CIENCIAHOY

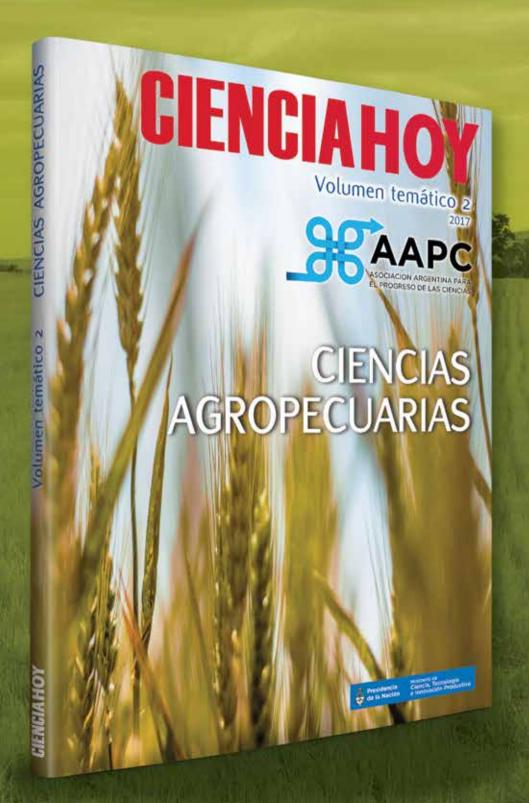
Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy Volumen 26 número 154 marzo - abril 2017 Ejemplar en la Argentina \$100

Paleobotánica





CIENCIA HOY continúa con la serie de volúmenes temáticos, con 200 páginas que comprenden 25 artículos sobre ciencias agropecuarias publicados en la revista. Editores María Semmartin y Martín Oesterheld.



www.cienciahoy.org.ar contacto@cienciahoy.org.ar

f RevistaCienciaHoy Tel (011) 4961 1824 Fax (011) 4962 1330

CIENCIAHO

Propietario: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Director: Pablo Enrique Penchaszadeh

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de la revista puede reproducirse, por ningún método, sin autorización escrita de los editores. los que normalmente la concederán con liberalidad, en particular para propósitos sin fines de lucro, con la condición de citar la fuente.

Sede: Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A (C1193AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires Tel.: (011) 4961-1824 y Fax: (011) 4962-1330 Correo electrónico: contacto@cienciahoy.org.ar http://www.cienciahoy.org.ar

Lo expresado por autores, corresponsales, avisadores y en páginas institucionales no necesariamente refleja el pensamiento del comité editorial, ni significa el respaldo de CIENCIA HOY a opiniones o productos.

Consejo científico

Coordinadora: Olga Dragún (Departamento de Física, CNEA)

Elvira Arrizurieta (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), José Emilio Burucúa (UNSAM), Ennio Candotti (Museo de Amazonia, Brasil), Jorge Crisci (FCNYM, UNLP), Roberto Fernández Prini (FCEN, UBA), Stella Maris González Cappa (FMED, UBA), Francis Korn (Instituto y Universidad Di Tella), Juan A Legisa (Centro de Estudios de la Actividad Regulatoria Energética, UBA), Eduardo Míguez (IEHS, Unicen), Felisa Molinas (Instituto de Investigaciones Médicas Alfredo Lanari, UBA), Marcelo Montserrat (Academia Nacional de Ciencias), José Luis Moreno (Universidad Nacional de Luján), Alberto Pignotti (FUDETEC), Gustavo Politis (Departamento Científico de Arqueología, FCNYM, UNLP), Eduardo H Rapoport (Laboratorio Ecotono, Universidad Nacional del Comahue) y Fidel Schaposnik (Departamento de Física, FCE, UNLP)

Secretaría del comité editorial: Paula Blanco

Representante en Bariloche

Guillermo Abramson (Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche); Av. Ezequiel Bustillo, km 9,5 (8400) San Carlos de Bariloche, Prov. de Río Negro

Representante en Mar del Plata

Raúl Fernández (Facultad de Ciencias de la Salud y Servicio Social, UNMdP) Saavedra 3969 (7600) Mar del Plata, Buenos Aires. Tel: (0223)474-7332 Correo electrónico: raferna@mdp.edu.ar

Editores responsables

Federico Coluccio Leskow

Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Luján. Conicet

Omar Coso

Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias, UBA-Conicet

Alejandro Curino

Instituto de Investigaciones Bioquímicas Bahía Blanca, UNS-Conicet

Cristina Damborenea

División Zoología Invertebrados, Museo de La Plata, FCNYM-UNLP. Conicet

Ingrid de Jong

Instituto de Ciencias Antropológicas, UBA-Conicet

María Luz Endere

Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Conicet

Alejandro Gangui

Instituto de Astronomía y Física del Espacio, UBA-Conicet

Corresponsal en Río de Janeiro

Revista Ciência Hoje Av. Venceslau Brás 71, fundos, casa 27, CEP 22290-140, Río de Janeiro - RJ - Brasil Teléfonos: (5521) 2109-8999 y 2109-8973 Correo electrónico: cienciahoje@cienciahoje.org.br

Suscripciones

ARGENTINA: 6 números, \$650 (incluye envío) EXTRANJERO: 6 números, US\$ 40 + envío

Costo de envío

PAÍSES LIMÍTROFES DE LA ARGENTINA: US\$ 38 RESTO DE AMÉRICA: US\$ 58 RESTO DEL MUNDO: US\$ 65 (American Express - Visa)

Distribución

En ciudad de Buenos Aires y Gran Buenos Aires

Rubbo SA Río Limay 1600 (C1278ABH) Ciudad Autónoma de Buenos Aires Teléfono: (011) 4303-6283/85

En el resto de la Argentina

Distribuidora Interplazas SA Pte. Luis Sáenz Peña 1836 (C1135ABN) Ciudad Autónoma de Buenos Aires

ISSN 0327-1218

Nº de registro DNDA 5301597

Diseño y realización editorial

Estudio Massolo Callao 132, E.P. (C1022AAO) Ciudad Autónoma de Buenos Aires Tel/fax: (011) 4372-0117 Correo electrónico: estudiomassolo@fibertel.com.ar

Corrección

Mónica Urrestarazu

Aníbal Gattone

UNSAM

Roy Hora

Universidad Nacional de Quilmes. Conicet

José X Martini

Asociación Ciencia Hoy

Paulina E Nabel

Asociación Ciencia Hoy

Pablo E Penchaszadeh

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

Roberto R Pujana

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Conicet

María Semmartin

Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas vinculadas a la Agricultura, **UBA-Conicet**

Impresión

FP Compañía Impresora Antonio Beruti 1560 (1604) Florida Oeste, Buenos Aires

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Es una asociación civil sin fines de lucro que tiene por objetivos: (a) divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica de la Argentina; (b) promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; (c) estimular el interés del público en relación con la ciencia y la cultura; (d) editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales, y de sus aplicaciones tecnológicas; (e) promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico rioplatense; (f) colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

COMISIÓN DIRECTIVA

Pablo E Penchaszadeh (presidente), Carlos Abeledo (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sábato, Diego Golombek -en uso de licencia-, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).





www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Ciencia Hoy agradece el apoyo del Conicet y del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Esta revista se produce merced al esfuerzo desinteresado de autores y editores, ninguno de los cuales recibe —ni ha recibido en toda su historia— remuneración económica. Fundada en 1988.

Sumario



Marzo – abril 2017 Volumen 26 - número 154

EDITORIAL

4 Hace veinte años nació una oveja

HACE 25 AÑOS EN CIENCIA HOY

6 Volumen 3 - número 14 Julio - agosto 1991

GRAGEAS

ESPACIO INSTITUCIONAL

12 CONICET dialoga

SECCIÓN TEMÁTICA

1 7 Paleobotánica

23 Primeros pasos de la vida fuera del agua

Claudia V Rubinstein

La vida empezó en el mar y cuando se estableció en tierra firme, hace cerca de 500 millones de años (Ma), ocasionó los cambios climáticos y ecológicos más significativos de la historia de la Tierra. De las primitivas plantas que se afincaron fuera del agua no se han encontrado fósiles, aunque sí de sus esporas. Las más antiguas hasta la fecha provienen de rocas de la provincia de Jujuy y datan de hace unos 470Ma.

29 Glossopteris en los bosques de Gondwana

Bárbara Cariglino y M Lucía Balarino

Glossopteridales es el nombre de un orden de gimnospermas cuyos integrantes vivieron hace unos 300Ma en el supercontinente Gondwana. Su género mejor conocido es Glossopteris. Esas plantas se extinguieron unos 50Ma después, pero por buena parte del mencionado lapso dominaron los bosques de dicha porción de la Tierra.

37 Cícadas, fósiles vivientes del reino vegetal

Leandro CA Martínez y Analía E Artabe

Las cícadas son gimnospermas que viven hoy en lugares cálidos del planeta, en las Américas, el sudeste asiático, Australia y África, pertenecientes a unos 10 géneros y unas 180 especies agrupadas en el orden *Cycadales*. Fueron mucho más diversas y abundantes en los bosques y selvas de la era mesozoica, cuando vivían los dinosaurios, y sus primeros fósiles datan de hace unos 290Ma, es decir, del período pérmico, el último de la era paleozoica.

43 Pararaucaria y la evolución de las coníferas

Ignacio H Escapa

Investigaciones sobre fósiles encontrados en estratos jurásicos de la formación Cañadón Calcáreo, en el valle medio del río Chubut, realizadas por paleontólogos del Conicet que se desempeñan en el Museo Egidio Feruglio de Trelew, en colaboración con investigadores estadounidenses, están revelando aspectos desconocidos de coníferas jurásicas extinguidas hace unos 66Ma, en coincidencia o posiblemente algo después de la desaparición de los dinosaurios, y del comienzo de la transformación de la Patagonia forestada en estepa árida.

49 Helechos arborescentes en la Antártida

Ezequiel I Vera y Silvia N Césari

Además de los conocidos helechos usados como plantas de interiores y de otros de similar tamaño que viven en selvas húmedas, existen algunos que por su altura parecen árboles y se pueden confundir con palmeras. De estos existieron muchos más en remotos tiempos geológicos, incluso en la Antártida, en lo que hoy son las Shetland del Sur, hace unos 120Ma.

55 Cuando las primaveras empezaron a tener flores

La historia evolutiva de las angiospermas patagónicas

Mauro Gabriel Passalia, Ari Iglesias, Magdalena Llorens y Valeria Pérez Loinaze

Angiospermas es el nombre dado a las plantas con flores. Las primeras angiospermas de la Patagonia de las que se tienen evidencias datan del Cretácico temprano, hace unos 118 millones de años, cuando los paisajes eran muy diferentes de los actuales. Durante millones de años fueron un componente minoritario de las floras patagónicas, que estaban dominadas por coníferas y otras gimnospermas y helechos. Pero trascurridos unos 60Ma, para el fin del Cretácico, con una buena parte de las familias de angiospermas actuales ya presentes, las plantas con flores habían pasado a dominar las diferentes comunidades vegetales y transformado el paisaje en algo más parecido a lo que conocemos hoy.

63 La evolución temprana de las asteráceas

Viviana D Barreda y Luis Palazzesi

Las asteráceas son una familia de angiospermas o plantas con flores a la que pertenecen especies como girasoles, margaritas, crisantemos, lechuga, radicheta y alcauciles. Forman uno de los grupos vegetales más diversos y más ampliamente distribuidos por el mundo, que los botánicos dividen en 13 subfamilias, más de 1600 géneros y arriba de 23.500 especies. Están presentes en todos los continentes menos la Antártida y son especialmente abundantes en regiones tropicales y subtropicales. Recientes descubrimientos en los que tomaron parte los autores arrojan luz sobre los orígenes de la familia hace unos 80Ma.

69 Casuarinas y eucaliptos, los árboles perdidos de la Patagonia

María del Carmen Zamaloa y María Alejandra Gandolfo Investigaciones paleontológicas realizadas en los últimos quince años ampliaron marcadamente el conocimiento sobre cómo era la Patagonia en los tiempos en que, formando parte del supercontinente Gondwana, estuvo cubierta de una gran diversidad de bosques. Durante un lapso de por lo menos unos 10Ma, entre hace 55 y 45Ma, lo que hoy es una meseta árida estaba forestado por árboles que incluían casuarinas y eucaliptos, después extinguidos en esta región del mundo pero sobrevivientes en Australasia.

76 Glosario

Tapa: fósil de *Rayguenrayun cur*a. Cada una de las dos inflorescencias mide unos 3,5cm de alto (sin el pedúnculo); el fragmento de roca mide no más de 15cm de alto. Véase página 65.











Hace veinte años nació una oveja

e estima que en el mundo el ganado ovino asciende a no menos de 1000 millones de cabezas. Teniendo en cuenta qué fracción de esos animales son hembras en edad reproductiva, es posible estimar que estas producen alrededor de un millón de nacimientos diarios de ovinos domésticos. ¿Por qué, entonces, dedicamos este editorial a comentar uno de esos nacimientos, acaecido en Escocia y anunciado por la prensa mundial hace veinte años? La razón es que el animal, que recibió el nombre de Dolly, poseía un rasgo distintivo por el cual la noticia se difundió como reguero de pólvora: en vez de tener dos progenitores, como todo mamífero, incluyendo los humanos, tenía solo uno. En otras palabras, la oveja recién nacida era genéticamente idéntica a su madre. Fue la primera clonación exitosa de un mamífero.

Dolly nació en los laboratorios del Instituto Roslin, de la Universidad de Edimburgo, mediante un complejo procedimiento consistente en extraer el núcleo (con todos los genes nucleares del animal) de una célula de la ubre de una oveja y transferirlo in vitro al óvulo sin fertilizar de otra oveja, en sustitución del núcleo de este que había sido quitado antes. Luego, una pequeña descarga eléctrica provocó que el óvulo con ADN ajeno adquiriera las facultades de un embrión, el cual, implantado en el útero de una madre sustituta, cumplió el ciclo normal de preñez y desembocó en el parto natural de Dolly. Su madre genética era la oveja de la que se extrajo la célula mamaria.

Los experimentos del Instituto Roslin fueron posibles debido a una larga serie de pequeños y grandes avances acaecidos a lo largo del siglo XX en varios países, que develaron los mecanismos de la genética molecular, cuyo momento culminante quizá haya sido el descubrimiento en la Universidad de Cambridge por James Watson y Francis Crick de la estructura química en forma de doble hélice del ADN, dado a conocer en abril de 1953 (Nature, 171, 737-738) y que llevó a los nombrados al premio Nobel de fisiología o medicina de 1962.

El éxito del experimento escocés puso en marcha una notable sucesión de acontecimientos, que abarcaron grandes esfuerzos de investigación de laboratorio sobre la biología básica del proceso —en cuya comprensión había muchas lagunas—, la búsqueda de caminos alternativos más convenientes para llegar al mismo resultado, la extensión del procedimiento a otros animales y las posibilidades de su aprovechamiento en seres humanos, la exploración de su utilidad en medicina, veterinaria y cría de animales, la discusión de las implicancias sociales y éticas de las acciones en cuestión, y fantasías en materia de clonación de personas difundidas por los medios más o menos sensacionalistas (como crear copias de Albert Einstein, Adolf Hitler o Marilyn Monroe), todo lo cual se desenvolvió vigorosamente durante las dos décadas transcurridas.

La clonación no se limitó a producir ovejas, ni siquiera animales de sexo femenino: se extendió entre otros a ratones, cabras, vacas y caballos, y en 1999 Teruhiko Wakayama y Ryuzo Yanagimachi, de la Universidad de Hawái en Honolulu, clonaron el primer mamífero macho, un ratón al que llamaron Fibro. Como lo explicaron en Nature Genetics de junio de ese año, lo hicieron por un procedimiento similar al aplicado en Escocia: sustituyeron los núcleos de óvulos de ratón por los de células de la cola de ratones machos e implantaron los embriones resultantes en hembras en condiciones de llevarlos a término. De los 274 embriones implantados, solo nacieron tres ratones y uno —Fibro— llegó a ser un adulto fértil (cifras que indican las dificultades y los riesgos del procedimiento).

Por su lado, el médico japonés Shinya Yamanaka se propuso investigar el funcionamiento bioquímico que confiere al núcleo de una célula somática, como el de la célula de la ubre de la que provino Dolly o el de la cola que dio lugar a Fibro, las facultades de comportarse como el núcleo de las células embrionarias y ser el origen de todas las demás células del organismo, es decir de convertirse en el núcleo células madre, germinales o pluripotenciales (stem cells). Sus descubrimientos indicaron caminos para dar lugar a células pluripotenciales inducidas partiendo de diversos tejidos del organismo y le significaron obtener el premio Nobel de fisiología o medicina en 2012.

La investigación científica básica también logró ir despejando varias incógnitas sobre la biología de un animal clonado, por ejemplo, su propensión a sufrir enfermedades comparada con la de sus congéneres nacidos en forma tradicional o a envejecer prematuramente, dado que Dolly no tuvo buena salud y murió joven para una oveja, pero otros cuatro clones de ella son hoy animales sanos y han alcanzado saludable vejez ovina en la Universidad de Nottingham.

La explosión de investigación básica sobre el tema condujo, como era de esperar, a que se procurara aplicar los nuevos conocimientos en muchos campos, que se pueden dividir a grandes rasgos en dos: la clonación reproductiva, como la de Dolly, y la clonación terapéutica, que no apunta a generar animales completos sino tejidos sanos para tratar órganos enfermos.

En ambos campos los avances realizados fueron notables, y en algunos casos hasta espectaculares, como en uno que concierne especialmente a la Argentina: la clonación de caballos de polo. Pero también hubo experimentos fallidos, líneas de investigación que no arrojaron resultados, reclamos extravagantes e incluso afirmaciones fraudulentas, estas en especial en materia de clonación reproductiva de seres humanos. Así, en 2004 y 2005 el investigador surcoreano Hwang Woo-souk publicó artículos en revistas científicas serias explicando cómo había obtenido por clonación células pluripotenciales humanas, pero no mucho después se descubrió que había falsificado los datos de los experimentos, y en 2009 el ginecólogo italiano Severino Antinori anunció que había clonado personas y ofrecía hacerlo, pero no proporcionó evidencias aceptables por la comunidad científica, que se mostró escéptica.

También arreció el debate en torno a las implicancias éticas y a las políticas regulatorias de los gobiernos, especialmente para las situaciones relacionadas con seres humanos, que desembocó en una variedad de posiciones, desde las más conservadoras, que defendieron y defienden la prohibición, asumidas por la Iglesia Católica y algunos gobiernos (el de los Estados Unidos puso límites al uso del dinero estatal para la investigación con células germinales humanas), hasta las más liberales, como la tomada por el gobierno británico.

En las últimas décadas hubo también avances paralelos que ayudan a entender mejor la historia de Dolly y sus consecuencias, y que apuntan en la misma dirección de poder controlar y manipular los mecanismos de reproducción animal y humana para conseguir el nacimiento de individuos con ciertas características deseables, o, por lo menos, evitar que tengan determinadas patologías. Así, uno de esos avances paralelos, que comenzó bastante antes del que estamos

comentando, es combinar el ADN nuclear de una mujer con el ADN mitocondrial del óvulo de otra en situaciones en que la primera es portadora de mutaciones en su ADN mitocondrial causantes de serias enfermedades en su descendencia. Nacieron así los que la prensa mundial, con más sentido del sensacionalismo noticioso que de la verdad científica, llamó bebés con un padre y dos madres, algo que no puede tomarse literalmente ya que la casi totalidad de la información genética yace en el ADN nuclear, y muy pocas característica biológicas resultan determinadas por el ADN mitocondrial (véase '¿Bebés con tres progenitores biológicos?', Ciencia Hoy, 25, 145: 13, agosto-septiembre de 2015).

Lo relatado sucintamente en materia de clonación de mamíferos constituye un buen ejemplo de la índole, los alcances y las consecuencias de la investigación científica en la sociedad moderna, y un tema muy oportuno de reflexión en nuestro medio en momentos en que, como lo comenta el editorial del número anterior de Ciencia Hoy, estas cuestiones se han convertido en objeto de acalorada polémica, que se extiende al cometido del Estado en la materia, y están en discusión el monto y las condiciones de la financiación pública de la actividad científica. El relato ilustra cómo descubrimientos de laboratorio realizados con el propósito primordial de entender el funcionamiento de la naturaleza terminan repercutiendo en la vida diaria y el bienestar de la humanidad, lo mismo que en la actividad económica, aun en un país relativamente marginal como la Argentina que, sin embargo, tuvo la capacidad de colocarse internacionalmente a la cabeza de los esfuerzos mundiales de clonación equina y de estar en condiciones de poner en el mercado una yegua de polo clonada por la que se pagaron 800.000 dólares.

La moraleja de esta historia, por la que le dedicamos las páginas del presente editorial, es la conveniencia, en palabras del editorial anterior, de 'no solo mantener en buen funcionamiento sino continuar incrementando vigorosamente la investigación científica y tecnológica en el país, incluso hasta duplicar o más la fracción del PBI que se destina a ella y llevarla a valores más cercanos a los de los países avanzados [para] construir una economía diversificada en condiciones de competir con éxito en los mercados globales y, por esa vía, mejorar el bienestar y ampliar los horizontes vitales de sus habitantes'.

Fe de errata

En el artículo 'Compuestos aleloquímicos', de Hugo Daniel Chludil, publicado en Ciencia Hoy N° 153, volumen 26, enero - febrero de 2017, en la página 39, en la última oración de la columna de la izquierda:

Donde dice: 'La adopción de prácticas agrícolas sustentables y la selección de especies con potencial alelopático permiten disminuir la aplicación de fertilizantes y herbicidas industriales'.

Debería haber dicho: 'La adopción de prácticas agrícolas sustentables y la selección de especies con potencial alelopático permitirían disminuir la aplicación de herbicidas industriales.'





Prominencia solar eruptiva registrada el 21 de agosto de 1973. Ilustra el artículo 'Viento solar y tormentas magnéticas polares'.

SOÑANDO CON LA ANTIMATERIA

HECTOR VUCETICH

El físico Robert L Forward y el periodista Joel Davis imaginan posibles aplicaciones de la antimateria, tales como sus usos energéticos, en un libro que interesa también a los lectores de ciencia ficción.

Releer una predicción hecha hace veinticinco años nos pone en el modo nostálgico de ver cómo éramos cuando no podíamos hacer lo que se predijo. No es el caso: obtener energía de la antimateria es todavía terreno de la ciencia ficción.



VIENTO SOLAR Y TORMENTAS MAGNÉTICAS POLARES

HORACIO CAZENEUVE

Observaciones realizadas en todo el planeta han puesto de manifiesto que las características de las tormentas magnéticas varían según la latitud: la intensidad de las perturbaciones es mayor a altas latitudes, particularmente en las zonas conocidas como aurorales. Por este motivo resultan de especial interés los estudios que tienen lugar en las estaciones antárticas.

Debido a la proliferación de las comunicaciones (desde GPS hasta datos para celulares) y la posibilidad de obtener datos terrestres desde órbitas bajas (entre 160 y 2000km), se ha poblado el espacio cercano de satélites. Estos se ven seriamente afectados por todo lo que sucede en la alta atmósfera y más allá. El estudio y la predicción del 'clima espacial' se convirtió en una disciplina importante en la que los gobiernos invierten sumas cada vez mayores.

OSVALDO A REIG: INDAGACIONES DE UN BIÓLOGO ITINERANTE

GUILLERMO BOIDO - GABRIELA TENNER

Osvaldo A Reig, biólogo evolutivo de relevancia internacional, narra las distintas etapas de su trayectoria vital y científica, y se ocupa también de las vicisitudes por las que atraviesa hoy la investigación en la Argentina. En particular afirma que es necesario crear las condiciones para impedir la emigración de los jóvenes. 'De otro modo seguiremos con la práctica de ese deporte nacional tan típicamente kafkiano: preparar nuestros mejores cerebros y luego regalarlos a los países desarrollados.

EL COLEGIO SECUNDARIO: ¿PARA QUÉ Y PARA QUIÉN?

CECILIA BRASLAVSKY

Aunque la cuestión educativa interesa a vastos sectores de la sociedad argentina, existen preguntas que pocos docentes, alumnos y padres llegan a formularse. Una de ellas se refiere a la función que cumple hoy el colegio secundario. Investigaciones realizadas en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales muestran que el paso de los jóvenes por el nivel secundario se justifica casi exclusivamente como medio de selección social.



FNA: UN ESLABÓN ENTRE EL CORAZÓN Y LOS RIÑONES

FERNANDO ANTONIO DE ALMEIDA Y THOMAS MAACK

El descubrimiento de una sustancia segregada por el corazón, el factor natriurético auricular (FNA), abre el camino para explicar de qué modo el organismo controla la cantidad de sal presente en los líquidos que circulan por él.



SERPIENTES GIGANTES EN LA PATAGONIA

ADRIANA M ALBINO

Restos fósiles de serpientes hallados en la Patagonia argentina permiten inferir algunos detalles del comportamiento y las características de estos gigantescos reptiles, que vivieron allí hace millones de años. Ellos fueron los antepasados de las anacondas y boas actuales.

BOCIO ENDÉMICO EN LA ARGENTINA

JUAN A ANDRADA Y JORGE P SALVANESCHI

Aunque las diversas políticas sanitarias llevadas a cabo en el ámbito nacional y provincial desde la década del 30 han logrado una importantísima reducción de los niveles de población argentina afectada por el bocio, esta conforma todavía una proporción considerable. Se hace imprescindible, por lo tanto, la continuidad de las acciones preventivas y el seguimiento de los enfermos.

NEUROLOGÍA: TOMOGRAFÍA DE EMISIÓN DE POSITRONES

FEDERICO DAJAS

Una nueva técnica, la tomografía de emisión de positrones, permite la observación directa de los cambios que provocan los psicofármacos en el cerebro de un individuo consciente. Surgen así nuevas posibilidades para comprender los fenómenos bioquímicos vinculados con las enfermedades mentales.

