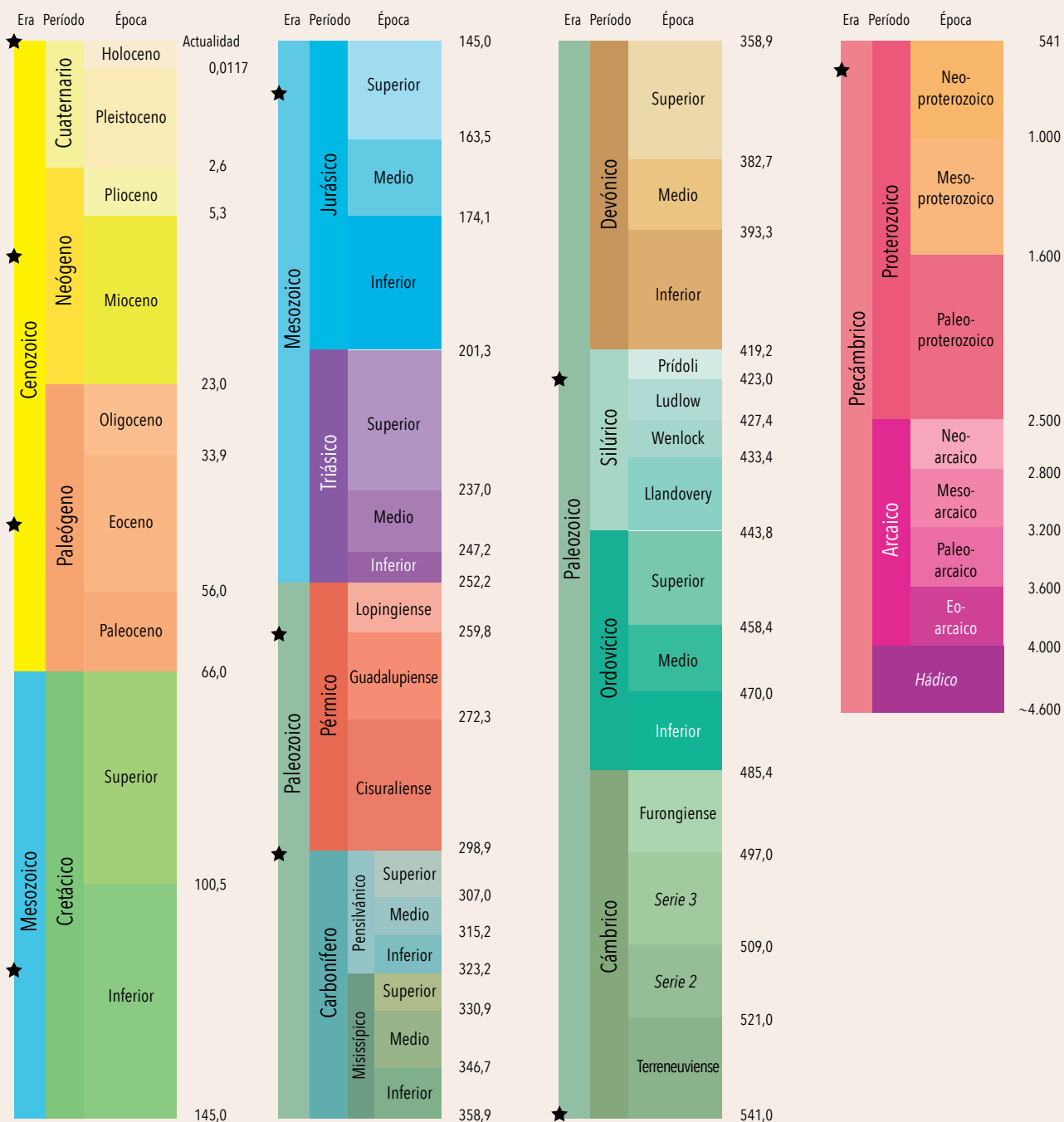
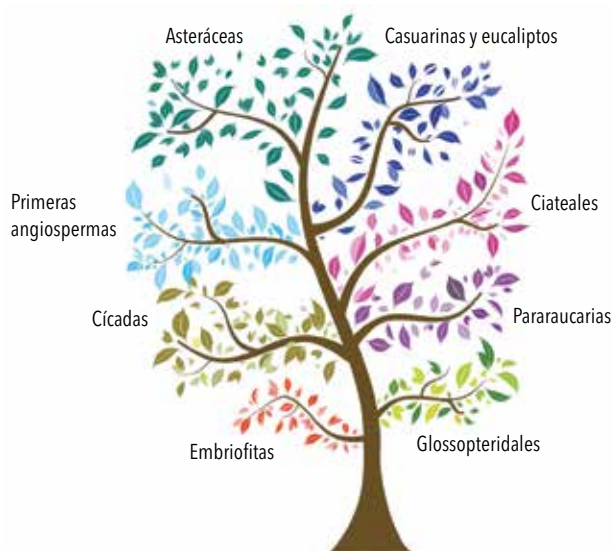


