

FÓSILES: HISTORIA DE LA VIDA EN LA TIERRA

Fossils: Record of life in the planet earth

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

ISSN: 2007-4530 (impresa)

Francisco Javier Cuen-Romero¹

Elizabeth Chacón-Baca²

Josep Moreno-Bedmar³

María Patricia Velasco-de León⁴

Recibido: 06/01/2021

Aceptado: 09/03/2021

Publicado: 25/05/2021

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v14i28.124>

Autor de Correspondencia:

Francisco Javier Cuen-Romero

Correo: francisco.cuen@ciencias.uson.mx

Resumen

Por medio de los fósiles es posible conocer la historia de la vida en el pasado geológico del planeta Tierra. El conocimiento de los fósiles ha derivado líneas de investigación que ayudan a comprender la historia geológica del planeta. Así se sabe que el tiempo geológico se divide con base en las formas de vida que habitaron el planeta. Es probable que la vida se originó a inicios del Precámbrico, hace más de 3800 millones de años, sin embargo, los restos fósiles más antiguos de comunidades bacterianas litificadas, conocidos como estromatolitos, datan aproximadamente de 3550 millones de años. Durante el Paleozoico, aparecieron la mayoría de los grupos de plantas, invertebrados y vertebrados que se conocen actualmente. Entre todos los organismos que aparecen en este tiempo, los braquiópodos, trilobites y graptolites son las formas dominantes. En el Mesozoico dominaron los grandes reptiles, como son los dinosaurios, sin embargo, los invertebrados índice más notables de este tiempo corresponden a los ammonites y los belemnites. En el Cenozoico dominaron los mamíferos, los cuales presentan una distribución mundial, entre estos los humanos.

Palabras clave: fósiles, tiempo, geología, México.

Abstract

Through the study of fossils, it is possible to know the history of life in the geological past of planet Earth. The knowledge of the fossils has derived lines of investigation that help to understand the geological history of the planet. Thus, it is known that the geological time is divided based on the forms of life that inhabited the planet. Life likely originated in the early Precambrian, more than 3800 million years ago, however, the oldest fossil remains of lithified bacterial communities, known as stromatolites, date to approximately 3550 million years ago. During the Paleozoic, most of the groups of plants, invertebrates and vertebrates that are known today appeared. Among all the organisms that appear at that time, brachiopods, trilobites, and graptolites are the dominant forms. In the Mesozoic, large reptiles, such as the dinosaurs, dominated, however, the most notable index invertebrates of this time correspond to ammonites and belemnites. During the Cenozoic mammals dominate, which present a worldwide distribution, including humans.

Keywords: fossils, time, geology, Mexico.

¹ Departamento de Geología, División de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Sonora, Blvd. Luis Encinas y Rosales, C.P. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Coreo: francisco.cuen@ciencias.uson.mx

² Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Nuevo León, Carretera a Cerro Prieto Km. 8, Linares, Nuevo León, México, C.P. 67700, México. Coreo: cienciafct@gmail.com

³ Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, Del. Coyoacán, 04150, Ciudad de México, México. Coreo: josepamb@geologia.unam.mx

⁴ Colección de Paleontología, Facultad de Estudios Superiores, Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Guelatao, Ejercito de Oriente, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09230, Ciudad de México, México. Coreo: velpaty7@gmail.com



INTRODUCCIÓN

La historia de la vida en el planeta Tierra es tema de estudio, comprobación y discusión por la paleontología y biología. La vida en el pasado remoto, preservada hasta nuestros días como fósiles, es objeto de estudio de la paleontología, la cual es una ciencia que comparte conocimientos con las ciencias de la tierra y de la vida. La paleontología se ha encargado del estudio formal de los fósiles desde hace unos 200 años, abarcando tópicos como las formas de vida que existieron en el pasado geológico y estableciendo comparaciones con organismos fósiles encontrados en sitios geográficamente distantes. También determina cambios morfológicos que los organismos han experimentado durante su evolución a través del tiempo geológico, elaborando hipótesis fundamentales sobre las condiciones naturales en las que los organismos, ya sean marinos o continentales, se desarrollaron y de cuando datan los organismos más antiguos que se conocen. Además, mediante el estudio de los fósiles es posible obtener la edad relativa de las rocas sedimentarias que los contienen, permitiendo resolver complejos problemas geológicos [1]. Hasta el momento no se ha logrado establecer cuando se originó la vida en la Tierra, sin embargo, se considera que fue un evento rápido en función de la escala en que opera el tiempo geológico. Algunas hipótesis sugieren que la vida inició sobre la corteza terrestre, en las fuentes hidrotermales o volcanes submarinos, y posteriormente emigró a la superficie [2, 3]. También se sabe que los primeros organismos fueron de tamaño microscópico, sin estructuras duras y de un arreglo molecular simple (procariotas), lo que resulta en condiciones no idóneas para que se conservaran como fósiles. No obstante, los estudios paleontológicos permiten realizar una descripción de la

historia de la vida en la Tierra mediante evidencias directas de la vida en el pasado, los fósiles.

Por otra parte, los geólogos, científicos que estudian el planeta Tierra y los procesos que continuamente lo modifican, han dividido la extensa cantidad de tiempo desde que se formó el planeta en subdivisiones (Eón, Era, Período, Época y Edad) basadas en el conocimiento de las rocas y los fósiles (Fig. 1). La primera de esas grandes divisiones comprende aproximadamente de los 4600 a los 542 millones de años (Ma), tiempo conocido como Precámbrico, y significa todo lo que ocurrió antes del Cámbrico, primer período del Paleozoico. Hoy en día se sabe que la mayoría de la historia del planeta Tierra, alrededor del 85%, corresponde al Precámbrico, que se extiende por casi 4060 millones de años [4]. Posteriormente se tiene una segunda división, denominada Fanerozoico o "vida visible", ya que en ese tiempo se tienen organismos macroscópicos. A su vez, el Fanerozoico se divide en tres eras: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico. El Paleozoico comprende aproximadamente de los 542 a los 250 millones de años, y significa vida antigua (Fig. 1). Durante el Paleozoico se registró un gran aumento de la biodiversidad del planeta, debido a la explosión de vida del Cámbrico y la radiación del Ordovícico (aumento en la diversidad de especies); sin embargo, en el Paleozoico ocurrió la extinción más grande conocida en la historia de la biosfera, denominada como extinción del Pérmico. De manera general, el Paleozoico representa un tiempo de grandes cambios geológicos debido a la deriva y colisión de grandes masas continentales [5]. El Paleozoico ha sido dividido en seis períodos, Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Carbonífero (Misísipico y Pensilvánico) y Pérmico [5]. El Mesozoico comprende aproximadamente de los 250 a los 66 millones de años (Fig. 1), y significa vida



media. Durante el Mesozoico dominaron los dinosaurios y los reptiles parecidos a mamíferos, además de grandes movimientos continentales, creación de importantes cadenas montañosas y gran actividad volcánica, culminando con una gran extinción al final de la era. El Mesozoico es importante, debido a que después de la extinción masiva de finales del Paleozoico, esta era representa una gran diversificación de los vertebrados aunado a importantes cambios geológicos que provocaron el establecimiento de ecosistemas parecidos a los ecosistemas modernos [6], también en esta era dominan las gimnospermas y surgen las angiospermas, los cuales son grupos importantes de plantas, debido a que representan el inicio de los ciclos alimentarios y permiten la existencia de grandes organismos herbívoros. El Mesozoico ha sido dividido en tres períodos, Triásico, Jurásico y Cretácico [6]. Finalmente, el Cenozoico se inicia aproximadamente 66 millones de años hasta la actualidad (Fig. 1), se caracteriza por el dominio de los mamíferos, incluyendo a los humanos, así como una gran diversificación de las plantas terrestres. El Cenozoico también representa la formación de cadenas montañosas e importantes fluctuaciones climáticas [7]. El Cenozoico ha sido dividido en tres períodos, Paleógeno (Paleoceno, Eoceno y Oligoceno), Neógeno (Mioceno y Plioceno) y el Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno) [7].