La entonces técnica emergente es hoy una realidad para el diagnóstico clínico, especialmente en oncología, pero también en el estudio del deterioro cognitivo. En este sentido, los avances en materia de trazadores de los depósitos amiloides están rindiendo frutos particularmente interesantes para el diagnóstico y seguimiento de las enfermedades neurodegenerativas.

FUERZAS NUCLEARES

MANOEL ROBERTO ROBÍLOTTA Y HÉLIO TEIXEIRA COELHO

Uno de los desafíos actuales de la física es develar cómo son las fuerzas que mantienen unidas las partículas existentes en el núcleo de los átomos. El estudio de los procesos de interacción asociados a esas fuerzas se enfrenta con una realidad cada vez más compleja.





Simulación y engaño

ntre los tantos mecanismos de selección utilizados por la evolución varios que nos resultan curiosos consisten en adaptaciones que, en las sociedades humanas, llamaríamos simulación y engaño. Así, por ejemplo, hay mamíferos y aves que se alimentan cazando culebras no venenosas, pero no se acercan a las víboras venenosas; correspondientemente, las primeras se ocultan de esos predadores. Una, sin embargo, no lo hace: es la enteramente inofensiva falsa coral, cuyos colores son tan parecidos a la letal serpiente de coral que los predadores la confunden y por eso no la atacan (véase MG del Río y AA Lanteri, 2014, 'La imitación en la naturaleza', CIENCIA HOY, 23, 138: 54-60).

Un informe dado a conocer en un reciente número de Current Biology describe un engaño más complejo

que beneficia a una planta natural del sur de África llamada en inglés planta sombrilla o paracaídas (Ceropegia sandersonii), polinizada por moscas del género Desmometopa. Estas, por su lado, se alimentan de los fluidos corporales que se desprenden de abejas (Apis mellifera) cuando son mordidas por arañas; por eso se dice que esas moscas son cleptoparásitas y llegan atraídas a las abejas por ciertos compuestos volátiles que se desprenden del insecto mordido.

Los investigadores firmantes del informe sobre la planta sudafricana advirtieron que sus flores atrapan con frecuencia moscas Desmometopa, como lo hacen ciertas plantas carnívoras que apresan insectos. Pero las flores de Ceropegia sandersonii no son carnívoras y las moscas terminan escapándose. ¿Por qué, entonces, las

moscas se acercan a las flores? ;Y por qué quedan primero atrapadas y luego escapan? La hipótesis presentada por los investigadores muestra que las flores emiten los mismos compuestos que las abejas atacadas por arañas. Al quedar apresadas e intentar liberarse, sus cuerpos resultan cubiertos de polen, que transportan a la próxima flor que las atrape cuando quedan libres de la primera. Así este mecanismo de simulación y engaño asegura la polinización de las plantas sombrilla. 🖽

Más información en Henry, BH, 'To attract pollinators, flower mimics wounded bee', accesible en http://www.the-scientist.com/?articles.view/article-No/47214/title/To-Attract-Pollinators--Flower-Mimics-Wounded-Bee/#post143971, y en A Heiduk et al. (2016), 'Ceropegia sandersonii mimics attacked honeybees to attract kleptoparasitic flies for pollination', Current Biology, 26: 1-7, 24 de octubre, accesible en http://www.cell.com/current-biology/pdf/S0960-9822(16)30879-X.pdf.



6cm de alto.



Flores de la planta sombrilla (Ceropegia sandersonii). Pueden medir unos Moscas del género Desmometopa (que miden unos 3mm de largo) sobre una abeja Apis melliera atacada por una pequeña araña de la familia Thomisidae. Foto Jon Richfield, Wikimedia Commons.

Los secretos de los tardígrados

Itimamente se han escuchado en la Argentina críticas a muchas investigaciones por su supuesta 'inutilidad', especialmente en las humanidades.

Seguramente quienes formulan esas críticas considerarían un derroche de recursos a estudios sobre unos organismos de apariencia insignificante y de alrededor de 1mm de largo denominados tardígrados, pequeños invertebrados que viven en películas de agua sobre musgos, líquenes, plantas, en el suelo e incluso en ambientes marinos o de agua dulce.

Los tardígrados tienen el aspecto de pequeños ositos rechonchos de ocho patas que se mueven con paso lento y bamboleante, lo cual les ha merecido la designación común de osos de agua. De hecho su nombre significa 'caminadores de paso lento'. Pero la característica que se destaca en ellos es que, ante condiciones desfavorables del ambiente, disminuyen su metabolismo hasta hacerlo indetectable, un proceso llamado criptobiosis. En este estado pueden resistir temperaturas tan extremas como -272°C (casi el cero absoluto) o +151°C, la inmersión en solventes orgánicos, o intensidades de radiación varias veces mayores que las que los seres humanos podemos soportar. Son los únicos animales conocidos capaces de sobrevivir en el vacío del espacio interplanetario.

Durante la criptobiosis se detiene el proceso de envejecimiento del organismo, de manera que su vida se puede prolongar por varias décadas: se ha mencionado que tardígrados encontrados en musgos secos almacenados por ciento veinte años en un museo, al ser humedecidos, volvieron a la vida normal. Hasta donde sabemos, lo anterior no está rigurosamente documentado, pero científicos del Instituto Nacional

de Investigación Polar de Japón acaban de anunciar evidencias de una situación parecida con tardígrados encontrados en musgo antártico conservado a -20°C desde hace treinta años. Tres ejemplares, identificados por los investigadores como Bella Durmiente 1, 2 y 3, fueron capaces de reproducirse, prueba de su total recuperación luego de tan largo período de criptobiosis.

Las anteriores no son las únicas sorpre-

sas que estas pequeñas criaturas tienen para darnos. Hace tiempo se descubrió que, además de la transferencia de genes de padres a hijos que todos conocemos (o transferencia vertical intraespecífica), existe en la naturaleza transferencia de genes entre individuos de especies distintas (o transferencia horizontal interespecífica). Un estudio reciente que secuenció el genoma (estableció la estructura química del conjunto de genes) de un tardígrado constató por primera vez esa transferencia horizontal en estos invertebrados, y en mucho mayor medida que en otros animales, ya que hasta el 17% de sus genes podría provenir de bacterias, algas y hongos, aunque un trabajo posterior indicó un porcentaje menor. El esfuerzo por aclarar esta discrepancia está originando importantes mejoras en las técnicas de estudio de los genomas de los animales.

Se puede apreciar que el estudio en profundidad de estas criaturas, además



Imagen de microscopio electrónico de un tardígrado. La barra que da la escala mide 0,2mm. Global Soil Biodiversity Atlas, Colorado State University.

del placer que produce su conocimiento, puede brindarnos información acerca de mecanismos biológicos tan importantes para nosotros como el envejecimiento y la transferencia horizontal de genes. Esto nos trae a la mente una anécdota -que bien podría ser apócrifa- de un zoólogo que dedicó su vida al estudio de los pepinos de mar. Cuando se le preguntó por la utilidad de sus investigaciones, su irónica respuesta fue: 'Como mínimo, mantener a mi familia en los últimos veinticinco años". No se tomó la molestia de explicar la utilidad máxima.

Más información en Tsujimoto M, Imura S & Kanda H, 2016, 'Recovery and reproduction of an Antarctic tardigrade retrieved from a moss sample frozen for over 30 years', *Cryobiology*, 72: 78-81, y en Boothby TC *et al.*, 2015, 'Evidence for extensive horizontal gene transfer from the draft genome of a tardigrade', *Proceedings of the National Academy of Science USA*, 112, 52: 15976-15981.

Alejandro Curino acurino acuri



Gran parte de los artículos que publica CIENCIA HOY son enviados espontáneamente por sus autores. Cuanto mayor sea la participación de los investigadores y académicos en las páginas de la revista, mejor se cumplirán los objetivos de la *Asociación Ciencia Hoy* de lograr que la actividad científica obtenga reconocimiento social e intervenga en la modernización del país.

SECCIONES DE LA REVISTA

CIAHOY

CIENCIAHO

CIENCIA HOY alberga a todas las ramas del saber, desde las humanidades y ciencias sociales hasta las disciplinas biológicas y fisicomatemáticas y sus respectivas tecnologías. Contiene las siguientes secciones regulares (las extensiones indicadas son orientativas):

AQUÍ CIENCIA: informes y consideraciones (hasta unas 3000 palabras) sobre avances científicos o tecnológicos que hayan tenido lugar en la Argentina o el Uruguay. Redáctense siguiendo lo indicado para la sección CIENCIA EN EL MUNDO.

ARTÍCULOS: trabajos que expliquen investigaciones y sus resultados al público general y a colegas de otras disciplinas (hasta unas 3000 palabras).

CARTAS DE LECTORES: comentarios (hasta 300 palabras) sobre lo aparecido en números anteriores, sobre temas que se desee ver abordados o cualquier aspecto del quehacer científico y la educación superior. Los editores pueden publicar parcialmente una carta o modificar su texto para hacerlo más claro.

CIENCIA EN EL AULA: sugerencias y orientaciones sobre cómo presentar en clase determinados temas científicos, o cómo aprovechar mejor para su labor pedagógica lo publicado en la revista.

CIENCIA EN EL MUNDO: breves notas (hasta 1500 palabras) sobre alguna novedad científica o tecnológica importante. Es necesario que el autor introduzca brevemente el tema, señale su importancia y cite la fuente de la información.

CIENCIA Y SOCIEDAD: comentarios sobre algún aspecto del conocimiento o sus aplicaciones, que tenga o haya tenido particular impacto en la sociedad (hasta unas 3000 palabras).

EL LECTOR PREGUNTA: interrogantes sobre cuestiones científicas o humanísticas. En la medida en que no salgan del marco de la política editorial, se publican con su respuesta por un especialista.

EL PASADO EN IMÁGENES: fotografías de época de hechos pasados de significación histórica.

ENSAYOS: textos que el comité editorial considere de interés, pero que no respondan al concepto de divulgación científica o académica, ni quepan –por su dimensión especulativa y literaria– en la sección OPINIONES.

GRAGEAS: textos cortos (unas 300 palabras) que comenten —con indicación de la fuente— noticias significativas aparecidas en revistas científicas.

HUMOR: contribuciones escritas o gráficas que se refieran a la investigación, a la actividad académica, a la universidad, etcétera, y a los seres que pueblan esos extraños mundos.

MEMORIA DE LA CIENCIA: notas que analicen aspectos poco conocidos de la historia del conocimiento, las ideas científicas, la ciencia en general y la tecnología (hasta unas 3000 palabras).

OPINIONES: reflexiones fundadas sobre el conocimiento, la ciencia, la tecnología y la educación superior (hasta unas 1500 palabras).

CÓMO ENVIAR UNA COLABORACIÓN

Se ruega hacer llegar las colaboraciones por correo electrónico. No usar el formato .pdf para los textos, sino .doc o sus equivalentes. Remitir el material (e indicar dirección postal y electrónica del autor, así como números de teléfono) a:

CIENCIA HOY

Corrientes 2835, Cuerpo A, 5° A, (C1193AAA) Ciudad de Buenos Aires Tel.: (011) 4961-1824 y Fax: (011) 4962-1330 E-mail: contacto@cienciahoy.org.ar

RECOMENDACIONES

Redactar las contribuciones teniendo en cuenta que sus destinatarios no son especialistas. Imaginarse que el típico lector de la revista puede ser un profesor del secundario. Proceder, por lo tanto, como sigue:

- Evitar el uso de jerga técnica; recurrir a términos equivalentes del lenguaje cotidiano; por ejemplo, en lugar de osteopatía, escribir enfermedad de los huesos. Cuando el uso de la jerga sea aconsejable o inevitable, definir siempre, con precisión pero de manera sencilla, el significado de los términos.
- Evitar el uso innecesario de expresiones matemáticas o químicas; cuando se las emplee, proporcionar también, hasta donde se pueda, una explicación intuitiva.
- Utilizar siempre el sistema internacional de unidades (http://www.bipm.org/en/measurement-units). Si en alguna disciplina fuera usual no emplearlo, dar las equivalencias.
- Antes de enviar una contribución, entregársela a alguien ajeno al tema para que la lea y verificar si entendió lo que el autor quiso transmitir.
- Usar el lenguaje más sencillo posible. No emplear palabras extranjeras si hubiese razonables equivalentes castellanos. Evitar neologismos, muletillas y expresiones de moda.
- Las imágenes desempeñan un papel fundamental en la divulgación científica. Esfuércense los autores por obtener los dibujos y las fotografías que mejor ilustren su contribución.
- No incluir notas a pie de página ni referencias. Si se hace una cita textual, poner su fuente completa entre paréntesis en el texto. Agregar entre cuatro y seis lecturas, principalmente, obras de divulgación que se puedan encontrar en librerías o bibliotecas: evitar poner solo trabajos del autor, informes técnicos o artículos en revistas especializadas.

ILUSTRACIONES

Enviar las ilustraciones en formato digital, en forma de archivos .tif, .gif, .eps, .bmp o .jpeg. Es imprescindible que tengan una definición mínima de 300dpi (puntos por pulgada) para un tamaño de 20 x 30cm. Las imágenes descargadas de internet por lo general carecen de esa resolución, a menos que el sitio lo indique claramente, por lo que no

suele ser posible utilizarlas. Excepcionalmente también se pueden recibir ilustraciones impresas en papel fotográfico (revelado común), diapositivas o película negativa. Si la única posibilidad fuera reproducir una ilustración de un libro o revista, por favor escanearla con dicha definición.

POLÍTICA EDITORIAL

Las contribuciones son evaluadas en primera instancia por el comité editorial que, si las considera de interés, las envía (siguiendo las reglas internacionales de anonimato e independencia) a dos árbitros que juzguen su calidad técnica.

Normalmente, las contribuciones sometidas a arbitraje regresan a los autores con observaciones, sugerencias o correcciones de los árbitros, más pedidos de ajuste de los editores, que los autores tienen entera libertad de aceptar o rechazar: de la decisión que tomen depende la aceptación final del trabajo por parte de la revista. Cuando CIENCIA Hoy decide hacer conocer al autor, en parte o en todo, las opiniones de los árbitros, no revela los nombres de estos.

Toda nota aceptada para su publicación, luego de concluido el proceso de arbitraje, pasa por un minucioso procesamiento de estilo: en la práctica, casi todas las contribuciones son redactadas nuevamente por el equipo editorial de la revista, para adaptarlas a las necesidades de los lectores. En todos los casos se solicita al autor que apruebe el texto reformado.

El uso del idioma en la revista se ajusta a las normas y los criterios de castellano culto y, en especial, a lo establecido por la Real Academia Española y por la Academia Argentina de Letras, por lo que a veces no coincide con las prácticas de ciertas revistas científicas o tecnológicas. Las decisiones finales sobre cuestiones de redacción, gramática, estilo, títulos, subtítulos e ilustraciones corresponden a Ciencia Hoy, que considera las preferencias de los autores para tomarlas.

Como cada número de la revista debe mantener un equilibrio de secciones y áreas del conocimiento, la publicación de los trabajos no necesariamente sigue el orden de su aceptación.

Toda comunicación entre autores y editores es canalizada por la secretaria del comité editorial en nombre de este y expresa la opinión colectiva de los editores.



CONICET dialoga

Noticias institucionales

El CONICET e INVAP fortalecen lazos

En la visita de autoridades del Consejo a la empresa estatal rionegrina se repasaron los principales logros, como la fabricación de satélites, que le valieron prestigio internacional a INVAP.

El presidente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), doctor Alejandro Ceccatto, visitó la sede central de INVAP en Bariloche, Río Negro en el marco del 40 aniversario de existencia de la empresa estatal, hizo entrega de una placa conmemorativa al gerente general y CEO de INVAP, licenciado Héctor Otheguy.

Del encuentro participaron diversos investigadores del Consejo que desarrollan sus tareas en INVAP: Isidoro Vaquila, físico

que diseña sistemas de aproximación y aterrizaje para aeronaves con ayuda de satélites GPS y radares meteorológicos, y analiza la performance de radares y daños por radiación en dispositivos espaciales; Sonia Marcela Cotes, física egresada del Instituto Balseiro que diseña la óptica de instrumentos radiométricos para misiones satelitales; José González, ingeniero nuclear cuyos trabajos se centran en la caracterización y modelado equipos Plasma Focus, el modelado de elementos combustibles para centrales de agua pesada y en el análisis de seguridad; y Mariana Lidia di Tada, física egresada de la Universidad de Buenos Aires que desarrolla instrumentación de radio-protección y sistemas de detección de radiación para instalaciones nucleares.

La recorrida incluyó el cuarto de integración satelital, donde se observaron los satélites SAOCOM 1A y 1B en sus distintas fases de integración: dichos satélites están siendo realizados dentro del marco del Plan Espacial Nacional de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) en colaboración con la Agencia Espacial Italiana (ASI), y tendrán como objetivo prevenir, monitorear, mitigar y evaluar catástrofes naturales o antrópicas, medir la humedad del suelo y otras aplicaciones en emergencias.

También, Ceccatto visitó el Centro de Ensayos de Alta Tecnología SA (CEATSA), creado en 2010 con el fin de brindar servicios de ensayos ambientales, como producto de un acuerdo entre la Empresa Argentina de Soluciones Satelitales (ARSAT S.A.) e INVAP.

Las autoridades del CONICET fueron recibidas por Horacio Osuna, presidente de INVAP, el doctor Pablo Tognetti, director, el doctor Vicente Campenni y el ingeniero Juan Pablo Ordoñez, subgerentes generales, el licenciado Ricardo Sagarzazu, director del Área de Desarrollos Estratégicos, la ingeniera Verónica Garea, directora de la Fundación INVAP, el ingeniero Gabriel Absi, gerente del Área Espacial y el ingeniero Hugo Brendstrup, gerente del Área Industrial y Energías Alternativas y el doctor Eduardo Nassif, responsable de la Gerencia de Proyectos Nucleares.

Participaron por el Consejo, el Mg. Juan Carlos Soria, director de Vinculación Tecnológica, la licenciada Silvia Brizzio, responsable del Área Vinculación y Transferencia Centro Científico Tecnológico (CCT) CONICET Patagonia Norte y la doctora Ana Clara Carro, Oficina de Vinculación Tecnológica – CCT CONICET Patagonia Norte.



De izquierda a derecha: Otheguy, Ceccatto y Osuna. Foto: CONICET Fotografía.

Fenómeno astronómico

El minuto en el que el verano se volvió invierno en la Patagonia

En una ciudad a 349kms de Esquel un grupo de investigadores del CONICET observó un fenómeno único: un eclipse anular de Sol.

Por Sergio Patrone Firma Paz

En la antigüedad se los relacionaba con los malos augurios; indios, chinos y babilonios lo intentaron explicar de manera mística; Cristóbal Colón lo anunció como una muestra de la ira de Dios. Hoy, desde la ciencia, los eclipses se pueden predecir con siglos de anterioridad y sirven para aprender más sobre el fenómeno.

"Los eclipses de Sol son fenómenos naturales que se producen cuando la Luna se interpone entre la Tierra y el Sol, y según cuánto cubra la Luna al Sol será un eclipse total, parcial o anular. Un eclipse solar anular se da cuando la cobertura incompleta deja un perfecto anillo. El diámetro del

Sol es 400 veces más grande que la luna, pero se encuentra 400 veces más lejos de la Tierra, esto hace que se vean de tamaño similar", explica Beatriz García, investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas (CONICET), del Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas (ITEDA, CONICET-CNEA-UNSAM).

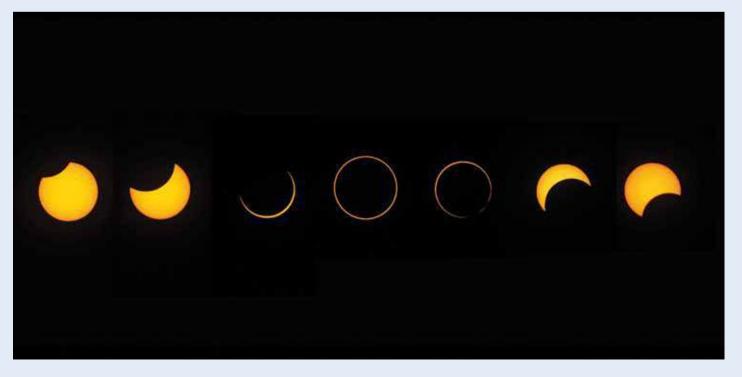
El eclipse solar anular ocurrido el pasado 26 de febrero comenzó a las 9.24 y finalizó a las 12.01, pero el momento en que el Sol se vio como un anillo fue a las 10.38, y duró solamente un minuto que será casi eterno: en Chubut el próximo se visualizará en febrero de 2027 y deberemos esperar hasta diciembre de 2048 para ver un eclipse total de Sol.

Mirar al cielo

En un tramo desierto de la Ruta Nacional 40, a menos de 400 kilómetros de Esquel, está ubicado Facundo, un pueblo rural de 200 habitantes que se revolucionó con la llegada de más de 800 personas. Hasta allí se trasladaron investigadores, lugareños curiosos, aficionados a la astronomía y periodistas, todos expectantes por ver el fenómeno astronómico.

Argentina tuvo un lugar privilegiado en la observación del fenómeno ya que se cruzó completamente la zona Sur de Chubut: pasó por Facundo, por el Norte de Sarmiento, y por el sur de Camarones, para luego ingresar al océano Atlántico y finalizar en la zona Sur de África. En el resto Argentina el eclipse fue parcial, ya que nuestro satélite cubrió solamente una parte del disco solar.

Es en la fase anular -con cobertura del Sol del 97%-, con un cielo despejado donde se acentúan los cambios de iluminación producidos en la atmósfera. Oscurece de una manera rara, el entorno parece no corresponderse con el estado de iluminación que hay y la temperatura desciende unos 5





CONICET dialoga

grados centígrados -de 17 a 12 grados-. La falta de luz genera que algunas mulitas salgan de sus madrigueras, hay perros que aúlan e interrumpen el silencio en la meseta patagónica que termina con aplausos y gritos ante la finalización de la fase anular. Todo eso en menos de un minuto.

La visión del fenómeno a través de telescopios, cámaras con lentes especiales o el reflejo de coladores en el suelo genera una emoción profunda. "Es un momento muy particular porque la relación entre el espacio celeste, el medio ambiente, los seres humanos, y la Tierra en general se ve de manera más extrema, en un eclipse se ve de manera dramática. Entonces es un excelente momento para entender como nuestras ideas sobre el cielo tienen que ver con quienes somos nosotros con las sociedades en las que vivimos, las ideas que tenemos acerca del mundo y qué es ser un ser humano. Es un ejemplo de como la ciencia básica se puede relacionar con las personas porque el mundo que está relacionado con la ciencia básica está profundamente relacionado con la gente", reflexiona Alejandro López, astrónomo cultural e investigador del CONICET en el Instituto de Ciencias Antropológicas (ICA) de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires.

En referencia a los distintos abordajes realizados a partir del fenómeno astronómico, Néstor Camino, doctor en Ciencias de la Educación, profesor de Física y Matemática e investigador del CONICET en el Departamento de Didácticas específicas en la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (CONICET-FHCS UNPSJB), remarca que el hecho físico del eclipse no es lo único importante. "La relevancia de estos fenómenos es científica, educativa y cultural. Después si uno dice que es un jaguar comiéndose al Sol o si es la Luna interponiéndose entre la Tierra y el Sol o si uno piensa que es un designio de los cielos porque piensa que está haciendo algo mal eso es historia, cultura. Siempre nos conmovió. Lo que tenemos que resaltar de vivir estos fenómenos es que la naturaleza funciona y nosotros gracias a sus cambios estamos aprendiendo".

Y agrega: "Los eclipses generan fascinación porque el Sol y la Luna son los objetos más importantes del cielo. Primero porque el cielo a las personas y a las sociedades nos muestra todo lo que no somos: no somos eternos, no somos grandes y poderosos, el cielo nos recuerda nuestro límite existencial. Y si a esos dos objetos tan importantes les pasa algo es impactante".

Los eclipses solares normalmente ocurren dos veces al año, pero la zona terrestre en el que el Sol, la Luna y la Tierra se encuentran alineados es acotada -una franja de 50kms de ancho, aproximadamente-. La última vez que se vio en el cielo del país un fenómeno como este fue en 1994 y solo desde Misiones.

El eclipse como laboratorio natural

La doctora Cristina Mandrini, investigadora del CONICET en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE, CONICET-UBA), explica qué se puede investigar desde la física solar a partir de la observación de un eclipse.

"Un eclipse de Sol natural permite en principio observar más abajo la corona solar que en un eclipse creado artificialmente. Al ver más abajo vemos mejor definidas estructuras que están cerca del limbo del sol y eventualmente podemos ver protuberancias, sus formas, ver una eyección de masa coronal, calcular velocidades. Medir ondas y su propagación sirve para contestar una de las preguntas clave de la física solar, contestarse el origen de la temperatura alta de la corona solar", sostiene la investigadora.

Los científicos gracias a la observación de estos fenómenos pueden estudiar ciertas propiedades de la ionósfera en condiciones únicas de laboratorio, que permiten mejorar los modelos físicos existentes y con esto entender mejor el comportamiento de una capa fundamental para el desarrollo de la vida humana y las comunicaciones. "Las partículas cargadas que aumentan la ionización pueden dañar los satélites de comunicaciones que guían nuestros barcos o aviones, y es importante saber cuándo va a suceder un fenómeno activo, poder predecirlo para proteger el instrumental de los satélites, y proteger a la tripulación de los vuelos transpolares, por ejemplo", afirma la física solar.

Difusión y enseñanza de Astronomía en Argentina

En este contexto, se realizó en Esquel desde el 22 hasta el 24 de febrero inclusive, el II Workshop de difusión y enseñanza de la Astronomia del que participaron más de cien astrónomos profesionales y aficionados del país y del extranjero, y la comunidad, quienes finalizaron la experiencia con la observación del eclipse.

Allí se realizaron distintas charlas de especialistas de nuestro país y el extranjero, sobre temáticas diversas. Se expusieron trabajos en formato de póster, hubo exposición de imágenes astronómicas e históricas, se realizaron talleres para docentes, y espacios para el intercambio y la discusión partiendo de los intereses de quienes asistan y participen en el Workshop. Participaron de las jornadas de debate, Jay Pasachoff (Williams College Hopkins Observatory), quien ha visto 65 eclipses a lo largo de su vida, y Fred Espenak, quien mantiene la página de eclipses de La Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio, más conocida como NASA (por sus siglas en inglés), entre otros destacados especialistas.