El tiempo geológico

En millones de años (Ma) antes del presente



Versión simplificada de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional, publicada por la Comisión Internacional de Estratigrafía en <http://www.stratigraphy.org/ICSChart/ChronostratChart2015-01Spanish.pdf>; los colores siguen los criterios de la Comisión del Mapa Geológico del Mundo (<http://www.ccgmm.org>). Ambos cuerpos pertenecen a la Unión Internacional de Ciencias Geológicas. Las cifras fueron redondeadas y marcan los límites de las divisiones del tiempo en Ma antes del presente. Las barras no están dibujadas en escala: las tres primeras (empezando por la izquierda) cubren el período de los artículos de este número; las estrellas indican los momentos a que corresponden los mapas de las páginas 18 y 19.



Paleobotánica

Este número de CIENCIA HOY está dedicado a la paleobotánica. Los editores agradecen la eficiente colaboración de Viviana D Barreda, investigadora principal del Conicet en el Museo Argentino de Ciencias Naturales, que actuó como editora invitada para su preparación. En tal carácter, definió los temas a tratar, propuso autores y árbitros, revisó los manuscritos y participó en las tareas de edición. Roberto R Pujana la asistió en esas tareas y se desempeñó como enlace con el comité editorial. Quede constancia del reconocimiento de este por la labor de ambos.

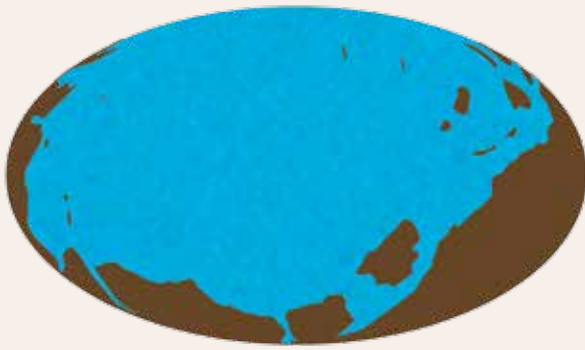
Paleontología y fósiles

La paleontología estudia los organismos que habitaron la tierra en el pasado geológico. Lo hace a partir del análisis de la más importante y a veces única evidencia que poseemos de ellos: sus restos fósiles. Abarca principalmente tres grandes ramas: la paleontología de vertebrados (reptiles, mamíferos, aves), la paleontología de invertebrados (moluscos, entre otros) y la paleobotánica. A la última se refieren los artículos de este número, dedicados a algunos de los grupos de plantas que vivieron en o en las cercanías de lo que hoy es el territorio argentino entre unos 500 y unos 45 millones de años (Ma) antes del presente.

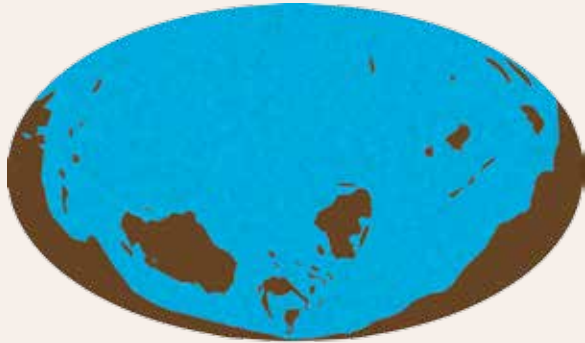
La vida en la Tierra, tal como la conocemos hoy, es el resultado de los cambios producidos a lo largo del tiempo por la evolución, de los cuales los fósiles proporcionan

un excelente testimonio. La abundancia y la diversidad del registro fósil ponen en evidencia que solo una pequeña fracción de la diversidad de formas de vida pretéritas está hoy presente en el planeta.