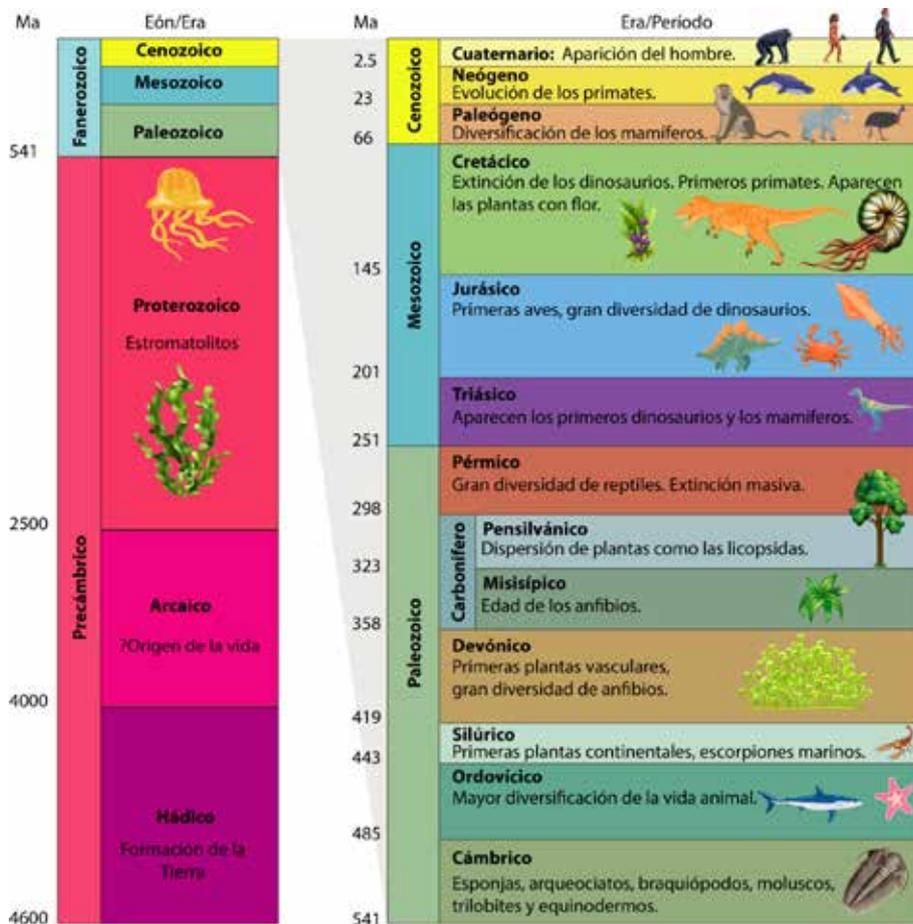
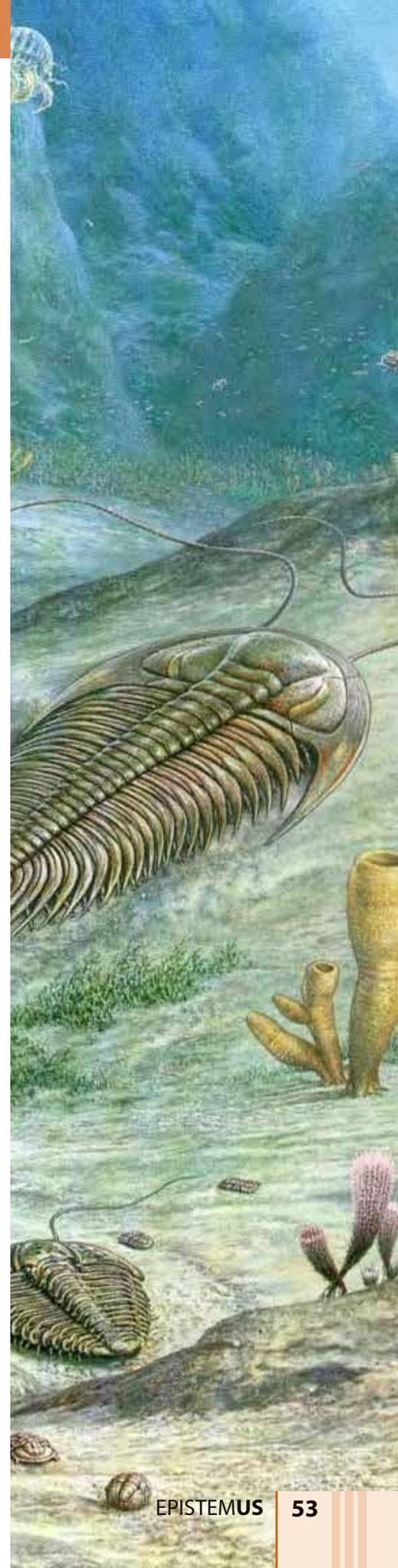


Fig. 1. Escala de tiempo geológico, mostrando las divisiones y subdivisiones de tiempo y los principales eventos biológicos. (Ma = millones de años).

Precámbrico

Hace 4600 millones de años (Ma) se inició la formación del planeta Tierra [4], al mismo tiempo que todos los otros cuerpos celestes del Sistema Solar, como resultado del colapso de una enorme nube giratoria de gas y polvo interestelar





caliente [8]. Durante cientos de miles de años, estas partículas al unirse y crear fricción entre ellas generaron un intenso calor que elevó la temperatura de toda la masa terrestre, convirtiendo la Tierra en una enorme bola de roca fundida constantemente bombardeada por meteoros. Fue necesario que transcurriera más tiempo para que el planeta se enfriara poco a poco, permitiendo que en la parte exterior se iniciara la consolidación de una fina capa rocosa, la cual constituyó la primera corteza primitiva del planeta; sin embargo, es probable que la temperatura aún fuera muy elevada, del orden de varios cientos de grados. A medida que el magma atravesaba esa primitiva corteza, permitió la liberación de materiales volátiles como el nitrógeno, vapor de agua, dióxido de carbono y probablemente monóxido de carbono, de tal manera que se formó una atmósfera neutra, espesa y caliente [8], con temperaturas moderadas alrededor de 300 K, aunque con regiones de mayor temperatura; y un pH oceánico cercano a 8, además de diversas fuentes de energía libre como los rayos UV, ondas de choque y fuentes radioactivas entre otras, que habrían de contribuir al proceso de evolución química [9]. Este proceso de evolución química se refiere a la síntesis abiótica de compuestos orgánicos de relevancia biológica como nucleótidos, aminoácidos, péptidos o ácidos grasos entre muchos otros, bajo condiciones de atmósfera reductora, de la cual existen varios modelos dada la escasa evidencia geoquímica de la atmósfera primitiva [10]. Es probable que el océano y la atmósfera primitiva también produjeran el fenómeno de precipitación (lluvia), la corteza del primitivo planeta Tierra estaba tan caliente que antes de tocar la superficie se evaporaba de nuevo, sin embargo, algunas áreas con agua líquida y caliente pueden haber sido estables en la superficie debido a las altas presiones atmosféricas. Fue necesario un enfriamiento significativo y que transcurrieran miles de años, para que se condensara el vapor de agua atmosférico, generando la formación de los primeros océanos. Por otra parte, es probable que un porcentaje significativo del agua oceánica haya provenido de cometas y meteoros que al colisionar con la Tierra

[11], liberaran compuestos orgánicos y una gran cantidad de agua durante las últimas etapas de acreción terrestre [12]. Como el agua cubría prácticamente la mayor parte de la superficie del planeta, parece natural que en ella se produjera el inicio de la vida [13].