"Debatimos acerca del estudio del Sol y de los eclipses y cómo eso impacta en la ciencia actual y en las comunidades originarias de América y otras partes del mundo. También reflexionamos qué se puede hacer en la educación pública y en la divulgación científica actual a partir de lo que trabajamos en los distintos campos. Trabajamos para que la ciencia y la educación se junten y estén en la comunidad. Este fenómeno natural se puede transformar en una actividad educativa y en un relevamiento de datos científicos. Se cumplieron todos los objetivos de educación, ciencia, seguridad, cultura. Estamos muy satisfechos", explicó Néstor Camino, coordinador de la actividad y director del Proyecto Plaza del Cielo, que tiene como fin la educación a través de la Astronomía y de todas aque-

llas expresiones de la cultura de un pueblo que posibiliten su educación, y en definitiva su crecimiento.

El Workshop contó con el apoyo de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la provincia de Chubut, la Asociación Argentina de Astronomía (AAA), y el CONICET, a través del Programa de Promoción de Vocaciones Científicas (VocAr), quien auspició y subsidió dicho Workshop junto a otras instituciones.

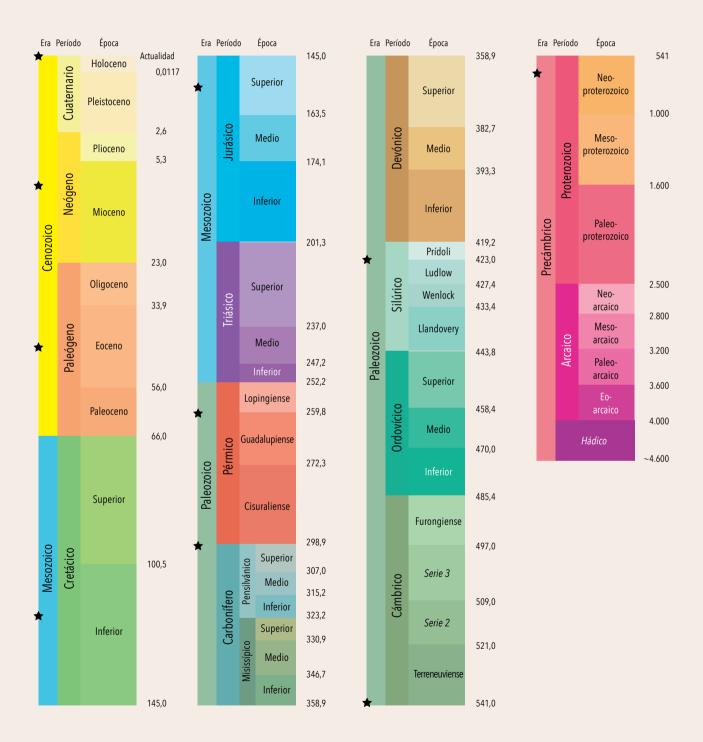
"Los chicos que han estado acá en medio de la Patagonia van a recordar que estábamos viendo un eclipse y la explosión de aplausos y gritos que tuvimos cuando se dio la anularidad. Esos chicos no se olvidan –tampoco los grandes-. Esto acá no termina, hay gente que se lleva los anteojos y verán que el Sol no todos los días es igual, van a leer de otra manera, hay muchos chicos y maestros que a partir de esto van a trabajar distinto, y además sabemos que tenemos varios eclipses por delante", reflexionó Néstor que todavía recuerda un eclipse en Mar del Plata, en la década del 60, que vio cuando era pequeño junto a unas tías abuelas.



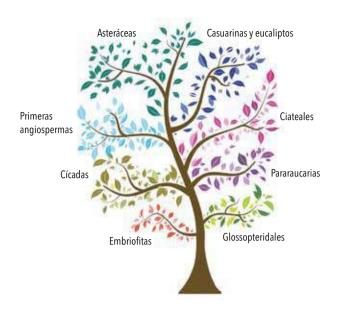
Eclipse solar anular. Fotos: CONICET Fotografía.

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.ccgm.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

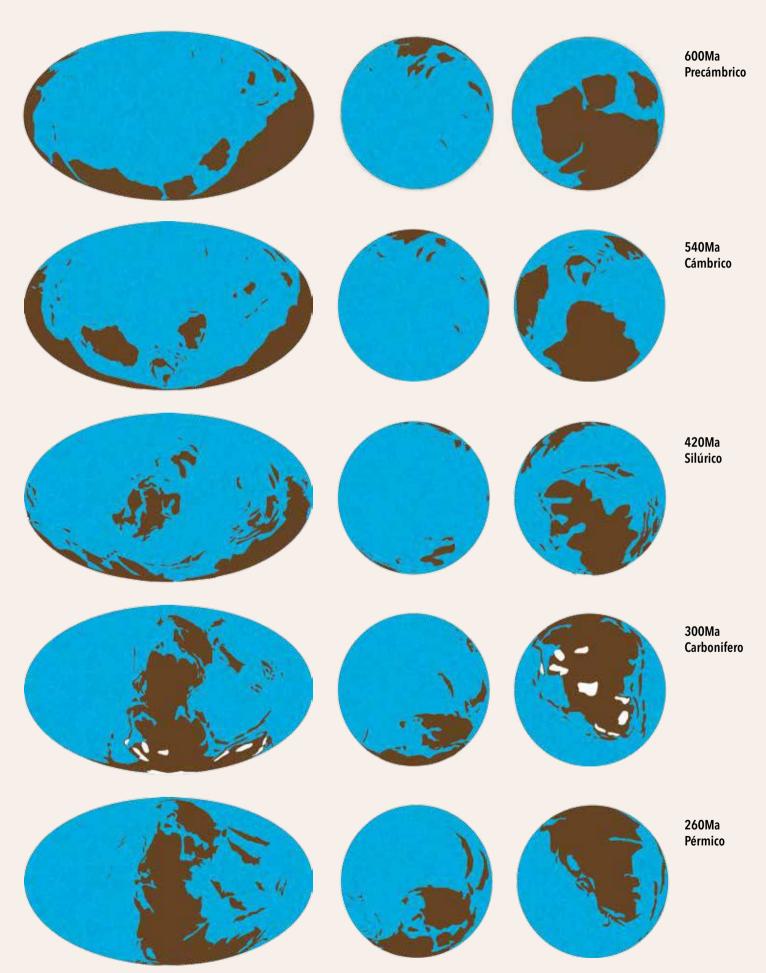
Este número de Ciencia Hoy está dedicado a la paleobotánica. Los editores agradecen la eficiente colaboración de Viviana D Barreda, investigadora principal del Conicet en el Museo Argentino de Ciencias Naturales, que actuó como editora invitada para su preparación. En tal carácter, definió los temas 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.

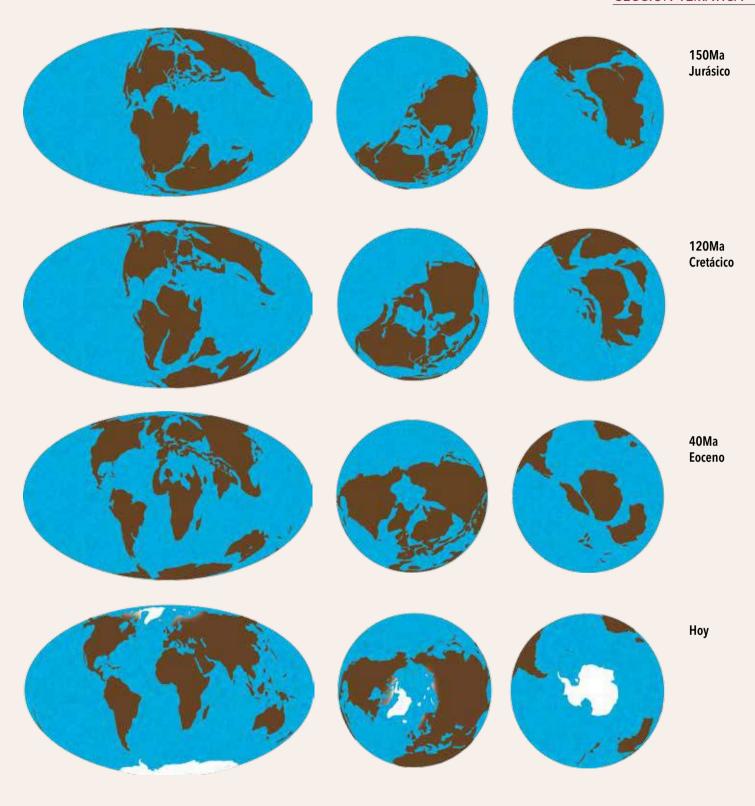
Paleontología y fósiles

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, permineralizaciones (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.





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 cortándoles 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

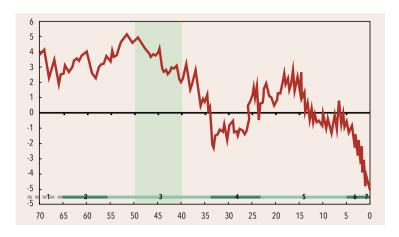
Con los inicios de la geología moderna hacia el fin del siglo XVIII, empezaron los esfuerzos por establecer el marco de referencia temporal de la historia de la Tierra y de la vida en ella, es decir, de definir la escala del tiempo geológico. En los comienzos y prácticamente todo a lo largo del siglo 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 ítaloargentino 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 Stipanicic (1921-2008), Carlos A Menéndez (1921-1976), María Bonetti (1923-2015) y Sergio Archangelsky. Estos, junto con el botánico y palinólogo Juan Carlos Gamerro (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 Zamaloa 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 cicadales, 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.



Claudia V Rubinstein

Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Mendoza

Primeros pasos de la vida fuera del agua

a aparición de plantas terrestres es uno de los hechos más significativos en la historia de nuestro planeta. No solo fue un hito fundamental en la evolución de la vida: marcó además el inicio de decisivos cambios ecológicos, pues favoreció la formación de suelos, modificó profundamente el ciclo del carbono y alteró la composición de la atmósfera, con la consecuente transformación irreversible del clima global. Estos cambios permitieron que la evolución produjera otros organismos más complejos, que irían ocupando todos los continentes.

Las primitivas plantas que se afincaron fuera del agua probablemente descendieron de un grupo de algas multicelulares verdes que habitaban aguas dulces y que habrían migrado a ambientes terrestres, en los cuales sobrevivieron y proliferaron. No se han encontrado restos fósiles de ellas ya que, sin tallo ni raíces o partes leñosas, habrían sido demasiado frágiles para soportar los procesos de fosi-

lización. Podemos suponer, sin embargo, que habrían sido similares a las pequeñas y simples hepáticas actuales.

El camino que permitió adquirir conocimiento sobre estas primeras plantas es el estudio de restos de organismos microscópicos contenidos en las rocas, del que se ocupa la palinología, una disciplina que hizo grandes avances desde mediados del siglo XX. Entre esos restos están las esporas y los granos de polen (denominados genéricamente palinomorfos) producidos en grandes cantidades por todas las plantas terrestres como parte de su función reproductiva.

Esporas y granos de polen tienen una pared gruesa que, durante su dispersión por el viento o por corrientes de agua, los protege de la radiación ultravioleta y de la desecación. Cuando terminan incorporados a los sedimentos inorgánicos, esa pared soporta el proceso de fosilización, por el que pueden permanecer inalterados por millones de años.

- ¿DE QUÉ SE TRATA?

Cuándo y cómo las plantas colonizaron los continentes.

Así, cuando las plantas migraron del medio acuático al terrestre, los palinomorfos fueron capaces de sobrevivir al cambio de las condiciones ambientales, y sus características les permitieron resultar preservados como fósiles en mayor número y en más tipos de rocas que las plantas que los habían producido.

Por ello, aunque no tengamos fósiles de las primeras plantas que colonizaron la Tierra, podemos reconstruir, mediante sus esporas, cómo fueron ocupando los continentes. Esas primeras plantas descendientes de algas verdes y establecidas en tierra firme se llaman embriofitas, y son los ancestros de todas las plantas terrestres pasadas y actuales. Las esporas de las primeras embriofitas se conocen por criptoesporas y constituyen la evidencia concreta de que disponemos sobre el inicio del proceso de colonización de los continentes por plantas, también llamado de terrestralización de las plantas.

Las criptoesporas más antiguas conocidas tienen una edad aproximada de 470Ma y los restos de plantas terrestres más antiguos alcanzan una edad de unos 425Ma, es decir, pertenecen al período ordovícico del Paleozoico. Por lo tanto, el estado actual del conocimiento nos lleva a inferir que en sus primeros 45Ma de existencia las plantas terrestres no tuvieron características que les hubiesen permitido llegar hasta nosotros como fósiles.

El hallazgo de fósiles de esporas mucho más antiguos que los fósiles de plantas, que además presentan algunas formas inusuales en esporas más modernas, hizo conjeturar a los científicos si podrían ser esporas de plantas terrestres que no conocíamos, tema aún abierto a discusión.

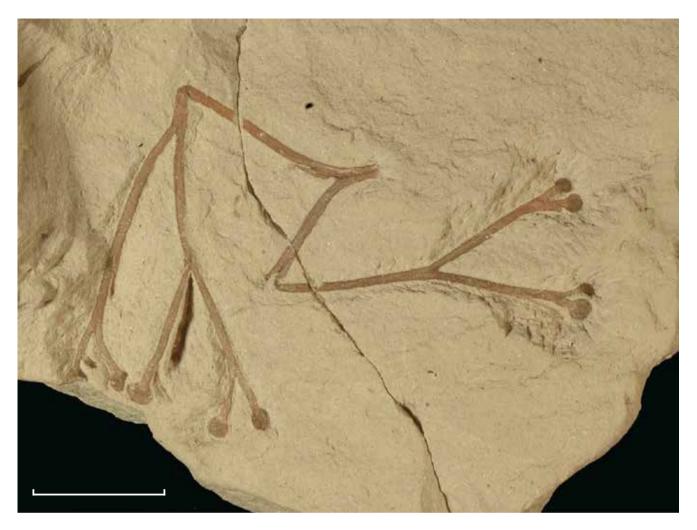
Algunas de las evidencias más importantes de que las criptoesporas muestran afinidad biológica o parentesco con las plantas terrestres que conocemos son las siguientes:

- Las criptoesporas son similares a las esporas de las plantas terrestres conocidas tanto por su tamaño como por poseer una pared gruesa y resistente. Pero se diferencian de ellas por estar frecuentemente envueltas en una fina membrana y por aparecer tanto en forma individual como en unidades de dos y cuatro individuos (llamadas respectivamente mónadas, díadas y tétradas).
- Como ocurre con las esporas y el polen de plantas actuales, las criptoesporas se encuentran principalmente en rocas sedimentarias de origen terrestre que corresponden a los ambientes donde vivieron las plantas que las generaron. Pueden hallarse en rocas sedimentarias de origen marino por haber sido transportadas hacia el mar y haberse depositado en zonas cercanas a la costa.
- Algunas criptoesporas de más de 400Ma, como las tétradas envueltas en una membrana, son similares a las esporas de ciertas hepáticas actuales.
- La composición química de la pared de las criptoesporas es similar a la de las esporas de plantas terrestres que conocemos.





Hepáticas actuales, pequeñas plantas herbáceas no vasculares que podrían guardar semejanza con las primeras plantas terrestres. Las escalas miden 2cm. Fotos Irene Garibotti, INIBIOMA, Universidad Nacional del Comahue-Conicet.



Plantas fósiles que datan de entre hace 425 y 390Ma. Se elevaban escasos centímetros del suelo. La escala marca 1cm. Foto Philippe Gerrienne, Universidad de Lieja.

Hasta hace unos años, las criptoesporas más antiguas que se conocían habían sido halladas en territorios actuales de la República Checa y del reino de Arabia Saudita respectivamente por Milada Vavrdová, del Instituto de Geología de la Academia Checa de Ciencias, y Paul K Strother, de Boston College. Se estimó su edad en unos 460Ma. Ambos territorios eran entonces parte del supercontinente Gondwana o de zonas terrestres a su alrededor llamadas perigondwánicas.

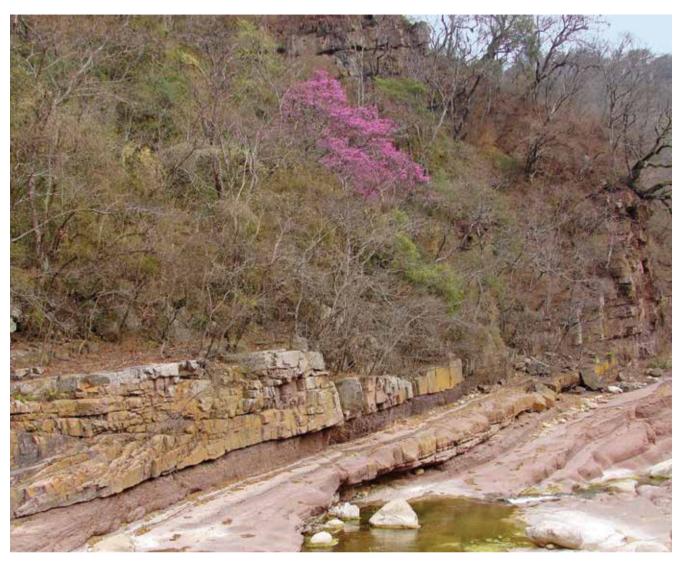
Hace unos diez años, la autora y su grupo de trabajo, en colaboración con investigadores belgas de la Universidad de Lieja, hallaron criptoesporas de unos 470Ma de antigüedad en el área del río Capillas, en la sierra de Zapla de la provincia de Jujuy y a unos 40km en línea recta hacia el este-noreste de la capital provincial, descubrimiento que desplazó en unos 10Ma el supuesto momento del comienzo de la terrestralización de las plantas y cambió la referencia geográfica.

Las criptoesporas a que se refiere el párrafo anterior provienen de rocas sedimentarias originadas en un ambiente marino cercano a la costa. Hemos hallado cinco variedades diferentes, mónadas y tétradas, algunas envueltas en una delgada membrana. Miden hasta unos 40 micrómetros, por lo que su reconocimiento y estudio deben hacerse con microscopio.

Junto con ellas se hallaron microfósiles de organismos marinos que formaron parte del plancton del antiguo mar. Sobre la edad de este existe extensa investigación, lo cual facilitó la datación indicada de las criptoesporas.

El hecho de que encontráramos cinco variedades de criptoesporas indica que estas tuvieron tiempo para que la evolución las diversificara, indicio de que probablemente las primeras plantas establecidas en tierra firme datan de antes, incluso tal vez de hace más de 500Ma.

En el proceso de terrestralización de las plantas, uno de los hitos más significativos es la evolución de un linaje de embriofitas que recibió el nombre de plantas vasculares o Tracheophyta (traqueofitas). Es el grupo de plantas más complejas del reino vegetal, las cuales se distinguen por



Paisaje del río Capillas, sierra de Zapla, Jujuy, en la zona en que se hallaron criptoesporas.

tener un tejido conductor que lleva a todo su cuerpo el agua y los minerales que las alimentan. Dicho tejido, por ser rígido, contribuye a sostener las plantas y a permitir que alcancen mayores dimensiones y habiten en una más amplia variedad de ambientes.

Varios de los investigadores locales que participamos en el anterior descubrimiento realizamos algún tiempo después un nuevo hallazgo en la Cordillera Oriental de Jujuy, cerca de la localidad de Caspalá, unos 25km al este de Uquía.

En este caso, se encontraron esporas de tipo trilete—evidencia de que había plantas vasculares— en una roca sedimentaria de origen glacial, por lo cual se las puede relacionar con uno de los eventos climáticos más importantes de la historia de la Tierra: una glaciación que tuvo lugar hace unos 445Ma. El marcado enfriamiento que se produjo dio origen a una de las cinco mayores extinciones masivas de especies acaecidas en el planeta,

que afectó a no menos del 60% de los invertebrados marinos. Este es el hallazgo de plantas vasculares más antiguo del continente americano y uno de los más antiguos del mundo.

En ese entonces la vida se encontraba casi exclusivamente circunscripta a los océanos, con la notable excepción de las primeras plantas terrestres, las cuales, notablemente, sobrevivieron a la glaciación y las consecuencias del drástico descenso de temperatura. Cuando los hielos se derritieron, en efecto, se produjo un ascenso del nivel del mar, que cubrió los ambientes terrestres costeros en los que se habían asentado y crecían las plantas. Por ello, las rocas terrestres de tiempos poco posteriores (en términos geológicos) a la glaciación contienen menor número y diversidad de esporas.

Los descubrimientos comentados en este artículo aportan información fundamental al conocimiento de los procesos de terrestralización de las plantas. Con motivo



Paisaje de la Cordillera Oriental en la localidad de Caspalá, Jujuy, donde se hallaron esporas. El camino está a unos 3000m sobre el nivel del mar.

de ellos, en las últimas pocas décadas cambiaron nuestros conceptos y modelos sobre el origen y la radiación adaptativa de las plantas terrestres. Sin duda, hay mucho por investigar y descubrir. El noroeste de la Argentina seguramente esconde información que permitirá hacer nuevos avances en la búsqueda de ese conocimiento.



Claudia V Rubinstein

Doctora en ciencias geológicas, UBA. Investigadora principal del Conicet en el IANIGLA. crubinstein@mendoza-conicet.gob.ar

LECTURAS SUGERIDAS



RUBINSTEIN CV *et al.*, 2010, 'Early Middle Ordovician evidence for land plants in Argentina (eastern Gondwana)', *New Phytologist*, 188: 365-369, accesible en *http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8137.2010.03433.x/pdf*.

RUBINSTEIN CV *et al.*, 2016, 'The palynological record across the Ordovician/ Silurian boundary in the Cordillera Oriental, Central Andean Basin,

northwestern Argentina', *Review of Palaeobotany and Palynology*, 224: 14-25. **STROTHER PK** *et al.*, 1996, 'New evidence for land plants from the lower Middle Ordovician of Saudi Arabia', *Geology*, 24: 55-59.

VAVRDOVÁ M, 1990, 'Early Ordovician acritarchs from the locality Myto near Rokycany (late Arenig, Czechoslovakia)', *Časopis pro mineralogii a geologii*, 35, 3: 239-250.





Bárbara Cariglino y M Lucía Balarino

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN), Conicet

Glossopteris en los bosques de Gondwana

o todas las plantas que componen la vegetación actual formaban parte de la flora en tiempos geológicos remotos, y recíprocamente muchas plantas que vivieron en ese pasado no llegaron a la actualidad. Un interesante ejemplo de diversificación, expansión y posterior desaparición de un grupo vegetal es el orden Glossopteridales, que apareció en el supercontinente Gondwana entre mediados y fines del período carbonífero de la era paleozoica, hace unos 300Ma, y se extinguió hace unos 250Ma, hacia el final del período pérmico. Estas plantas que lo componían eran gimnospermas -como las actuales coníferas- y alcanzaron una amplia distribución en Gondwana. Dominaron allí los bosques por casi 50Ma durante el Paleozoico superior, y desaparecieron abruptamente del registro fósil a comienzos del Mesozoico.

El género Glossopteris

El género mejor conocido del orden Glossopteridales es Glossopteris, del que se ha identificado más de un centenar de especies. Su nombre, como el del orden, alude a la forma de lengua (glossa es lengua en griego clásico) de sus hojas fósiles lanceoladas o de figura semejante a una punta de lanza, con una marcada nervadura central y una retícula de venas. Su predominio en el registro fósil llevó a que el nombre se aplique por extensión a las comunidades formadas por Glossopteris y otros grupos de plantas, incluidos helechos, coníferas y licofitas, y a que se hable de la 'flora de Glossopteris'. Esas comunidades vegetales conformaban entonces los bosques de las zonas templadas y frías de la Tierra en latitudes superiores a los 30°S.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Plantas que dominaron los bosques del supercontinente Gondwana entre hace 300 y 250 millones de años. Los primeros hallazgos de hojas fósiles de Glossopteris y su descripción científica acaecieron a mediados del siglo XIX. Desde entonces los paleontólogos vienen descubriendo las numerosas partes que conformaban las plantas, lo que permitió su reconstrucción sobre bases progresivamente más ciertas.

Actualmente se las puede describir como árboles de mediana altura, comparable con la de los pinos actuales, con raíces en las que se advierten cámaras de aire —una adaptación que sugiere que podían crecer en suelos anegados, porque esas cámaras evitaban que el agua las pudriera al facilitar su aereación cuando estaban sumergidas—, troncos parecidos a los pinos o araucarias actuales, hojas lanceoladas lingüiformes y estructuras reproductivas muy variadas, tanto femeninas como masculinas.

Es difícil establecer el número de especies de Glossopteris, pues no siempre los fósiles de las diferentes partes que componían las plantas se encuentran juntos, por lo que los paleontólogos asignan un nombre diferente a cada uno de los órganos o partes aisladas a medida que los hallan. Esas categorías taxonómicas, en consecuencia, no se llaman taxones sino morfotaxones o taxones fósiles. En los últimos años, sin embargo, los científicos pudieron reconstruir plantas del género Glossopteris vinculando partes que por lo común se habían encontrado separadas y recibido nombres diferentes.

Sobre la única base de las hojas fósiles, se llevan descriptas más de cien especies de Glossopteris. El número resulta considerablemente menor, cercano a cincuenta, si se parte del registro fósil de estructuras reproductivas. Si bien el potencial de preservación fósil de los frutos es menor que el de las hojas, porque son más frágiles y menos abundantes que estas, son también más confiables como indicadores de diversidad, pues sus formas tienen menor variación que las hojas, las cuales pueden incluso ser desiguales en una misma planta.