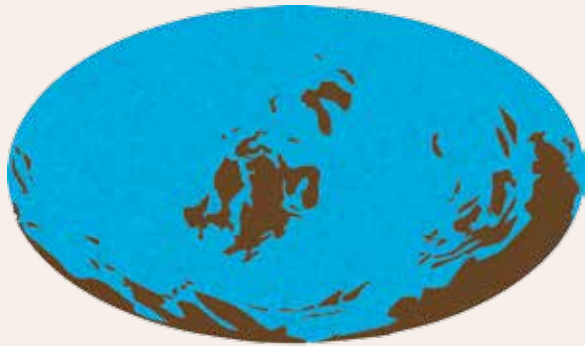
Por lo general, cuando un organismo muere sobreviene su descomposición. Sin embargo, en condiciones particulares, una pequeña fracción de los seres vivos que habitaron la Tierra terminó conservada como fósiles. En el caso de las plantas, esos fósiles pueden ser improntas o huellas sobre rocas, compresiones carbonosas, permneralizaciones (tejidos parcialmente reemplazados por minerales) o petrificaciones (mineralización total). Los tejidos y órganos tienen diferentes potenciales de fosilización: las hojas resistentes y más duras, maderas, frutos leñosos, semillas y polen son fósiles frecuentes, mientras que flores y frutos delicados son escasos.



