CIENCIA HOY

Revista de divulgación científica y tecnológica de la Asociación Civil Ciencia Hoy

Volumen 27 número 159
febrero - marzo 2018

Ejemplar en la Argentina $120

Dinosaurios

ISSN 0327 - 1218
00159
9 770327 121009

La CIENCIA en los CUENTOS 2018

El Instituto de Astronomía y Física del Espacio, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas y la Asociación Civil Ciencia Hoy, con el auspicio del Programa de Promoción de la Lectura del Ministerio de Educación de la Argentina, el Centro de Formación e Investigación en Enseñanza de las Ciencias (FCEYN-UBA) y el Área de Ciencias del Centro Cultural Borges, convocan a un concurso de cuentos cortos sobre temas científicos, con el objetivo de promover el interés de los jóvenes por la ciencia y por la literatura.

Se premiarán los tres mejores cuentos. El premio consistirá en la publicación en forma de libro de estos junto a los de otros siete participantes, que recibirán menciones especiales.
Se entregará además una suscripción anual gratuita a la revista CIENCIA HOY a cada uno de los autores de los tres cuentos ganadores.

El jurado está compuesto por los siguientes expertos:

Mariano Ducros, profesor de literatura, Universidad de Palermo, ex director del Departamento de Extensión Cultural del Centro Cultural Borges

Daniel Salomón, investigador principal del Conicet, primer premio en los concursos Julio Cortázar, Eduardo Bocco y Attilio Betti

Ana María Vara, profesora de la Escuela de Humanidades, UNSAM, diploma al mérito 1997 de la Fundación Konex

Los autores deberán tener entre dieciséis y dieciocho años al cierre de la convocatoria y tener ciudadanía argentina o residencia en la Argentina.

El plazo de presentación de las obras cerrará el
30 de septiembre de 2018

Son coordinadores del concurso **Viviana Bianchi y Alejandro Gangui**

Bases del concurso en: *http://cms.iafe.uba.ar/gangui/difusion/concurso/18/*

Informes o consultas:

Asociación Civil Ciencia Hoy
Tel: +54 11 4961-1824
contacto@cienciahoy.org.ar

Dirección de Relaciones Institucionales Conicet
Tel.: +54 11 4899-5400
www.conicet.gov.ar
vocar@conicet.gov.ar

CIENCIA HOY

Fundada en 1988

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://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.

Editores responsables

Federico Coluccio Leskow
Departamento de Ciencias Basicas, 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

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

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

Nicolás Pírez
Instituto de Fisiología, Biología Molecular y Neurociencias, UBA-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

Consejo científico

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) 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 Córdoba
Nancy López
La Falda, Valle de Punilla, Córdoba
Teléfono: (03548)15 571-025
Correo electrónico: *nancylopez2635@gmail.com*

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

Suscripciones
ARGENTINA: 6 números, $780 (incluye envío)
EXTRANJERO: 6 números, US$ 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
N° de registro DNDA 5345384

Diseño y realización editorial
Estudio Massolo
Callao 132, EP (C1022AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Teléfono: (011) 4372-0117
Correo electrónico: *estudiomassolo@gmail.com*

Corrección
Mónica Urrestarazu

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, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).

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.

www.facebook.com/RevistaCienciaHoy

Sumario

Febrero – marzo 2018
Volumen 27 - número 159

A MODO DE EDITORIAL

4 Los dinosaurios y su tiempo

Los artículos que componen este número de Ciencia Hoy brindan un panorama general de los principales descubrimientos de vertebrados mesozoicos sudamericanos, con especial énfasis en los dinosaurios. Examinan desde características morfológicas de la dentición y de los esqueletos, hasta la estructura microscópica de los huesos de esos animales de la llamada edad de oro de los reptiles. El comité editorial agradece a Fernando E Novas su eficaz labor como editor invitado del número.

SECCIÓN TEMÁTICA

7 El amanecer de los dinosaurios

Martín D Ezcurra

Los progresos que experimentó el conocimiento del registro fósil en los últimos cincuenta años están proporcionando una visión cada vez más detallada de la historia evolutiva de los dinosaurios, desde el origen del grupo, su expansión geográfica y su dominio de los ecosistemas continentales durante la mayor parte de la era mesozoica, hasta que desaparecieron por completo –salvo del linaje al cual pertenecen las aves actuales– con la gran extinción en el límite Cretácico-Paleoceno hace 66Ma. El artículo analiza el origen de los dinosaurios hace unos 230Ma.

13 Mirando gigantes con lupa

La importancia de la paleohistología para el estudio de los dinosaurios

Ignacio Alejandro Cerda

En los restos fósiles de vertebrados queda por lo general preservada intacta la estructura microscópica de los huesos u otras partes duras del animal. Su análisis permite deducir una enorme cantidad de información sobre individuos de especies que se extinguieron hace millones de años, como la edad y el estadio de la vida en que se encontraban al morir o su ritmo de crecimiento.

21 La diversidad de los dinosaurios herbívoros

Rodolfo A Coria y Leonardo Salgado

Así como hubo dinosaurios cuadrúpedos y bípedos, también los hubo carnívoros y herbívoros. Estos, a los que está dedicado el artículo, fueron enormemente diversos tanto en tamaño como en sus características anatómicas, y solo tenían en común entre ellos sus hábitos alimentarios. Esa diversidad incluye los mayores animales terrestres de todos los tiempos, varios de los cuales habitaron lo que hoy es la Patagonia.

27 La diversidad de los dinosaurios carnívoros

Juan I Canale

Los dinosaurios carnívoros que vivieron en lo que hoy es Sudamérica formaron parte de un grupo de saurisquios, los terópodos, que pobló todos los continentes entre hace unos 230 y 66Ma. Eran bípedos y tenían una enorme diversidad de formas y tamaños. Algunos de sus integrantes fueron los mayores predadores terrestres de ese lapso. Las aves actuales pertenecen a su linaje, si bien a los fines prácticos los paleontólogos los consideran dinosaurios no aviares, para distinguirlos de dichas aves.

35 Las aves en el tiempo de los dinosaurios

Federico L Agnolin

Los paleontólogos han encontrado fósiles del tiempo en que vivían los dinosaurios que demuestran la simultánea presencia en la Tierra de varios grupos de aves, entre ellos el de las *Enantiornithes*, exclusivo de la era mesozoica (252-66Ma), muchas de cuyas especies exhibían caracteres reptilianos, como mandíbulas dentadas o garras en los dedos de los miembros anteriores. Pero también han encontrado pruebas de que en esa era vivía otro grupo de aves, las *Neornithes*, que incluye a la totalidad de las aves de hoy.

42 *Chilesaurus*, un rompecabezas evolutivo

Fernando E Novas, Leonardo Salgado y Marcelo Pablo Isasi

En febrero de 2004, geólogos chilenos encontraron una diminuta vértebra y una pequeña costilla fósiles en rocas expuestas de una formación geológica de la Patagonia chilena, a unos 80km al sudoeste de la localidad de Chile Chico, que está a 8km de la frontera argentina sobre el lago General Carrera-Buenos Aires. Fueron los primeros fósiles de vertebrados encontrados en esas rocas y abrieron un panorama desconocido sobre la vida animal en la zona hace 145 millones de años.

48 ESPACIO INSTITUCIONAL
Conicet Dialoga

52 Cinodontes triásicos y mamíferos en el tiempo de los dinosaurios
Agustín G Martinelli, Marina B Soares y Analía M Forasiepi

Mamíferos y dinosaurios pertenecen a dos linajes evolutivos diferentes que se separaron de un tronco común hace más de 300Ma. Los paleontólogos llaman a los integrantes de esos linajes respectivamente *sinápsidos* y *saurópsidos*, y ambos subsisten en la actualidad. Desde el momento de la separación y a lo largo de más de 250Ma, los saurópsidos dominaron las faunas mundiales, hasta que sus componentes más notorios, los dinosaurios, se extinguieron hace 66Ma (sus representantes actuales son las aves, las tortugas, los cocodrilos y otros) y la posición dominante en los ecosistemas fue paulatinamente ocupada por los mamíferos, una rama de los sinápsidos. Este artículo se refiere a los mamíferos coetáneos de los dinosaurios, lo mismo que a sus ancestros más próximos, los cinodontes, de los que se diferenciaron hace unos 210Ma.

59 Técnicas paleontológicas
Marcelo Pablo Isasi y Federico Brissón Egli

Las investigaciones paleontológicas empiezan por la búsqueda de fósiles contenidos en estratos geológicos de rocas sedimentarias en diversos lugares de la Tierra, y por su extracción de esas rocas. Es necesario luego preparar la pieza, es decir, dejar el hueso fosilizado extraído del estrato limpio de fragmentos de roca, para que pueda ser estudiado, clasificado, incorporado a la colección científica de un museo de ciencias naturales y tal vez montado para ser exhibido en este. Extracción, preparación y montaje son tareas a cargo de técnicos altamente especializados.

Glosario

Los lectores podrán encontrar un glosario especial para este número en la página *http/cienciahoy.org.ar/glosario-edicion-dinosaurios.pdf/* o solicitarlo a *contacto@cienciahoy.org.ar*.