Otro camino para definir la taxonomía de plantas extinguidas es el polen. Las Glossopteridales, igual que las gimnospermas actuales, se reproducían por medio de granos de polen generados en sus estructuras fértiles masculinas, que fecundaban óvulos ubicados en sus estructuras femeninas. Sus granos de polen eran de tipo estriado con prolongaciones en forma de aletas. Los paleopalinólogos consideran que las estrías y los pliegues serían adaptaciones que evitarían la desecación, y que las aletas habrían favorecido la dispersión por el viento. Esto les habría facilitado, como a muchas otras gimnospermas, colonizar nuevos ambientes, incluso tierras más altas con menor disponibilidad de agua que las tierras más bajas, pues dejaron de necesitar los cuerpos de agua para multiplicarse, como los requieren las plantas más primitivas, que se reproducen por esporas.



Paisaje de la formación geológica La Golondrina, en el noreste de la provincia de Santa Cruz, hacia el suroeste de Puerto Deseado.





Izquierda. Trabajo de campo en la formación geológica La Golondrina. **Derecha.** Sedimentos de la misma formación geológica que deben ser despejados para acceder a los niveles con fósiles.

La flora de Glossopteris en Gondwana

La abundante presencia de las distintivas hojas de Glossopteris en rocas de entre 300 y 250 millones de años de edad de varias localidades del hemisferio sur, en lugares actualmente tan distantes entre ellos como la India, Australia, Sudáfrica, la Argentina y el continente antártico, permitió al geólogo austríaco Eduard Suess (1831-1914) postular en 1885 que esos lugares habrían sido parte de un supercontinente, al que llamó Gondwana. Esta hipótesis fue clave para la formulación en 1912 de la teoría de la deriva continental, realizada por el meteorólogo alemán Alfred Wegener (1880-1930).

La malograda expedición británica encabezada por Robert F Scott (1868-1912), que llegó al polo sur en 1912, descubrió en el glaciar Beardmore abundantes fósiles de hojas, que uno de los integrantes de la campaña, Edward Wilson (1872-1912), envió a Inglaterra para que los estudiara el botánico Albert Seward (1863-1941). Hoy se sabe que la ubicación geográfica de la Antártida en el Pérmico era similar a la actual, y que las temperaturas durante ese período eran globalmente más cálidas, pero esos fósiles plantean la pregunta de cómo las plantas sobrevivieron los largos períodos sin luz. Según algunos estudios eso sucedió porque adquirieron la capacidad de perder las hojas durante dichos lapsos, es decir, se volvieron caducifolias.

El registro fósil avala esta idea, pues se han hallado depósitos que llamamos 'otoñales', con abundantes hojas de Glossopteris, que se alternan con otros con escasos restos fósiles. También se encontraron tallos en cuyos extremos

se preservaron hojas fuertemente apretadas entre sí, que ofrecían protección al ápice de crecimiento, y troncos fosilizados con anillos de crecimiento bien marcados, lo que indica estacionalidad.

Fósiles de *Glossopteris* en territorio argentino

Evidencias fósiles de Glossopteris son comunes en estratos de entre 300 y 250Ma de edad en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, La Pampa, La Rioja, Mendoza, San Luis, Chubut y Santa Cruz. También lo son en las islas Malvinas. En particular, la flora de Glossopteris hallada en el noreste de Santa Cruz, en un área de 1500km² en la que afloran los sedimentos de la formación geológica La Golondrina ubicada hacia el suroeste de Puerto Deseado, se destaca por ser muy variada y, principalmente, porque habría sido la última de esas floras en extinguirse a fines de la era peleozoica en las tierras que hoy son esa parte de Sudamérica. Los trabajos de campo llevados a cabo en dicha área en años recientes por el grupo de investigación que integran las autoras dieron como resultado un importante incremento del conocimiento de las comunidades de plantas que componían esa flora, de su relación con otros organismos, como insectos y vertebrados, y hasta de las condiciones ambientales imperantes. Los nuevos hallazgos incluyeron abundantes estructuras reproductivas, incluso algunas novedosas para la ciencia.

Origen y dispersión de las *Glossopteridales*

Establecer relaciones de parentesco a partir de fósiles es complejo, ya que por lo general las observaciones están basadas únicamente en caracteres exteriores, sin acceso a importante información acerca de la anatomía interna de las partes, que podría ser definitoria en la clasificación de los especímenes.

Las primeras evidencias fósiles de Glossopteridales datan del período carbonífero, uno de los períodos de la era paleozoica, entre hace 350 y 300Ma, y consisten en hojas similares a las de Glossopteris, pero sin una nervadura central marcada, por lo que se las suele asignar al género Gangamopteris. Sus semejanzas con hojas de otro grupo de gimnospermas primitivas, las Cordaitales, que en ese entonces estaban globalmente extendidas aunque luego se extinguieron, ha hecho pensar a algunos científicos que estas podrían ser las precursoras de las Glossopteris. Asimismo, algunas estructuras reproductivas halladas cercanas a ho-

jas de Glossopteris pero sin conexión directa con estas en los estratos de roca presentan similitudes con las estructuras fértiles de algunas Corduitales, lo que agrega más evidencia a favor del parentesco entre ambos grupos, hipótesis, sin embargo, aún discutida.

Las Glossopteridales han sido en algún momento relacionadas con casi todos los grupos de plantas, tanto extinguidos como vivientes. Una hipótesis muy debatida las considera potenciales ancestros de las actuales angiospermas o plantas con flores, por la presencia de un patrón reticulado de venas en sus hojas, más ciertas características de algunas de sus estructuras fértiles femeninas. Si bien fue una hipótesis predominante en las décadas de 1950 y 1960, actualmente muy pocos científicos la consideran válida, pues argumentan que las hojas de distintos grupos de plantas suelen repetir patrones a lo largo del tiempo, aun sin existir relación entre dichos grupos, y que las interpretaciones que presentaban a algunas fructificaciones de las Glossopteris como equivalentes a una flor actual se basaron en conceptos equivocados y, por ende, establecieron una afinidad ficticia.



Detalle de las venas de una hoja de *Glossopteris stricta*, proveniente de la formación La Golondrina. La escala indica 1cm.



Fósil de helecho del género Pecopteris de la flora de Glossopteris hallado en la formación La Golondrina. La escala indica 3cm.

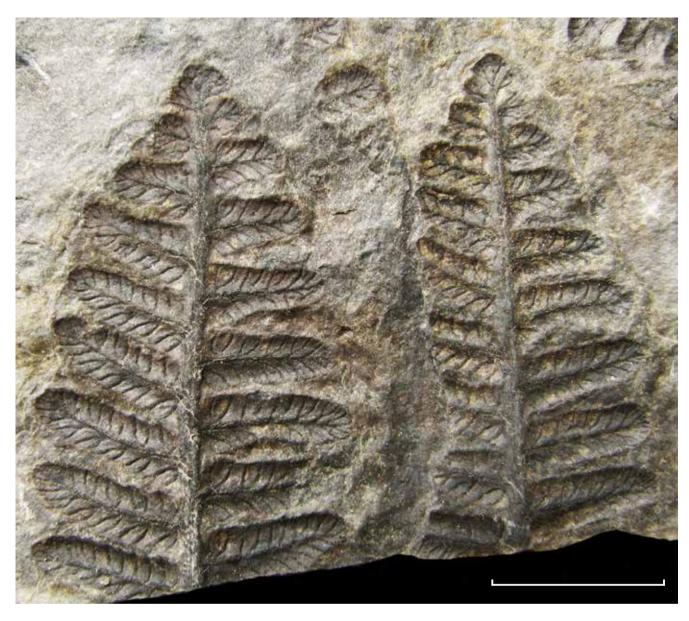
En una palabra, aún restan mucho trabajo y muchos hallazgos más para definir tanto el origen como la descendencia de las Glossopteris. Nuevas interpretaciones del material fósil, sumadas a los avances de los métodos filogenéticos utilizados actualmente, permitirán acercarnos más a resolver el gran acertijo que plantea el grupo.

La gran extinción del límite Pérmico-Triásico

A finales del Pérmico ocurrió una de las extinciones masivas más importantes que sufrió la vida en la Tierra a lo largo de su historia. Si bien no es tan conocida como la que acabó con los dinosaurios a fines del Mesozoico, se destaca porque eliminó aproximadamente el 95% de los seres vivos marinos y terrestres: solo el 5% de ellos que quedó consiguió evitar que la vida acabara por completo en el planeta.

Geólogos y paleontólogos de todo el mundo buscan evidencias que señalen las causas de esa gran extinción. El factor desencadenante considerado más probable en estos momentos es una erupción volcánica masiva que habría acaecido aproximadamente hace 250 millones de años en Siberia, y producido un calentamiento global e incrementado el contenido de dióxido de carbono y dióxido de azufre en la atmósfera.

La extinción no afectó por igual a todos los grupos de animales y plantas. Algunos desaparecieron abruptamente, otros sobrevivieron por cierto tiempo durante el Triásico, al cabo del cual también se extinguieron. Las Glossopteridales parecen ser un ejemplo de lo segundo: se han encontrado pequeñas concentraciones de hojas fósiles de ellas en la India y la Antártida, en rocas un poco más jóvenes que el límite Pérmico-Triásico. La falta de evidencias fósiles posteriores lleva a pensar que el grupo se extinguió por completo al cabo de algunos miles de años del fin del Pérmico, que en el tiempo geológico es casi enseguida.



Fósil del género extinquido Pecopteris presente en la flora de Glossopteris hallado en la formación La Golondrina. La escala indica 1cm.

Para mediados del Triásico, una vegetación distinta -la flora de Dicroidium- habría reemplazado por completo en todo Gondwana a las Glossopteridales. De estas, sin embargo, nos han quedado muy valiosos restos, constituidos por grandes acumulaciones soterradas de la materia orgánica producida por sus bosques, hoy convertidas en enormes depósitos de hidrocarburos fósiles explotados industrialmente en diversos países.

LECTURAS SUGERIDAS



ARCHANGELSKY S, 1970, Fundamentos de paleobotánica, Universidad Nacional de La Plata.

CARIGLINO B, 2013, 'Fructification diversity from the La Golondrina Formation (Permian)', Geobios, 46: 183-193.

McLOUGHLIN S, 2011, 'Glossopteris. Insights into the architecture and relationships of an iconic Permian Gondwanan plant', Journal of the Botanical Society of Bengal, 65: 1-14.

TAYLOR TN, TAYLOR EL & KRINGS M, 2009, Paleobotany. The Biology and Evolution of Fossil Plants, Elsevier, Amsterdam.



Bárbara Cariglino

Doctora en ciencias naturales, UNLP. Investigadora asistente del Conicet en el MACN. barichi10@gmail.com



M Lucía Balarino

Doctora en ciencias naturales, UNLP. Investigadora adjunta del Conicet en el MACN. lubalarino@gmail.com



Suscríbase al conocimiento

CIENCIAHOY

Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5º A (C1193AAA) Ciudad de Buenos Aires Tel. (011) 4961-1824 Fax (011) 4962-1330

Suscribase por internet en el sitio http://cienciahoy.org.ar/suscripcion-la-revista-ciencia-hoy/ usando la opción PayU (solo la Argentina)





Leandro CA Martínez

Instituto de Botánica Darwinion, Conicet

Analía E Artabe

Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata

Cícadas, fósiles vivientes del reino vegetal

as cícadas son un antiguo y enigmático grupo de plantas con semillas, la mayoría de cuyas especies tiene apariencia similar a las palmeras, con un tronco en forma de columna, sin ramificar y por lo común recubierto de hojas, que remata en una corona o penacho de hojas con sus extremos divididos. También hay especies con tallo subterráneo, pero siempre presentan el penacho de hojas en su ápice. Son comunes en plazas y jardines, tanto por razones ornamentales como por su resistencia a plagas y otros factores.

Aunque por su aspecto general parezcan palmeras, las cícadas son gimnospermas, es decir, plantas cuyas semillas no se forman en un ovario cerrado ni son parte de un fruto, sino que están expuestas. Otras gimnospermas vivientes son las coníferas (pinos, cipreses, araucarias, abetos, etcétera), las gnetales (de las que existen

hoy tres géneros, Gnetum, Ephedra y Welwitschia, con unas setenta especies) y el caso único del Ginkgo biloba o árbol de los 40 escudos.

Las cícadas pertenecen al linaje más antiguo de plantas con semilla que vive en el presente: los primeros registros de plantas del grupo datan de hace unos 290Ma, es decir, del período pérmico, el último de la era paleozoica.

Las cícadas fueron diversas y muy abundantes en los bosques y las selvas de la era mesozoica, cuando vivieron los dinosaurios. Por ello, los botánicos se refieren al Mesozoico como la era de las cícadas. Hacia finales del Cretácico y en el límite con el Paleoceno, hace unos 65Ma, junto con numerosas otras especies, sufrieron un proceso de extinción cuya consecuencia es que llegaron a la actualidad unos 10 géneros y unas 180 especies, todos pertenecientes al orden *Cycadales*, compuesto por

- ¿DE QUÉ SE TRATA?

La historia de un grupo de plantas presente en la Tierra desde hace casi 300Ma, por lo que podemos ver a sus integrantes actuales como fósiles vivientes.

tres familias: Cycadaceae, Stangeriaceae y Zamiaceae. Son plantas que viven hoy en lugares cálidos del planeta, en las Américas, el sudeste asiático, Australia y África.

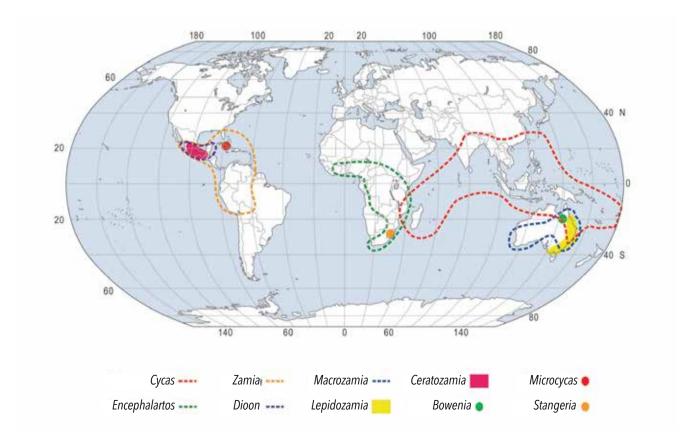
La mencionada extinción masiva del Cretácico-Paleoceno no fue la única a la que sobrevivieron las cícadas; antes de ella pasaron por otras dos: la del Pérmico-Triásico hace unos 252Ma, y la del Triásico-Jurásico hace unos 201Ma. Su éxito y su supervivencia hasta la actualidad quizá se deba a que poseen adaptaciones para soportar sequía, fuego, patógenos y predadores. Así, acumulan en sus tallos gran cantidad de una sustancia viscosa llamada mucílago, que retiene agua aprovechable en períodos de sequía. También sintetizan y acumulan gran variedad de compuestos que les confieren resistencia a patógenos o que alejan predadores por su carácter tóxico. De hecho, la mayoría de los animales evitan comerlas.

Los estudios de los fósiles de cícadas han aportado diversos datos de tipo biogeográfico (o sea, su distribución en los continentes), paleoclimático y paleoecológico (es decir, sobre las condiciones ambientales del pasado). La información obtenida por medio de los estudios anatómicos y morfológicos permiten establecer la relaciones filogenéticas (o de parentesco) y entender tanto los procesos como las tendencias evolutivas en este grupo de plantas.

Se han concebido diferentes hipótesis sobre el origen evolutivo de las cícadas, definidas sobre la base de dichos estudios anatómicos de fósiles. Entre ellas, se destaca la que sostiene su descendencia de las pteridospermas o helechos con semillas, que existieron a lo largo de las eras paleozoica y mesozoica y eran un grupo muy diverso de plantas, con numerosos órdenes y familias.

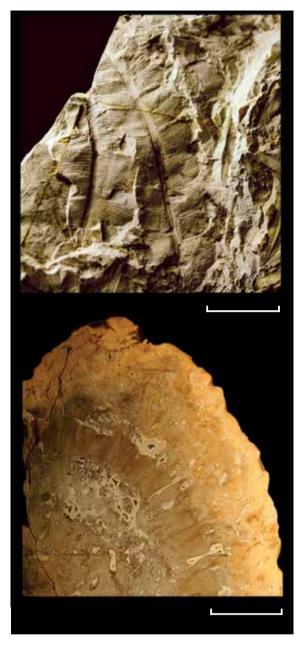
Más concretamente, dicha hipótesis considera como probables antepasados de las cícadas a uno de los órdenes de pteridospermas paleozoicas, el de las Medullosales, que habitaron los bosques tropicales de hace unos 350Ma y eran plantas con tallo en forma de columna, semejantes a una palmera pequeña o también a lianas, con grandes hojas compuestas y semillas de considerable tamaño. Estas características de su forma y apariencia, además de otros análisis más complejos, de tipo anatómico y filogenético, llevaron a postular el parentesco indicado.

Desde hace bastante, los paleobotánicos piensan que el orden Cycadales es monofilético, lo que significa que todos sus integrantes descienden de un ancestro común. Llegaron a esa conclusión sobre la base de comparaciones anatómicas y morfológicas entre los fósiles y las plantas actuales que se han ido refinando en las últimas décadas. Para fósiles vegetales, solo en contados casos se puede recurrir a los modernos análisis de parentesco que permite la actual genética molecular, porque salvo rara excepción no se encuentran en ellos restos de ADN.



Distribución geográfica de los géneros vivientes del orden de Cycadales.





Interpretación de la apariencia de plantas que podrían haber alcanzado los 8m de alto de la especie *Medullosa noei*, perteneciente a un orden de pteridospermas o helechos con semillas que, según se considera, incluye los ancestros más cercanos de las cícadas. Vivieron durante los períodos carbonífero y pérmico temprano del Paleozoico, hace unos 350Ma, en tierras del actual hemisferio norte. Existe escasa evidencia que permita pensar que hayan estado presentes en Gondwana. Dibujo adaptado de *http://plantlife.ru/ books/item/f00/s00/z0000029/st119.shtml*.

Los más antiguos fósiles de *Cycadales* encontrados en territorio argentino. **Arriba:** impresión de hojas de una planta del género *Pseudoctenis*. **Abajo:** corte transversal de un leño del género *Michelilloa*, encontrado en Ischigualasto, en el que se advierten tres zonas (abajo a la izquierda, la médula; en el centro, la zona vascular, y en la franja exterior derecha, la corteza). Las barras que dan la escala miden 1cm.

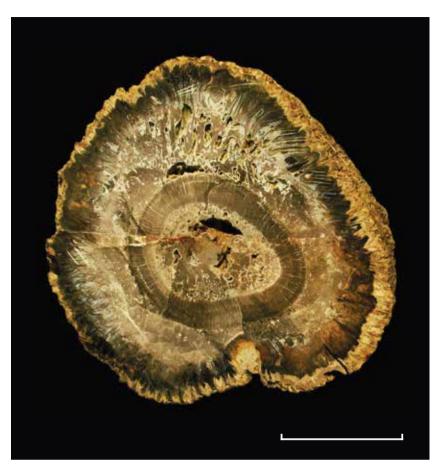
En el hemisferio norte se han encontrado numerosos fósiles de plantas que se asemejan a las cícadas, muchos en yacimientos del Carbonífero y del Pérmico, pero los más antiguos clasificados con certeza datan del segundo de esos períodos, provienen de China y tienen gran parecido a las hojas y los óvulos de cícadas actuales del género Cycas.

A partir del inicio del período triásico, hace unos 252Ma, cuando comienza la era mesozoica, se registra la presencia de cícadas en diversos yacimientos fosilíferos de todo el planeta. La Argentina no es la excepción: en la cuenca geológica cuyana, en Mendoza, San Juan y San Luis, se han encontrado hojas de cícadas primitivas del género Pseudoctenis; y en los sedimentos de Ischigualasto, en San Juan, se halló un tallo fosilizado del género Michelilloa, cuyas características sugieren que es un temprano integrante del orden Cycadales.

Los fósiles encontrados en diversas partes del mundo permiten concluir que el número de géneros de Cyca-



Tronco fósil de una planta del Cretácico del género *Wintucycas* (orden *Cycadales*) encontrado en Salitral Ojo de Agua, Río Negro, unos 40km al sudeste de General Roca. El relieve responde a las bases foliares. La barra que da la escala mide 10cm.



Sección transversal del leño fósil de la especie *Neochamberlainia pteridospermoidea* (orden *Cycadales*). El área central corresponde a la médula; el angosto anillo oscuro que la rodea, a la zona vascular del leño, la que está a su vez rodeada por el anillo más ancho de la corteza. La barra que da la escala mide 10cm.

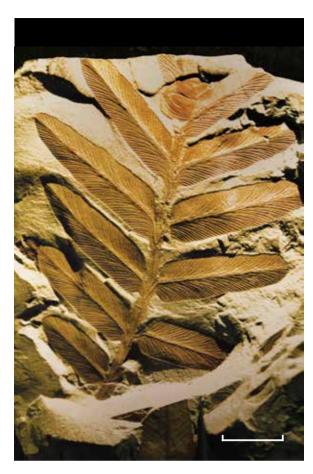
dales se incrementó a lo largo del Mesozoico, y que el orden alcanzó una gran diversidad en el Cretácico, como se aprecia por la elevada variedad de hojas, semillas y troncos fósiles encontrados. En los yacimientos del Mesozoico de la Argentina se identificaron varios géneros fósiles de hojas y leños, además de numerosas especies clasificadas como afines con las Cycadales. Con la extinción masiva de especies de fines del período cretácico, que acabó con las pteridospermas (lo mismo que con los dinosaurios), desapareció la mayoría de los géneros de Cycadales, pero el orden no se extinguió por completo.

Por otro lado, durante el transcurso del Cretácico aparecieron las primeras angiospermas o plantas con flores, que se fueron diversificado y, para el fin del período, habían colonizado y llegado a dominar los diferentes ecosistemas terrestres. Ese dominio se incrementó luego de la extinción del Cretácico-Paleoceno, pues las angiospermas sobrevivientes terminaron ocupando los nichos ecológicos dejados por otras plantas extinguidas, y así produjeron una trans-

formación de la apariencia, composición y ecología en la mayoría de los ecosistemas del planeta.

En los yacimientos fosilíferos cretácicos de la Patagonia se han encontrado numerosos restos del orden Cycadales, tanto tallos y hojas como estructuras reproductivas y semillas. Su estudio puso de manifiesto el incremento y la diversificación de un grupo o subfamilia de la familia Zamiaceae conocido con el nombre de Encephalarteae, la que en la actualidad vive en las regiones tropicales y subtropicales de África y Australia y agrupa tres géneros: Encephalartos en África, y Macrozamia y Lepidozamia en Australia.

Muchos de los fósiles cretácicos de Cycadales encontrados en la Patagonia fueron asignados a la subfamilia Encephalarteae. Esta asignación es coherente con el hecho de que durante la mayor parte del Mesozoico, América del Sur, África, Australia, la India, Madagascar y la Antártida conformaron parte del supercontinente Gondwana. Se puede pensar que las Encephalarteae se diversificaron a lo largo de Gondwana mientras perduró un clima templado-cálido. Luego, con el cambio climático de fines



Hoja fosilizada de una planta del género *Kurtziana* (orden *Cycadales*) encontrada en estratos triásicos en San Juan. La barra que da la escala mide 1cm.

del Cretácico y con la fragmentación de Gondwana, se produjo por un lado la disyunción de las que estaban en África y Australia y, por otro, la extinción de las existentes en lo que hoy es la Patagonia.

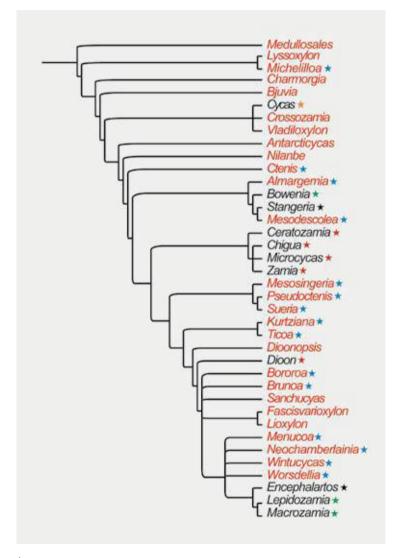
Los cambios que se produjeron luego del límite Cretácico-Paleoceno (o Mesozoico-Cenozoico) incluyeron el levantamiento de la cordillera de los Andes, el desplazamiento de la Antártida hacia el polo sur, la formación de la corriente circumpolar antártica y la disminución de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. El resultado final para la Patagonia fue a grandes rasgos su paso de un clima templado-cálido a uno templado-frío, condiciones que se fueron intensificando hasta el presente.

Algunas Cycadales extinguidas, de los géneros Menucoa y Bororoa, fueron halladas en sedimentos patagónicos de hace 63Ma, es decir del Paleoceno, lo que demuestra que su extinción por los factores mencionados tuvo una relativa gradualidad, lo mismo que el pasaje de las regiones australes de Sudamérica del clima cálido y húmedo a frío y seco que finalmente condujo a la desapa-

rición de las comunidades de bosques templado-cálidos de la Patagonia y la Antártida, con numerosos grupos de animales que vivían en ellas.

No se han hallado en territorio argentino restos de Cycadales en estratos rocosos posteriores al Eoceno, y hoy solo vive un género de ese orden en Sudamérica, Zamia, con una distribución que va desde Colombia hasta Bolivia. Está emparentado con el mencionado género fósil Bororoa encontrado en estratos del Paleoceno en la Patagonia.

Las cícadas cohabitaron con los dinosaurios y otros grupos de animales a lo largo de la era mesozoica. Algunas de sus características indicarían una posible coevolución con ciertos grupos de ellos. Las cícadas poseen una colorida cubierta carnosa que envuelve sus semillas y es consumida actualmente por numerosos animales



Árbol filogenético simplificado de los géneros vivientes (en negro) y fósiles (en bermellón) de cícadas. Las estrellas azules indican los fósiles encontrados en la Argentina, que tienen parentesco con géneros hoy vivientes en África y Australia, respectivamente indicados por estrellas negras y verdes, pero no con los que subsisten en Asia (estrella naranja). Las estrellas rojas corresponden a América.