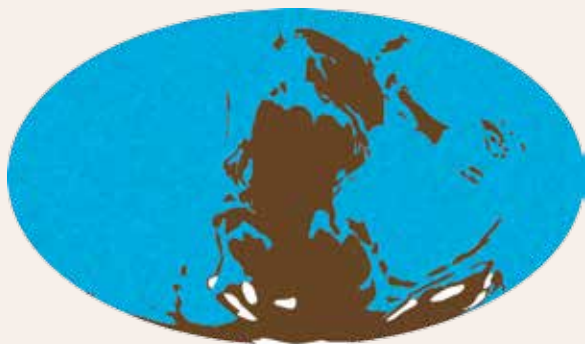
600Ma
Precámbrico



540Ma
Cámbrico



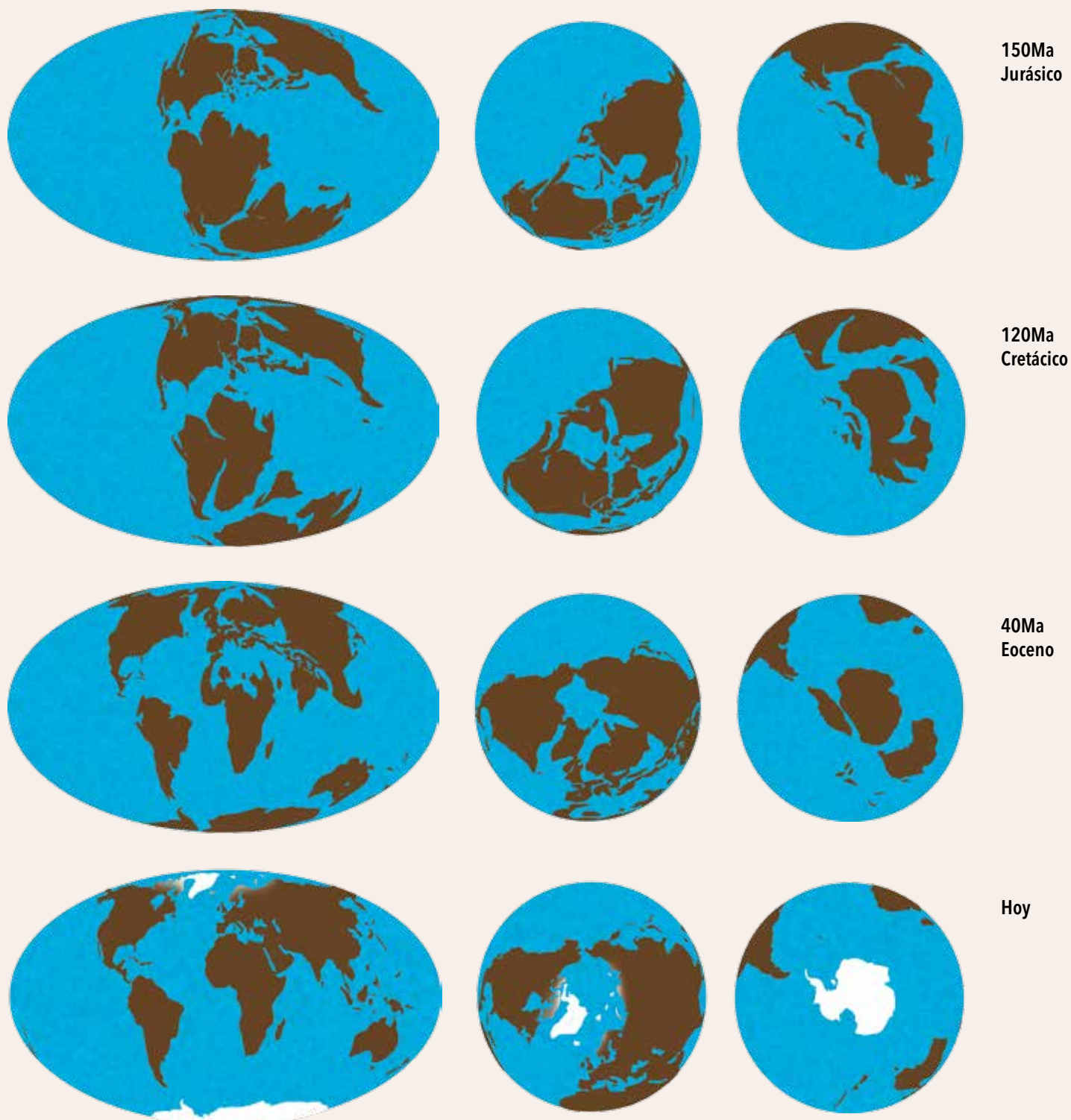
420Ma
Silúrico



300Ma
Carbonífero



260Ma
Pérmico



Croquis esquemáticos de los cambios en la configuración de continentes y mares entre hace unos 600Ma y el presente. Cada grupo de tres imágenes muestra, de izquierda a derecha, la visión ecuatorial de la Tierra, del polo norte y del polo sur. Los esquemas correspondientes a hace 300Ma y 260Ma indican la masa continental a la que se dio el nombre de Pangea rodeada del océano primigenio llamado Pantalasa. Hace 150Ma, por efecto de la deriva de los continentes, Pangea se había dividido en los supercontinentes Laurasia al norte y Gondwana al sur, mientras que se podían diferenciar dos partes de Pantalasa: los océanos Pacífico y Tethys, al tiempo que se insinuaba el Atlántico. Los siguientes esquemas dan cuenta de la fragmentación de los supercontinentes hasta llegar a la situación actual. En blanco, las principales áreas cubiertas de hielo.

Por lo general los fósiles son fragmentos de un único órgano del espécimen original (por ejemplo, un tronco, una hoja o una semilla) o la combinación de dos o más estructuras (por ejemplo, una flor conectada con la rama que la portaba). Los que se encuentran juntos o próximos pueden pertenecer a un único individuo o a varios, de una o de más especies. Reconstruir un organismo del pasado o establecer cómo eran los integrantes de una especie extinguida y cómo esta evolucionó son tareas semejantes a armar un rompecabezas de numerosísimas piezas.

Plantas

Las plantas son organismos que desempeñaron un papel fundamental en la evolución de la vida terrestre. Proporcionan alimento y resguardo a muchos otros seres vivos, producen oxígeno, regulan la humedad y contribuyen a la estabilidad del clima.