En la tapa están representados tres dinosaurios: los saurisquios terópodos Carnotaurus sastrei *y* Herrerasaurus ischigualensis, *y el ornitisquio* Telenkauen santacrucencis, *además del cinodonte* Exaeretodon frenguelli *y el ave arcaica* Patagopteryx deferrariisi. *Dibujo Gabriel Lio*

Los dinosaurios y su tiempo

Por su extraordinaria diversidad adaptativa, su dominancia numérica y su amplia distribución geográfica, durante la era mesozoica los dinosaurios constituyeron el grupo más exitoso de vertebrados de los ecosistemas continentales del planeta.

Se originaron a mediados del período triásico de esa era, hace aproximadamente 240Ma, a partir de pequeños reptiles del tamaño de una gallina que tenían patas traseras alargadas, esbeltas y dispuestas verticalmente por debajo del cuerpo, diferentes de las de los lagartos. Como sus pies eran digitígrados, solo apoyaban los dedos y no la planta en el suelo, lo que reducía la fricción al andar y les permitía mayor aceleración y carreras más veloces que sus contemporáneos; y dado que no arrastraban la panza al caminar o correr, su postura se asemejaba más a la de un avestruz que a la de un cocodrilo actual.

Los primeros dinosaurios poseían brazos proporcionalmente cortos, funcionalmente liberados de la locomoción pero probablemente capaces de manipular el alimento. Como lo sugieren sus dientes pequeños y lacerantes, se habrían alimentado con insectos y de otros pequeños animales que conseguirían entre el follaje.

A partir de estos modestos orígenes, los dinosaurios se abrieron paso en los ecosistemas terrestres, aumentaron su tamaño corporal y diversificaron sus hábitos alimenticios, lo que dio origen a formas estrictamente herbívoras al lado de carnívoras. Hace unos 190Ma, a comienzos del Jurásico, la disparidad de tamaño entre los dinosaurios se había incrementado al punto de que formas gráciles y pequeñas de unos 80cm de largo convivían con otras de más de 10m.

Para entonces ya se habían diferenciado plenamente tres grandes linajes dinosaurianos que evolucionarían durante el resto de la era mesozoica: los *terópodos*, bípedos y mayoritariamente carnívoros; los *sauropodomorfos*, de cuello largo, predominantemente cuadrúpedos; y los *ornitisquios*, con muy variados tipos adaptativos. La dieta tanto de sauropodomorfos como de ornitisquios era casi estrictamente vegetariana.

Aparentemente la mayoría de los dinosaurios tuvo piel escamosa o cubierta por escudos, pero hubo otros

Interpretación de la apariencia de *Chilesaurus diegosuarezi*, dinosaurio descubierto en el sur de Chile que llevó a replantear la visión aceptada hasta el momento del árbol filogenético de los dinosauruios. Dibujo Gabriel Lio

(en particular terópodos filogenéticamente emparentados con las aves) con el cuerpo emplumado. En sus inicios las plumas fueron estructuras simples, filamentosas, que evolucionaron hacia estructuras complejas con forma de hoja, como las que hoy conocemos. El gran descubrimiento de los últimos años fue comprender que las plumas estuvieron presentes en los dinosaurios mucho antes de que las aves entraran en escena.

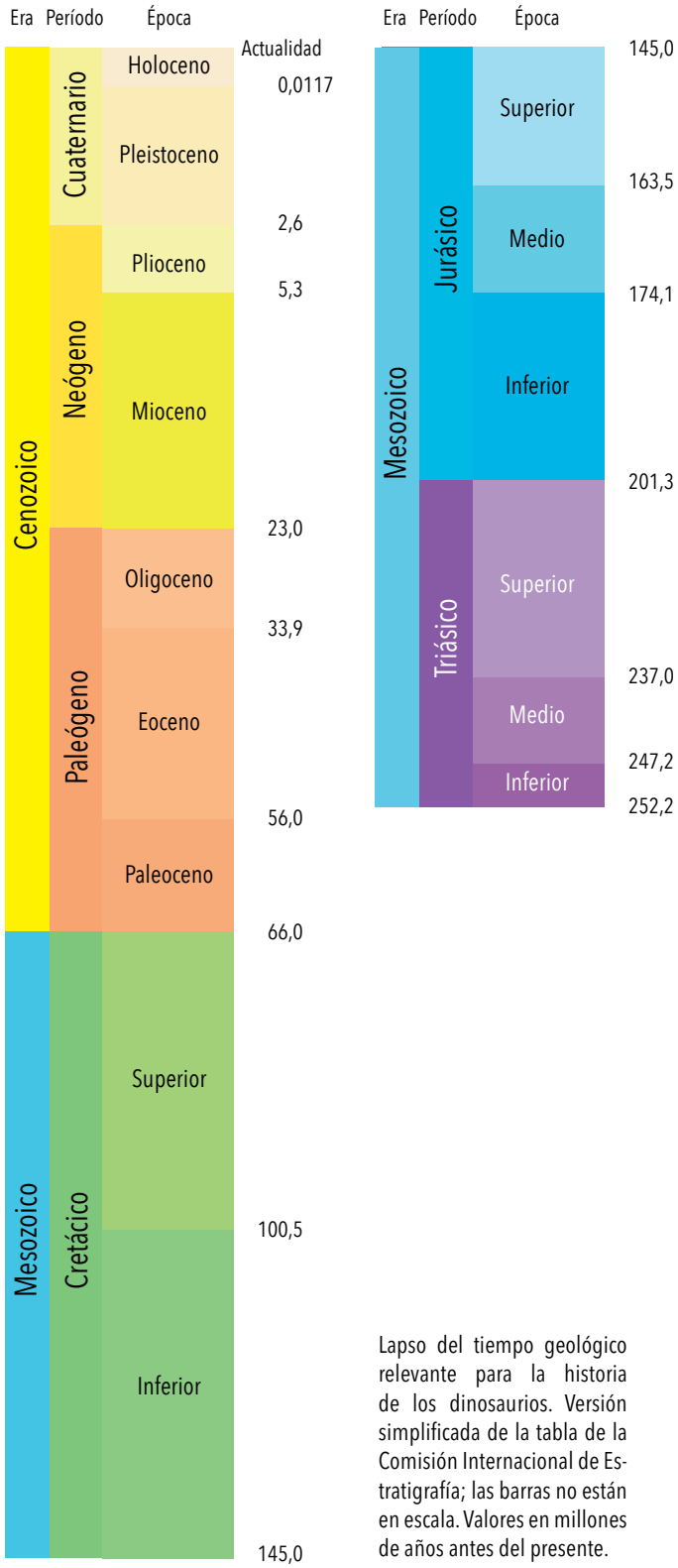
Esa gran diversidad de formas y tamaños adquirida por los dinosaurios a lo largo del Mesozoico se redujo ostensiblemente con la extinción masiva de fines del Cretácico, unos 66Ma atrás. Sin embargo, a partir de un grupo de terópodos pequeños, con cuerpo emplumado y brazos largos y delicados, se originaron las aves, el único linaje de dinosaurios que sobrevive en la actualidad.

América del Sur estuvo poblada por una notable riqueza de dinosaurios, además de otras criaturas prehistóricas como cocodrilos, mamíferos, pterosaurios, tortugas y lagartos. Sus restos fósiles han sido desenterrados, entre otros lugares, en Ischigualasto (San Juan), Talampaya (La Rioja), Bajo de Santa Rosa (Río Negro), Sierra del Portezuelo (Neuquén) y Cerro Los Hornos (Santa Cruz), solo para citar unos pocos yacimientos fosilíferos.

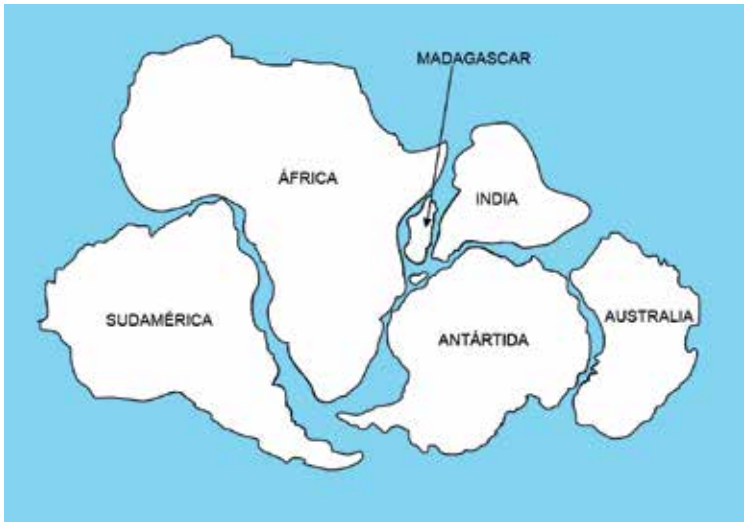
Luego de que en 1883 Florentino Ameghino (1853-1911) revelara por vez primera su presencia en lo que hoy es la Argentina, las noticias de su diversidad no pasaron de un puñado de especies pobremente conocidas. Algunos hallazgos fueron publicados en los *Anales* del Museo de La Plata a fines la década de 1920, pero poco se avanzó durante la primera mitad del siglo XX. A inicios de la década de 1960, con la exploración de rocas triásicas de la formación geológica Ischigualasto, en el Valle de la Luna sanjuanino, ese panorama cambió. Los descubrimientos y estudios anatómicos de fósiles realizados por José Bonaparte, Rodolfo Casamiquela (1932-2008) y Osvaldo Reig (1929-1992) marcaron un punto de inflexión en la historia de la paleontología de dinosaurios en el país y alcanzaron trascendencia internacional.