Zamia elegantissima, especie del único género de Cycadales presente hoy en Sudamérica (desde el Caribe a Bolivia), fotografiada en Panamá. Smithsonian Tropical Research Institute

(roedores, elefantes, emúes, canguros, zarigüe-yas, aves). Esto sugiere que en el pasado podría haber sido consumida —y de este modo dispersada— por dinosaurios, entre otros. Como en los procesos de extinción de finales del Cretácico habrían existido efectos recíprocos entre plantas y animales, la desaparición de los dinosaurios podría haber producido ciertas alteraciones en las formas de dispersión de las cícadas y limitado su migración. En otras palabras, el no poder dispersarse o migrar hacia regiones más cálidas, sumado al enfriamiento del clima, quizá haya sido uno de los factores que condujo a la extinción de estas plantas en la Patagonia y en otras regiones del mundo.

A pesar de haber quedado reducido a un número pequeño de especies en comparación con las que existieron en el remoto pasado geológico, las cícadas pueden considerarse un grupo exitoso, ya que han permanecido en la Tierra por cerca de 300Ma. Sin embargo, las especies actuales corren hoy el riesgo de desaparecer por la destrucción de los ambientes en los que habitan.

LECTURAS SUGERIDAS



ARTABE AE & STEVENSON DW, 1999, 'Fossil Cycadales of Argentina', *The Botanical Review*, 65: 219-238.

CÚNEO NR *et al.*, 2010, 'Review of the Cycads and Bennettitaleans from the Mesozoic of Argentina', en Gee CT (ed.), *Plants in Mesozoic Time: Morphological innovations, phylogeny, ecosystems*, Indiana University Press, pp. 187-212.

MARTÍNEZ LCA, ARTABE AE & BODNAR J, 2012, 'A new cycad stem from the Cretaceous in Argentina and its phylogenetic relationships with other Cycadales', *Botanical Journal of the Linnean Society*, 170: 436-458.

NORSTOG K & NICHOLLS T, 1997, The Biology of the Cycads, Cornell University Press, Ithaca NY.

PANT DD, 2002, *An Introduction to Gymnosperms, Cycas and Cycadales*, Birbal Sahni Institute of Palaeobotany, Lucknow, India.

STEVENSON DW, 1990, 'Morphology and systematics of the Cycadales', en Stevenson DW (ed.), *The Biology, Structure and Systematics of the Cycadaen*, New York Botanical Botanical Garden, 57: 8-55.



Leandro CA Martínez

Doctor en ciencias naturales,
Facultad de Ciencias Naturales
y Museo, UNLP.
Investigador adjunto del Conicet en
el Instituto de Botánica Darwinion.
Profesor adjunto, Facultad de
Ciencias Naturales y Museo, UNLP.
gesaghi@gmail.com



Analía E Artabe

Doctora en ciencias naturales,
Facultad de Ciencias Naturales
y Museo, UNLP.
Investigadora principal del Conicet
en el Museo de La Plata.
Profesora titular, Facultad de Ciencias
Naturales y Museo, UNLP.
aartabe@fcnym.unlp.edu.ar



Ignacio H Escapa

Museo Paleontológico Egidio Feruglio, Conicet

Pararaucaria y la evolución de las coníferas

Hay ausencias que representan un verdadero triunfo. Julio Cortázar

Homología y convergencia evolutivas

Si bien la paleobotánica proporciona información clave sobre la evolución de todos los grupos de plantas, constituye una fuente especialmente crucial para aquellos linajes de los que no existen hoy representantes vivientes. Sin embargo, recurrir a fósiles para realizar estudios evolutivos (o filogenéticos) plantea algunas dificultades debidas tanto a las características intrínsecas de los restos fósiles como a las particularidades de las plantas.

En adición a describir e interpretar el fósil y reconstruir la planta, una perspectiva evolutiva requiere relacionar órganos, tejidos y células de plantas de diferentes especies. Esas comparaciones se fundamentan en las hipótesis de homología, por la cual se postula que las semejanzas que se advierten entre ellas provienen de descender de un ancestro común. Así, si comparamos la caña colihue (Chusquea culeou), un bambú nativo de la selva valdiviana, con la cola

de caballo (Equisetum giganteum), también nativa de América, observaremos aun en primera mirada que ambas especies tienen un gran número de similitudes, por ejemplo, tallos de organización segmentada, con bien definidos nodos e internodos, es decir, sectores de los que salen las hojas y sectores sin hojas, como se aprecia en las fotografías de la página siguiente. Hay por lo menos dos maneras en que la evolución pudo haber llegado a ese resultado:

- Que ambas especies desciendan de un ancestro común que poseía dicha morfología y la transmitió a las especies descendientes.
- Que se haya tratado de dos procesos independientes de evolución que arribaron a una morfología similar sin tener un ancestro común. Este proceso es conocido como paralelismo evolutivo o convergencia evolutiva.

Si postuláramos un origen común, diríamos que la organización segmentada es una característica homóloga

¿DE QUÉ SE TRATA?

Especies extinguidas que formaban los bosques patagónicos de hace 150 millones de años.

compartida por la caña colihue y la cola de caballo. Sabemos, sin embargo, que no es así en este caso, y que estamos ante una situación de paralelismo evolutivo, por el que ambas plantas arribaron en forma independiente a una morfología similar, o a características análogas.

Las hipótesis sobre la homología o convergencia evolutiva se someten a comprobaciones mediante algoritmos especialmente diseñados para analizar la evolución, los cuales se aplican al conjunto de toda la evidencia disponible con el propósito de determinar si la verifican. La certeza de los resultados que se obtienen así se incrementa si el análisis no se hace con un único carácter sino con varios. La lógica de estos estudios es que cuanta más similitud entre especies resulte explicada por ancestros comunes, es decir, cuantas más homologías compartan dos organismos, más cercanos estarán en el árbol evolutivo de la vida en la Tierra.

Pararaucaria en los bosques jurásicos de la Patagonia

Pararaucaria patagonica es una especie fósil conocida desde hace casi un siglo, pues fue identificada hacia 1920 a partir de especímenes hallados por paleontólogos estadounidenses vinculados con el Field Museum de Chicago, entre ellos Elmer S Riggs (1869-1963), y designada con ese nombre por George R Wieland (1865-1953), de la Universidad de Yale. Dichos fósiles fueron hallados en el área de Cerro Cuadrado de la provincia de Santa Cruz que hoy es parte del Parque Nacional Bosques Petrificados, cerca de Jaramillo. Las rocas que contienen los fósiles datan del último tramo del período jurásico de la era mesozoica (aproximadamente hace 150Ma). Se encontraron asociados con los de otra especie fósil, Amucaria mirabilis. Se piensa que ambas especies habrían dominado una buena parte de los bosques americanos en la era de los dinosaurios.

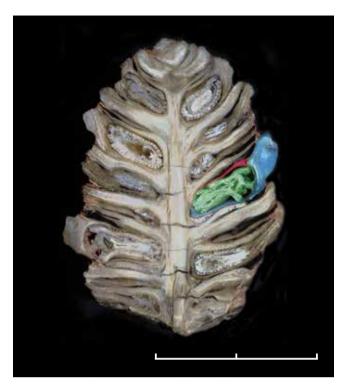
Los fósiles de Pararucaria incluyen conos ovulíferos, las estructuras que contienen las semillas, similares a las piñas de los pinos. Se los encontró petrificados y de tres dimensiones, con todas sus características morfológicas externas preservadas. Observando bajo microscopio, fue posible describir la anatomía de los conos con gran detalle y caracterizar distintos tejidos y hasta numerosos tipos de células. La también estadounidense Ruth A Stockey, de la Oregon State University, realizó y publicó la descripción detallada de la especie en la década de 1970, a pesar de lo cual pasó mucho tiempo sin que se supiera mucho de esa especie, que siguió siendo una incógnita para los paleobotánicos locales y extranjeros.

La única certeza taxonómica que se tenía hace unos cincuenta años era que pertenecía al grupo de las coníferas, pero sin seguridad sobre la familia. Antes de la aparición de las plantas con flores o angiospermas (ver en este número 'Cuando las primaveras empezaron a tener flores. La historia evolutiva de las angiospermas patagónicas'), las coníferas (junto con otras gimnospermas) dominaban extensamente los estratos arbóreos de numerosos bosques y selvas del mundo, especialmente durante el Jurásico. Aunque fueron mucho más diversas en el pasado, las coníferas ocupan actualmente gran variedad de ambientes y abarcan 7 familias con alrededor 70 géneros y más de 600 especies. Entre ellas se destacan los pinos y cedros (familia Pinaceae), los cipreses (familia Cupressaceae), los podocarpos o mañíos (familia Podocarpaceae)





Comparación de tallos de *Equisetum giganteum* o cola de caballo (izquierda) y de *Chusquea culeou* o caña colihue (derecha). Adviértanse las similitudes de su organización, en nodos e internodos.



Corte longitudinal del fósil de un cono ovulífero –estructura que contiene las semillas, similar a las piñas de los pinos– de *Pararaucaria patagonica*, coloreado para resaltar una semilla (verde), el tejido protector de la semilla, antes considerado una ala (rojo), y el resto de los tejidos de la escama que aloja las semillas (azul). La barra que da la escala mide 2cm.

y las araucarias (familia Araucariaceae). En el Jurásico vivían otras familias actualmente extinguidas, como la familia Cheirolepidaceae, a la que enseguida nos referiremos.

Nuevos conocimientos generados por grupos locales de investigación -en los que participó el autor de esta nota- sobre la paleobiología de las pararaucarias ayudaron a vislumbrar su distribución temporal y geográfica, e iluminaron especialmente la homología de las distintas partes de sus conos. Por lo último se pudo establecer la posición taxonómica del género, pues las semillas ubicadas sobre cada escama de los conos aparecen cubiertas por una fina capa de células o escamas que suele llamarse el ala de la semilla. Por otro lado, existen muchas coníferas actuales con semillas aladas, que por eso, al desprenderse de los conos, pueden ser llevadas por el viento a distancias considerables, lo cual aumenta sus posibilidades de encontrar ambientes adecuados para multiplicarse. La comunidad científica estuvo rápidamente de acuerdo con la homología señalada.

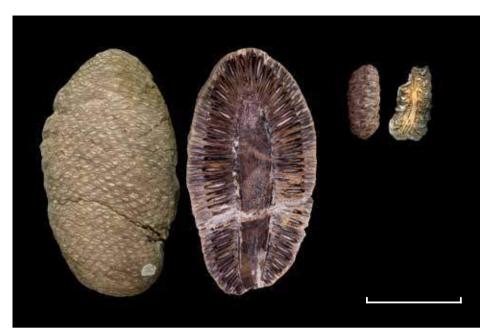
El hallazgo de dos semillas con una única escama o ala en lugar de sendas escamas, encontradas en fósiles provenientes de la formación Cañadón Calcáreo, en la estancia Vilán, en Chubut, junto con otras características diferenciables de ellas, como el tamaño y la anatomía de algunos tejidos, llevaron a identificar una nueva especie del género, que recibió el nombre de Pararaucaria delfueyoi. Es poco frecuente encontrar dos semillas con ala única, especialmente en las coníferas, pero en el valle medio del río Chubut aparecieron muchos fósiles con esas características, lo que puso en duda la interpretación como un ala del tejido que cubría la semilla observado en los fósiles de Cerro Cuadrado.

Lo anterior sugirió realizar un nuevo examen de los ejemplares con los cuales se había descripto la especie Pararaucaria patagonica en la década de 1970, hoy parte de la colección del mencionado Field Museum (habían sido coleccionados antes de 2004, año de sanción de la ley 25.743 sobre patrimonio arqueológico y paleontológico, que establece la permanencia en el país de esa clase de materiales). El nuevo análisis, en el que participó junto con paleontólogos del Museo Feruglio de Trelew la nombrada Stockey (a la que se sumó Gar Rothwell, de la Universidad de Ohio), estableció que el tejido identificado en su momento como un ala no era tal sino una protección de las semillas.

Esto permitió salir de muchas de las incertidumbres sobre Pararaucaria, pues solo una familia de coníferas pre-



Vista general del valle medio del río Chubut en las inmediaciones de la Aldea Escolar de Cerro Cóndor, en la zona donde hay afloramientos jurásicos como aquellos en los que se encontró el fósil de la especie *Pararaucaria delfueyoi*.



Comparación de tamaño entre conos ovulíferos de *Araucaria* (izquierda) y *Pararaucaria*. En ambos casos se muestra la superficie externa y un corte longitudinal que revela el interior. La barra que da la escala mide 5cm.



Fragmentos de troncos y otros restos petrificados en la zona de la estancia Vilán, en el valle medio del río Chubut, en la zona donde fueron coleccionados los restos de *Pararaucaria delfueyoi*.

senta todas las características observadas en el cono, incluyendo el particular tejido protector de las semillas. Es la familia extinguida Cheirolepidiaceae, cuyas características eran poco conocidas y de la que no se había encontrado ningún cono completo sino solo impresiones en rocas, por lo cual se conocían los caracteres externos de los conos pero no los internos. Con la inclusión de Pararaucaria en la familia,

eso cambió y quedó considerablemente ampliado el conocimiento de ella.

Cheirolepidiaceae: el eslabón encontrado

De una manera esquemática, podemos definir tres grandes etapas en la evolución de las coníferas en el planeta: (i) su origen y evolución temprana, que acaecieron durante la era paleozoica, hasta hace unos 252Ma; (ii) los cambios acontecidos durante el Triásico, entre los 252 y 201Ma, que podrían describirse como una transición entre las coníferas ancestrales y las modernas, y (iii) el establecimiento a partir de hace 201Ma, con el inicio del Jurásico, de las familias que llegaron hasta la actualidad y dominaron numerosos ecosistemas boscosos hasta hace unos 145Ma, en que se inició el Cretácico. Luego se produjo una paulatina retracción de las coníferas, desplazadas por las exitosas angiospermas, algo que, en realidad, no representa una etapa evolutiva sino un retroceso de su dominancia.

La familia Cheirolepidiaceae es una excepción en este esquema: fue un componente prevaleciente de los bosques mesozoicos de todo el mundo, desde el Triásico hasta el Cretácico, entre hace unos 252 y 66Ma. Pero a diferencia de las otras familias dominantes que llegaron hasta la actualidad, esta se extinguió poco después de la segunda de esas fechas, que marca el límite Cretácico-Paleoceno, casi al unísono con la desaparición de los grandes dinosaurios.

Una particularidad interesante de la familia Cheirolepidiaceae es su tipo de polen, clasificado en el género Classopollis, que tiene una morfología distintiva. La presencia de esos granos de polen en un fósil es prueba suficiente de la familia, y

el conocimiento de su morfología proporciona valiosa información para establecer la distribución temporal y geográfica de la familia con una precisión imposible de alcanzar solo con fósiles macroscópicos.

Se acepta por lo general que el éxito de la familia Cheirolepidiaceae durante el Mesozoico se debe, por lo menos en parte, a la diversidad de sus especies, entre las cuales se incluyen desde árboles de gran porte hasta pequeños arbustos, con alguna especie adecuada para las condiciones de cada ecosistema. Incluso se ha mencionado que fueron plantas particularmente exitosas en ambientes perturbados, posiblemente debido a su rápida adaptabilidad. Considerando estas características, ¿por qué se extinguió la familia? ¿Cuándo sucedió?

La Patagonia podría ser una región clave para encontrar respuesta a esas preguntas, que tratan hoy de responder numerosos paleobotánicos. Las investigaciones comentadas, que revelaron la índole del tejido inicialmente considerado un ala, orientaron mejor la búsqueda de conos petrificados de Cheirolepidiaceae y ayudaron a que se diera con dos nuevas especies, Pararaucaria carrii y Pararaucaria collinsonae, encontradas respectivamente en Oregón y en el sur de Inglaterra. Así, este enigmático género del que por cien años se conoció solo una especie confinada a los bosques petrificados de Santa Cruz, se considera ahora un importante miembro de los ecosistemas jurásicos de ambos hemisferios. Tanto en los fósiles de la Patagonia, como en aquellos de los Estados Unidos, Pararaucaria aparece en asociación con Araucaria, lo que proporciona indicios sobre la ecología y distribución de los colosales bosques jurásicos.

Las investigaciones patagónicas también brindaron algún conocimiento sobre la extinción de la familia, la que parecía haber ocurrido en muchas regiones del globo hacia mediados y finales del período cretácico. Sin embargo, los fósiles de la Patagonia relatarían una historia algo diferente. Los estudios de palinología indicarían que la presencia de Classopollis (y por lo tanto de Cheirolepidiaceae) se prolongó allí hasta entrado el Paleoceno, cuando pudo tener una importante participación en los ecosistemas posteriores a la gran extinción del Cretáci-



Tronco petrificado en la zona de la estancia Vilán, valle medio del río Chubut.

co-Paleoceno, una presencia coherente con la señalada plasticidad ecológica que habría permitido a las plantas sobrevivir en condiciones extremas.

De todos modos, aún queda mucho por saber. Las respuestas encontradas abren nuevos interrogantes sobre la biología y la evolución de este grupo extinguido de plantas. No tenemos noticias de restos macroscópicos de Cheirolepidiaceae posteriores al Cretácico, e ignoramos cuándo fue exactamente la extinción definitiva de la familia en la Patagonia. Sin embargo, ahora sabemos mucho más que hace unos años, y seguramente conoceremos más aún dentro de un tiempo, cuando se hayan encontrado más restos fósiles escondidos en las rocas de la Patagonia y del mundo.

LECTURAS SUGERIDAS



ESCAPA IH *et al.*, 2012, 'Seed cone anatomy of *Cheirolepidiaceae* (Coniferales): Reinterpreting *Pararaucaria patagonica* Wieland', *American Journal of Botany*, 99, 6:1058-68.

ESCAPA IH *et al.*, 2013, '*Pararaucaria delfueyoi* sp. nov. from the Late Jurassic Cañadón Calcáreo Formation, Chubut, Argentina: Insights into the evolution of the Cheirolepidiaceae', *International Journal of Plant Sciences*, 174, 3.

STEART DC et al., 2014, 'X-ray synchrotron microtomography of a silicified Jurassic Cheirolepidiaceae (Conifer) cone: Histology and morphology of *Pararaucaria collinsonae* sp. nov.', doi 10.7717/peerj.624, accesible en https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/ PMC4217189/pdf/peerj-02-624.pdf.

STOCKEY RA, 1977, 'Reproductive biology of the Cerro Cuadrado (Jurassic) fossil conifers: *Pararaucaria patagonica*', *American Journal of Botany*, 64, 6: 733-744.

STOCKEY RA & ROTHWELL GW, 2013, '*Pararaucaria carrii* sp. nov., anatomically preserved evidence for the conifer family *Cheirolepidiaceae* in the Northern Hemisphere', *International Journal of Plant Sciences*, 174, 3: 445-457.



Ignacio H Escapa

Doctor en ciencias naturales, Universidad Nacional del Comahue. Investigador adjunto en el Museo Egidio Feruglio, Conicet. Investigador asociado, Universidad de Kansas. iescapa@mef.org.ar





Ezequiel I Vera Silvia N Césari

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN), Conicet

Helechos arborescentes en la Antártida

Helechos que no parecen tales

Cuando pensamos en helechos, la primera imagen que nos viene a la mente es la de una planta pequeña, con hojas (llamadas frondes) divididas en segmentos, que requiere abundante agua, se reproduce mediante esporas y forma parte de la decoración de interiores. Esa imagen coincide con muchas de las más de diez mil especies de helechos que actualmente pueblan la Tierra, pero existen algunas que escapan a tal descripción, como las del orden Cyatheales.

Los helechos de estas especies alcanzan alturas comparables con las de los árboles, lo cual les valió el nombre de helechos arborescentes. Viven por lo general en lugares cálidos y húmedos, como muchas zonas de Misiones, Corrientes, Jujuy y Salta en la Argentina. Por su aspecto se pueden confundir con palmeras, ya que presentan un eje vertical sin ramificaciones, muchas veces con las bases de

las hojas adheridas a él, y una corona de hojas con forma de sombrilla en el extremo superior. Pueden superar los 15m de alto, pero no son árboles sino helechos, como sus parientes más pequeños y conocidos, pues se reproducen mediante las esporas contenidas en pequeñas estructuras llamadas esporangios, ubicadas en la parte inferior o envés de las hojas.

Las especies vivientes de Cyatheales conforman ocho familias (Thyrsopteridaceae, Loxsomataceae, Culcitaceae, Pagiogyriaceae, Cyatheaceae, Cibotiaceae, Dicksoniaceae y Metaxyaceae). En adición a ellas, existen registros fósiles que sugieren que este grupo se habría originado hace más de 150Ma, en el período jurásico. Estudiando restos fósiles se han identificado numerosas especies extinguidas, algunas de las cuales presentan caracteres que las relacionan con familias actuales, pero otras tienen características únicas, o incluso combinaciones de características propias de dos o más

– ¿DE QUÉ SE TRATA?

La historia de los helechos arborescentes de la Antártida, componentes abundantes y diversos de la vegetación de hace 120 millones de años.

familias poco emparentadas, por lo que su clasificación sobre la base de los esquemas actuales resulta difícil. Esto revela que en el pasado la diversidad del grupo fue mayor que la de hoy.

Fósiles bajo el hielo

En los últimos años, el grupo de investigación que integran los autores ha descripto numerosos Cyatheales fósiles hallados en la península Byers, en el extremo oeste de la isla Livingston, una de las Shetland del Sur. Los hallazgos fueron realizados por expediciones del Instituto Antártico Argentino y provienen de afloramientos rocosos de la formación geológica Cerro Negro, de 120 millones de años de antigüedad, es decir, del Cretácico inferior. Son rocas presuntamente formadas por la acción de ríos y lagos ubicados en las cercanías de volcanes, cuyas erupciones habrían aportado grandes cantidades de cenizas y otros productos que se acumularon en forma de sedimentos.

Los fósiles de la península Byers demuestran que existió en la región una flora con abundancia de coníferas, helechos, cícadas y otros grupos extinguidos de gimnospermas, como las Bennettitales y las Pteridospermas.

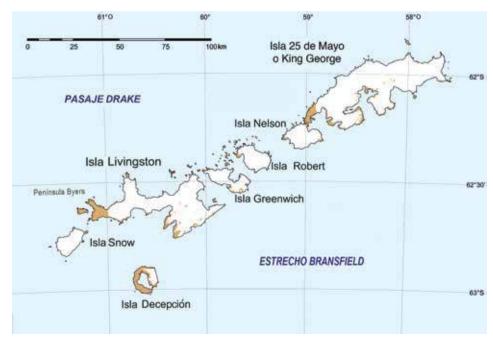
Sobre la base de los frondes fósiles, se ha logrado distinguir tres especies del orden Cyatheales, denominadas Eocyathea remesaliae, Sergioa austrina y Lophosoria cupulata. No solo se advierten en muchos fósiles detalles de las pequeñas venas de los frondes sino, también, parte de sus estructuras reproductivas. Las esporas generadas en los esporangios permanecen en ellos hasta que maduran y estos se abren, lo que permite la dispersión de las esporas. Los

esporangios de los helechos pueden presentarse aislados, o en agrupaciones denominadas soros o sinangios. El hallazgo de fósiles de helechos con esporangios y esporas preservadas es importante porque permite establecer con más certeza las afinidades del fósil. Muchos grupos de helechos no emparentados entre ellos (e incluso otros grupos de plantas que no son helechos) pueden tener frondes muy similares, en cuyos casos el hallazgo de estructuras reproductivas resulta clave para poder clasificarlos de manera precisa.

Además de impresiones de hojas, se hallaron en la península Byers tallos petrificados de helechos Cyatheales. En total se estudiaron restos de unos ochenta ejemplares pertenecientes a cuatro especies extinguidas de estos helechos. Por las particularidades de su preservación, se pueden seccionar con las herramientas usadas para cortar rocas, las cuales permiten obtener láminas delgadas para ser estudiadas usando lupa o microscopio. Esto revela la disposición de los tejidos y, en algunos casos, detalles de las paredes celulares. Y el estudio de su anatomía hace posible comprender las razones de que los helechos arborescentes alcancen tamaños tan altos.

La mayoría de los árboles produce xilema secundario o madera, cuya dureza explica que puedan sostenerse y alcanzar grandes alturas. Pero hay plantas arborescentes que no la producen, o lo hacen en escasa cantidad, como las palmeras y, justamente, los helechos arborescentes. Una de las características adquiridas por estos en el transcurso de la evolución, que explica la posibilidad de su crecimiento en altura, es la producción de abundante xilema primario que, en adición a conducir agua y nutrientes por toda la planta, proporciona soporte mecánico. Suele además hallarse acompañado de tejido esclerenquimático, formado por células de paredes muy gruesas, que aporta rigidez y soporte. Por otro lado, los helechos arborescentes producen gran cantidad de raíces adventicias alrededor de sus tallos, las cuales forman un armazón que brinda una mayor resistencia a la estructura, y en algunos casos los peciolos constituyen también una armazón más o menos rígida que acompaña a las raíces adventicias.

Las características de tres de los cuatro tipos de tallos hallados en la isla Livingston no permiten asignarlos a alguna de las familias actuales de Cyatheales. El cuarto tipo se asemeja a formas incluidas en la familia Cibotiaceae, pero su mala preservación impide una clasificación más precisa.



Islas Shetland del Sur. En ocre, las áreas libres de hielo.

Por último, las esporas aisladas de helechos, obtenidas por tratamiento químico de rocas de la formación Cerro Negro, proporcionan evidencia adicional de que hubo Cyatheales en la Antártida. Las abundantes esporas del género Cyatheacidites tienen características que permiten vincularlas con certeza a la familia Dicksoniaceae. En particular, la especie actual Lophosoria quadripinnata produce esporas similares a las halladas en esporangios de las especies fósiles Sergioa austrina y Lophosoria cupulata de la península Byers.

Los helechos en la comunidad florística

Los estudios sobre la geología y la flora fósil de la península Byers llevan a pensar que, en el lapso de uno o dos millones de años en que se formaron los estratos rocosos que contienen la flora fósil de la isla Livingston, sería posible distinguir dos etapas de sucesión florística. No se ha recogido suficiente evidencia como para estimar el tiempo en el que se ubicaría el límite entre ambas etapas.