El estudio del registro fósil de plantas nos permite establecer cuándo se originaron los grandes grupos de ellas (como las plantas con flores), sus momentos de diversi-

■ EL BOSQUE PETRIFICADO DE JARAMILLO ■

Seguramente a muchos lectores de CIENCIA HOY la mención de plantas fósiles les evoque imágenes de bosques petrificados, que técnicamente son yacimientos de maderas fosilizadas generalmente compuestos por grandes troncos más numerosos fragmentos y astillas diseminados por el suelo. Esos bosques existen en todo el mundo y son bastante abundantes en la Argentina, particularmente en zonas con poca vegetación actual.

El más extenso y conocido del país es el del Monumento Natural Bosques Petrificados, en Jaramillo, Santa Cruz (a veces llamado Cerro Madre e Hija). Los fósiles datan del Jurásico, de hace unos 170Ma, e incluyen maderas, conos y hojas de araucarias y otras

coníferas. También son conocidos el Monumento Provincial Bosque Petrificado Sarmiento, en Chubut, del Paleoceno, y el Parque Paleontológico Araucarias de Darwin, del Triásico, en Mendoza.

Las maderas fósiles de estos bosques se estudian cortándolos en láminas de unos 50 micrómetros de espesor que, vistas al trasluz con un microscopio, permiten identificar los distintos tipos de células que las forman, sus características y su disposición, que son propias de cada especie de árbol. Así, las maderas fósiles de Jaramillo indicaron que abundaban las araucarias, y las de la península antártica revelaron que durante gran parte del Cenozoico había allí bosques similares a los patagónicos actuales.



Bosque petrificado de Jaramillo, Santa Cruz, que data del período jurásico, hace aproximadamente 170Ma.

ficación y, en algunos casos, su momento de extinción. Además, proporciona información para comprender la evolución en el tiempo, tanto de los ecosistemas como del clima del planeta.

El tiempo geológico

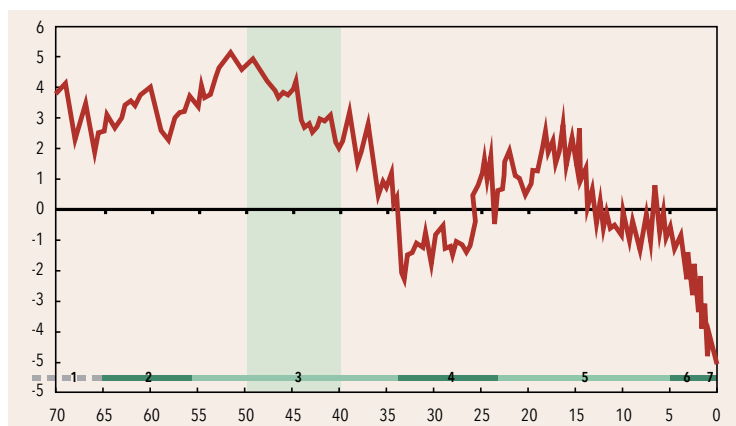
Con los inicios de la geología moderna hacia el fin del siglo XVIII, empezaron los esfuerzos por establecer el marco de referencia temporal de la historia de la Tierra y de la vida en ella, es decir, de definir la *escala del tiempo geológico*. En los comienzos y prácticamente todo a lo largo del siglo XIX, los geólogos definieron *cronologías relativas*, por las cuales ordenaban las rocas de un lugar o región según su antigüedad relativa, pero no podían datarlas en años. Para los primeros años del siglo XX fue posible intentar una *cronología absoluta* en Ma, por ejemplo recurriendo a los isótopos radiactivos de diversos elementos, entre otros métodos. Los progresos realizados en la construcción de esa cronología desembocaron en la tabla reproducida en la página 16, que muestra las principales divisiones del tiempo geológico entre el momento de origen de la Tierra, hace unos 4600Ma, y el presente.