Existe la limitante de conocer cuando apareció exactamente la vida sobre el planeta, debido a que los procesos geológicos (como la erosión y la tectónica de placas) han eliminado gran parte de las rocas que podrían contener estas evidencias. El registro rocoso en la Tierra más antiguo corresponde a minerales (zircones) de aproximadamente 4300 millones de años, pero las rocas más antiguas sólo se conservan desde hace 4000 millones de años. Sin embargo, existen restos químicos de materia orgánica, encontrados en rocas, cuya antigüedad se remonta a unos 3800 millones de años, lo cual corresponde a los indicios de vida más antiguos en el planeta [14]. Aún existe debate sobre esta evidencia en particular, ya que la materia orgánica y su fraccionamiento isotópico también pueden producirse bajo condiciones de metamorfismo, como ocurre en estas rocas.

Hace 3500 millones de años, la Tierra debió ser extremadamente diferente al concepto actual del planeta; evidencias geofísicas sugieren que los días se alargan actualmente a una tasa de 20 segundos por millón de años [4]; considerando lo anterior la Tierra giraba a mayor velocidad, por lo cual el día duraba menos de 18 horas. El sol, más joven que en la actualidad, emitía un brillo más pálido y su color no era tan intenso, sin embargo, la abundancia de dióxido de carbono (CO_2) y gases reductores como el metano (CH_4) y amoníaco (NH_3), indican una atmósfera reductora para ese tiempo [4] además de la carencia de oxígeno libre (O_2), la cual capturaba una mayor cantidad de radiación solar. El clima era más caluroso, no existían los continentes como se conocen hoy en día; inclusive se estima que la corteza continental sólo abarcaba un 30% de la corteza actual. Se considera que únicamente emergían de las aguas marinas pequeños y dispersos archipiélagos de islas volcánicas. La vida en el mar era poco diversa a nivel morfológico, pero probablemente muy diversa a nivel fisiológico o metabólico, y no existía vida en tierra firme. El planeta en sus primeras etapas tenía





un muy caliente, debido a la enorme energía interior y a la radiación de los elementos que lo constituyen. La intensa actividad volcánica era mucho más violenta y constante, además la corteza terrestre era más delgada que en la actualidad. Ante un ambiente tan adverso es probable que la vida se produjera con formas parecidas a bacterias y/o virus actuales. Aunque los virus no se consideran vivos, ya que, aunque se puedan replicar, carecen de autocatálisis, una propiedad inherente a los seres vivos. Además, todos los organismos presentes y los que han fosilizado, están formados por células. Por lo tanto, la célula es la unidad morfológica, fisiológica y de reproducción de todo ser vivo, y la clasificación biológica está basada en células.

Se considera que entre los primeros organismos en vivir en el agua eran bacterias acetanógenas y metanógenas [15]. Varios millones de años después, durante el Proterozoico, surgirían las cianobacterias (hace aproximadamente 2800 millones de años) y con ellas, la fotosíntesis oxigénica, misma que posibilitó la conversión del dióxido de carbono atmosférico en azúcar rico en energía, generando así el oxígeno como un producto de deshecho. Este gas originó una verdadera revolución de biodiversidad en el planeta hace 2420 Ma, evento conocido como primer evento de oxigenación global [15].

Los estromatolitos representan la evidencia paleontológica más antigua de la vida temprana en el planeta (Fig. 2) [16], y se definen como depósitos microbianos órgano-sedimentarios laminados los cuales comúnmente se forman en el fondo de un cuerpo de agua de unos pocos centímetros de profundidad [17]. El Grupo Warrawoona, expuesto en la parte noroeste de Australia, cuya edad geológica estimada es de 3550 millones de años, contiene los estromatolitos más antiguos del planeta [18, 19]. Además de estromatolitos, existen otras evidencias microscópicas como los microfósiles, evidencias geoquímicas y minerales; este tipo de evidencias se conocen como biosignaturas, mismas que se han estudiado en rocas del Arqueano [20]. De la localidad de Warrawoona también se han recuperado fósiles como *Archaeotrichion*, *Eoleptonema* y *Primaevifilum*, los cuales debido a su morfología son comparados con bacterias y cianobacterias actuales [21]. Otras localidades que también documentan la antigüedad de los estromatolitos corresponden al

Grupo Fig Tree en Barberton en el sur de África, los cuales datan de hace 3260 millones de años [21]. Inclusive se han encontrado las trazas fósiles más antiguas en forma de icnofósiles (pistas o trazas fósiles) mineralizados de microorganismos [22]. Actualmente, los estromatolitos son formados por las interacciones entre microorganismos y sedimentos, principalmente cianobacterias, pero también algas verdes y diatomeas, que atrapan, se unen o precipitan carbonato de calcio (CaCO_3) en forma de capas [21]. Sin embargo, es probable que los estromatolitos más antiguos estuvieran contruidos por microorganismos anaeróbicos [15].

Fig. 2. Estromatolito domal, descritos por primera vez por E. Kaljowsky, en la localidad de Buntsandstein del Triásico Inferior en las montañas Harz, Alemania.



Hace 1200 millones de años aparecieron ambientes acuosos más benignos, donde se desarrollaron algas como las bangiofitas [23], las cuales son afines a las algas rojas, cuyo crecimiento más rápido desplaza a los estromatolitos. Hace 700 millones de años, la vida en la Tierra experimentó otro importante cambio, debido a que aparecieron las primeras formas elementales de vida animal. En el estado de Sonora, en la Sierra El Rajón, las rocas de la Formación San Clemente, contienen a *Cyclomedusa*, cuya edad se estima en 600 millones de años [24].

Es evidente la importancia que tienen los organismos microscópicos que habitaron el planeta durante el Precámbrico, debido a que marcaron el inicio y desarrollo de la vida en la Tierra.