El trabajo pionero de los nombrados abrió las puertas a una comprensión más acabada de la disparidad adaptativa de los dinosaurios jurásicos y cretácicos del continente sudamericano, a la vez que inspiró a nueva generación de investigadores que fueron principalmente discípulos de Bonaparte. Entre ellos, aun a riesgo de cometer involuntarias omisiones, podemos mencionar a Jaime Powell (1953-2016), Luis Chiappe, Leonardo Salgado, Jorge Calvo, Rodolfo Coria, Rubén Martínez, Diego Pol, Sebastián Apesteguía, Bernardo Gonzalez Riga y Martín Ezcurra, la mayoría investigadores del Conicet, distribuidos en diferentes instituciones del país y en algún caso del extranjero.

El registro sudamericano, a pesar de ser numéricamente menos abundante que el norteamericano, tiene sin embargo importancia para comprender la historia evolutiva global de los dinosaurios: incluye los ejemplares del Triásico más antiguos en el mundo, que brindan información sobre la temprana diversificación del grupo; también abarca notables dinosaurios (y otros vertebrados) jurásicos y cretácicos.



Lapso del tiempo geológico relevante para la historia de los dinosaurios. Versión simplificada de la tabla de la Comisión Internacional de Estratigrafía; las barras no están en escala. Valores en millones de años antes del presente.



Esquema de Gondwana en los inicios de su desmembramiento hacia finales del Mesozoico o comienzos del Cenozoico.

Su riqueza invita al *análisis paleoecológico*, que procura comprender cómo las condiciones ambientales pudieron afectar los patrones de origen, diversificación y extinción de los dinosaurios australes. En rocas cretácicas de la Patagonia se han documentado los dinosaurios más grandes del mundo: constituye un interesante desafío explicar por qué el gigantismo tuvo su máxima expresión en esas tierras y no en otras regiones del globo. Por otro lado, paleontólogos sudamericanos hemos descubierto al extraño *Chilesaurus*, analizado en un artículo de este número, que no encaja cómodamente en ninguno de los linajes conocidos, un hallazgo que se produjo en momentos de un profundo debate internacional acerca de las relaciones filogenéticas de los principales grupos en que se dividen los *Dinosauria*. Y por último, el registro fósil de la Argentina incluye también a terópodos llamados *unenlágidos*, similares a los velociraptores asiáticos, pero con rasgos anatómicos que los acercan filogenéticamente a las aves más primitivas conocidas.

Los fósiles hallados en afloramientos mesozoicos sudamericanos, particularmente en la Argentina, han permitido identificar más de 50 especies de dinosaurios triásicos, jurásicos y cretácicos. En comparación con los descubiertos en otras masas continentales que formaban parte del continente austral Gondwana –África, Antártida, Madagascar, Australia e India– los de Sudamérica están en ventaja en número de especímenes, calidad de preservación y diversidad de especies. La evidencia fósil así generada consiste de esqueletos, huellas, huevos, embriones, nidos y en algunos casos impresiones de la piel.

Estas faunas de dinosaurios, en especial las del Cretácico, muestran importantes diferencias taxonómicas con respecto a las de Norteamérica y Asia. Así, el terópodo *Carnotaurus* exhibe adaptaciones craneanas, vertebrales y de los miembros anteriores que lo convirtieron en un caso único, distintivo de la Patagonia. Bonaparte se percató de que los parientes más próximos del *Carnotaurus* se encontraban en la India, Madagascar y África, y no en Norteamérica y Asia. Examinó otros ejemplos de vertebrados terrestres cretácicos, y constató que el mismo patrón de distribución se aplicaba también a cocodrilos terrestres o *notosuquios*, a los *titanosaurios* y a grupos de mamíferos extinguidos, los *gondwanaterios*. Esto le permitió afirmar, a mediados de la década de 1980, que los dinosaurios y otros vertebrados mesozoicos que habitaron el supercontinente Gondwana sobrellevaron una historia evolutiva muy diferente de aquella acontecida en los continentes boreales. Mientras estos conformaron el hábitat de tiranosaurios y ceratópsidos, Sudamérica fue el hogar de carcarodontosaurios y titanosaurios; y así como Mongolia fue el hábitat de los velociraptores, la Patagonia lo fue de los unenlágidos, que ocuparon aquí un nicho ecológico similar.

En el transcurso de la era mesozoica los dinosaurios compartieron los ecosistemas terrestres con varios grupos de tetrápodos: grandes anfibios extinguidos, ranas, tortugas, lagartos, arcosaurios basales, cocodrilos, pterosaurios, etcétera. En particular, en el transcurso del Triásico convivieron con varios tipos de sinápsidos, algunos herbívoros del tamaño de un cerdo, otros no mayores que un gato doméstico, y otros, en fin –los mamíferos más antiguos–, tan pequeños como una rata. De cuerpo peludo, cerebros desarrollados y refinadas capacidades olfativas y visuales, estos mamíferos triásicos constituyen los más remotos antepasados de los mamíferos vivientes, humanos incluidos. CH

Fernando E Novas
MACN, Conicet

LECTURAS SUGERIDAS

CHIAPPE L & WITMER L (eds.), 2002, *Mesozoic Birds. Above the Heads of Dinosaurs*, University of California Press.

NOVAS F, 2009, *The Age of Dinosaurs in South America*, Indiana University Press.

PAUL GS, 2010, *The Princeton Field Guide to Dinosaurs*, Princeton University Press.

SALGADO L y PASQUALI R, 2001, 'El cómo, cuándo y dónde de los dinosaurios de la Argentina: una reseña sobre las principales especies conocidas y su descubrimiento', Ciencia Hoy, 11, 65: 42-57.

Martín D Ezcurra
Museo Argentino de Ciencias Naturales
Bernardino Rivadavia (MACN)

El amanecer de los dinosaurios

Los dinosaurios fueron, durante aproximadamente 150Ma, el grupo de tetrápodos más abundante y diverso en la gran mayoría de los ecosistemas continentales del Mesozoico (entre hace 252 y 66Ma). El reinado de los dinosaurios se prolonga hoy en las aproximadamente 10.000 especies de aves actuales, que constituyen las únicas integrantes del linaje de los dinosaurios que sobrevivieron a la extinción masiva del Cretácico-Paleoceno hace 66Ma. Entre la gran cantidad de temas que aborda el estudio de los dinosaurios, su origen es uno de los que más novedades trajo en los últimos quince años.

Origen evolutivo de los dinosaurios

Durante la mayor parte del siglo XX predominó la idea de que los dinosaurios descendían de un grupo de reptiles extinguidos, entonces denominados *tecodontes*, y que diferentes grupos de dinosaurios habían evolucionado a partir de distintas formas de esos reptiles. La mayoría de los tecodontes conocidos hasta la década de 1960 eran cuadrúpedos y tenían su cuerpo protegido por placas llamadas *osteodermos*, por lo que recordaban a los cocodrilos actuales.

En 1964 y 1965, Alfred S Romer (1894-1973), paleontólogo estadounidense, lideró exploraciones de rocas de edad triásica (entre hace 252 y 201Ma) en el centro-oeste de la Argentina. Encontró una abundante y desconocida fauna de reptiles en un área que actualmente integra el Parque Nacional Talampaya, en La Rioja, en rocas de la formación geológica Chañares. Sobre la base de los fósiles recuperados, Romer describió en 1971 dos nuevas especies de tecodontes de pequeño tamaño (unos 50cm de largo) con patas largas y gráciles, que nombró *Lagerpeton chanarensis* y *Lagosuchus talampayensis*. Interpretó que eran ancestros de los dinosaurios, pero no conjeturó que podrían ser muy cercanos a estos. En 1972, describió una tercera especie de tecodonte, *Lewisuchus admixtus*, y concluyó que probablemen-

¿DE QUÉ SE TRATA?

Las diferentes ramas del gran árbol de los dinosaurios descienden de un único ancestro del grupo de los antes llamados tecodontes, del cual también se desprendieron los cocodrilos.

Afloramientos de la formación geológica Ischigualasto, en La Rioja, donde se encontraron algunos de los dinosaurios más antiguos del mundo. Foto Lucas Fiorelli

te estuviese relacionado con el origen de los dinosaurios carnívoros.

Desde mediados de la década de 1970 se empezó a aceptar la idea de que los diferentes grupos de dinosaurios habían evolucionado a partir de un único ancestro, y no cada uno independientemente a partir de diferentes grupos de tecodontes. En esa década, José F Bonaparte condujo nuevas exploraciones en las mencionadas rocas triásicas del centro-oeste argentino, en las cuales hallaron ejemplares más completos de *Lagosuchus*, que mostraban rasgos anatómicos muy similares a los de dinosaurios. Esto llevó a Bonaparte a sugerir que *Lagosuchus* era una forma intermedia entre el linaje de los cocodrilos y el de los dinosaurios. A su vez, a partir de la idea de que los dinosaurios descendían de un único ancestro en común, consideró que *Lagosuchus* (o *Marasuchus*, como se llaman hoy la mayoría de los ejemplares de *Lagosuchus*) sería producto de una diversificación de los tecodontes que dio origen a los dinosaurios.