El desplazamiento de los continentes

En esos 4600Ma, no solo cambió la vida en nuestro planeta: también varió la configuración de los continentes y los mares. En 1912 el geofísico alemán Alfred Wegener (1880-1930), basándose en el hecho de que los bordes de los continentes actuales parecían encajar unos con otros como las piezas de un rompecabezas, postuló que habrían sido parte de un supercontinente que terminó llamándose Pangea. Ciertas evidencias, como la similitud de eventos glaciares y registros fósiles en partes del planeta que hoy se encuentran muy distanciadas, en su momento podían explicarse por la teoría de Wegener, pero se desconocían los mecanismos que habrían producido las cambiantes configuraciones de continentes y mares, hasta que en la década de 1950 la *tectónica de placas* proveyó de fundamento científico a lo que hoy llamamos *deriva continental*.

Cambios del clima

También el clima experimentó profundos cambios a lo largo del tiempo geológico, con momentos de amplias glaciaciones como las registradas en el Carbonífero (hace unos 300Ma) o en el Pleistoceno (entre 2,6 y 0,1Ma antes



Cambio climático durante la era cenozoica y el óptimo climático del Eoceno. El eje de la izquierda indica la variación estimada por algunos investigadores (entre ellos, James Zachos, Ján Veizer, Dana Royer, Robert Berner y Christopher Scotese) de la temperatura terrestre (en °C) con respecto a un nivel arbitrario; el eje inferior marca Ma antes del presente; la barra inferior con dos tonos de verde da la sucesión de épocas del Cenozoico, a saber, de izquierda a derecha: (1) Cretácico; (2) Paleoceno; (3) Eoceno (del que va sombreado el óptimo climático); (4) Oligoceno; (5) Mioceno; (6) Plioceno, y (7) Pleistoceno + Holoceno (Cuaternario). Los datos sobre los que se basan estas estimaciones provienen sobre todo de análisis de isótopos de oxígeno en el hielo de glaciares.

del presente), seguidas por intervalos cálidos en que floras y faunas tropicales avanzaron hacia las altas latitudes, y tierras hoy cubiertas por hielos permanentes, como la Antártida, tenían una importante cubierta vegetal. El gráfico presenta una estimación de cómo varió la temperatura terrestre desde hace unos 70Ma.

Evolución de la vida

La vida en la Tierra evolucionó en el marco de los cambios comentados de los continentes, los mares y el clima. Las primeras modalidades de vida aparecieron en los océanos hace unos 3500Ma en forma de bacterias y otros organismos unicelulares. La aparición de la fotosíntesis en las cianobacterias y las algas verdes dio lugar a la progresiva oxigenación de la atmósfera, la formación de la capa de ozono y el establecimiento de condiciones apropiadas para el surgimiento de formas de vida más elaboradas. De estas, las briofitas constituyen el linaje más antiguo de las plantas terrestres cuyos primeros registros datan de fines del Ordovícico y principios del Silúrico de la era paleozoica, hace unos 500Ma (ver artículo 'Primeros pasos de la vida fuera del agua').

Las plantas se adaptaron a vivir en tierra a partir del desarrollo de tejidos especializados, capaces de transportar internamente agua y nutrientes. A partir del Devónico, hace unos 420Ma, se produjo un importante recambio florístico en el que aparecieron nuevas formas de plantas con raíces, tallos y frondes. Algunos grupos, como las

licofitas, se expandieron durante el Carbonífero, hace entre unos 350 y 300Ma, y formaron pequeños bosques; de otros, como los helechos, entre ellos los arborescentes (ver artículo 'Helechos arborescentes en la Antártida'), llegarían unos pocos grupos hasta nuestros días.

Los primeros grupos de plantas terrestres se reproducían en un medio acuático mediante esporas formadas en órganos especiales llamados *esporangios*. Los grupos más evolucionados se reproducen por medio de semillas, que es una forma más exitosa de reproducción ya que permite a la planta independizarse del agua para multiplicarse. Se reconocen dos subgrupos de plantas con semillas: las *gimnospermas* y las *angiospermas*, antes de cuya aparición, sin embargo, el registro fósil reveló la existencia de helechos con semillas o *pteridospermas*, hoy extinguidos, que constituyen un paso evolutivo intermedio entre los helechos y las gimnospermas. Entre las pteridospermas del Pérmico (entre 299 y 252Ma antes del presente) se destacan las del orden *Glossopteridales* (ver artículo 'Glossopteris en los bosques de Gondwana').