En la primera etapa, en ambientes fluviales con esporádicas caídas de ceniza volcánica, dominaron los bosques de coníferas formados por araucariáceas y podocarpáceas de más de 20m de altura, acompañadas en menor abundancia por helechos y otras gimnospermas. En la segunda etapa, debido a un incremento de la actividad volcánica, el ambiente se volvió desfavorable para las coníferas y la flora evolucionó hacia una asociación de Cyatheales, Bennettitales —que son un grupo de gimnospermas extinguidas que poseen hojas parecidas a las de las Cycas—, helechos de pequeño porte y otras gimnospermas no coníferas, con escasa presencia de araucariáceas y podocarpáceas.

Los fósiles de helechos Cyathales encontrados en la península Byers provienen de rocas formadas en la segunda de las anteriores etapas. En ella, períodos de mayor adversidad relativa del medio habrían afectado a todos los grupos de plantas, pero los helechos habrían tenido la capacidad de recuperarse y crecer más rápido que las plantas que producen madera. Por ello, sus formas arborescentes habrían podido alcanzar alturas importantes con más facilidad que las gimnospermas.

Se ha estimado, mediante modelos matemáticos basados en datos de plantas actuales, que algunos de los Cyatheales de la península Byers habrían alcanzado los 20m de alto. Si bien no lograron las alturas de hasta 45m estimadas para las coníferas de esa flora fósil, por su abundancia y porte estimado fueron un elemento importante del estrato arbóreo de dicha segunda etapa, en la que habrían tenido una presencia mucho más importante que las coníferas.



Alsophila setosa, un helecho arborescente actual fotografiado en la provincia de Misiones. Foto Nicolás Olejnik



Helechos dibujados por el biólogo alemán Ernst Haeckel (1834-1919) y litografiados por Adolf Giltsch. Reproducción de la lámina 92, 'Filicinae', de la obra del Kunstformen der Natur, Bibliographisches Institut, Leipzig-Viena, 1898. En primer plano, un ejemplar del género Alsophila.

El clima antártico durante el Cretácico

Los restos paleoflorísticos constituyen una de las herramientas usadas para estimar cómo fue el clima durante



Restos fósiles de frondes de la especie Sergioa austrina. La barra que da la escala mide 1cm.



Corte transversal del tallo de la especie Alienopteris livingstonensis. Las estructuras con forma de Y corresponden al sistema de conducción de agua y nutrientes de la planta. La barra que da la escala mide 1cm.

el pasado geológico. Dado que las plantas subsisten en los lugares en que las condiciones del medio les son favorables, puede concluirse que la abundancia de determinadas especies en una época y un lugar es señal de que allí y entonces el medio ofrecía condiciones propicias para su subsistencia.

Algunas de las técnicas más difundidas para estimar los climas del pasado se aplican a las angiospermas dicotiledóneas que, si bien ya habían aparecido en la Tierra hace 120Ma, aún estaban en etapas tempranas de su desarrollo y diversificación, y todavía no habían colonizado varias regiones del planeta, entre ellas las tierras que hoy son la isla Livingston.

Una técnica alternativa, llamada 'análogo moderno', consiste en determinar qué características posee el ambiente en que viven los representantes actuales del grupo de plantas fósiles en cuestión y extrapolar a estas esos requerimientos ambientales.

Los helechos requieren que haya agua en el ambiente, ya que su reproducción depende en parte de que los gametos masculinos se desplacen por ella y lleguen a los femeninos. Ello explica que, por lo general, crezcan en ambientes húmedos, los que muchas veces son también templados o cálidos. El hallazgo de gran cantidad de helechos fósiles suele tomarse como indicador de que imperó ese tipo de condiciones y, como los Cyatheales actuales suelen vivir en ese tipo de sitios, su hallazgo en gran abundancia y diversidad en la paleoflora de la isla Livingston permite inferir que el clima les debería haber sido allí bastante favorable durante el Cretácico y que imperaron similares condiciones ambientales a aquellas en que prosperan los helechos de hoy.

El hallazgo en la isla Livingston de la especie fósil Lophosoria cupulata, una dicksoniácea muy similar a la actual Lophosoria quadripinnata que habita desde México hasta la Patagonia, permitió estimar que hace 120Ma la temperatura media anual en esa región de la Antártida habría sido como mínimo de 8°C. Por otro lado, la presencia de numerosos grupos de helechos preservados allí -tanto de la familia Cyatheales como de otras-llevó a postular que posiblemente no existieron períodos de suelos congelados.

Un estudio de las condiciones climáticas en que vivieron los Cyatheales y otros helechos arborescentes actuales concluyó que el ancestro común de un subconjunto de los primeros, que informalmente se denomina 'núcleo de los helechos arborescentes', habría requerido un régimen alto de precipitaciones, de por lo menos 1100mm anuales, con temperaturas mínimas anuales no menores de 7,7°C, y temperaturas máximas anuales no menores de 23,3°C. Dado que la mayoría de los helechos fósiles del orden Cyatheales de la isla Livingston habrían sido parte de dicho núcleo, se puede concluir que el régimen de lluvias y las temperaturas habrían confi-





Izquierda. Envés de frondes de un helecho del género *Cnemedaria*. Se advierten los esporangios que contienen las esporas. Herbario de la Universidad de Duke, foto KM Pryer. **Derecha.** *Lophosoria quadripinnata*, Chile.

gurado un clima muy benigno, bien distinto del que hoy impera en la región.

Una de las razones de la diferencia del clima cretácico con relación al actual es que hace 120Ma la Antártida y la Patagonia estaban aún unidas, lo que impedía la formación de una corriente oceánica circumpolar como la que circula en la actualidad y aísla térmicamente el territorio antártico del resto del planeta. Pero esto no alcanza para explicar las temperaturas deducidas de la

presencia de helechos. Quizá el hecho de que en la zona de la isla Livingston, según las evidencias geológicas, haya habido entonces mucha actividad volcánica explique que se haya generado en ella un microclima más cálido que el reinante en el resto de la Antártida. Posiblemente, el hallazgo y estudio de nuevas floras fósiles en otras regiones antárticas permitan determinar si se trataba de condiciones climáticas locales, o si imperaban en toda la región.

LECTURAS SUGERIDAS



CÉSARI SN, 2006, 'Aptian ferns with in situ spores from the South Shetland Islands', *Review of Palaeobotany and Palynology*, 138: 227-238. CÉSARI SN, REMESAL M y PARICA C, 2001, 'Ferns: A palaeoclimatic significant component of the Cretaceous flora from Livingston Island, Antarctica', en Asociación Paleontológica Argentina, *Publicación especial* 7, pp. 45-50.

VERA EI, 2013, 'New Cyathealean tree fern *Yavanna chimaerica* from the Early Cretaceous of Livingston Island, Antarctica', *Cretaceous Research*, 44: 214-222.

VERA EI, 2015, 'Further evidence supporting high diversity of Cyathealean tree ferns in the Early Cretaceous of Antarctica', *Cretaceous Research*, 56: 141-154.



Ezequiel I Vera

Doctor en ciencias biológicas, UBA. Investigador adjunto del Conicet en el MACN. Jefe de trabajos prácticos, FCEYN, UBA. evera@macn.gov.ar



Silvia N Césari

Doctora en ciencias geológicas, UBA. Investigadora principal del Conicet en el MACN.





Mauro Gabriel Passalia Ari Iglesias

Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA), Universidad Nacional del Comahue-Conicet

Magdalena Llorens

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB), Trelew

Valeria Pérez Loinaze

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN), Conicet

Cuando las primaveras empezaron a tener flores

La historia evolutiva de las angiospermas patagónicas

i miramos a nuestro alrededor, podremos advertir que la mayor parte de las plantas producen flores, característica por la cual los botánicos las clasifican en un grupo denominado angiospermas, que incluye alrededor de 400 familias y cerca de 300.000 especies. Estas exceden el número conjunto de especies de briofitas (musgos y afines), pteridofitas (helechos) y gimnospermas (entre ellas coníferas, cícadas y el caso único del Ginkgo biloba).

Actualmente, las angiospermas dominan prácticamente todas las comunidades vegetales (hay angiospermas incluso en la Antártida). Presentan una notable diversidad de formas, colores y tipos de crecimiento; pueden ser desde pequeñas hierbas, epífitas y trepadoras hasta arbustos y grandes árboles. Se caracterizan por diferentes mecanismos fisiológicos que les permiten optimizar la captación de luz y evitar la pérdida de vapor de agua, lo mismo que por diversas maneras de polinización y de

dispersión de sus semillas, como consecuencia de lo cual pueden subsistir en muy variados ambientes.

Este mundo florido que conocemos hoy, sin embargo, no siempre fue así. A lo largo de la historia de la Tierra, las comunidades vegetales estuvieron dominadas por diferentes grupos de plantas, lo cual en muchos momentos daba a la vegetación un aspecto muy diferente del actual.

Los restos fósiles más antiguos de plantas que se pueden clasificar como angiospermas tienen una edad de unos 140Ma, es decir, datan del período cretácico (más concretamente del Cretácico inferior). Se estima que las angiospermas se originaron en zonas próximas al ecuador y de allí migraron a latitudes medias y altas de ambos hemisferios, lo cual habría de ocurrir a lo largo de los siguientes 20 a 30Ma.

Si tenemos en cuenta que la edad de la Tierra es de aproximadamente 4500Ma, y que los registros más antiguos de gimnospermas tienen unos 350Ma, podremos apreciar que

– ¿DE QUÉ SE TRATA?

Entre hace 118 y 66 millones de años la presencia de las plantas con flores cambió el aspecto de los bosques que cubrían la Patagonia.

la presencia y luego el dominio de las angiospermas en las comunidades vegetales es relativamente reciente.

El estudio de fósiles de angiospermas -impresiones de hojas, flores, granos de polen y petrificaciones de tallospermite conocer cómo fue el proceso de origen, diversificación y dispersión temprana de esas plantas. En los fósiles, sin embargo, debido a su índole usualmente fragmentaria, solo se logra reconocer algunos de los caracteres morfológicos o anatómicos que definen una angiosperma actual. Además, en sus orígenes las plantas con flores podrían haber tenido un aspecto bastante diferente del que tienen sus actuales congéneres, o incluso haber compartido ciertas similitudes con otros grupos de plantas. Por eso, si bien afirmamos que el registro más antiguo aceptado de angiospermas ronda los 140Ma, debe considerarse que se han identificado fósiles aún más antiguos con algunos pero no con todos los rasgos de las angiospermas, lo que impide clasificarlas como tales de manera irrefutable.

Por otro lado, análisis conocidos como relojes moleculares, basados en la información genética de angiospermas actuales, sugieren que las primeras plantas integrantes del grupo podría tener una antigüedad de entre 140 y 180Ma y quizá de hasta 275Ma, mucho mayor que la deducida del registro fósil.



Impresión de un fragmento de hoja de angiosperma de hace unos 118Ma. Proviene de estratos del grupo Barqueró. La escala indica 0,5cm.



Estratos del grupo geológico Baqueró, en la provincia de Santa Cruz, de los que provienen algunos de los fósiles de angiospermas más antiguos encontrados en Sudamérica.

El registro fósil de las angiospermas primitivas

Las flores no son los fósiles más abundantes de este grupo de plantas. Más cuantiosa es la evidencia de hojas y granos de polen, aunque también pueden hallarse madera, semillas y frutos. Lo anterior se suele encontrar como órganos aislados, pero en ocasiones se tiene la fortuna de dar con fragmentos conectados entre ellos, como ramas con hojas o frutos, flores con polen, etcétera.

Las angiospermas tienen hojas de forma variada. Pueden ser simples o compuestas y las segundas estar configuradas por diferentes números de foliolos, por ejemplo, tres como el trébol o varios como las rosas. Pueden tener láminas y peciolos más o menos desarrollados, márgenes lisos o dentados, presentar grandes lóbulos, etcétera. Se distinguen de las hojas de otros grupos de plantas por su red de múltiples venas que se ramifican y se unen para constituir una compleja red de irrigación, la cual distribuye de manera muy eficiente agua y productos fotosintéticos y confiere a las angiospermas una alta tasa de crecimiento en comparación con la de otros grupos vegetales. Algunos estudios sugieren que esta particularidad es una de las causas de la alta capacidad competitiva de las angiospermas en muchas de las comunidades vegetales que hoy conocemos, y uno de los factores que explicarían el creciente dominio del grupo a lo largo del Cretácico.

La forma de las hojas fósiles y el tipo de su red de venas permite a los paleontólogos compararlas con hojas de especies actuales para establecer su clasificación botánica, por ejemplo, para determinar a qué familia de angiospermas podría pertenecer la planta que dio origen a un determinado tipo de hoja fósil.

En el registro fósil también son relativamente abundantes los granos de polen de angiospermas tempranas, estructuras reproductivas microscópicas que contienen los gametos masculinos dentro de una pared muy resistente de esporopolenina. Esa pared es lo que se preserva como fósil y el estudio de sus características morfológicas suele permitir comprender cómo fueron evolucionando las angiospermas así como, muchas veces, relacionar los grupos extinguidos de ellas con los actuales.

Las primeras angiospermas del sur patagónico

En el sur de la Argentina existen varios sitios con fósiles de angiospermas que permiten inferir cómo fue la historia de dicho grupo de plantas en esa región. Los fó-

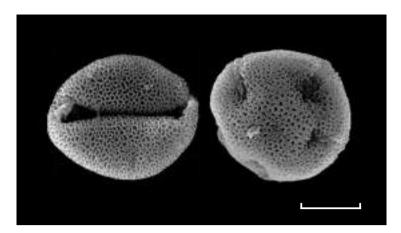
siles hallados dan cuenta de tres momentos clave en su proceso evolutivo durante el Cretácico. Son ellos: (i) el de los primeros registros (correspondientes a fósiles encontrados, entre otros lugares, en rocas del grupo geológico llamado Baqueró); (ii) el de una primera diversificación (fósiles de la formación geológica Kachaike), y (iii) el de una segunda diversificación, con incremento de su abundancia relativa en algunas comunidades vegetales (fósiles de la formación geológica Mata Amarilla).

En el centro y norte de la provincia de Santa Cruz hay un conjunto de rocas sedimentarias con abundante contenido de plantas fósiles muy bien preservadas. Los geólogos dieron a esas rocas el nombre de grupo Baqueró; datan –igual que los fósiles que hay en ellas– de entre hace unos 118 y 114Ma, es decir, del Cretácico inferior, y contienen fósiles de angiospermas que están entre los más antiguos que se han encontrado en el hemisferio sur. Por esto, son de gran importancia para entender las características de esas primeras plantas con flor, así como el papel que desempeñaban en las comunidades vegetales patagónicas de entonces.

Las impresiones de hojas de angiospermas halladas en los estratos del grupo geológico Baqueró corresponden a plantas de una media docena de especies. Algunas hojas tenían márgenes lisos y otras, dentados; las había lobuladas así como de formas simples; tenían sistemas de venas de variada disposición. Las plantas de las que provinieron podrían ser ancestros de algunas de las más antiguas familias de angiospermas actuales (como las clorantáceas, las magnólidas y tal vez un conjunto de familias colectivamente denominado con el acrónimo ANA).



Granos de polen de diversas plantas comunes, entre ellas girasol (*Helianthus annuus*), campanilla morada (*Ipomoea purpurea*), malva (*Sidalcea malviflora*), lirio (*Lilium auratum*), enotera (*Oenothera fruticosa*) y ricino (*Ricinus communis*). El grano verde cercano al ángulo inferior izquierdo mide unos 50µm (micrómetros o milésimas de milímetro) de largo. Imagen coloreada de microscopio electrónico, Dartmouth College, Wikimedia Commons.



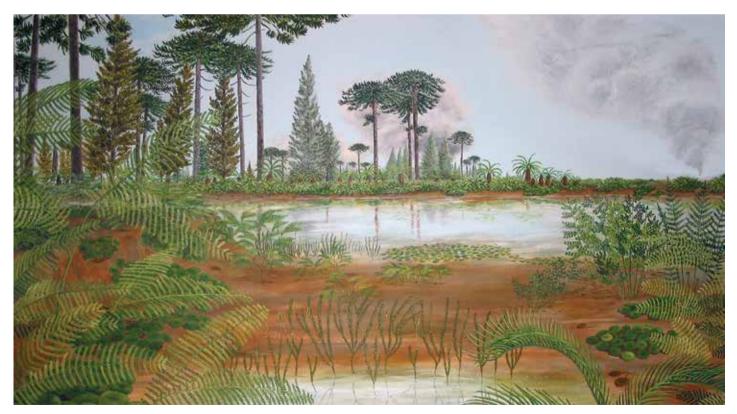
Granos de polen fósil de angiospermas patagónicas del Cretácico inferior vistos con microscopio electrónico. Con la hoja de la página 56, están entre las evidencias más antiguas de plantas con flores en Sudamérica. La escala indica 10 micrómetros (una centésima de milímetro).

Las rocas del grupo Baqueró contienen, además, granos fósiles de polen, cuyas características permiten diferenciarlos por grupos botánicos. Los granos de polen de las angiospermas tienen tamaños microscópicos que se miden en micrómetros (milésimas de milímetro) y una pared compuesta por una capa interna homogénea, por fuera de la cual aparecen en forma radial columnas llamadas columelas. Sobre estas apoya un techo o tectum, que puede ser continuo o discontinuo, y que se describe

como tectado o semitectado respectivamente. Por eso se dice que el polen de angiospermas es tectocolumelado. Además, presenta aperturas en su superficie por las cuales emerge el tubo polínico cuando germina, el que permite que los gametos masculinos lleguen al óvulo y lo fecunden. Esas aperturas, que pueden ser una o más, tomas diversas formas y presentan diferentes posiciones relativas.

Los granos de polen de angiospermas encontrados en los estratos del grupo Baqueró se caracterizan por ser tectocolumelados semitectados y presentar una única apertura, cuyos límites pueden estar escasamente definidos y solo ser una zona irregular de rotura, o bien consistir en un surco alargado llamado colpo. Algunos de esos granos provienen de familias de angiospermas cretácicas de las que no hay miembros vivientes, mientras que otros podrían estar relacionados con la familia de las clorantáceas, de la que actualmente viven unas ochenta especies, la mitad en áreas tropicales de Centro y Sudamérica (ninguna en la Argentina) y el resto en Madagascar, el sudeste asiático e islas del Pacífico.

Los estratos del grupo Baqueró incluyen leños y frutos, además de hojas y polen, tanto de angiospermas como de otros grupos de plantas que formaban con ellas comunidades botánicas, por lo cual podemos tener una imagen aproximada de cómo era la vegetación de la zona en ese remoto tiempo.



Interpretación del paisaje y la vegetación patagónica hace unos 120Ma, basada en los fósiles encontrados en los estratos del grupo Baqueró. Se pueden distinguir las primeras angiospermas documentadas en el sector austral de Sudamérica (flotando en la parte anterior de la laguna y abajo a la izquierda y derecha con forma de discos), más una diversidad de helechos, coníferas, cícadas (con aspecto semejante a pequeñas palmeras) y otras gimnospermas extinguidas. Dibujo Rosario Romero

Gran parte de la Patagonia estaba entonces cubierta de bosques con amplio predominio de gimnospermas y helechos, más, en determinados ambientes, licopodios, equisetos y musgos. Entre las gimnospermas se destacaban algunos grupos que llegaron a la actualidad, como cícadas, ginkgos y ciertas coníferas (entre ellas araucarias, podocarpos y cipreses), además de grupos de plantas hoy extinguidas. En ese paisaje, las angiospermas eran minoritarias y poco diversas. Las primeras angiospermas habrían sido herbáceas y crecido en ambientes próximos a cuerpos de agua dulce, o habrían sido propiamente acuáticas.

En el sector cordillerano de Santa Cruz, cerca del lago San Martín, se han identificado rocas de una edad aproximada de 110Ma, parte de la formación geológica Kachaike. Son algo más jóvenes que las del grupo Baqueró, lo mismo que los fósiles que contienen. Entre estos, se han identificado unas diez especies de hojas y alrededor de treinta tipos de granos de polen de angiospermas. Esto pone en evidencia un incremento de la diversidad de las angiospermas en el lapso que separa ambos yacimientos. Pero aun con esta mayor diversidad, las angiospermas continuaban siendo minoritarias y las comunidades seguían dominadas por coníferas y helechos.

Entre las hojas fósiles de la formación Kachaike, las hay con formas simples, sea con lóbulos o sin ellos, y con formas compuestas, es decir, con varios foliolos; las hay con márgenes lisos y dentados, y muestran diversos patrones de sistemas de venas (técnicamente venación). Algunos granos de polen con una única apertura alargada o polen monocolpado son similares a los del grupo Baqueró, pero también, aunque en escaso número, se registra la presencia de formas propias de las monocotiledóneas, un grupo al que pertenece alrededor del 22% de las especies de angiospermas actuales, incluidas palmeras, lirios y pastos o gramíneas.

Además de polen monocolpado, las rocas de la formación Kachaike contienen granos con tres aberturas alargadas, denominado polen tricolpado, y otros con las mismas tres más un poro en el centro de cada una, llamado polen tricolporado. Los granos de polen con tres o más aberturas son característicos de las eudicotiledóneas, un grupo que incluye alrededor del 60% de las angiospermas actuales.

El registro fósil de la formación Kachaike indica, en consecuencia, que para ese momento ya había monocotiledóneas y eudicotiledóneas, además de angiospermas basales. Algunos autores consideran que la presencia de tres aberturas en el polen pudo haber provisto una ventaja competitiva a las angiospermas en el proceso de selección natural, debido al incremento de los sitios disponibles de germinación del polen, lo cual habría incrementado las posibilidades de fecundación. Esta característica pudo ha-





Fragmento de hoja fósil de angiosperma encontrada en la formación geológica Kachaike, datada hace unos 110Ma, y hojas de una angiosperma actual de la familia de las clorantáceas (*Chloranthus henryi*), natural del sur y sudeste de Asia. Algunas características de sus nervaduras revelan semejanzas entre las especies viviente y fósil. La escala de la figura superior mide 5mm; las hojas de la inferior tienen un largo de unos 2cm.

ber tenido influencia en la diversificación (técnicamente, radiación) de las eudicotiledóneas, y en su éxito evolutivo, evidenciado en el gran número de sus especies actuales y por la expansión de su distribución geográfica.

También hay que mencionar los registros de hojas fósiles de angiospermas provenientes de estratos de la formación geológica Mata Amarilla, en la meseta de la provincia de Santa Cruz no lejos del lago Argentino. Su edad estimada es de alrededor de 96Ma, lo que indica, en términos geológicos, una diferencia temporal pequeña con los fósiles más antiguos de la formación Kachaike. No obstante, la gran diversidad de tipos de hojas de angiospermas en las rocas de la formación Mata Amarilla y su mayor abundancia con relación a los restantes grupos de plantas sugieren que las angiospermas constituían para



entonces un componente de importancia mayor en, por lo menos, algunas de las comunidades vegetales patagónicas. Las rocas de la formación Mata Amarilla contienen, además, flores, semillas y polen de angiospermas, los que están siendo estudiados en la actualidad por los paleontólogos locales, entre ellos los autores de esta nota.

Aun cuando todavía tenemos mucho por descubrir, ya disponemos de varias piezas que permiten ir armando el rompecabezas de la evolución temprana de las plantas con flor en el sur patagónico, tarea que comenzaron los trabajos pioneros de Sergio Archangelsky y Edgardo Romero.

Con los datos de que hoy disponemos, pensamos que las primeras angiospermas en tierras que hoy forman la Patagonia florecieron hace unos 118Ma, en ambientes acuáticos o cercanos a cuerpos de agua. Más tarde, a lo largo del Cretácico medio y tardío, entre hace 90 y 66Ma, las angiospermas dominaron las floras de una gran diversidad de ambientes. Durante los períodos siguientes—el Paleógeno y el Neógeno—, se produjo la aparición y radiación de otras dos familias de angiospermas, las poáceas (pastos o gramíneas) y las asteráceas (entre ellas las margaritas; véase el artículo 'La evolución temprana de las asteráceas', en este mismo número). A partir de ese momento, la Tierra comenzó a tener paisajes semejantes a los que conocemos en la actualidad.



Hoja de angiosperma fósil encontrada en la formación geológica Kachaike, datada en unos 110Ma. La barra que da la escala mide 1cm.

LECTURAS SUGERIDAS



ARCHANGELSKY S *et al.*, 2009, 'Early angiosperm diversification: Evidence from southern South America', *Cretaceous Research*, 30: 1072-1083.

DOYLE JA, 2012, 'Molecular and fossil evidence on the origin of

angiosperms', *Annual Review of Earth Planetary Sciences*, 40: 301-326. **PRÁMPARO MB** *et al.*, 2007, 'Historia evolutiva de las angiospermas (Cretácico-Paleógeno) en la Argentina a través de los registros paleoflorísticos', *Ameghiniana*, 11: 157-172.



Mauro Gabriel Passalia

Doctor en ciencias biológicas, UBA. Investigador adjunto del Conicet en el INIBIOMA. Docente a cargo de cátedra en la Universidad Nacional de Río Negro. passaliam@gmail.com



Magdalena Llorens

Doctora en ciencias naturales, UNLP. Investigadora adjunta del Conicet en la UNPSJB. Auxiliar docente en la UNPSJB. magdalena.llorens@gmail.com



Valeria Pérez Loinaze

Doctora en ciencias geológicas, UBA. Investigadora adjunta del Conicet en el MACN. *loinazev@macn.gov.ar*



Ari Iglesias

Doctor en ciencias naturales, UNLP. Investigador adjunto del Conicet en el INIBIOMA. Auxiliar docente en la Universidad Nacional del Comahue.

ari_iglesias@yahoo.com.ar





Viviana D Barreda y Luis Palazzesi

Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia (MACN), Conicet

La evolución temprana de las asteráceas

l nombre que aparece en el título y que designa un grupo de plantas no resultará familiar a muchos lectores de Ciencia Hoy, los que sin embargo reconocerán a muchas de las especies que los botánicos clasifican en esa gran categoría, por ejemplo, el girasol, que es nativo del continente americano y pertenece al género Helianthus. El género incluye unas 70 especies silvestres, una de las cuales (H. annuus) fue domesticada en México hace más de 4000 años y podemos ver cultivada en las pampas argentinas, además de comprar en el supermercado el aceite comestible que se obtiene de sus semillas. Las asteráceas -también llamadas compuestas- son técnicamente una familia de angiospermas o plantas con flores, que también incluye especies ornamentales como las margaritas o los crisantemos, y comestibles como la lechuga, la radicheta o los alcauciles.