Paleozoico

A inicios del Paleozoico (Cámbrico y Ordovícico), la vida continuó desarrollándose exclusivamente en ambientes marinos. Durante el Cámbrico (541 – 485 millones de años) surge una gran diversidad y abundancia de

organismos con conchas y exoesqueletos (invertebrados) como esponjas, arqueociatos, braquiópodos, moluscos (gasterópodos, bivalvos y cefalópodos), trilobites, crustáceos y equinodermos [25]. El clima era caluroso, la temperatura global fue de 22°C en comparación con la temperatura promedio actual de 14°C. No existían los casquetes polares, y los océanos cubrían gran parte de las masas continentales debido a un aumento en el nivel del mar, lo cual propició una mayor oxigenación [5]. Los trilobites fueron artrópodos que se desplazaban sobre el substrato marino (Fig. 3), siendo tan dominantes y diversos que constituyeron el 60% de la fauna marina del Cámbrico, alcanzando tamaños desde algunos milímetros hasta varios centímetros como lo es *Paradoxides (Hydrocephalus) harlani* del Cámbrico medio de Norteamérica, Europa y África, cuyo tamaño máximo está entorno los 55 cm [26]. El siguiente grupo dominante fueron los braquiópodos, los cuales representaron el 30% de la fauna marina. Los arqueociatos (Fig. 4), fueron el primer grupo en el desarrollo de estructuras parecidas a arrecifes en el mundo, habitando en aguas tropicales. Entre otros invertebrados, menos numerosos del Cámbrico, se encuentran moluscos como *Helcionella*, y otros de afinidad incierta como *Salterella* e *Hyolithes*. Las cianobacterias continuaron desarrollándose durante el Cámbrico, apareciendo formas afines a algas denominadas *Girvanella*, las cuales son características de este período. También de este período datan horadaciones en posición vertical y perpendiculares al plano de estratificación, probablemente realizadas por vermes, como son los fósiles traza de *Skolithos*. En México se conocen localidades con fósiles del Cámbrico en los estados de Sonora (Caborca, San José de Gracia y Arivechi), y Oaxaca (Río Salinas, Nochixtlán, región Mixteca).

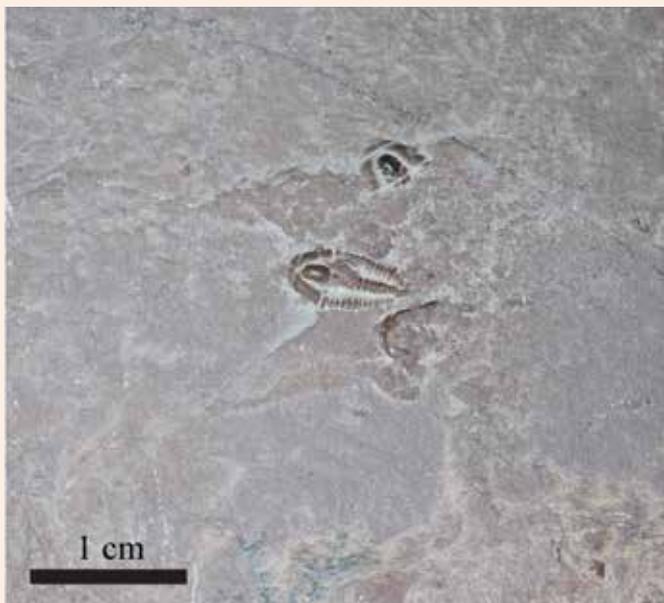


Fig. 3. Trilobites del Cámbrico de la localidad de San José de Gracia, Sonora, México.



Fig. 4. Superficie pulida en roca con arqueociatos de Caborca, Sonora, organismos emparentados con las esponjas, los cuales aparecieron durante el Cámbrico.

El Ordovícico (485 – 443 millones de años) es importante porque en este período aparecen la mayoría de los grupos de invertebrados que se conocen actualmente, así como también los primeros peces y plantas terrestres [5]. En general, este período se caracterizó por una gran actividad geológica, la tectónica de placas modificó notablemente la distribución geográfica de los continentes y hubo un importante aumento en el nivel del mar, en Rusia tiene lugar la creación de los Montes Urales. En este período aparecieron los primeros corales formadores de arrecifes, briozoarios y graptolites (Fig. 5), teniendo también una gran diversidad los equinodermos, como los erizos de mar, estrellas de mar y los pepinos de mar. En este período también se diversifican las algas rojas como las solenoporáceas [27]. En México se conocen localidades con fósiles del Ordovícico en los estados de Sonora (Hermosillo, Sierra Agua Verde, Arivechi, Las Norias) y Oaxaca (Nochixtlán).



Fig. 5. Graptolites del Ordovícico de La Barita de Sonora, México.

Hacia el Período Silúrico (443 – 419 millones de años), continua la invasión de los mares a tierra firme, extendiéndose mares de poca profundidad por todo el mundo. Los arrecifes coralinos eran comunes, los corales tabulados (Fig. 6) y los peces se encontraban ampliamente distribuidos [5]. Es la edad dorada de los euriptéridos, también conocidos como escorpiones marinos y que alcanzaron dimensiones de hasta 2.5 m., siendo probablemente los primeros artrópodos capaces de vivir en el ambiente continental. En tierra firme las plantas, sin hojas ni semillas, se reproducían por medio de esporas, y con tallos lisos bifurcados eran los que realizaban la fotosíntesis, continuaron diversificándose, pero confinadas a lugares cercanos a la línea de costa [5]. Los primeros peces acorazados, como los ostracodermos y placodermos, eran abundantes en los mares del Silúrico. En el continente las condiciones se vuelven adecuadas para sustentar la vida, la cual emigró desde las aguas marinas. De este período se tienen fósiles de los primeros hongos, los cuales fueron encontrados en rocas de Virginia, Estados Unidos de América [21]. Entre los animales terrestres más antiguos que aparecen en el Silúrico se encuentran las arañas. Geológicamente el período se caracterizó por una gran actividad volcánica en Nueva Inglaterra y la parte oriental de Canadá. Localidades con fósiles del Silúrico en México son escasas, conociéndose solamente en el estado de Sonora (Rancho Placeritos) y en Tamaulipas (Cañón de Caballeros, Ciudad Victoria).



Fig. 6. Detalle de un coral colonial del Silúrico de Rancho Placeritos, Sonora, México.

Al Período Devónico (419 – 358 millones de años) también se le conoce como la edad de los peces, los cuales para entonces también ya habitaban ambientes de agua dulce. Los peces eran muy diversos, apareciendo tiburones primitivos, peces pulmonados y rhipidistianos, estos últimos importantes debido a que las características de sus cuerpos sugieren ser la rama a partir de la cual evolucionaron los primeros anfibios y posteriormente todos los vertebrados terrestres [5]. También en este



período se tienen fósiles de las primeras plantas vasculares, de forma simple, pero con rudimentario sistema vascular que permitía crecer hacia arriba y con ello preparaba las condiciones para una rápida expansión continental, como *Rhynia* [21], culminando el período con presencia de hojas megáfilas, heterosporia, y aparición de preovulos, lo que permitió una diversificación de géneros con talla arbórea, y un establecimiento de bosques a nivel global [28]. Fueron abundantes los helechos, licopodios y equisetos. En el mar aparecieron las algas pardas o feofitas, conocidas comúnmente como sargazos. Un grupo importante que aparece a finales de este período son los ammonites, los cuales habitaron los mares del planeta hasta el final del Cretácico. Las localidades con fósiles del Devónico son escasas en México, conociéndose la mayoría en el estado de Sonora (Sierra Agua Verde, San Pedro de la Cueva).