Las gimnospermas se habrían originado en el Carbonífero (entre hace 359 y 299Ma) y expandido en el Pérmico con varios grupos extinguidos. Habrían dominado los ecosistemas mesozoicos (entre hace 252 y 66Ma) con nuevos linajes, algunos desaparecidos, como la familia *Cheirolepidiaceae* (ver artículo 'Pararaucaria y la evolución de las coníferas') y otros que llegan a nuestros días como las cícadas (ver artículo 'Cícadas, fósiles vivientes del reino vegetal') o las araucarias.

Las angiospermas, por su parte, aparecieron por primera vez de manera cierta en el registro fósil en el Cretácico temprano, hace unos 130Ma (ver artículo 'Cuando las primaveras empezaron a tener flores'), y se diversificaron rápidamente en el Cretácico tardío, hace unos 75Ma, para prácticamente dominar durante el Cenozoico (a partir de hace 65Ma) todos los ecosistemas (ver artículos 'La evolución temprana de las asteráceas' y 'Casuarinas y eucaliptos, los árboles perdidos de la Patagonia').


La paleobotánica en la Argentina

La disciplina tiene un desarrollo relativamente reciente en el país, comparado con el de otras ramas de la paleontología. En el siglo XIX, numerosos naturalistas europeos, como Félix de Azara (1746-1821), Alcide


d'Orbigny (1802-1857), Charles Darwin (1809-1882) y Hermann Burmeister (1807-1892), entre otros, comentaron hallazgos de plantas fósiles realizados por ellos o por otros, lo mismo que hicieron hacia fin de ese siglo exploradores locales como Francisco P. Moreno (1852-1929), Ramón Lista (1856-1898) y Jorge Fontana (1846-1920). En el siglo XX se destacaron la labor del berlinés radicado en Córdoba Federico Kurtz (1854-1921), de quien la Academia Nacional de Ciencias publicó póstumamente su *Atlas de plantas fósiles de la República Argentina*; el médico y naturalista italoargentino Joaquín Frenguelli (1883-1958) y el geólogo italiano Egidio Feruglio (1897-1954), entre otros.

El despegue de la paleobotánica en la Argentina tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XX con la labor de Alberto Castellanos (1896-1968), discípulo de Kurtz, y de sus numerosos alumnos, que se cuentan entre los autores de las primeras tesis doctorales en la especialidad escritas en el país en las décadas de 1940 y 1950, entre ellos Pedro Stipanovic (1921-2008), Carlos A. Menéndez (1921-1976), María Bonetti (1923-2015) y Sergio Archangelsky. Estos, junto con el botánico y palinólogo Juan Carlos Gamero (1923-2013), sentaron las bases para el florecimiento actual de la disciplina en la Argentina.

El contenido de este número

La selección de artículos hecha para el presente número procura reflejar la evolución del reino vegetal a lo largo del tiempo geológico sobre la base de fósiles encontrados en el actual territorio argentino. Estos abarcan desde las primeras plantas que colonizaron la tierra firme, analizadas por Claudia V. Rubinstein, hasta la aparición y plenitud de las angiospermas o plantas con flores, que hoy dominan los ecosistemas terrestres, examinada en los artículos de Mauro Passalia et al., María del Carmen Zamaló y María Alejandra Gandolfo, y Viviana Barreda y Luis Palazzesi. Otros artículos describen varias ramas intermedias del árbol evolutivo de las plantas, entre ellas los helechos arborescentes que abordan Ezequiel Vera y Silvia Césari, grupos extinguidos como los *Glossopteris*, tratados por Bárbara Cariglino y M. Lucila Balarino, coníferas extinguidas como las consideradas por Ignacio Escapa, y las cícadas, que llegaron a nuestros días, tema de la nota de Leandro Martínez y Analía Artabe. 

LECTURAS SUGERIDAS

- 
- OTTONE EG, 2005, 'The history of palaeobotany in Argentina during the 19th century', en Bowden AJ, Burek CV & Wilding R (eds.), *History of Paleobotany: Selected Essays*, pp. 281-294, Geological Society, Londres.
- TAYLOR TN, TAYLOR EL & KRINGS M, 2008, *Paleobotany. The Biology and Evolution of Fossil Plants*, Elsevier.