Las asteráceas forman uno de los grupos vegetales más diversos y ampliamente distribuidos en el mundo. Los taxónomos dividen la familia en 13 subfamilias, más de 1600 géneros y arriba de 23.500 especies, que están presentes en todos los continentes menos la Antártida y son especialmente abundantes en regiones tropicales y subtropicales. Si bien la mayoría de las asteráceas son hierbas, también hay entre ellas arbustos, como el quilembay (Chuquiraga avellanedae), propio de la estepa patagónica, hasta árboles de gran porte, como el palo santo (Dasyphyllum diacanthoides), endémico de los bosques patagónicos chilenos y argentinos, para solo citar algunas especies sudamericanas.

Numerosas asteráceas, entre ellas el girasol, tienen flores muy llamativas, que no son, en realidad, una flor individual sino un grupo o conjunto de ellas con la apariencia de una flor única. Por esta razón se habla téc-

– ¿DE QUÉ SE TRATA?

Dos recientes descubrimientos, uno realizado en las cercanías de Bariloche y otro en la Antártida, ayudan a comprender el origen evolutivo del girasol, entre otras plantas.

nicamente de inflorescencias más que de flores. Debido a su apariencia de ser una flor simple, las inflorescencias actúan como unidad de atracción de los polinizadores, una característica que los científicos consideran determinante del éxito evolutivo de la familia, pues son estructuras que permiten una muy eficiente polinización, ya que una abeja o un picaflor polinizan muchas flores con una sola visita.

Los estudios moleculares de ADN permitieron realizar un avance significativo en la clasificación de las asteráceas. Esos estudios demostraron que, con una excepción, los diferentes géneros tienen marcadas diferencias en la constitución del genoma de sus cloroplastos, los componentes de sus células responsables, entre otras cosas, de la fotosíntesis. La excepción son 94 especies (principalmente andinas) que pertenecen a nueve géneros sudamericanos agrupados en una subfamilia llamada Barnadesioideae. Entre los integrantes de esta no se advierten dichas diferencias, de donde se ha inferido que la

subfamilia forma el tronco que está en la base del árbol genealógico de la familia. O, en palabras más técnicas, las barnadesioideas serían el linaje más basal en el árbol filogenético de las asteráceas.

Siempre existieron grandes interrogantes acerca del momento y el lugar de origen de las asteráceas, en gran parte debido a su escasa presencia en el registro fósil. Las hipótesis más aceptadas postulaban que se habrían originado en algún lugar de Sudamérica en el período paleógeno de la era cenozoica, es decir, entre hace 66 y 23Ma. Uno de los argumentos en favor de tal hipótesis es, justamente, dicha ancestralidad genealógica de las barnadesioideas, que son sudamericanas. Pero hasta no hace mucho no se había encontrado evidencia fósil que confirmara la hipótesis.

En el verano de 2002 Rodolfo Corsolini, un paleontólogo aficionado de Bariloche, encontró a unos 60km de esa localidad, cerca del río Pichileufu, lo que le pareció una flor fósil en rocas de alrededor de hace 50Ma.

> La depositó en el Museo del Lago Gutiérrez, una institución privada que él preside, en las cercanías de Bariloche. Casi seis años después, y por una fotografía que llegó a manos de uno de los autores de esta nota, iniciamos su estudio, que incluyó corroborar la procedencia del ejemplar y traerlo momentáneamente al MACN. Pudimos determinar que se trataba de una inflorescencia de la familia de las asteráceas y la llamamos Raiguenrayun cura (flor de piedra en tehuelche). También encontramos granos de polen asociados con ella (que asignamos a la especie Mutisiapollis telleriae), y además muchos otros restos vegetales. Esto señala al yacimiento del río Pichileufu como uno de los más ricos del mundo en materia de paleofloras, con restos de una comunidad vegetal integrada por árboles, lianas, helechos y plantas acuáticas que habría prosperado en un clima cálido y húmedo.

> Ni la nombrada inflorescencia ni el polen pueden asignarse de manera precisa a algna especie actual de asteráceas,



Especies actuales de asteráceas. En el centro, una margarita común (*Bellis perennis*), debajo de ella un girasol (*Helianthus annuus*) y alrededor diversas variedades cultivadas de la margarita de Transvaal (*Gerbera jamesonii*), natural del sudeste africano.



Quilembay (*Chuquiraga avellanedae*), asterácea con porte arbustivo que vive hoy en la meseta patagónica.

pero muestran un mosaico de caracteres morfológicos hoy presentes en algunos linajes de otras dos grandes subfamilias de ellas, llamadas Mutisioideae (mayormente restringida a Sudamérica) y Carduoideae (principalmente distribuida en África). En el pasado geológico, las masas terrestres que hoy llamamos Sudamérica y África formaron parte del supercontinente Gondwana, lo que permitió un importante intercambio de flora y fauna entre ambas, que en lo esencial se interrumpió con la apertura y el posterior ensanchamiento del océano Atlántico hace unos 90 millones de años.

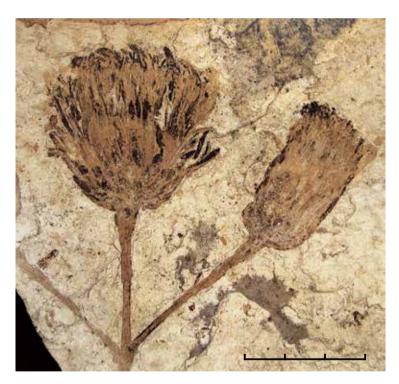
En la actualidad la mayoría de las asteráceas son polinizadas por insectos, en especial abejas. Sin embargo, hay evidencias de polinización por pájaros en algunos linajes basales. Así, se ha constatado que los picaflores polinizan algunas barnadesioideas y mutisioideas, y que los pájaros sol (que viven entre África y Australasia) hacen lo propio con algunas carduoideas. Pero los rasgos más importantes de las flores usualmente asociados con la polinización por aves, como color, néctar y aromas, no se preservan en el registro fósil, por lo que no es posible establecer si Raiguenrayun cura fue polinizada por aves.

De cualquier forma, sus parientes actuales más cercanos son hoy polinizados por picaflores en Sudamérica y por pájaros sol en África, al tiempo que el mencionado fósil presenta corolas elongadas y grandes inflorescencias, rasgos apropiados para tal polinización, lo cual permite inferir que ella pudo haber acontecido en las inflorescencias fósiles de la Patagonia que estamos comentando.

Otro gran interrogante que el fósil podría ayudar a responder es la antigüedad de las asteráceas. Hay que considerar que el hallazgo del fósil más antiguo de un



Ramas de palo santo (*Dasyphyllum diacanthoides*), asterácea con porte de árbol que vive hoy en los bosques andino-patagónicos chilenos y argentinos.



Fósil de inflorescencia de la asterácea *Raiguenrayun cura*, proveniente de cerca del río Pichileufu, en Río Negro, de rocas formadas hace unos 50Ma, en el Eoceno. Sus parientes actuales pertenecen a las familias *Mutisioideae y Carduoideae*, que crecen respectivamente en el norte de Sudamérica y el sur de Africa. La barra que da la escala mide 3cm.

linaje usualmente no significa que este se haya originado en los tiempos del que datan las rocas en que se encontró el fósil. Con más probabilidad ello marcaría el comienzo de la expansión o radiación de dicho linaje, ya que el potencial de preservación de los fósiles es relativamente bajo, en especial el de inflorescencias como la comentada.



Paisaje patagónico de la zona en que se encontró la inflorescencia fósil de la asterácea *Raiguenrayun cura*, en el noroeste de la provincia de Río Negro. Foto Florencia Becchis

Por otro lado, los fósiles hallados (Raiguenrayun cura y Mutisiapollis telleriae) no muestran rasgos afines con el linaje más basal del árbol de la familia, el de las barnadesioideas. Esto lleva a suponer que la evolución temprana de las asteráceas debió haber ocurrido mucho antes del momento en que se formaron las rocas en las que se encontró el fósil, quizá en el Paleoceno o incluso en el Cretácico. No teníamos hasta hace poco evidencia empírica para ir más allá de esta afirmación, pero eso cambió con un hallazgo de granos de polen fosilizados en rocas del Cretácico tardío en las islas James Ross y Vega, en la Antártida, hecho por Eduardo B Olivero. Los granos fueron estudiados en laboratorio por un equipo de investigadores que incluyó a los autores de este artículo. Dicho hallazgo rectificó nuestra comprensión de la evolución temprana de las asteráceas.

El estudio morfológico detallado de esos granos fósiles de polen reveló que eran semejantes a los de plantas vivientes del género Dasyphyllum, integrante de la subfamilia de las barnadesioideas, que incluye unas cuarenta especies sudamericanas. Dicha evidencia permite postular que el ancestro de todas las asteráceas se habría originado en el Cretácico tardío, hace unos 86 millones de años, y vivido en la Antártida, llamativamente en el único continente donde hoy las asteráceas no pueden sobrevivir.

Las barnadesioideas son plantas adaptadas a resistir condiciones de estrés ambiental, una resistencia que probablemente haya tenido un cometido fundamental en la evolución temprana de las asteráceas. Hoy las plantas de dicha subfamilia se encuentran en regiones sudamericanas con condiciones climáticas extremas, como las de la estepa patagónica, en la que soplan vientos intensos, impera la sequía y se registran bajas temperaturas. Dado el parentesco del polen fósil con la mencionada subfamilia, podemos inferir que también el ancestro antártico de las asteráceas habría tolerado condiciones estresantes. Ese ancestro

habría ocupado una amplia área geográfica en Gondwana durante el Cretácico tardío y coexistido con los últimos dinosaurios.

Los linajes más recientes de la familia se habrían diferenciado del mencionado ancestro en tiempos próxi-



Granos de polen fósiles de asteráceas. El de la izquierda proviene de la Antártida y es de los más antiguos encontrados; corresponde a la especie *Tubulifloridites lilliei* y data de hace unos 80Ma, del Cretácico tardío. El de la derecha proviene de la Patagonia y data del Mioceno, de hace unos 19Ma. Las fotografías fueron tomadas por Fabián Tricárico con un microscopio electrónico de barrido del MACN. El tamaño de cada grano es aproximadamente 20 micrómetros (milésimas de milímetro).



Dasyphyllum reticulatum, una asterácea llamada espinho de agulha en el sur del Brasil, donde se la encuentra. Es la pariente viviente más cercana de las asteráceas fósiles halladas en la Antártida. Foto Mauricio Mercadante



Pájaro sol de doble collar (*Cinnyris chalybeus*). Los pájaros sol, que miden unos 12cm, viven en Sudáfrica y polinizan, entre otras, a plantas de la subfamilia *Carduoideae*, parientes cercanas de los fósiles hallados en el río Pichileufu.

mos a un pronunciado aumento de la temperatura ocurrido hace estimativamente entre 59 y 52Ma, cuando acaeció un gran incremento en la diversidad de las plantas con flores y de los insectos herbívoros. Los estudios permitieron demostrar que la mayor parte de la diversidad de las asteráceas es el resultado de una radiación que tuvo lugar varios millones de años después de su momento de origen.

El registro fósil del Cretácico está todavía pobremente explorado en la Antártida. Gran parte de la evidencia sobre la evolución temprana de las asteráceas y de otros grupos probablemente permanece sepultada bajo la capa de hielo. De todas maneras, a partir de los recientes hallazgos podemos estimar que las tierras hoy ubicadas en las más altas latitudes del hemisferio sur, es decir, la Patagonia, Nueva Zelanda, Australia y la Antártida, fueron testigos del surgimiento y la evolución temprana de esa familia vegetal, la más diversa del planeta de plantas con flores.

LECTURAS SUGERIDAS



BARREDA VD *et al.*, 2012, 'An extinct Eocene taxon of the daisy family (*Asteraceae*): Evolutionary, ecological and biogeographical implications', *Annals of Botany*, 109, 1: 127-134, doi: 10.1093/aob/mcr240.

BARREDA VD *et al.*, 2015, 'Early evolution of the angiosperm clade *Asteraceae* in the Cretaceous of Antarctica', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112, 35: 10989-10994, doi: 10.1073/pnas.1423653112.

FUNK VA *et al.* (eds.), 2009, *Systematics, Evolution and Biogeography of Compositae*, International Association for Plant Taxonomy, Viena.

KATINAS L et al., 2007, 'Panorama de la familia Asteraceae (= Compositae) en la República Argentina', Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 42, 1-2: 113-129.



Viviana D Barreda

Doctora en ciencias geológicas, UBA. Investigadora principal del Conicet en el MACN. Jefa de área de paleontología del MACN. vbarreda@macn.gov.ar



Luis Palazzesi

Licenciado en ciencias biológicas, UNMP.

Doctor en ciencias geológicas, UBA.

Investigador independiente del Conicet en el MACN.

Ipalazzesi@macn.gov.ar





María del Carmen Zamaloa

Departamento de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, UBA

María Alejandra Gandolfo
Universidad de Cornell

Casuarinas y eucaliptos, los árboles perdidos de la Patagonia

esde principios del siglo XX aparecieron en la literatura especializada menciones esporádicas de varios yacimientos de plantas fósiles de la era cenozoica (iniciada hace 66Ma) en la Patagonia, pero solo en tiempos recientes se comenzó a estudiar el tema en extensión y en profundidad, tanto en materia de identificación de especies como de dataciones y de colección controlada de ejemplares.

Paradigmático de esos yacimientos es el de Laguna del Hunco, ubicado en la estepa patagónica en el noroeste de Chubut, aproximadamente a mitad camino en línea recta entre Esquel y Gastre. Allí, las rocas de unas colinas bajas albergan restos fósiles de una rica paleobiota compuesta por plantas, peces, ranas e insectos, en excelente estado de preservación. Es un excepcional repositorio,

uno de los de mayor diversidad florística cenozoica del mundo, que permite conocer y comprender la dinámica de los antiguos ecosistemas y su historia evolutiva.

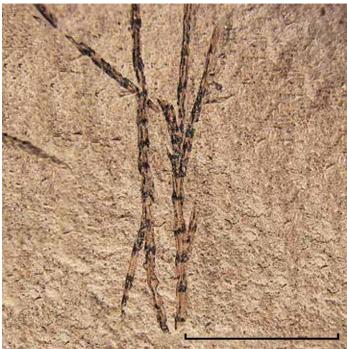
De la gran diversidad biológica encontrada en el citado yacimiento se destacan dos grupos de plantas muy interesantes desde el punto de vista fitogeográfico, ecológico y evolutivo: las casuarinas y los eucaliptos. Ambos reúnen un par de condiciones muy valoradas por los paleobotánicos: (i) tienen caracteres morfológicos distintivos que facilitan su reconocimiento, y (ii) tienen follaje, tallos y flores firmes, así como frutos leñosos, lo cual les confiere alta resistencia a la descomposición y aumenta sus posibilidades de convertirse en fósiles.

Las dataciones de las rocas portadoras de los fósiles de Laguna del Hunco realizadas por isótopos de argón permitieron establecer una antigüedad de 52Ma, que co-

– ¿DE QUÉ SE TRATA?

Dos familias de árboles que ahora son naturales de Australia y lugares vecinos vivieron por unos 10Ma en la Patagonia, cuando esta recibía unos 1100mm por año de lluvia y registraba temperaturas medias anuales del orden de los 17°C, e invernales mayores que 10°C.





Izquierda. Follaje de casuarinas actuales. **Derecha.** Ramas típicas de casuarinas fósiles con nudos en los que se ven pequeñas escamas, que son las hojas reducidas, y entrenudos estriados. La barra que da la escala mide 1cm. Museo Egidio Feruglio.

rresponde al óptimo climático del Eoceno temprano, un período en el que los climas mundiales eran más cálidos y húmedos que los actuales. Se estima que lo que hoy es la Patagonia habría tenido entonces las lluvias por encima de los 1100mm por año y temperaturas medias anuales del orden de los 17°C, con medias en invierno mayores que 10°C. La vegetación boscosa que crecía cerca de cuerpos lacustres dominaba el paisaje.

Casuarinas

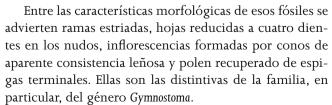
Las casuarináceas son angiospermas (véase en este número el artículo 'Cuando las primaveras empezaron a tener flores. La historia evolutiva de las angiospermas patagónicas') que viven en climas subtropicales y que en la actualidad solo crecen naturalmente en el sudeste asiático, Australia y Melanesia. Son ampliamente cultivadas en zonas subtropicales y templadas por su madera, para fijar suelos, constituir barreras rompevientos y como plantas ornamentales. Sus cuatro géneros (Casuarina, Allocasuarina, Gymnostoma y Cauthostoma) reúnen unas noventa especies y se destacan porque sus últimas ramas son delgadas, verdes, estriadas y colgantes. Estas características recuerdan las plumas de los casuarios, aves no voladoras de Australia y Nueva Guinea, que son el origen de su nombre.

Las hojas de las casuarinas se reducen a un anillo de dientes que apenas cubre los nudos de las ramas y, a pesar de ser angiospermas, las plantas carecen de flores vistosas: las femeninas son pequeñas y aparecen agrupadas en conos que se vuelven leñosos al formarse los frutos, mientras las masculinas, productoras de polen, forman espigas laxas poco llamativas en los extremos de las ramas jóvenes. Estas características recuerdan a las coníferas y, de hecho, en algunos lugares se da a las casuarinas cultivadas el nombre de pino australiano.

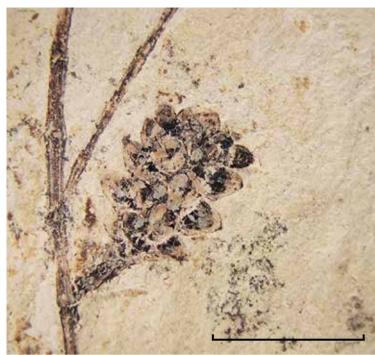
El primer registro fósil de casuarinas en Sudamérica data de 1943 y se debe al médico y naturalista italiano, radicado en Santa Fe y profesor de las universidades nacionales del Litoral y La Plata, Joaquín Frenguelli (1883-1958), quien halló en Laguna del Hunco una rama con cuatro conos que denominó Casuarina patagonica. Más tarde, sucesivos paleontólogos encontraron en otras pocas localidades patagónicas granos de polen dispersos en sedimentos de edades entre el Paleoceno y el Eoceno. Los hallazgos realizados en Laguna del Hunco en los últimos quince años, por varios grupos de investigación en los que participaron las autoras, confirmaron ampliamente que existieron casuarináceas en la Patagonia, y completaron un registro que incluye abundantes restos de follaje, ramas con diferentes tipos de conos fructíferos que corresponden por lo menos a tres especies y también ramas con pequeñas espigas de flores que contienen granos de polen. Las posiciones de los fósiles en los mismos estratos rocosos indican que varias especies de casuarinas coexistían en la región.







Los fósiles patagónicos son los únicos de casuarináceas hallados fuera de la región australiano-asiática. Su diversidad y abundancia muestran que las casuarinas eran un importante y bien establecido componente de la flora patagónica a principios del Eoceno y señalan que



Izquierda, arriba. Cono leñoso de la casuarina actual *Gymnostoma nobile*, de Borneo. Está formado por una agrupación de frutos o infrutescencia. Mide unos 2cm. Izquierda, abajo. Conos unidos a una rama de la casuarina fósil *Gymnostoma archangelskyi*. La barra que da la escala mide 1cm. FCEN, UBA. **Derecha.** Cono leñoso o infrutescencia de la casuarina fósil *Gymnostoma archangelskyi*, unido a una rama con entrenudos estriados, típica de la familia. La barra que da la escala mide 1cm. Museo Egidio Feruglio.

la familia tenía en ese tiempo una amplia distribución en Gondwana.

Eucaliptos

Eucalyptus es un género de la familia de las mirtáceas que incluye unas 600 especies endémicas de Australia e islas vecinas. Son componentes icónicos de la flora australiana, y desempeñan un papel dominante en la vegetación de esa zona del mundo tanto por la producción de biomasa como por la diversidad de especies. Como plantas nativas ocupan un amplio rango de ecosistemas, desde desiertos hasta selvas tropicales, y como cultivadas se diseminaron a todo el mundo por el crecimiento rápido de algunas de sus especies, por los usos múltiples de su madera (papel, postes, construcciones rurales, carbón de leña, cajonería, carpintería rústica, pisos), por los aceites con propiedades medicinales (antisépticas, cicatrizantes, antioxidantes) extraídos de sus hojas, como barreras rompevientos y como plantas ornamentales.

Los eucaliptos se caracterizan por tener hojas en forma de hoz con glándulas de aceite que aparecen como pequeños puntos sobre la superficie, y flores agrupadas en inflorescencias, siempre en número impar. Cada yema



Hoja del eucalipto fósil Eucalyptus frenquelliana, en forma de hoz y con vena principal prominente. Mide 6,5cm de largo. Museo Egidio Feruglio.

floral o capullo tiene un capuchón que se desprende cuando la flor se abre y deja expuestos los numerosos estambres (estructuras productoras de polen) que son las partes más coloridas y llamativas de la flor. Esto los diferencia de la mayoría de las plantas que producen flores, cuyo principal atractivo es el perianto (cáliz y corola). El fruto es una cápsula leñosa que se abre y libera las semillas cuando madura.

También Frenguelli fue el primero en describir un fósil de eucalipto en la Patagonia. En 1953, publicó un trabajo titulado 'Restos del género Eucalyptus en el Mioceno del Neuquén' (Notas del Museo de La Plata, 16, 97: 209-

213), en el cual se refirió a un fósil compuesto por tres cápsulas hallado en rocas de edad imprecisa entre el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano (28 a 17Ma).

Tras la publicación de este fósil, el único hasta ese momento encontrado fuera de la región australiano-asiática, casi nada se publicó sobre posibles eucaliptos fósiles patagónicos hasta que en campañas realizadas a partir de 1999 se descubrieron en Laguna del Hunco abundantes improntas de hojas, frutos en grupos y solitarios, capullos y flores con polen que al encontrarse asociados en los mismos estratos de roca sugieren que proceden de la misma especie biológica. Tomaron parte en esas campañas, financiadas en gran medi-





Izquierda. *Eucalyptus caesia*. **Derecha.** Flor de eucalipto fósil con numerosos estambres que rodean al estilo solitario que sobresale en el centro. La barra que da la escala mide 1cm. Museo Egidio Feruglio.

da por la National Science Foundation de los Estados Unidos, investigadores del Museo Egidio Feruglio de Trelew, la UBA, la Universidad de Cornell y Penn State University.

Estos fósiles muestran los rasgos típicos de los eucaliptos: hojas en forma de hoz con pequeños puntos en su superficie que corresponden a las glándulas de aceite, yemas florales cubiertas por un capuchón, flores con numerosos estambres y frutos en forma de cápsulas muy similares a los de las especies modernas, incluyendo la disposición de las cápsulas en las infrutescencias.

Los hallazgos comentados proveen información crítica para comprender las relaciones de los fósiles patagónicos con las plantas vivientes del grupo. Las yemas florales o capullos de Laguna del Hunco exhiben una obvia cicatriz horizontal que es característica de un grupo particular de eucaliptos conocido como Symphyomyrtus, que incluye unas 450 especies.

El estudio genético de las especies actuales llevó a estimar que los eucaliptos se originaron hacia fines del período cretácico. Sus fósiles son escasos, poco documentados y proceden principalmente de Australia y Nueva Zelanda. Siempre se había considerado erróneo,

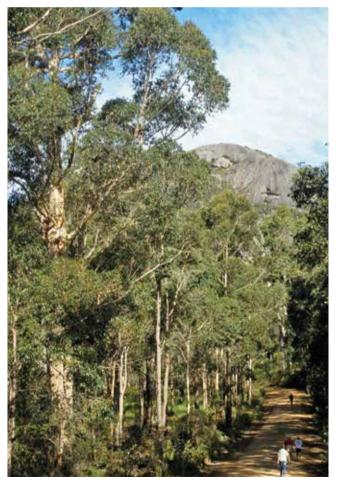
o por lo menos dudoso, clasificar como eucaliptos a fósiles encontrados fuera de Australasia. Sin embargo, los abundantes y diversos restos de eucaliptos encontrados en Laguna del Hunco—los únicos hallados hasta la fecha fuera de la actual área de distribución del género— no están afectados por esas dudas y demuestran que entonces esas plantas eran nativas también de la Patagonia, y que en el pasado remoto el grupo tenía una amplia distribución geográfica.

La tierra en el Eoceno

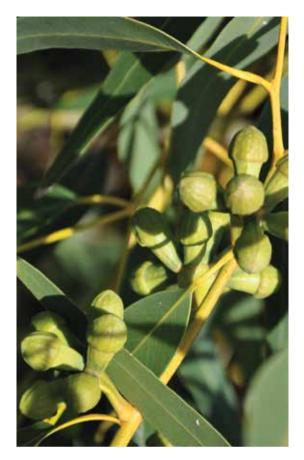
La constatación de que vivieron casuarinas y eucaliptos en la antigua Patagonia, y que también lo hicieron otras angiospermas y coníferas con similares patrones de distribución geográfica en el pasado y el presente, es coherente con la historia del supercontinente Gondwana, cuyo desmembramiento, comenzado hace alrededor de 155Ma, se amplió con el establecimiento de la corriente circumpolar antártica hace aproximadamente 30Ma. Esto lleva a suponer que casuarinas y eucaliptos



Eucalyptus deglupta



Eucalyptus diversicolor







Arriba. Pimpollos y flores de eucalipto actual. **Abajo.** Pimpollo globoso con largo pedicelo del eucalipto fósil *Eucalyptus lynchiae*. Su superficie redondeada está formada por pétalos que se desprenden al madurar. La barra que da la escala mide 5mm. Museo Egidio Feruglio

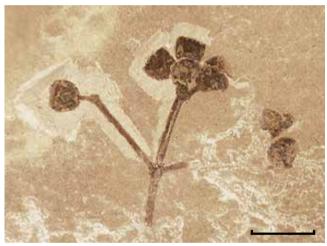
pudieron haber estado igualmente presentes en lo que hoy es la Antártida.