Al Período Carbonífero (358 – 298 millones de años) se le conoce como “edad de los anfibios”, debido a su gran abundancia y diversificación en este tiempo. Al inicio del período, durante el Misisípico, los anfibios evolucionan y propiciaron el origen de los reptiles, como *Hylonomus*, uno de los reptiles más antiguos conocidos. En el ambiente marino, los belemnites y los crinoideos (lirios de mar) eran abundantes. También hubo una gran radiación de los foraminíferos, como los fusulinidos, importantes fósiles índice para datar las rocas de este tiempo [5]. En tierra firme dominaban los insectos y los artrópodos. En este período se formaron los primeros depósitos de carbón. Hacia finales del Carbonífero, durante el Pensilvánico tuvo lugar la orogenia Apalachiana, la cual da origen a los Apalaches en Norteamérica. Los anfibios alcanzaron tamaños gigantescos como la rana *Eryops* para la cual se ha calculado un tamaño aproximado de 2 m. En tierra firme existió una gran abundancia de insectos, como son

libélulas gigantes (*Meganeura*), efímeras y cucarachas. Las plantas como las licopsidas (*Lepidodendron*) y los equisetos (*Calamites*) prosperaban [21]. En el ambiente marino había una gran abundancia de equinodermos (Fig. 7) y braquiópodos, entre otros. En la atmósfera hay una gran abundancia de oxígeno como resultado de la actividad fotosintéticas de la gran variedad de plantas que habitaban el planeta. Localidades con fósiles del Misisípico se conocen en los estados de Sonora (Bísani, Sierra Santa Teresa, Mesteñas, Sierra Agua Verde), Tamaulipas (Vicente Guerrero) y Oaxaca (Arroyo de las Pulgas, Santiago Ixtaltepec). El Pensilvánico se reconoce en los estados de Sonora (Sierra Agua Verde, Sierra Santa Teresa), Coahuila (Los Piloncillos), Puebla (Patlanoaya, San Salvador), Oaxaca (arroyo Las Pulgas).



Fig. 7. Placas articulares de crinoideos (lirios de mar) del Pensilvánico de Sierra Agua Verde, Sonora, México.

Hacia finales del Paleozoico, durante el Pérmico (298 – 251 millones de años) aparecen las primeras coníferas y las cicadas. Los reptiles dominaban los continentes, surgiendo una gran variedad de formas, entre estas los ancestros de los dinosaurios, cocodrilos, lagartijas, tortugas, serpientes, entre otros [5]. En este período culminó la orogenia Alapachiana y todas las masas continentales se reunieron en un solo supercontinente denominado Pangea. Al finalizar el Período Pérmico, se produce la extinción más grande que ha experimentado la biosfera, causada no sólo por un abrupto cambio climático que se volvió más seco, sino también por las masas continentales y mares cálidos, destruyendo el hábitat de muchas especies. La extinción culminó con más del 90% de las especies marinas (incluyendo los trilobites) y aproximadamente el 70% de las especies terrestres [5]. En México se conocen localidades con fósiles del Pérmico en los estados de Sonora (Cerro

Los Monos, El Antimonio, Rancho La Cueva, Sierra Santa Teresa), Chihuahua (Sierra Plomosa, La Vinata), Coahuila (Cerro Caballo, La Difunta), Tamaulipas (Huayacocotla), Zacatecas (arroyo La Colorada, cerro San Pedro), Hidalgo (Calnali), Guerrero (Olinalá).

Mesozoico

A principios del Mesozoico, durante el Período Triásico (251 – 201 millones de años) se inició con una geografía muy diferente a la actual, existía un super continente que ocupaba latitudes tropicales, denominado Pangea. Posteriormente, este supercontinente se fragmenta y deriva hacia el norte un continente denominado Laurasia, el cual es equivalente a lo que hoy en día es Norteamérica. Otro supercontinente deriva hacia el sur, denominado Gondwana, equivalente a lo que hoy en día es Sudamérica y África. La vida vegetal en Pangea estuvo dominada por helechos con semillas en latitudes bajas, gimnospermas en latitudes medias y coníferas en latitudes altas [6]. Durante el Triásico se inicia el esplendor de los reptiles, destacando los tecodontes, ancestro de los dinosaurios y cocodrilos, los cuales a inicios del período estuvieron representados por *Lagosuchus*, parecido a lagartijas bípedas. En el Triásico también aparecen reptiles planeadores, como *Icarosaurus*, ancestro de los pterosaurios. A finales del Triásico habitaban el planeta pequeños dinosaurios, en comparación con los del Jurásico y Cretácico, como son *Coelophysis* y *Herrerasaurus*, los cuales medían de 2 a 3 m respectivamente, sin embargo, el dinosaurio más grande que habitó el planeta en este período es *Plateosaurus*, el cual medía aproximadamente 8 m [6]. Los reptiles mamíferoides continuaron diversificándose, *Cynognathus* fue un predador del tamaño de un lobo actual, ancestro de los mamíferos actuales. En el ambiente marino aparecen formas como *Leptolepis*, ancestro de casi todos los peces modernos. También aparecieron las diatomeas y cocolitofóridos, algas importantes hasta la actualidad para la cadena trófica. En México, existen localidades con fósiles de plantas del Triásico (Fig. 8) en los estados de Sonora (Los Tanques, Cerro Colorado, Sierra del Álamo, Sierra Santa Teresa, Tonichi), Zacatecas (Puente del Ahogado), Tamaulipas (Huizachal) e Hidalgo (Tlahualompa).



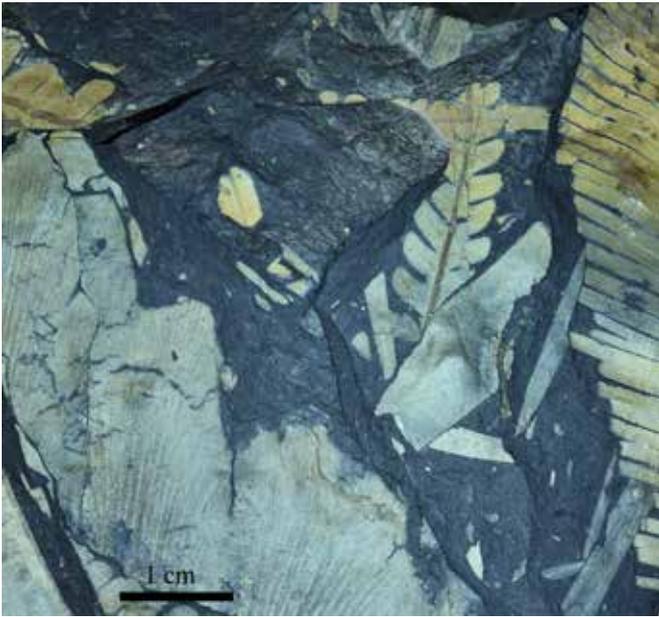


Fig. 8. Plantas del Triásico Superior de Tonichi, Sonora, México.

El Jurásico (201 – 145 millones de años) fue un período geológicamente activo, fue en este tiempo cuando la actividad tectónica separó Pangea, creando importantes cadenas montañosas como las Montañas Rocallosas y los Andes, provocando una importante actividad volcánica. Hacia mediados del Jurásico aumentó notablemente la temperatura del mar y el aire, como resultado de la intensa actividad volcánica y movimiento constante de los fondos marinos, liberando grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂), provocando un efecto invernadero a nivel global [6]. La vida en el mar fue abundante, de este período data el pez óseo más grande conocido, *Leedsichthys*, el cual llegó a medir hasta 12 m. También en este período aparecen las primeras langostas y cangrejos, mientras que los moluscos (ammonites) y camarones prosperaban en los mares. En tierra firme las formas de vida más comunes eran los insectos, incluyendo libélulas, escarabajos, moscas, hormigas y abejas, también en este período es cuando aparecen las plantas con flor. Los dinosaurios se diversificaron alcanzado su máximo desarrollo en tamaño, número y diversidad [6], por lo cual dominaban las áreas continentales. En el Jurásico aparece *Allosaurus*, un dinosaurio carnívoro de 11 m, el cual podía caminar erguido. *Stegosaurus*, era un dinosaurio cubierto de placas que se alimentaba de helechos y *Steneosaurus*, un cocodrilo que nadaba cerca de las líneas de costa. En este período aparecen también las primeras aves, como *Archaeopteryx*. En México, existen localidades con fósiles del Jurásico en los estados de Sonora (sierra Santa Rosa, Pozo de Serna, Sierra del Álamo, Sierra Santa Teresa), Chihuahua (Sierra de Águilas), Coahuila (Sierra de Parras), Nuevo León (El Salitre, Iturbide, San Juan de los Dolores), Oaxaca (Tlaxiaco), Chiapas (La Gachupina, La Concordia), entre otras.