En la década de 1980 se empezaron a utilizar nuevos enfoques conceptuales, como la *cladística*, para establecer las relaciones de parentesco entre organismos. Estos primeros análisis modernos también apoyaron la idea de que los dinosaurios descendían de un único ancestro, es decir, eran un *grupo natural*, y consideraron a los tecodontes como especies precursoras tanto del linaje de los cocodrilos como del de los dinosaurios. Análisis posteriores encontraron que *Lagerpeton*, *Marasuchus* y *Lewisuchus* estaban más cercanamente relacionados con los dinosaurios que con otros reptiles fósiles y, en consecuencia, los consideraron como formas precursoras de los dinosaurios.

Así, se vio a los precursores de los dinosaurios o *dinosauriformes* como animales gráciles, bípedos y carnívoros, restringidos en el registro fósil a rocas más antiguas que aquellas en las que se encontraron los primeros dinosaurios. En 2003, se halló en Polonia una nueva especie bautizada *Silesaurus opolensis*, cercanamente relacionada con los dinosaurios y evidencia de que los precursores de estos habían sido mucho más diversos tanto ecológicamente como en cuanto a su morfología, y además eran de mayor tamaño (unos 2m de largo) de lo que se pensaba. *Silesaurus* poseía miembros posteriores largos y gráciles, como los de *Lagerpeton* y *Marasuchus*, pero la longitud de sus miembros anteriores muestra que era cuadrúpedo. Su dentición estaba adaptada a una dieta herbívora y recuerda la de algunos dinosaurios herbívoros.

Este hallazgo permitió establecer que especies pobremente conocidas de Estados Unidos eran precursoras de los dinosaurios, y no dinosaurios carnívoros como se pensaba. Tales reinterpretaciones no solo incrementaron el número de precursores de los dinosaurios conocidos sino, también, mostraron que esas formas ancestrales habían convivido con estos durante aproximadamente 20Ma en el supercontinente Pangea. En consecuencia, gracias a los descubrimientos de los últimos treinta años, hoy sabemos que un linaje de los precursores de los dinosaurios, los silesáuridos, siguió su curso evolutivo en paralelo y en coexistencia con los primeros dinosaurios.

Los dinosaurios más antiguos

Los restos de los dinosaurios más antiguos conocidos fueron encontrados en el centro-oeste de la Argentina en la década de 1960, en exploraciones lideradas por el biólogo Osvaldo Reig en rocas de la formación geológica Ischigualasto, que afloran en San Juan y zonas cercanas de La Rioja, datadas por medio de elementos radiactivos en hace aproximadamente 231Ma, es decir, rocas del Triásico superior. Desde la década de 1960 se descubrieron en total siete especies diferentes de dinosaurios en la formación Ischigualasto, cuatro halladas o nombradas en los últimos diez años. En rocas aproximadamente coetáneas del sur de Brasil también se encontraron restos de dinosaurios, sobre cuya base se definieron cuatro especies diferentes. En consecuencia, con excepción de unos restos fragmentarios de Zimbabue y una especie muy pobremente conocida de la India, el registro de los dinosaurios mundialmente más antiguos se encuentra hoy limitado a Sudamérica.

Los dinosaurios antiguos tienen entre ellos características anatómicas mucho más similares que las observadas entre los del Jurásico y del Cretácico. De las doce especies encontradas hasta hoy, la mitad corresponde a formas tempranas de sauropodomorfos, animales de cuello largo que alcanzaron tamaños colosales durante el Jurásico y el Cretácico. En contraste con sus descendientes, los primeros sauropodomorfos, por ejemplo, *Eoraptor lunensis* o *Saturnalia tupiniquim*, eran relativamente pequeños (hasta 2m de largo), con miembros gráciles, cuello moderadamente alargado y, en su gran mayoría, con dientes de forma de hoja, indicadores de que su dieta era herbívora u omnívora. *Buriolestes schultzi*, una especie de este grupo hallada en 2017 en Rio Grande do Sul, sin embargo, poseía dientes curvados hacia atrás y dispuestos como una sierra, característicos de una dieta carnívora.

Actualmente se conocen cuatro especies carnívoras entre los dinosaurios más antiguos (*Herrerasaurus ischigualastensis*, *Staurikosaurus pricei*, *Eodromaeus murphi* y *Buriolestes schultzi*). Las dos primeras pertenecen a la familia *Herrerasauridae* o herrerasáuridos, formada por animales bípedos y con garras fuertemente curvadas en las manos, algunos de cuyos ejemplares alcanzaron unos 6m de longitud. Estaban, en consecuencia, entre los principales predadores de sus ecosistemas y rivalizaban en tamaño con las mayores especies del linaje que incluye a los cocodrilos. Algunos de los rasgos anatómicos de los herrerasáuridos recuerdan a dinosaurios carnívoros del Jurásico y del Cretácico, por ejemplo, la conformación craneana, y otros son exclusivos del grupo, entre ellos, una morfología única de la cintura pélvica. En los últimos veinticinco años, esta combinación de caracteres

Afloramientos de la formación geológica Chañares en el Parque Nacional Talampaya, La Rioja, en la que se encontraron varias especies de precursores de los dinosaurios. Foto Léa Leuzinger

generó una extensa discusión acerca de sus relaciones de parentesco que aún no ha logrado consenso.

A un segundo tipo de forma carnívora de los primeros dinosaurios pertenece *Eodromaeus murphi*, descripto en 2011 y procedente de rocas de la formación Ischigualasto del Valle de la Luna, San Juan. El animal medía unos 2m de largo y tenía una conformación corporal similar a la de los sauropodomorfos más primitivos, como *Panphagia*, *Eoraptor* y *Saturnalia*, pero su dentición era típica de formas predadoras. Por último, una de las especies de los dinosaurios más antiguos, *Pisanosaurus mertii*, perteneció a otro gran linaje de dinosaurios, el de los *ornitisquios*, que incluyó formas exclusivamente herbívoras y comprendió a los dinosaurios con cuernos, placas, armaduras y pico de pato, entre otros. Un estudio reciente, sin embargo, argumentó que *Pisanosaurus* no es un ornitisquio sino un precursor de los dinosaurios.

Lo explicado muestra que en la temprana historia evolutiva de los dinosaurios ya se habían diferenciado sus dos principales linajes. Estos eran: (i) los mencionados saurisquios, que se diversificaron en dos linajes, los terópodos, carnívoros, y los sauropodomorfos, herbívoros, y (ii) los ornitisquios.

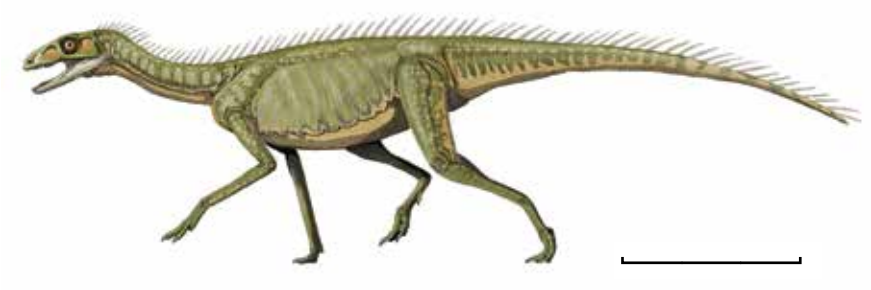
Interpretación del aspecto de *Marasuchus lilloensis*, un pequeño dinosauriforme o precursor de los dinosaurios que vivió en el Triásico superior en lo que hoy es la provincia argentina de La Rioja. La barra que da la escala mide 10cm. Micheal BH, Wikimedia Commons.

Interpretación del aspecto de *Pisanosaurus mertii*, un pequeño dinosaurio antiguo herbívoro cuyos fósiles fueron hallados en 1962 en La Rioja, en rocas del Triásico superior. La barra que da la escala mide 50cm. Michael BH, Wikimedia Commons.

