sonorense, ubicado en el suroeste de Norteamérica, se caracteriza por ser uno

de los desiertos más grandes y calurosos del mundo. La precipitación fluctúa entre 55 y 300 mm por año y su temperatura ambiental durante el verano (mayo-septiembre) puede sobrepasar los 40° C a la sombra, mientras que, en contacto directo con el sol, el sustrato puede alcanzar los 70° C (Figura 5). El ambiente es térmicamente heterogéneo en tiempo y espacio, ya que se caracteriza por su gran variabilidad diaria, estacional y anual, además de altitudinal y a nivel de microhábitat. Por lo anterior, la oferta y calidad térmica del hábitat también son muy versátiles.



Figura 3. Modelos de PVC con forma y tamaño de *Heloderma* sp registrando la temperatura. En el recuadro se muestra un registrador de temperatura tipo data logger.

El Desierto Sonorense presenta ambientes y regiones muy diferentes, basadas principalmente en las variaciones climáticas. Por ejemplo, desde sitios casi desprovistos de vegetación como las dunas de arena o el escudo volcánico de El Pinacate, hasta sitios con cobertura vegetal relativamente alta. En este sentido, las características del paisaje, el tipo de vegetación y su cobertura, las propiedades físicas del sustrato o la cantidad de radiación, todas influyen directamente en las propiedades térmicas del hábitat. Así un arbusto puede proteger del calor a la superficie del suelo, o un sustrato claro como el granito puede reflejar mejor la radiación solar y proporcionar temperaturas más soportables que una roca oscura. Por lo tanto, y a pesar de sus condiciones extremas, el Desierto Sonorense proporciona una gran cantidad de nichos térmicos y alta disponibilidad de microhábitats, lo cual está relacionado con su gran riqueza y variedad de reptiles.

¿Son vulnerables al cambio climático?

Actualmente, el cambio climático global acelerado, debido a causas antropogénicas, es una de las mayores amenazas para la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas. Existen muchas publicaciones científicas que han documentado el aumento del CO₂ en la atmósfera y de la temperatura ambiental en los últimos 50 años. En este sentido, evaluar los riesgos de la biodiversidad ante el cambio climático implica la realización de estudios multidisciplinarios en diferen-

tes escalas y magnitudes. Basándose en lo anterior, el Dr. Barry Sinervo y colaboradores (2010) han demostrado que el cambio climático ya ha afectado a la diversidad de lagartijas en el planeta. En este trabajo se diseñó un modelo fisiológico para evaluar el riesgo de extinción, el cual incorpora variables térmicas para 34 familias de lagartijas. Las variables utilizadas fueron: temperatura preferida en campo y laboratorio; el modo de termorregular (heliotérmico o tigmotérmico), hábitos (arborícola, subterráneo, diurno, nocturno), la temperatura máxima ambiental y temperaturas operativas del microhábitat utilizando modelos de PVC similares en forma y tamaño a las lagartijas (Figura 3). Con esto calcularon las horas de restricción térmica, es decir, cuando la temperatura supera las temperaturas óptimas de las lagartijas. Bajo un escenario drástico de cambio climático (2-4° C para el 2100) la temperatura no llegará a ser letal para las lagartijas, sin embargo, el periodo de actividad será insuficiente para realizar sus procesos biológicos, principalmente la reproducción. Por lo tanto, disminuye la densidad poblacional y si eso ocurre varios años consecutivos las poblaciones podrían extinguirse localmente.



Figura 4. Lagartija con cuernos (*Phrynosoma mcallii*) en el Pinacate y Gran Desierto de Altar, Sonora.

En este trabajo, Sinervo y colaboradores (2010) mostraron que desde 1975 a lo largo de México se han extinguido 12 % de poblaciones de lagartijas del género *Sceloporus* en 200 sitios. Si bien el comportamiento termorregulador podría amortiguar la diferencia de temperatura debida al cambio climático global, las especies que se encuentran en hábitats calientes tales como lagartijas del desierto pueden estar en riesgo debido al aumento de las temperaturas ya que están cerca de sus límites termofisiológicos. En conclusión, si las temperaturas ambientales continúan incrementando como se tiene previsto, las lagartijas son vulnerables al cambio climático debido a la modificación de su ambiente

térmico. Además el riesgo de extinción se incrementa drásticamente si añadimos otros problemas ambientales actuales como la modificación del hábitat, la pérdida de la vegetación y consecuentemente la reducción de la sombra, baja disponibilidad de refugios, sitios de percha y anidación, así las alteraciones de su ambiente térmico los colocan como candidatos a la extinción local de sus poblaciones.

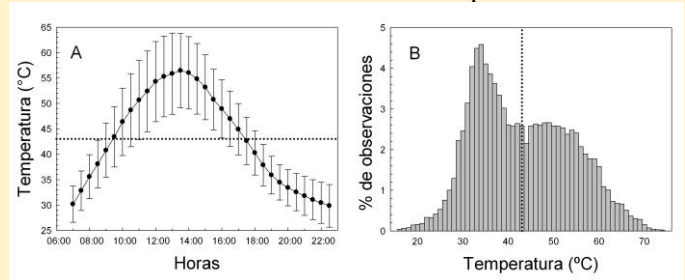


Figura 5. Temperatura microambiental durante el verano en las dunas de la Reserva de la Biosfera El Pinacate y Gran Desierto de Altar. A) muestra la variación térmica a lo largo del día (promedio \pm desviación estándar) y B) muestra la distribución y frecuencia de la temperatura. La línea punteada indica el promedio en ambos casos. Modificado de Lara-Resendiz et al 2014.