En el Cretácico (145 – 66 millones de años), el clima se tornó mucho más cálido que en la actualidad, con las regiones polares cubiertas por bosques y no por hielo como hoy en día [6]. El Cretácico es importante porque en este período, diferentes grupos de plantas y animales desarrollaron características modernas, parecidas a la actuales. La mayoría de las plantas con flor y mamíferos placentarios aparecieron durante el Cretácico, además de muchos otros grupos se diversificaron, como las almejas, caracoles y peces. Los reptiles voladores como los pterosaurios abundaban en los cielos, y los dinosaurios, incluyendo los que tenían plumas, cuernos o armaduras evolucionaron durante este período [6]. En tierra firme eran comunes *Tyrannosaurus rex* y *Triceratops*. Aparecen las primeras serpientes y salamandras, existiendo también tortugas de 8 m. Se inicia, en el mundo vegetal, el dominio de las Angiospermas, particularmente con las fanerógamas o plantas con flor (Fig. 9). Aparecen los marsupiales como el canguro, la zarigüeya, los koalas y el demonio de Tasmania, así como los mamíferos insectívoros como las musarañas. Hacia el límite con el Cenozoico, se extinguen los dinosaurios y los ammonites (Fig. 10), los cuales hasta el momento se encontraban distribuidos en los mares de todo el mundo. En México, localidades con fósiles del Cretácico se conocen en prácticamente todos los estados del territorio nacional, con excepción de Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Yucatán, Campeche y Tabasco. Dentro de las localidades importantes, debido a fósiles con excelente preservación y su valor histórico para el desarrollo de la paleontología en México se encuentra San Juan Raya, en Puebla.

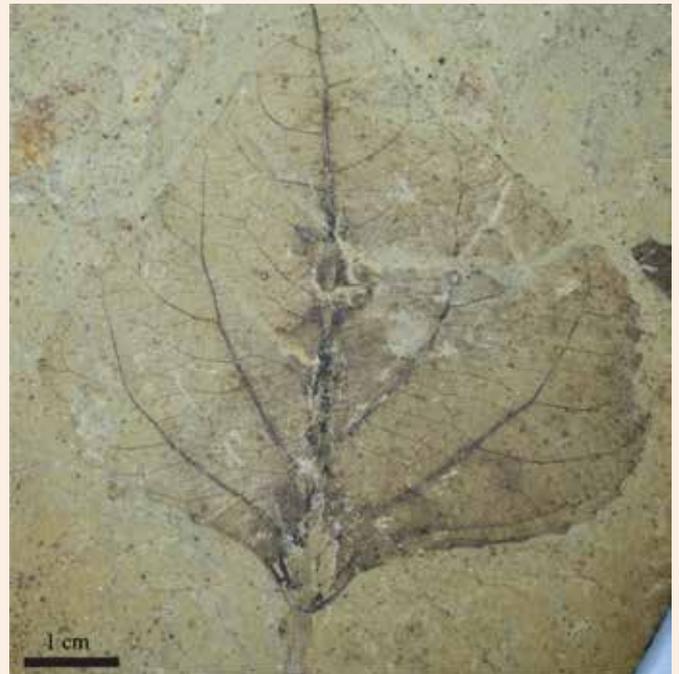


Fig. 9. Hoja fósil del Cretácico de Arizona, Estados Unidos de América.



Fig. 10. *Eotetragonites duvalianus* (d'Orbigny, 1841), ammonite del Cretácico Inferior con la concha original conservada procedente de Rio Hubz, Krasnodar, Rusia.

Durante el Paleoceno (66 – 56 millones de años), hubo una fuerte diversificación de los mamíferos primitivos, apareciendo más de 20 grupos los cuales evolucionaron rápidamente, entre estos roedores (ardillas y ratones), conejos, lagartijas y cocodrilos. También aparecieron aves gigantescas, que no tenían la capacidad de volar. Hacia finales del Paleoceno se inician fluctuaciones en el clima, como resultado del movimiento de masas continentales para tomar una configuración parecida a la actual, provocando también cambios en las corrientes oceánicas [7]. También en este período hay una rápida modernización de las plantas con flor. En México se conocen localidades con fósiles del Paleoceno en los estados de Baja California (Punta San Ysidro, Punta Canoas, La Salinita), Nuevo León (Formación Midway, Loma Comales, Las Encinas, Potrerillos) y Chiapas (División del Norte).

Durante el Eoceno (56 – 33 millones de años), hubo importantes extensiones de frondosos bosques de angiospermas. En el mar surgieron los primeros mamíferos marinos, los cetáceos, incluidas las bellas, marsopas y delfines, así como los sirenios, emparentados con los manatíes modernos. Los primates evolucionaron y se diversificaron en muchas áreas del mundo, con la aparición de lémures y los antepasados de los monos y simios modernos [7]. Durante el Eoceno también aparecieron los primeros antepasados de los elefantes y murciélagos. Aparece el caballo (*Eohippus* o *Hyracotherium*), de un tamaño pequeño. También en esta época hay una gran diversidad de aves con características similares a las actuales. La colisión de India con Asia suroccidental da origen a la cadena montañosa del Himalaya, donde

se encuentra en Monte Everest. En México se conocen localidades del Eoceno en los estados de Baja California Norte (Puerto Santa Catarina, Lomas las Tetras de Cabra), Baja California Sur (Bateque, Rancho San Agustín), Nuevo León (Formación Indio, Formación Laredo, Loma Guajardo), Jalisco (Zardo), Veracruz (Arroyo Zarco), Chiapas (Río Sabinal), entre otros.

En el Oligoceno (33 – 23 millones de años), el clima fue templado y con condiciones favorables para la propagación y diversificación de muchas formas de vida. En esta época aparece el mamífero terrestre más grande de todos los tiempos, el *Paraceratherium*, un rinoceronte gigante sin cuernos de 8 m de longitud [5]. En esta época se tiene una intensa actividad volcánica en las montañas Rocallosas. África colisiona con Europa y Asia, se forman las cadenas montañosas de los Alpes en Europa (Suiza, Francia e Italia), así como los Apeninos. En tierra firme continua la distribución mundial de bosques tropicales, e.g. Formación Ahuehuetes en Puebla [29, 30]. En México se conocen localidades del Oligoceno en los estados de Baja California Sur (El Cien, El Aguajito, Mesa Tesoro), Zacatecas (Alazán-Moyutla), Nuevo León (Zacate), Tamaulipas (San Rafael), Oaxaca (Santiago Yolomécatl), Chiapas (Simojovel, Los Pocitos), entre otros.