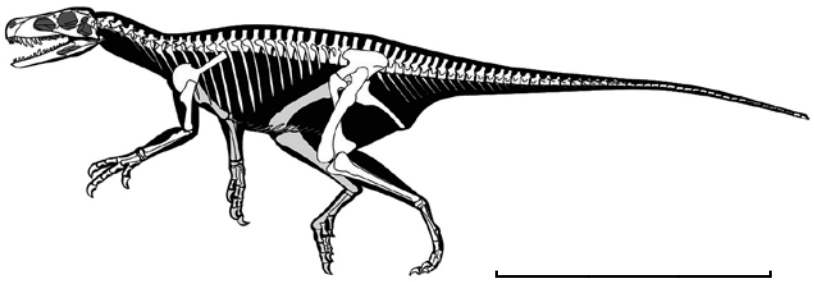
Los ecosistemas de los primeros dinosaurios

Los ecosistemas en los cuales aparecieron los dinosaurios más antiguos estaban numéricamente dominados por *rincosaurios*, un grupo muy especializado de herbívoros distantemente relacionado con los dinosaurios, y por formas ancestrales de los mamíferos llamados *cinodontes*, que trata el artículo 'Cinodontes triásicos y mamíferos en el tiempo de los dinosaurios', publicado en este número. Rincosaurios y cinodontes representaban aproximadamente el 80% de las especies animales de los ecosistemas correspondientes a las rocas más antiguas de Ischigualasto, mientras que los dinosaurios ascendían al 10% de ellas y el linaje de los cocodrilos y formas relacionadas, al 7%. Los datos disponibles hacen suponer que los ecosistemas coetáneos del Brasil y la India eran similares. Más allá de la abundancia relativamente baja de los primeros dinosaurios, es interesante destacar que en su temprana historia evolutiva el grupo se encontraba restringido geográficamente. Las cuatro unidades geológicas que contienen los restos de los dinosaurios más antiguos se ubicaban en esos momentos entre los 40° y 50° de latitud sur, en áreas que entonces tenían climas subtropicales a áridos templado-fríos.

En contraste con los ecosistemas en los cuales vivieron los dinosaurios más antiguos, los de finales del período triásico, entre hace 220 y 200Ma, son los primeros en cuyas faunas aparece un dominio de los dinosaurios, el cual culminaría durante el Cretácico. En los niveles superiores de la formación geológica Los Colorados, en La Rioja, datados hace unos 215Ma, por ejemplo, los dinosaurios alcanzan el 60% de las especies de fauna, un incremento considerable con respecto a Ischigualasto. En otras unidades geológicas continentales de edad similar de Sudamérica, Norteamérica, Europa, África y Asia los dinosaurios también constituyen las formas animales más abundantes de los ecosistemas. En paralelo, los dinosaurios también sufrieron una expansión geográfica, y alcanzaron una distribución global hacia finales del período triásico. Dicha expansión pudo haber sido una de las consecuencias de un cambio climático global conocido como *evento pluvial carniano*.



Interpretación del aspecto de *Silesaurus opolensis*, un precursor de los dinosaurios que vivió hace unos 230Ma, cuyos fósiles fueron encontrados cerca de Opole, en Silesia, y descriptos en 2003. La barra que da la escala mide 50cm. Dibujo Dimitri Bognadov.



Reconstrucción del esqueleto de *Herrerasaurus ischigualastensis*, un dinosaurio saurisquio carnívoro y bípedo que se cuenta entre los más antiguos conocidos. Sus primeros fósiles se encontraron en la década de 1960 en la formación geológica Ischigualasto, en San Juan, en rocas del Triásico superior datadas hace unos 231Ma. Era uno de los más grandes de los dinosaurios antiguos. La barra que da la escala mide 1m.

Competidores y sobrevivientes de extinciones

El registro fósil permite conocer la temprana historia evolutiva de los dinosaurios, pues documenta el origen del grupo, su expansión geográfica y finalmente su dominio de los ecosistemas continentales durante la mayor parte de la era mesozoica. Los procesos ecológicos y evolutivos que constituyen la trama de esta historia han sido muy discutidos, con el resultado de que se plantearon dos escenarios o modelos alternativos: el competitivo y el oportunista.

Durante la mayor parte del siglo XX, estudios llevados a cabo por paleontólogos, como el británico Alan Charig (1927-1997) y el argentino José F Bonaparte, consideraron que el florecimiento de los dinosaurios durante el Triásico había sido la consecuencia de un reemplazo faunístico global de tipo competitivo. En el Triásico inferior y medio (entre hace 252 y 235Ma), en los ecosistemas continentales abundaban tanto grupos distantemente relacionados con los mamíferos como formas lejanamente emparentadas con los dinosaurios y los cocodrilos. El modelo competitivo postula que los dinosaurios superaron a esos grupos de vertebrados durante el Triásico superior por un proceso de competencia entre especies (que duró millones de años).

Entre las ventajas evolutivas que podrían explicar el éxito de los dinosaurios sobre otros grupos contemporáneos de vertebrados se ha sugerido que poseían una capacidad locomotriz más eficiente, con una postura completamente erecta, bípeda y digitígrada (apoyaban su peso solo sobre los dedos y no sobre la planta del pie como los cocodrilos). A esto se ha agregado su *homeotermia* (la capacidad de mantener la temperatura corporal constante independientemente de las condiciones ambientales), que compartían con las aves y los mamíferos, y significaba una fisiología más eficiente que la de los otros grupos mencionados.

En contraste, en la década de 1980 el paleontólogo británico Michael Benton recurrió a un modelo oportunista para explicar el reemplazo faunístico. Hacia finales del Triásico se produjo la extinción de una gran cantidad de grupos de plantas y animales que habían sido muy abundantes y diversos durante ese período. Una primera ola de extinciones produjo la desaparición de los rincosaurios y de muchas especies de cinodontes. Luego, con la extinción masiva del límite Triásico-Jurásico, una de las cinco grandes extinciones que sufrió la vida en la Tierra, desaparecieron numerosos grupos precursores tanto de los cocodrilos como de los dinosaurios. Esta segunda extinción pudo haber resultado de cambios del nivel del mar, de la caída de uno o más asteroides a la Tierra,

Réplica de un cráneo de *Herrerasaurus ischigualastensis*. Adviértase la dentadura, que indica los hábitos carnívoros del animal. Naturmuseum Senckenberg. Foto Eva Kröcher

de una intensa actividad volcánica o de una combinación de esos factores. Benton postuló que el florecimiento de los dinosaurios habría sido consecuencia de la ocupación por ellos de los nichos ecológicos vacantes por la desaparición de una gran cantidad de grupos de vertebrados continentales hacia finales del Triásico.

Los descubrimientos realizados en los últimos veinte años, así como el desarrollo de técnicas más precisas para la datación de las rocas que contienen fósiles, han mejorado nuestro entendimiento de los ecosistemas y de los patrones evolutivos que ocurrieron hacia finales del Triásico. Los cambios climáticos, florísticos y faunísticos del Triásico superior acaecieron en diferentes momentos en los hemisferios sur y norte, y no fueron la consecuencia de un único evento global. A su vez, aunque la primera ola de extinciones mencionada produjo la desaparición de algunos grupos conspicuos, los ecosistemas continuaron poblados por numerosos grupos de vertebrados que competían por los mismos recursos ecológicos que los dinosaurios. De hecho, formas precursoras de los cocodrilos desarrollaron morfologías muy similares a las de algunos grupos de dinosaurios, y lo hicieron de manera independiente de estos, por un proceso evolutivo conocido como *convergencia*. En consecuencia, la primera etapa del florecimiento de los dinosaurios, particularmente de los terópodos carnívoros y los sauropodomorfos herbívoros de cuello largo, hacia finales del Triásico, no se produjo en ecosistemas vacíos. Por otro lado, los grupos del linaje de los cocodrilos descubiertos recientemente, que se diversificaron durante el Triásico superior, desaparecieron con la extinción del límite Triásico-Jurásico, lo que resalta la importancia de este evento en la reestructuración de los ecosistemas continentales hace unos 200Ma. Luego de ese momento, los dinosaurios ornitisquios se diversificaron ampliamente por primera vez y los saurisquios adquirieron una diversidad ecológica y morfológica mucho mayor que la alcanzada durante el Triásico.

Se puede concluir, a la luz de lo anterior, que los dos modelos ecológico-evolutivos planteados para explicar cómo los dinosaurios alcanzaron a dominar los ecosistemas continentales no son necesariamente excluyentes. La primera etapa de expansión geográfica y diversificación temprana del número de especies y morfologías duró aproximadamente 20Ma y transcurrió en ambientes poblados por gran cantidad de formas animales potencialmente competidoras de los dinosaurios. En este momento, la locomoción y posiblemente la fisiología que caracterizaba a los dinosaurios pudo haber desempeñado un papel fundamental en el éxito competitivo que alcanzaron ante los intensos cambios climáticos y ecológicos causantes de la extinción de numerosos grupos de organismos. Pero los efectos de la extinción masiva del límite Triásico-Jurásico parecen haber contribuido a la gran diversificación morfológica y ecológica de los dinosaurios durante el resto de la era mesozoica, que aprovecharon en forma oportunista nichos ecológicos vacantes y se diversificaron en los saurópodos de tamaños colosales, los terópodos gigantes y los llamativos ornitisquios acorazados, con cuernos y con crestas, del Jurásico y del Cretácico. CH

Dientes de *Buriolestes schultzi*, una forma temprana de sauropodomorfo hallada en Rio Grande do Sul. Los dientes curvados hacia atrás y dispuestos como una sierra son característicos de una dieta carnívora. Foto Flavio Lopes, Universidad Federal de Rio Grande do Sul.

LECTURAS SUGERIDAS

BENTON MJ, 1983, 'Dinosaur success in the Triassic: A non-competitive ecological model', *The Quarterly Review of Biology*, 58, 1: 29-55.

BRUSATTE SL *et al.*, 2010, 'The origin and early radiation of dinosaurs', *Earth-Science Reviews*, 101, 1-2: 68-100.