Referencias

- Ezcurra E, Rodrigues V (1986) Rainfall patterns in the Gran Desierto, Sonora, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 10, 13-28.
- Huey RB (1982) Temperature, physiology, and ecology of reptiles. In: *Biology of the Reptilia*. (eds Gans C, Pough FH) pp 25-91. New York, Academic press.
- Kearney M, Shine R, Porter WP (2009). The potential for behavioral thermoregulation to buffer "cold-blooded" animals against climate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 106, 3835-3840.
- Lara-Resendiz RA, Jezkova T, Rosen PC, Méndez-De La Cruz FR (2014) Thermoregulation during the summer season in the Goode's horned lizard *Phrynosoma goodei* (Iguania: Phrynosomatidae) in Sonoran Desert. *Amphibia-Reptilia*, 35, 161-172.
- Sinervo B, Méndez-De La Cruz F, Miles DB et al. (2010) Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*, 328, 894-899.

Contraportada

Ilustraciones del artículo "Los prismas basálticos de Santa María Regla, Hidalgo: un sitio espectacular en México", de izquierda a derecha y de arriba abajo.

Figura 6. Basaltos columnares de la Gruta Fingal en Escocia. Staffa (Escocia). Wikimedia Commons.

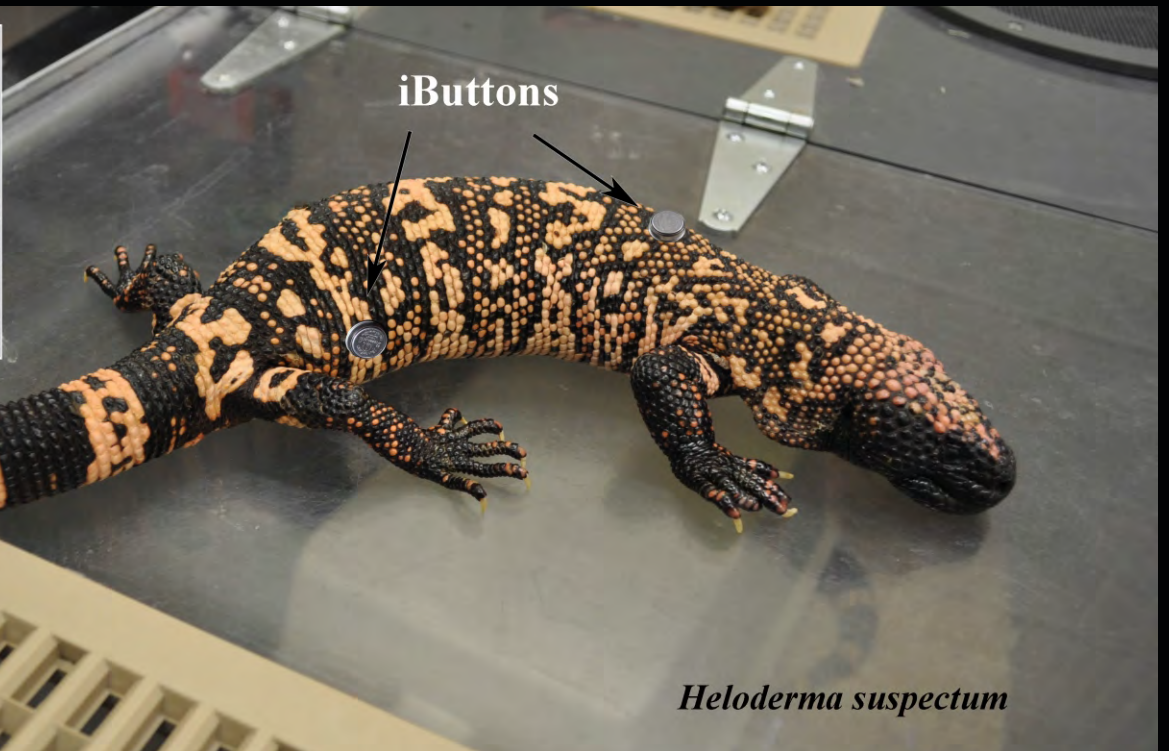
Figura 7. Svartifoss o Cascada Negra (Islandia). Se formaron al enfriarse la lava de un volcán cercano. Wikimedia Commons.

Figura 8. La Calzada del Gigante (condado de Antrim, Irlanda del Norte), son 40 mil columnas de basalto que se formaron hace 60 millones de años. Fue declarada Patrimonio de la Humanidad en 1986. Wikimedia Commons

Figura 9. Columnas basálticas en forma de S en el embalse de la Isla Alta de Hong Kong. Wikimedia Commons.

Ilustraciones del artículo "Ecología térmica de lagartijas en el Desierto Sonorense". Al final de la página.

Figura 2. Como parte del estudio sobre ecología térmica de reptiles en el Desierto Sonorense, a este Monstruo de Gila (*Heloderma suspectum*) se le fijaron temporalmente dos "iButtons" para monitorear su temperatura bajo condiciones controladas de laboratorio. En el recuadro se muestra un registrador de temperatura tipo "iButton".



Heloderma suspectum