En el Mioceno (23 – 5.3 millones de años) desaparecieron muchos grupos de mamíferos primitivos, y las formas de vida de esta época son muy parecidas a las actuales. En este período se tuvieron grandes migraciones de mamíferos a través de conexiones terrestres entre Europa, Asia, América del Norte y África [7]. Los caballos continuaron evolucionando en América del Norte, mientras que en Eurasia aparecieron los perros, osos, rinocerontes, comadrejas y una gran variedad de animales parecidos a ciervos. Mastodontes, mamuts y otros parientes de los elefantes modernos se extendieron desde África a Europa. El enfriamiento y la desecación climática llevaron a una rápida expansión de los pastizales, desarrollándose también una gran variedad de mamíferos de pastoreo. El Mioceno fue un momento crucial para la evolución de los primates, desarrollándose formas como *Dryopithecus*, ancestro todos los monos modernos y de los humanos. Una gran actividad volcánica se desarrolla en la margen occidental del continente americano, dando origen a las cadenas montañosas de los Andes en América del Sur y a la Sierra Madre Occidental en México. El Mioceno se encuentra ampliamente distribuido en México, principalmente en depósitos continentales, con excepción de los estados de Sinaloa, Durango, Coahuila, Nuevo León, Guerrero y Yucatán, donde se tienen materiales marinos.

En el Plioceno (5.3 – 2.5 millones de años) continuo la evolución de los primates, apareciendo *Ardipithecus* y *Australopithecus*, un grupo de homínidos estrechamente relacionados con los humanos actuales. Como el hombre actual, caminaban de forma bípeda, pero tenían cerebros pequeños. El espécimen fósil más famoso de *Australopithecus* es "Lucy", que se encontró en el sur de

África y data de hace 3,2 millones de años, sin embargo, un fósil más antiguo denominado "Ardi", perteneciente a la especie *Ardipithecus ramidus* fue fechado recientemente en 4.4 millones de años [7]. En el hemisferio occidental, la conexión terrestre entre América del Norte y América del Sur se restableció a mediados del Plioceno, permitiendo que las zarigüeyas, perezosos y puercoespines, migraran hacia el norte. En el ambiente marino los peces óseos dominan y son exitosos en su desplazamiento (Fig. 11). Los bosques sustentaron a las grandes manadas de mamíferos herbívoros. En México, el Plioceno se conoce en los estados de Baja California Norte (San Felipe, San Quintín), Baja California Sur (Isla San Marcos, Santa Rosalía, Rancho El Refugio), Chihuahua (Concha, Minaca Mesa), Hidalgo (Atotonilco El Grande), Jalisco (Tecolotlan), Veracruz (Coatzacoalcos), entre otros.



Fig. 11. Pez fósil del Plioceno de California, Estados Unidos de América.

El Pleistoceno (2.58 – 0.0117 millones de años) se caracteriza por una serie de repetidos avances y retrocesos de glaciares, sin embargo, este período no fue uniformemente frío. La mayor parte del hielo glacial se encontraba en el hemisferio norte, donde las capas de hielos se extendían hasta el sur de Illinois en América del Norte, y cubrían la mayor parte de Gran Bretaña, Alemania, Polonia y Rusia en Eurasia. Estas condiciones extremas provocaron la adaptación de muchos organismos como el mamut y el rinoceronte lanudos [7]. También fue una época de gigantismo en muchos mamíferos terrestres, por razones que aún no se entienden claramente. Los mamíferos del Pleistoceno incluían al castor gigante, el perezoso gigante, el ciervo-alce y el oso de las cavernas, así como el mastodonte gigante, al día de hoy todos extintos. Las fluctuaciones climáticas del Pleistoceno también fueron factores en la evolución de los homínidos modernos, se estima que el cambio de los bosques a pastizales más secos en África favoreció una postura erguida y la capacidad de correr y caminar largas distancias, liberando así las manos para tomar herramientas. El género *Homo*, al que pertenecen todos los humanos modernos, apareció hace

aproximadamente 2 millones de años en África, existen fósiles de *Homo erectus* en África, Europa, Asia, seguidos por los neandertales, otros parientes humanos y los propios seres humanos (*Homo sapiens*). Hace unos 30000 años, los neandertales desaparecieron, y los humanos modernos se extendieron por todos los continentes, excepto la Antártida. Los insectos alcanzan una gran diversidad. Aparece el mamut (*Mammuthus primigenius*), dientes de sable (*Smilodon*) con caninos superiores a 20 cm de longitud, *Megatherium* fueron grandes mamíferos desdentados, armadillos gigantes como *Glyptodon*, y ciervos gigantes como *Megaloceras*, cuya distancia entre las astas era de 3.5 m. El Pleistoceno está ampliamente distribuido en México, con excepción de los estados de Sinaloa, Durango, Guerrero, Chiapas, entre otros.

La época actual de la historia geológica se conoce como Holoceno, y se refiere al período dominado por la influencia humana, comenzando hace aproximadamente 11700 años. En el ambiente marino, se tiene una gran diversidad de formas de invertebrados como esponjas, corales, briozoarios, moluscos (Fig. 12), artrópodos, equinodermos, entre otros. Durante este corto período el planeta ha experimentado condiciones frías y relativamente estables, en comparación con la mayor parte de la historia del planeta. Este clima favorable permitió una agricultura generalizada y el desarrollo de las civilizaciones humanas en todo el mundo. Incluso ya en la Edad de Bronce, hace 3000 años, es posible evidenciar la actividad humana, debido a que las comunidades empezaron a talar bosques para obtener carbón y permitir el uso del suelo para la agricultura, causando erosión del suelo [7].

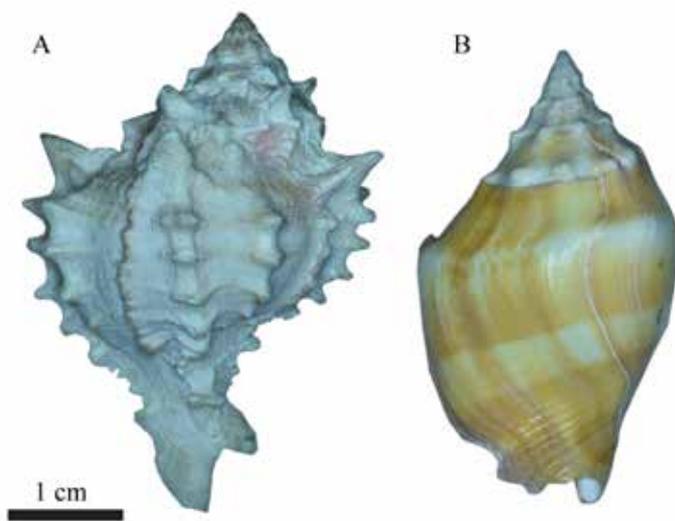


Fig. 12. Gasterópodos del Holoceno de Punta Chueca, Sonora, México. A. *Hexaplex*, B. *Strombus*.

CONCLUSIONES

Por medio de los fósiles es posible conocer la historia de la vida en el planeta Tierra. A través de estos es

posible realizar interpretaciones fundamentales sobre la evolución, aparición y extinciones de diversos organismos, los cuales se han preservado en las rocas sedimentarias. Los fósiles proporcionan información valiosa que permite resolver complejos problemas geológicos, permitiendo además datar las rocas sedimentarias que los contienen. En México se cuenta con fósiles de prácticamente todas las edades geológicas, por lo cual es importante conservarlos y preservarlos para su estudio y la posterioridad.