EZCURRA MD y MARTÍNEZ RN, 2016, 'Dinosaurs precursors and early dinosaurs from Argentina', en F Agnolin *et al., Historia evolutiva y paleobiogeografía de los vertebrados de América del Sur,* Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia.

LANGER MC *et al.*, 2010, 'The origin and early radiation of dinosaurs', *Biological Reviews*, 85: 55-110.

Martín D Ezcurra

Doctor (PhD) en paleontología, Universidad de Birmingham. Investigador adjunto en el MACN, Conicet.

martindezcurra@yahoo.com.ar

Ignacio Alejandro Cerda
Universidad Nacional de Río Negro

Mirando gigantes con lupa

La importancia de la paleohistología para el estudio de los dinosaurios

En los restos fósiles de vertebrados queda por lo general preservada intacta la estructura microscópica de los huesos u otras partes duras del animal, lo cual significa que su estudio puede proporcionar una enorme cantidad de información sobre la biología de especies que se extinguieron hace millones de años. La *paleohistología* describe e interpreta la estructura microscópica de los tejidos fosilizados, y si bien tuvo tradicionalmente un cometido secundario en la paleontología de vertebrados, eso se revirtió en las dos últimas décadas, en buena parte, gracias a estudios de tejidos de dinosaurios orientados a esclarecer la fisiología de ese grupo de reptiles.

El tejido óseo de vertebrados vivientes

Pese a su alto grado de mineralización, los tejidos óseos tienen una enorme actividad metabólica, producto del continuo intercambio de fluidos entre sus células y el torrente sanguíneo. La estructura de esos tejidos está ba-

¿DE QUÉ SE TRATA?

El estudio comparativo de la estructura microscópica de tejidos óseos de vertebrados actuales y de especies extinguidas que conocemos por fósiles de sus huesos proporciona indicios para inferir procesos y fenómenos biológicos de los segundos.

sada en una sustancia intercelular llamada *matriz ósea*, que tiene un componente orgánico, mayormente constituido por fibras de *colágeno*, y uno inorgánico, formado por cristales de fosfato de calcio conocidos como *hidroxiapatita*. Las fibras colágenas actúan como la armazón sobre la que se depositan dichos cristales. La matriz generalmente contiene células denominadas *osteocitos*, encerradas dentro de pequeños espacios conocidos por *lagunas* y comunicadas entre ellas mediante prolongaciones alojadas en diminutos conductos llamados *canalículos*. Esas prolongaciones permiten el intercambio de sustancias entre las células óseas y el sistema circulatorio.

Los vasos linfáticos y sanguíneos se alojan en canales del tejido óseo, los *canales vasculares*, unas pequeñas estructuras cilíndricas de unos 0,2mm de diámetro que también suelen albergar nervios. Si se produce destrucción y formación de nuevo tejido óseo, es decir, si tiene lugar un proceso de remodelación ósea, se forman estructuras cilíndricas llamadas *osteonas de Havers* (u *osteonas secundarias*), que contienen uno o más canales vasculares.

La organización e incluso la presencia de las mencionadas estructuras, típicas del tejido óseo, varían por efecto de diversos factores. Por ejemplo, se sabe que el grado de ordenamiento de las fibras colágenas es inversamente proporcional a la velocidad con que la matriz se formó. Algo similar ocurre con los canales vasculares, que son más abundantes y menos ordenados en matrices formadas de manera relativamente rápida. Dichas velocidades de formación de la matriz ósea están directamente relacionadas a las velocidades de crecimiento de los huesos que las contienen, lo que a su vez puede correlacionarse con el crecimiento del individuo.

La información anterior proviene principalmente de estudios de organismos vivientes de diversas especies, pues mayoritariamente el significado biológico de las estructuras microscópicas del tejido óseo no depende de los grupos de vertebrados que las exhiban. Por ello, sobre la base de los animales actuales se pueden inferir los procesos y fenómenos biológicos de vertebrados de los que solo conocemos fósiles (como los dinosaurios extinguidos).

¿Cuánto tiempo vivían? ¿Cómo crecían?

El conocimiento de la edad de los individuos es fundamental para analizar fenómenos biológicos como su maduración sexual, longevidad y tasa de crecimiento. Existen numerosos métodos para establecer la edad de animales vivientes que no pueden ser empleados en organismos fósiles, pero otros son aplicables tanto a estos

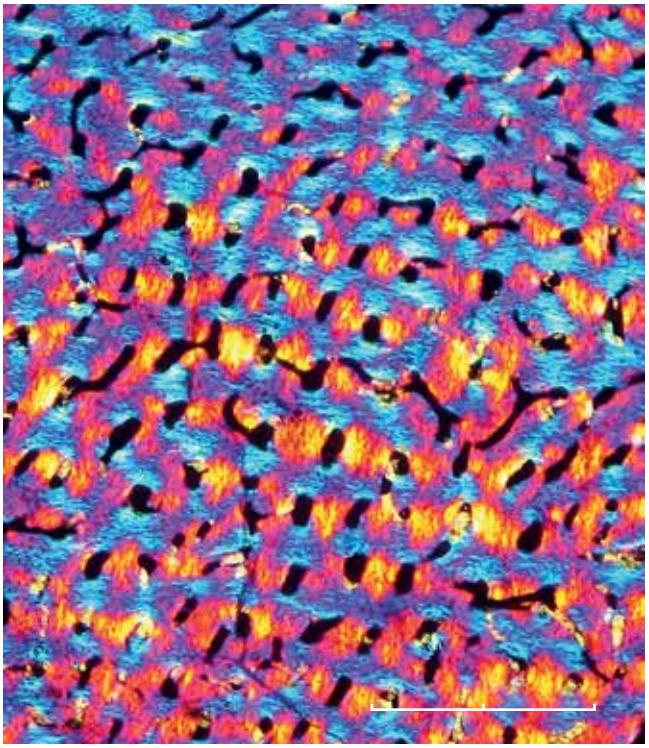


Figura 1. Microfotografía tomada con microscopio y luz polarizada de un corte de fémur fósil del pequeño dinosaurio ornitópodo herbívoro *Gasparinisaura cincosaltensis*, que habitó la Patagonia. Los distintos colores indican la orientación de las fibras de colágeno de la matriz del tejido óseo original: los manchones azules y anaranjados indican sectores en los cuales la dirección de las fibras resultó paralela al plano de corte; los sectores fucsias revelan que dicha dirección era allí perpendicular a ese plano. Las abundantes manchas oscuras, a veces ramificadas, indican los canales que contenían a los vasos sanguíneos y linfáticos. La barra que da la escala mide 1mm.

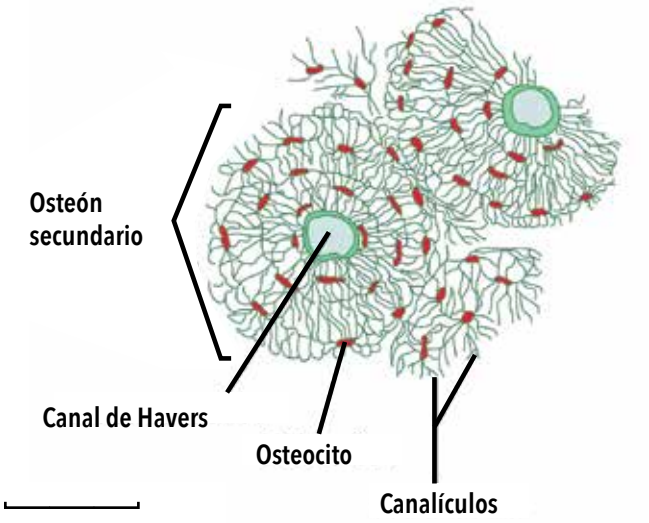


Figura 2. Esquema de un corte de hueso de adulto humano actual. Adaptado de *Gray's Anatomy of the Human Body*, 1918. Las células óseas u osteocitos están encerradas en reducidas cavidades o lagunas interconectadas por delgados conductos o canalículos. Estos permiten el intercambio de nutrientes y desechos con el sistema circulatorio, cuyos vasos sanguíneos y linfáticos corren dentro de los canales de Havers. En otros vertebrados, los patrones de la histología ósea pueden ser distintos. La barra que da la escala indica un décimo de milímetro.

como a aquellos, por ejemplo, contar las marcas de crecimiento que aparecen en sus huesos, que son formaciones del tejido óseo principalmente de dos tipos: anillos anuales o ánulos (técnicamente, *annuli*) y *líneas de crecimiento detenido*.

Esas marcas indican cambios del ritmo de formación de la matriz ósea, e incluso, las segundas, su interrupción total. Que aparezcan en los miembros de un individuo es señal de que el crecimiento de estos –y por extensión de todo el organismo– no fue constante. Comúnmente, las fluctuaciones del crecimiento están sincronizadas con los ciclos de las estaciones, lo que establece un ritmo anual que ha sido comprobado en grupos tan dispares como aves, mamíferos y los reptiles.