Los fósiles que comentamos también informan sobre la ecología de sus ancestros. Hallar casuarinas y eucaliptos fosilizados en los mismos estratos de roca constituye un indicio de que coexistían como parte de una unidad de vegetación, como ocurre en la actualidad con varias especies de estas familias que viven juntas y ocupan distintos subambientes de un ecosistema mayor.

Se piensa que la flora de Laguna del Hunco habría crecido en torno a un lago de caldera volcánica, es decir, un lago que se formó en la depresión al tope de un volcán. En la actualidad algunas especies de eucaliptos crecen sobre volcanes en ambientes de bosques lluviosos. Los volcanes, por su lado, cumplen un cometido ecológico importante para la propagación de muchas plantas cuyas semillas requieren abundante luz para germinar y establecerse. Los flujos de lava y otras consecuencias de las erupciones crean espacios abiertos en el bosque, que pueden ser colonizados por eucaliptos, lo que pudo haber sucedido en Laguna del Hunco.

Por otra parte, en Australasia las casuarinas —en especial las del género Gymnostoma— forman parte de comunidades selváticas que crecen bien en ambientes marginales como las costas de cursos





Arriba. Frutos de la especie actual *Eucalyptus camaldulensis*. Miden unos 2cm. **Abajo.** Frutos de eucalipto fósil *Eucalyptus caldericola*. La barra que da la escala mide 1cm. Museo Egidio Feruglio

o cuerpos de agua, comparables a los que había en esa región de la Patagonia.

Esta clase de descubrimientos también arroja luz sobre la evolución de los respectivos grupos de plantas y proporciona datos paleobotánicos sobre las edades mínimas de los linajes, que en los casos que comentamos por lo menos tienen una antigüedad de 52Ma.

El género Gymnostoma de casuarinas se considera el más antiguo de la familia sobre la base de estudios genéticos y de los hallazgos de fósiles en Australasia. También el descubrimiento de los eucaliptos sugiere que el grupo Symphyomyrtus del género Eucalyptus o sus antepasados pueden ser más antiguos de lo que se pensaba. Por ello podría considerarse que la Patagonia integró la región que albergaba los linajes ancestrales de ambas familias.

El mencionado óptimo climático del Eoceno duró un lapso relativamente breve del tiempo geológico, que parece coincidir aproximadamente con el período del que datan los fósiles patagónicos de casuarinas y eucaliptos, y fuera del cual no se han encontrado en Sudamérica fósiles de ninguna de las dos familias. Su extinción posiblemente se deba a los cambios ecológicos y ambientales producidos por el cambio climático acaecido en el Eoceno medio, y cuyas consecuencias en las floras fueron no solo extinciones de linajes completos, sino también reducción de áreas geográficas de distribución, expansión de especies mejor adaptadas a las nuevas condiciones, desplazamiento de otras y aparición de nuevas especies. El cambio de las condiciones ambientales pudo haber sido menos abrupto en la región de Australasia, lo que habría permitido la supervivencia de dichas familias hasta la actualidad. 🖽

LECTURAS SUGERIDAS



GANDOLFO MA *et al.*, 2011, 'Oldest known Eucalyptus macrofossils are from South America', *PLOS ONE*, 6, 6: e21084. doi:10.1371/journal. pone.0021084.

HERMSEN EJ, GANDOLFO MA & ZAMALOA MC, 2012, 'The fossil record of Eucalyptus in Patagonia', *American Journal of Botany*, 99: 1356-1374. WILF P *et al.*, 2005, 'Eocene plant diversity at Laguna del Hunco and río Pichileufu', *The American Naturalist*, 165: 634-650. ZAMALOA MC *et al.*, 2006, 'Casuarinaceae from the Eocene of Patagonia, Argentina', *International Journal of Plant Sciences*, 167: 1279-1289.



María del Carmen Zamaloa

Doctora en biología, UBA. Integrante del Departamento de Ecología, Genética y Evolución, FCEN, UBA. mzamaloa@gmail.com



María Alejandra Gandolfo

Doctora en biología, UBA. Investigadora del LH Bailey Hortorium, Universidad de Cornell. mag4@cornell.edu

Glosario

Angiospermas. Nombre que, en una definición simple, indica las plantas con flores. La definición técnica agrega el concepto de que sus óvulos están protegidos por estructuras llamadas carpelos.

ANA. Grupo basal de órdenes de angiospermas compuesto por Amborellales, Nymphaeales y Austrobaileyales, a las que se acostumbra a designar en conjunto con ese acrónimo. Actualmente representan el 0,5% del total de especies de angiospermas.

Araucariaceae (araucariáceas). Familia de coníferas de la que existen especies actuales y se conocen numerosas especies fósiles. En el presente incluye tres géneros y una cuarentena de especies en Sudamérica, Oceanía y el sudeste asiático.

Asteraceae (asteráceas). Familia de angiospermas formada por varias subfamilias, más de 1600 géneros y arriba de 23.500 especies. Está presente en todos los continentes menos la Antártida, y es particularmente numerosa en regiones tropicales y subtropicales. Son asteráceas el girasol, las margaritas, los crisantemos, la lechuga, la radicheta y los alcauciles, para citar unas pocas.

Barnadesioideae (barnadesioideas). Subfamilia de las asteráceas.

Basal. Se dice de especies, géneros o familias que presentan características ancestrales en su grupo. El término se contrapone a derivado.

Bennettitales. Grupo extinguido de gimnospermas.

Bororoa. Género extinguido del orden Cycadales cuyos fósiles están presentes en sedimentos patagónicos del Paleoceno.

Briofitas. Plantas terrestres no vasculares que incluyen a los musgos, hepáticas y antoceros.



Corte y aspecto exterior de un cono fósil de Araucaria mirabilis procedente de Cerro Cuadrado, Santa Cruz. Data de alrededor de hace 160Ma y mide unos 8cm de alto.

Carácter homólogo. Se dice de cualquier rasgo similar advertido en especies distintas y heredado de un ancestro común.

Carduoideae (carduoideas). Subfamilia de las asteráceas, principalmente encontrada en África.

Casuarina. Género de la familia de las casuarináceas hoy autóctono de Australia y tierras vecinas. Se puede pensar, sobre la base de descubrimientos hechos en la Patagonia, que en el pasado tuvo amplia distribución en Gondwana.

Casuarinaceae (casuarináceas). Familia de angiospermas con cuatro géneros (Allocasuarina, Casuarina, Ceuthostoma y Gymnostoma) y unas 90 especies.

Cheirolepidiaceae. Familia extinguida de coníferas que dominó los bosques mesozoicos desde el Triásico hasta el Cretácico, entre hace unos 252 y 66Ma, y se extinguió poco después del segundo de esos períodos.

Chloranthaceae (clorantáceas). Familia basal de angiospermas con unas 80 especies actuales en el sudeste de Asia, el Pacífico, Madagascar, el Caribe, Centro y Sudamérica.

Cibotiaceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales.

Cícadas. Antiguo grupo de gimnospermas cuyos miembros actuales, distribuidos en 9 géneros y unas 180 especies, se encuentran hoy en las Américas, el sudeste asiático, Australia y África.

Cloroplastos. Son un tipo de organelas, estructuras internas de las células de plantas y algas. La principal función de los cloroplastos es realizar la fotosíntesis, operación por la que el vegetal, con energía de la luz solar, produce las moléculas de carbono que le permiten crecer con el CO₂ del aire, al tiempo que libera oxígeno a la atmósfera.

Colpo. Tipo de apertura alargada de los granos de polen.

Compuestas. Asteráceas.

Comunidad clímax. Concepto ecológico que se refiere a ambientes naturales cuya vegetación alcanzó un estado de equilibrio que se mantiene por un tiempo razonablemente prolongado.

Coníferas. Grupo de gimnospermas formado actualmente por unas 8 familias, casi 70 géneros y más de 600 especies.

Conos ovulíferos. Estructuras reproductivas de las coníferas que contienen las semillas, como las piñas de los pinos.

Convergencia evolutiva. Resultado de procesos independientes de evolución que arriban a organismos con características similares.

Cordaitales. Orden de gimnospermas primitivas extinguidas. Podían haber sido ancestros de las coníferas, los gingkos y las cícadas.

Criptoesporas. Esporas de las primeras embriofitas, que proporcionan evidencia concreta sobre el inicio del proceso de terrestralización de las plantas. Las más antiguas conocidas datan del período ordovícico, hace unos 470Ma.

Cronología absoluta. Orden temporal de un conjunto de objetos o hechos según su edad en años marcados por un calendario.

Cronología relativa. Orden temporal de un conjunto de objetos o hechos entre ellos, sin necesaria relación con fechas o con un calendario.

Culcitaceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales.

Cyatheaceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales.

Cyatheales (ciateales). Orden de helechos arborescentes.

Cycadaceae (cicadáceas). Familia de cícadas del orden Cycadales.

Cycadales (cícadas). Único orden de la división Cycadophyta al que pertenecen todas las cícadas vivientes en la actualidad que se encuentran en las Américas, el sudeste asiático, Australia y África. Lo componen tres familias: Cycadaceae, Stangeriaceae y Zamiaceae, y numerosos fósiles. Adviértase que cícadas lleva acento ortográfico para distinguir este grupo de plantas de los insectos de la familia Cicadidae, que podría traducirse por cicadas y cuyos miembros solemos llamar cigarras.

Cycadophyta. División que incluye un único orden, Cycadales.

Cycas. Uno de los géneros de cícadas vivientes en la actualidad, del que se han descripto más de 100 especies. Pertenece a la familia Cycadaceae del orden Cycadales.

Deriva continental. Desplazamientos de los continentes terrestres en la superficie del globo.

Derivado. Se dice de especies, géneros o familias que descienden de otras más basales de su grupo.

Díadas. Nombre que se da a las esporas fósiles encontradas como unidades de dos esporas.

Dicksoniaceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales.

Dicotiledóneas. Grupo de angiospermas con dos cotiledones u hojas primordiales en el germen de la semilla.

Dicroidium. Género extinguido de helechos con semillas que se extendieron por Gondwana durante el Triásico, hace entre 250 y 200Ma, cuyos fósiles se han encontrado en la Antártida, Sudamérica, Sudáfrica, Australia y Nueva Zelanda.

Embriofitas. Término que incluye a las primeras plantas establecidas en tierra firme descendientes de algas verdes.

Encephalarteae. Grupo o subfamilia de cícadas de la familia Zamiaceae, del que hoy subsisten tres géneros: Encephalartos en África, y Macrozamia y Lepidozamia en Australia.

Envés. Parte inferior de las hojas de una planta.

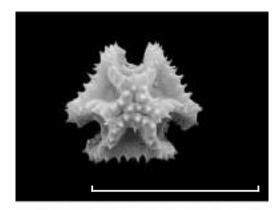
Equisetaceae (equisetáceas). Familia de plantas vasculares de la que existe un único género viviente, Equisetum (equisetos), con 15 especies (algunas sudamericanas).

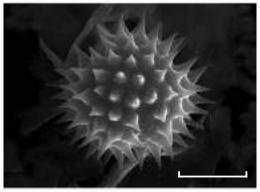
Escala del tiempo geológico. Ordenamiento cronológico de los acontecimientos que forman la historia de la Tierra.

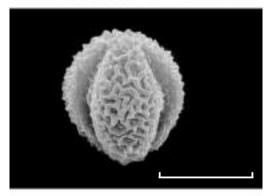
Esporangios. Pequeñas vesículas ubicadas en el envés de los frondes donde se generan las esporas.

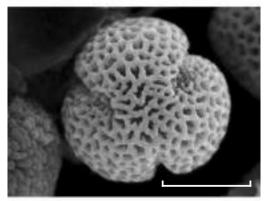
Esporas trilete. Esporas con tres aberturas alargadas, típicas de las plantas vasculares que se reproducen por esporas.

Esporas. Unidades unicelulares por cuya germinación se reproducen los helechos y otros organismos.









Granos de polen de plantas actuales fotografiados con microscopio electrónico. De arriba a abajo, *Taraxacum sp., Ambrosia sp., Salix herbacea y Arabis sp.* Las barras que dan la escala indican 10 micrómetros.

Esporopolenina. Sustancia que compone la pared de los granos de polen y de las esporas. Tiene alta resistencia a ataques físicos y químicos, excepto la oxidación.

Estratos fosilíferos. Estratos de rocas o sedimentos que contienen fósiles.

Eucalyptus (eucaliptos). Género de la familia de las mirtáceas hoy autóctono de Australia y tierras vecinas. Incluye unas 600 especies y, en forma cultivada, está presente en prácticamente todo el mundo. Se puede pensar, sobre la base de descubrimientos hechos en la Patagonia, que en el pasado tuvo amplia distribución en Gondwana.

Eudicotyledoneae (eudicotiledóneas). Grupo derivado de órdenes y familias de angiospermas cuyo polen tiene tres o más aberturas. Incluye unas 359 familias y unas 190.000 especies (alrededor del 60% del total de angiospermas).

Filogenética. Estudio y clasificación de las especies sobre la base de su trayectoria evolutiva y de la diversificación de su árbol genealógico.

Foliolo. Cada una de las partes o fragmentos de una hoja compuesta.

Formación Kachaike. Nombre geológico de un conjunto de rocas del sector cordillerano de Santa Cruz, cerca del lago San Martín, que rondan los 110Ma de antigüedad.

Formación Mata Amarilla. Nombre geológico de un conjunto de rocas sedimentarias del sector cordillerano de la provincia de Santa Cruz, cuya edad estimada es de alrededor de 110Ma.

Fosilización. Proceso natural por el cual los tejidos de los restos enterrados de organismos muertos son reemplazados por compuestos minerales.

Fósil. Cualquier evidencia de organismos del pasado remoto (o pasado geológico) conservados en formaciones o estratos de rocas o sedimentos (llamados estratos fosilíferos). Se dice que el conjunto de esos fósiles constituye el registro fósil.

Frondes. Hojas de los helechos que, además de funciones similares a las de hojas de las demás plantas, poseen otras relacionadas con la reproducción, pues algunos tienen esporangios en su envés, los que generan las esporas.

Gangamopteris. Género del orden Glossopteridales.

Gimnospermas. Plantas cuyas semillas no se forman en un ovario cerrado ni son parte de un fruto, como ocurre en las angiospermas, sino que están expuestas. Las gimnospermas vivientes pertenecen a unas 15 familias con alrededor de 80 géneros y más de 800 especies, entre ellas coníferas, cícadas y el caso único del Ginkgo biloba.

Ginkgo biloba (árbol de los 40 escudos). Única especie subsistente de un grupo de gimnospermas que apareció en la era Mesozoica, del cual los fósiles más antiguos encontrados afines al género Ginkgo datan de hace poco menos de 200Ma. Se lo suele considerar un fósil viviente.

Glossopteridales. Orden de gimnospermas que aparece en el registro fósil hace unos 300Ma y deja de tener presencia hace unos 250Ma.

Glossopteris. Género del orden Glossopteridales.

Gnetales o Gnetophyta (gnetales). Grupo de gimnospermas del que subsisten tres géneros (Gnetum, Ephedra y Welwitschia) y unas 70 especies.

Gondwana. Supercontinente que se habría formado en el hemisferio sur más de hace 500Ma, es decir, antes de que, hace unos 300Ma, se constituyera Pangea, el supercontinente universal, del que Gondwana formó parte. Hacia hace 200Ma Pangea se fragmentó y Gondwana quedó en el hemisferio sur, mientras otro supercontinente, Laurasia, ocupó el hemisferio norte. Luego, la desintegración de Gondwana y el desplazamiento de sus fragmentos dio lugar a las masas terrestres actuales de la Antártida, Sudamérica, Madagascar y Australia, en el hemisferio sur, África a ambos lados del ecuador, y la India y la península arábiga en el hemisferio norte.

Grupo Baqueró. Nombre geológico de un conjunto de rocas sedimentarias del centro y norte de la provincia de Santa Cruz, cuya edad estimada ronda los 120Ma.

Gymnostoma. Género de la familia de las casuarináceas. Helianthus. Género de asterácea que incluye unas 70 especies silvestres, una de las cuales (H. annuus), domesticada en México hace unos 4000 años, es el girasol.

Hepáticas. Pequeñas plantas herbáceas no vasculares. Viven en lugares húmedos y sombríos.

Hipótesis de homología. Atribución a un ancestro común de las similitudes de rasgos de organismos pertenecientes a especies distintas.

Inflorescencia. Conjunto de flores de una planta con la apariencia de ser una flor única.

Infrutescencia. Unidad formada por la agrupación de varios frutos, normalmente producto de la fecundación de una inflorescencia.

Internodos. Sectores de los tallos de los que no salen hojas.

Lophosoria cupulata. Especie extinguida de helecho arborescente del orden Cyatheales.

Lophosoria quadripinnata. Especie viviente americana de helecho arborescente la familia Dicksoniaceae del orden Cyatheales. Su área de dispersión se extiende desde México a la Patagonia.

Loxsomataceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales.

Lycophyta (licofitas). Constituyen el linaje más antiguo de plantas vasculares sin semillas con miembros vivientes. Data de la era paleozoica, hace unos 400Ma. Los botánicos agrupan a sus miembros actuales, que principalmente se asemejan a pequeños helechos o musgos, en unos 12 géneros y alrededor de 1200 especies.

Lycopodiaceae (licopodiáceas). Familia de plantas vasculares de apariencia semejante a los musgos que incluye el género Lycopodium (licopodios) y otros.

Ma. Millones de años.

Madera. Tejido de xilema secundario, que es producido, en adición al xilema primario, por plantas leñosas como coníferas y angiospermas dicotiledóneas.

Magnoliidae (magnólidas). Grupo basal de angiospermas que actualmente comprende el 2,5% de las especies de estas.



Hojas fósiles de una gimnosperma del género Brachyphyllum, abundante en el Mesozoico.

Medullosales. Plantas del orden extinguido de pteridospermas, considerado el ancestro más cercano de las cícadas actuales. Vivieron durante los períodos carbonífero y pérmico temprano en tierras del actual hemisferio norte. Existe escasa evidencia que lleve a pensar que hayan estado presentes en Gondwana.

Menucoa. Género extinguido del orden Cycadales cuyos fósiles están presentes en sedimentos patagónicos del Paleoceno.

Metaxyaceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales.

Métodos filogenéticos. Formas de clasificación de las especies sobre la base de su trayectoria evolutiva y de la diversificación de su árbol genealógico.

Mónadas. Nombre que se da a las esporas fósiles encontradas como unidades individuales.

Monocotiledóneas. Grupo de angiospermas con un solo cotiledón u hoja primordial en el germen de la semilla. Con alrededor de 60.000 especies (cerca del 22% del total de angiospermas), incluye a palmeras, lirios y pastos o gramíneas, entre otros.

Monofilético. Dícese de un grupo o taxón de organismos que descienden de un ancestro común.

Morfotaxones. Taxones definidos solo con la información deducida de partes aisladas de un organismo conservadas en el registro fósil, en desconocimiento del resto del organismo. También llamados taxones fósiles.

Mucílago. Sustancia vegetal viscosa análoga por su composición y sus propiedades a las gomas. Se encuentra en algas, semillas de lino, membrillos, líquenes, ciertos hongos, etcétera.

Mutisioideae (mutisioideas). Subfamilia de asteráceas mayormente restringida a Sudamérica.

Myrtaceae (mirtáceas). Extensa familia de angiospermas que abarca casi 6000 especies distribuidas en unos 130 géneros. Entre estos se destaca Eucalyptus, planta nativa en Australia y cultivada en todo el mundo. El conocido arrayán de los bosques andino-patagónicos (Luma apiculata) es una mirtácea.

Nodos. Sitios de los tallos de los que salen hojas.

Óptimo climático del Eoceno temprano. Período que duró unos 10Ma, entre aproximadamente hace 50 y 40Ma, en el que los climas mundiales eran más cálidos y húmedos que los actuales.

Paleobiota. El conjunto de organismos vivientes en ecosistemas del pasado geológico.

Palinología. Disciplina que estudia los palinomorfos, entre ellos el polen y las esporas de las plantas, así como organismos microscópicos del plancton, que tienen como característica común ser de composición orgánica.

Palinomorfos. Restos compuestos por materia orgánica, ya sea órganos, partes de órganos o tejidos, organismos individuales, colonias de ellos, estructuras de resistencia de organismos y aun elementos que no se logra identificar, de entre 5 y 500μm, encontrados en rocas y sedimentos. Se distinguen de otros organismos mineralizados, como las diatomeas o los foraminíferos. Los estudia la palinología.

Paralelismo evolutivo. Convergencia evolutiva.

Pararaucarias. Plantas género Pararaucaria, de la familia Cheirolepidaceae.

Peciolo. Pequeño tallo que une una hoja, flor o fruto al tallo principal.

Plagiogyriaceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales.

Plantas vasculares. El grupo de plantas más complejas del reino vegetal. Se distinguen por tener raíces, tallos y hojas, y por un tejido conductor que lleva a todo su cuerpo el agua y los minerales que las alimentan. La rigidez de ese tejido contribuye a sostener las plantas y a permitir que alcancen mayores dimensiones y habiten en una más amplia variedad de ambientes. Las hay con semillas o espermafitas, y sin semillas o pteridofitas.

Poaceae (poaceas). Familia de angiospermas monocotiledóneas formada por pastos (gramíneas).

Podocarpaceae (podocarpáceas). Familia de coníferas de la que existen especies actuales y se conocen numerosas especies fósiles. En la actualidad incluye más de 150 especies de árboles y arbustos que viven principalmente en el hemisferio sur.

Pseudoctenis. Género de cícadas primitivas.

Pteridofitas. También conocidas como helechos. Grupo de plantas terrestres vasculares que se dispersan por medio de esporas y no de semillas, como ocurre con las gimnospermas y las angiospermas.

Pteridospermas (pteridospermas). Son plantas primitivas extinguidas de gimnospermas con grandes hojas similares a las de helechos, pero que también producen semillas verdaderas. Por eso, a veces se las llama helechos con semillas.

Pteridospermatophyta. Pteridospermas.

Radiación adaptativa. Proceso evolutivo por el cual una especie ancestral se diversifica y da lugar a un conjunto de organismos con características anatómicas y fisiológicas distintas de las de sus ancestros, las que los llevan a ser el inicio de nuevas especies.

Radiación. Radiación adaptativa.

Registro fósil. El conjunto de los fósiles y los estratos que los contienen.

Relojes moleculares. Técnica usada para datar la divergencia de especies tomando en cuenta el número de diferencias entre secuencias de ADN.

Sinangios. Grupos de esporangios parcial o totalmente fusionados, presentes en los frondes de algunos helechos, como los de las familias Marattiaceae y Ophioglossaceae.

Soros. Grupos de esporangios no fusionados, presentes en los frondes de algunos helechos, como los del orden Cyatheales y de la familia Pteridaceae.

Stangeriaceae. La más pequeña familia de cícadas del orden Cycadales. Solo incluye dos géneros vivientes: Stangeria y Bowenia.

Symphyomyrtus. Subgénero de Eucalyptus.

Taxón. Cada una de las categorías aplicables a la clasificación de los seres vivos, como clase, orden, familia, género, especie y otras.

Taxones fósiles. Morfotaxones.

Taxonomía. Parte de la biología que se ocupa de clasificar a los seres vivos.

Tectónica de placas. Teoría científica que explica el movimiento de las placas rocosas que forman la superficie de la Tierra (o litosfera).

Tejido esclerenquimático. Tejido sostén formado por células de paredes gruesas y duras.

Terrestralización. Proceso de colonización de los continentes por plantas.

Tétradas. Nombre que se da a las esporas fósiles encontradas como unidades de cuatro esporas.

Thyrsopteridaceae. Familia de helechos arborescentes del orden Cyatheales endémica de las islas Juan Fernández en Chile.

Tracheophyta (traqueofitas). Plantas vasculares.

Xilema. Tejido que conduce agua, sales inorgánicas y otros nutrientes por toda la planta y también proporciona soporte mecánico. El xilema primario que producen todas las plantas vasculares durante su desarrollo cumple esas funciones. Además, algunas plantas, como las coníferas y las angiospermas dicotiledóneas, pueden producir xilema secundario o madera, el cual genera un crecimiento a lo ancho de la planta y le brinda soporte y resistencia.

Zamia. Único género del orden Cycadales viviente hoy en Sudamérica. Pertenece a la familia Zamiaceae y su área de distribución se extiende desde Colombia hasta Bolivia.

Zamiaceae. Familia del orden Cycadales con unos 8 géneros y unas 150 especies actuales que viven en regiones tropicales y subtropicales del África, Australia y las Américas.

INO TE PIERDAS EL CONOCIMIENTO DE LAS CIENCIAS!

SUSCRIBITE A CIENCIA HOY DE CHICOS



Mitos y verdades sobre los piojos - Física y química en la cocina Desafío dengue - Asteroides principescos - Hablemos de la caca 2017: Año internacional del Turismo Sostenible

Para saber qué tenés que hacer, visitá www.chicosdecienciahoy.org.ar



Fax (011) 4962 1330

Flotar en et aire



Nicolás Bonadeo, Jefe del Departamento de Física Aplicada y Ensayos No Destructivos.

130 profesionales, 249.600 horas de investigación al año.

Desde el Centro de Investigación Industrial de Tenaris en Campana se mejoran los procesos en planta mientras se estudia e investiga el producto junto a usted. Para que pueda contar con la mejor respuesta de nuestros productos hasta en la más exigente de sus operaciones. Porque para que pueda llegar lejos, necesitamos estar más cerca.

Tecnología en el producto. Innovación en el servicio.