Agradecimientos

Los autores agradecen al M.C. Héctor Arturo Noriega Ruiz, estudiante del Posgrado Biociencias de la Universidad de Sonora, quien amablemente tomó fotografías a los ejemplares de la Colección de Paleontología del Departamento de Geología. Las figuras 2 y 10 fueron amablemente proporcionadas por la Dra. Elizabeth Chacón-Baca y el Dr. Josep A. Moreno-Bedmar respectivamente, con el fin de ilustrar el presente manuscrito. Se agradece también al Proyecto PRODEP UNISON PTC-301: "Paleoecología de los ecosistemas marinos del Cámbrico de Sonora, México: Bioestratigrafía, Paleobiogeografía y su relación con el cratón de Norteamérica".

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Chacón Baca, M. P. Velasco de León, C. Castañeda Posadas, F. J. Cuen Romero y D. E. Lozano Carmona, «La Sociedad Mexicana de Paleontología: Una retrospectiva pertinente,» *Paleontología Mexicana*, vol. 9, nº 1, pp. 41-51, 2020.
- [2] M. J. Russell, D. E. Daia y A. J. Hall, «The emergence of life from FeS bubbles at alkaline hot springs in an acid ocean,» de *Thermophiles: The keys to molecular evolution and the origin of life*, J. Wiegel y M. W. W. Adams, Edits., Washington, Taylor & Francisc, 1998, pp. 77-126.
- [3] M. J. Russell y A. J. Hall, «The onset and early evolution of life,» de *Evolution of early earth's atmosphere, hydrosphere, and biosphere - constraints from ore deposits*, vol. 198, S. E. Kesler y H. Ohmoto, Edits., Geological Society of America, 2006, pp. 1-32.
- [4] J. P. Rafferty, Ed., *Geochronology, Dating, and Precambrian Time: The Beginning of the World as We Know it*, Britannica Educational Publishing., 2010, p. 245.
- [5] J. P. Rafferty, Ed., *The Paleozoic Era: Diversification of Plant and Animal Life*, Britannica Educational Publishing., 2010, p. 339.
- [6] J. P. Rafferty, Ed., *The Mesozoic Era: Age of Dinosaurs*, Britannica Educational Publishing, 2010, p. 285.
- [7] J. P. Rafferty, Ed., *The Cenozoic Era: Age of Mammals*, Britannica Educational Publishing, 2010, p. 241.
- [8] J. Bell, *The Earth Book: From the Beginning to the End of Our Planet, 250 Milestone on the History of Earth Science*, New York: Sterling Publishing Co., Inc., 2019, p. 793.
- [9] E. Chacón-Baca, C. Camargo y A. Negrón-Mendoza, «La evolución química como antecedente al origen de la vida,» *CIENCIA UANL - 20*, vol. 85, nº julio-septiembre, 2017.
- [10] K. Zahnle, L. Schaefer y B. Fegley, «Earth's earliest atmospheres,» *Cold Spring Harb Perspect Biol.*, vol. 2, nº 10, 2010.
- [11] W. K. Hartmann, C. Quantin y N. Mangold, «Possible long-term decline in impact rates: 2. Lunar impact-melt data regarding impact history,» *Icarus*, vol. 186, nº 1, pp. 11-23, 2007.
- [12] P. J. Thomas, R. D. Hicks, C. F. Chyba y C. P. McKay, Edits., *Comets and the Origin and Evolution of Life*, Springer Science & Business Media., 2006.
- [13] D. Christian, *Big history: The big bang, life on earth, and the rise of humanity.*, Virginia: The Teaching Company, 2008, p. 280.
- [14] S. J. Mojzsis, G. Arrhenius, K. D. McKeegan, T. M. Harrison, A. P. Nutman y C. R. L. Friend, «Evidence for life on Earth before 3,800 million years ago,» *Nature*, vol. 384, nº 6604, pp. 55-59, 1996.
- [15] A. H. Knoll, K. D. Bergmann y J. V. Strauss, «Life: The first two billion years,» *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 371, nº 1707, p. 20150493, 2016.
- [16] H. J. Hofmann, K. Grey, A. H. Hickman y R. I. Thorpe, «Origin of 3.45 Ga coniform stromatolites in Warrawoona Group, Western Australia,» *GSA Bulletin*, vol. 111, nº 8, pp. 1256-1262, 1999.
- [17] R. Riding, «The term stromatolite: Towards an essential definition,» *Lethaia*, vol. 32, pp. 321-330, 1999.
- [18] M. J. Van Kranendonk, G. E. Webb y B. S. Kamber, «Geological and trace element evidence for a marine sedimentary environment of deposition and biogenicity of 3.45 Ga stromatolitic carbonates in the Pilbara Craton, and support for a reducing Archaean ocean,» *Geobiology*, vol. 1, nº 2, pp. 91-108, 2003.
- [19] T. R. Bontognali, A. L. Sessions, A. C. Allwood, W. W. Fischer, J. P. Grotzinger, R. E. Summons y J. M. Eiler, «Sulfur isotopes of organic matter preserved in 3.45-billion-year-old stromatolites reveal microbial metabolism,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 109, nº 38, pp. 15146-15151, 2012.
- [20] E. Chacón-Baca, «Microbial signatures from the Precambrian Files,» de *Astrobiology, Emergence, Search and Detection of Life*, V. Basiuk, Ed., Valencia, CA: American Scientific Publishers, 2010, pp. 315-340.
- [21] E. L. Taylor, T. N. Taylor y M. Krings, *Paleobotany: the biology and evolution of fossil plants*, Academic Press, 2009, p. 1222.
- [22] D. Fliegel, J. Kosler, N. McLoughlin, A. Simonetti, M. J. de Wit, R. Wirth y H. Furnes, «In-situ dating of the Earth's oldest trace fossils at 3.34 Ga,» de *Earth Planetary Science Letters*, vol. 299, pp. 290-298.
- [23] N. J. Butterfield, A. H. Knoll y K. Swett, «A bangiophyte red alga from the Proterozoic of arctic Canada,» *Science*, vol. 250, nº 4977, pp. 104-107, 1990.
- [24] M. A. McMenamin, «Eldiacaran biota from Sonora, Mexico,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 93, nº 10, pp. 4990-4993, 1996.
- [25] F. J. Cuen-Romero, J. E. Valdez-Holguín, A. Montijo-González y R. Monreal-Saavedra, «Invertebrados Fósiles del Paleozoico de Sonora, México,» *Epistemos*, vol. 10, nº 21, pp. 75-83, 2016.
- [26] T. P. Fletcher, G. Theokritoff, G. S. Lord y G. Zeoli, «The early paradoxidid harlani trilobite fauna of Massachusetts and its correlatives in Newfoundland, Morocco, and Spain,» *Journal of Paleontology*, vol. 79, nº 2, pp. 312-336, 2005.
- [27] R. Riding, «Calcified algae and bacteria,» de *The Ecology of the Cambrian Radiation*, A. Y. Zhuravlev y R. Riding, Edits., New York, Columbia University Press, pp. 445-473.
- [28] K. J. Niklas, «Predicting the Height of Fossil Plant Remains: An Allometric Approach to an Old Problem,» *American Journal of Botany*, vol. 81, nº 10, pp. 1235-1242, 1994.
- [29] J. L. Ramírez y S. R. S. Cevallos-Feriz, «A diverse assemblage of Anacardiaceae from Oligocene sediments, Tepexi de Rodríguez, Puebla, Mexico,» *American Journal of Botany*, vol. 89, nº 3, pp. 535-545, 2002.
- [30] M. P. Velasco-de León, R. A. Spicer y D. C. Steart, «Climatic reconstruction of two Pliocene floras from Mexico,» *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, vol. 90, nº 2, pp. 99-110, 2010.