En los dinosaurios, la estimación de edad mediante estos métodos de *esqueletocronología* ha permitido inferir el momento en el cual ciertos grupos alcanzaban la maduración sexual, e incluso construir curvas de crecimiento. En la figura 4 se muestra la obtención de una curva de crecimiento de un pequeño dinosaurio ornitópodo a partir de un corte de la parte media de un hueso de uno de sus miembros posteriores, un fémur. El corte revela por lo menos cuatro marcas de crecimiento.

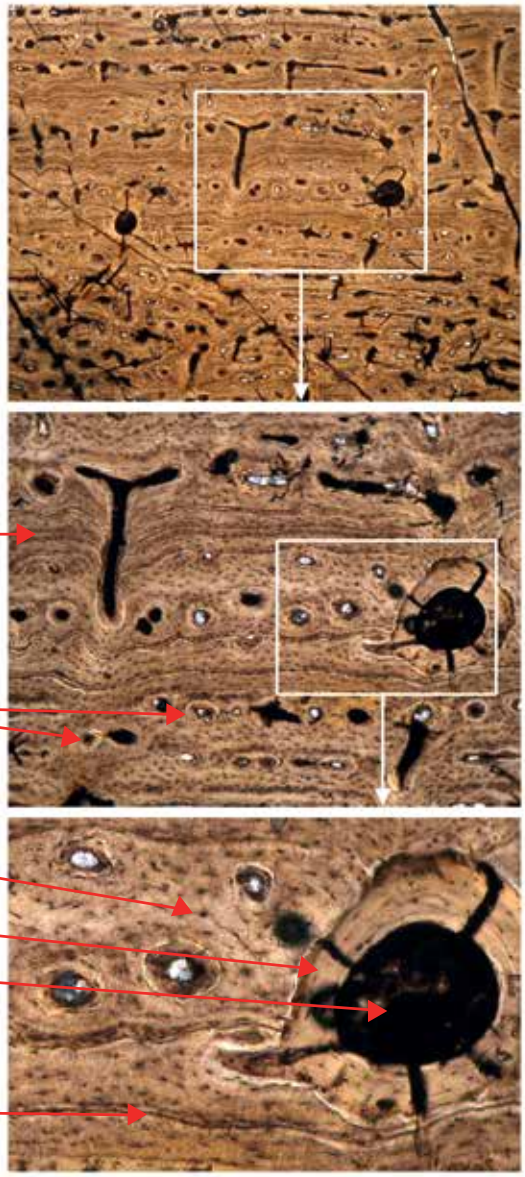


Figura 3. Corte de un hueso fosilizado encontrado en la Patagonia. Corresponde a un miembro posterior de un dinosaurio sauropodomorfo herbívoro llamado *Mussaurus patagonicus*, que vivió en la Patagonia en el Triásico superior, hace unos 215Ma. Se advierte la excelente preservación de las estructuras histológicas, entre ellas ánulos, canales vasculares, líneas de crecimiento detenido, osteonas primarias y secundarias y lagunas de células óseas.

Con el incremento del tamaño de los huesos, aumenta el de la cavidad medular, lo que destruye las marcas dejadas por las etapas más tempranas, pero su número y posición pueden ser estimados, por ejemplo, extrapolando las características de las marcas preservadas o las de cortes de individuos de distintas edades. En la figura 4, las líneas estimadas desaparecidas con la expansión de la cavidad medular se indican en punteado. Además de ser utilizadas para determinar la edad del individuo, esas marcas brindan otra información. Así, la circunferencia de cada una de ellas indica el tamaño de la del hueso en ese momento, el cual permite, a su vez, inferir las dimensiones del animal para cada uno de sus años de vida, puesto que la circunferencia del fémur está relacionada con la masa corporal, y que ese hueso soporta el peso del cuerpo. De esta manera es posible determinar de qué forma crecía el individuo. En el caso del ejemplo, se advierte un crecimiento de tipo exponencial, y que el dinosaurio murió en la etapa más acelerada de su desarrollo.

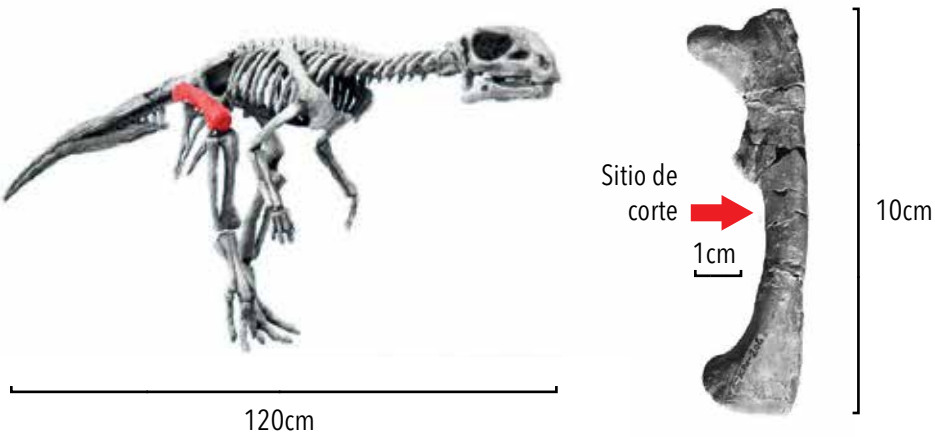
¿A qué edad morían?

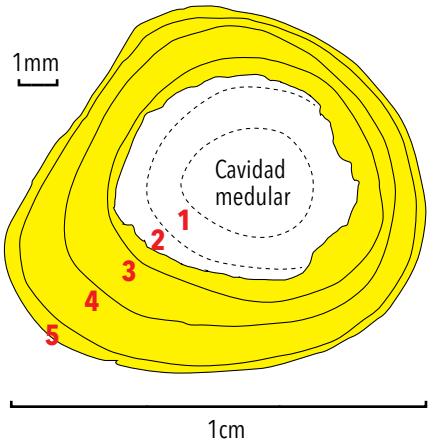
A medida que cursan las sucesivas etapas de su vida –también denominadas *estadios ontogenéticos*– los dinosaurios suelen llamarse embriones, juveniles, subadultos y adultos. Es crucial para el estudio de los fósiles establecer en cuál de esos estadios se encontraba el animal cuando murió. Si bien el sentido común indica que

el primer parámetro a tener en cuenta es el tamaño del ejemplar, ello no se puede aplicar para un fósil de una especie nueva para la ciencia, pues la talla de un adulto (definido como un individuo que ha terminado de crecer) no es conocida. Por otra parte, en algunos grupos de vertebrados la talla es un parámetro poco útil porque no existe en ellos una correlación estricta entre tamaño y estadio ontogenético. A menudo se puede recurrir a características anatómicas como el grado de fusión de partes del esqueleto, por ejemplo, de los componentes de las vértebras. Si bien es un parámetro efectivo, no puede ser empleado para ejemplares de los cuales se dispone solo de algunos pocos huesos fosilizados.

Para despejar estas incógnitas, la paleohistología proporciona una excelente vía de conocimiento, puesto que la microestructura del tejido óseo experimenta una serie de importantes cambios durante el crecimiento de los individuos. Se han encontrado numerosos parámetros adecuados, entre ellos la densidad de canales vasculares, la distancia entre marcas sucesivas de crecimiento, el ordenamiento de las fibras colágenas y –el más utilizado para establecer que un animal había alcanzado la adultez al morir– la formación de una *capa circunferencial externa* o *sistema fundamental externo*, una estructura compuesta por un tejido óseo mayormente carente de canales vasculares, con fibras colágenas altamente ordenadas y, por lo general, con una gran cantidad de marcas de crecimiento fuertemente agrupadas, como lo indica la figura 4.

Un buen ejemplo de la determinación de los estadios ontogenéticos mediante el uso de la paleohistología viene proporcionado por el dinosaurio *Europasaurus holgeri*, que vivió en el Jurásico superior hace unos 154Ma y del que se encontraron fósiles en lo que hoy es el norte de Alemania y en tiempos del animal era una isla. Integró el grupo de los saurópodos, caracterizados por ser enormes (fueron los vertebrados terrestres más grandes que habitaron el planeta), cuadrúpedos, herbívoros, de cuello muy largo y de cabeza reducida. Pero la masa corporal de los individuos de mayor tamaño de *E. holgeri* encontrados se estimó en 690kg, valor extraordinariamente reducido en comparación con las más de 20 toneladas que en promedio tenían los saurópodos. El análisis paleohistológico, sin embargo, reveló que los fósiles de ejemplares de mayor tamaño encontrados co-





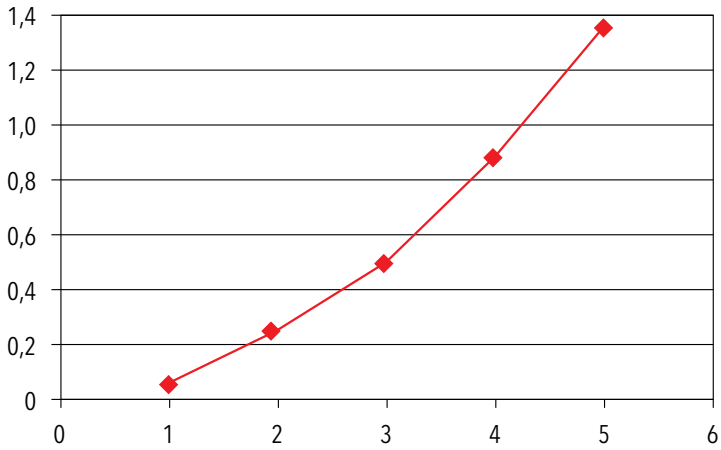


Figura 4. Estimación de la edad y del ritmo de crecimiento de un dinosaurio de la especie *Gasparinisaura cincosaltensis*, cuyo esqueleto reconstruido se muestra en la parte superior izquierda de la figura. El animal medía unos 45cm de largo. Del fémur resaltado en rojo y ampliado en la imagen a la derecha de la anterior se obtuvo por corte una muestra cuyas características indica el esquema amarillo. En este se representan con cuatro líneas continuas las marcas de crecimiento subsistentes en el momento de la muerte del animal, y con tres líneas punteadas las marcas desaparecidas a causa del crecimiento. El número y la distribución de esas marcas permite obtener la curva de crecimiento que muestra el gráfico inferior, en el que el eje horizontal indica la edad del animal en años y el vertical su peso en kg.

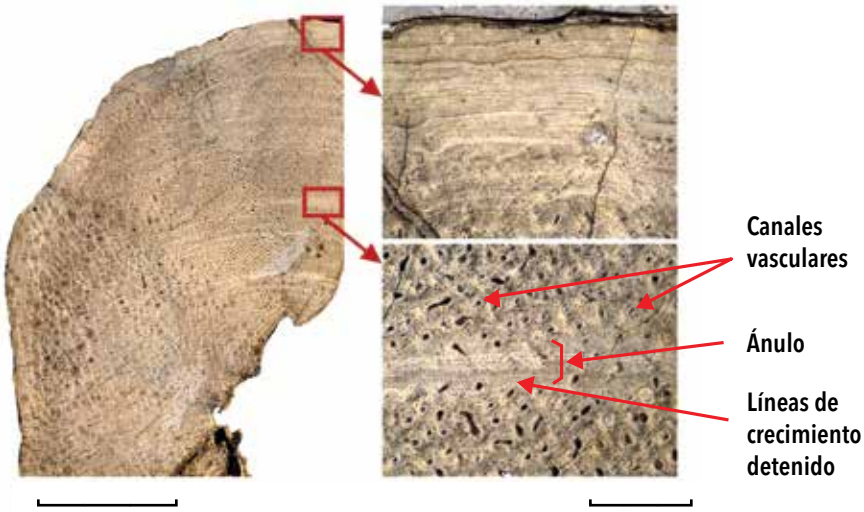


Figura 5. Microestructura del fémur de *Aucasaurus garridoi*, un dinosaurio terópodo bípedo cuyo esqueleto fósil se encontró en Neuquén en estratos del Cretácico superior, que datan de unos 83Ma atrás. Arriba, una réplica del esqueleto del animal montada en el museo Carmen Funes de Plaza Huincul. La especie medía unos 6m de longitud. Entre un fémur y la cola sobresale un hueso de la cadera llamado isquion. Abajo, a la izquierda, un sector de fémur y, a la derecha, microfotografías de cortes del fósil de ese hueso que revelan cómo fue su tejido. En la periferia del detalle superior se advierte gran cantidad de líneas de crecimiento agrupadas en un tejido pobremente irrigado, lo cual revela que al momento de morir se había detenido el crecimiento del individuo. El recuadro inferior muestra un ánulo asociado con una línea de crecimiento, indicación de una pausa estacional de este. El resto del tejido óseo exhibe gran cantidad de canales vasculares, claro indicio de un crecimiento activo durante el período en que se formó esa porción del hueso. Las barras que dan las escalas aproximadas miden respectivamente 2m (arriba), 5mm (izquierda) y 0,5mm (derecha).

rrespondían a adultos y no a juveniles como se podría pensar. Dicha extraordinaria reducción de tamaño corporal fue interpretada como resultado del aislamiento de la especie en una isla.

¿Cómo murieron algunos?

Las enfermedades que afectan el esqueleto de los vertebrados generan, comúnmente, modificaciones importantes en el aspecto de los huesos. Dichas modificaciones resultan útiles, junto con otras líneas de evidencia, para efectuar un diagnóstico de la enfermedad. A la par de las alteraciones anatómicas ocurren cambios histológicos, que también pueden brindar información acerca de la enfermedad. Si bien los estudios de las enfermedades de vertebrados fósiles (llamados de *paleopatología*) datan de hace más de un siglo, la utilización de técnicas *paleohistológicas* en ellos es relativamente nueva, por lo menos para los dinosaurios.

Una enfermedad conocida como osteopetrosis aviana fue recientemente documentada en un dinosaurio sauropodomorfo sobre la base del estudio de fósiles hallados en la provincia de Santa Cruz. Visto con un microscopio, el corte de la porción media de uno de los fémures reveló un tejido poco usual dentro de la cavidad medular (figura 5). La patología, de origen viral, que se identificó por comparación con vertebrados vivientes, produce un engrosamiento anormal de la corteza del tejido compacto de los huesos de los miembros, así co-

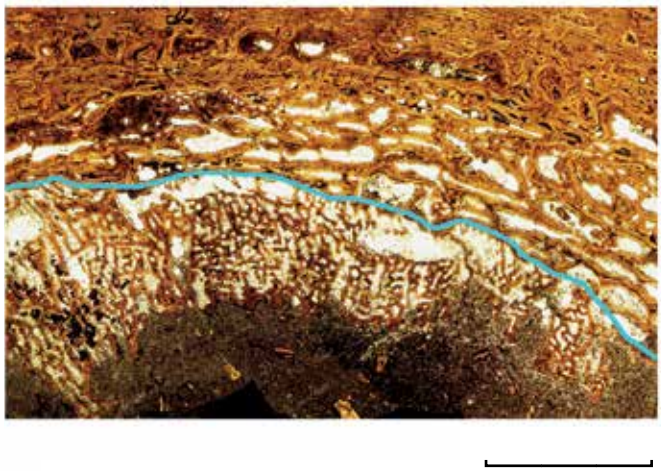


Figura 6. Hueso patológico de *Mussaurus patagonicus.* La figura de la izquierda es un corte trasversal del fémur de un ejemplar adulto, en el cual el recuadro marca la presencia de tejido anómalo en el margen de la cavidad medular. En la figura de la derecha, que amplía dicho recuadro, se advierte que la microestructura del tejido normal (arriba de la línea celeste) difiere de la del anómalo (abajo de esa línea), consecuencia de padecer osteoporosis aviar. Las barras que dan la escala miden respectivamente 5cm (izquierda) y 5mm (derecha).

mo un crecimiento anómalo en la superficie externa de la cavidad medular y dentro de esta (a veces, solo en la cavidad medular).

¿Cómo se formaron sus huesos?

Muchos grupos de dinosaurios se caracterizan por tener rasgos como cuernos o crestas craneanas, así como llamativas placas y púas a lo largo del cuerpo. Quizá uno de las más célebres en la cultura popular sean las placas y púas de *Stegosaurus*, un dinosaurio herbívoro del hemisferio norte que vivió en el Jurásico superior, hace unos 150Ma y del que se han encontrado fósiles en el oeste norteamericano y en Portugal. Tanto las placas como las púas de *Stegosaurus* se corresponden con un grupo particular de estructuras óseas denominadas *osteodermos*, presentes en cocodrilos y armadillos, además de en diversos grupos de dinosaurios.

Corazas de ese tipo se han constatado en los titanosaurios, un grupo de dinosaurios saurópodos que vivieron en el Cretácico superior y cuyos primeros fósiles se encontraron en la India hacia fines de la década de 1870. Un integrante de ese grupo de dinosaurios acorazados fue descubierto en Salta hacia fines de la década de 1970 por José Bonaparte y sus colaboradores, quienes le dieron el nombre de *Saltasaurus loricatus*. El animal poseía por lo menos dos tipos diferentes de osteodermos: unos formados por placas cónicas de alrededor de 10cm de largo, y otros consistentes en placas semiesféricas de diámetros inferiores a 1cm, denominadas *osículos* dérmicos. El estudio paleohistológico reveló que se trataba de porciones mineralizadas de la dermis. Así, los osteodermos formaban una capa gruesa pero a su vez flexible de tejido óseo bajo la piel, y posiblemente brindaban efectiva protección ante el ataque de predadores.

Consideraciones finales

Los ejemplos comentados conforman una pequeña muestra de las cuestiones que la paleohistología contribuye a dilucidar. Al mismo tiempo, la difusión de los estudios de paleohistología condujo indirectamente a la realización de investigaciones sobre histología ósea de vertebrados vivientes, muchas de las cuales se realizan con el propósito de esclarecer la biología de organismos de especies extinguidas.

Una de las dificultades históricas de la paleohistología reside en que, por el carácter destructivo de sus procedimientos tradicionales, que requieren hacer cortes de los fósiles, no es aceptable avanzar con las investigaciones de restos únicos o escasos. Un cambio importante que comienza a difundirse en esta materia es la posibilidad de obtener imágenes por procedimientos como las microtomografías computadas, que no solo conservan la integri-

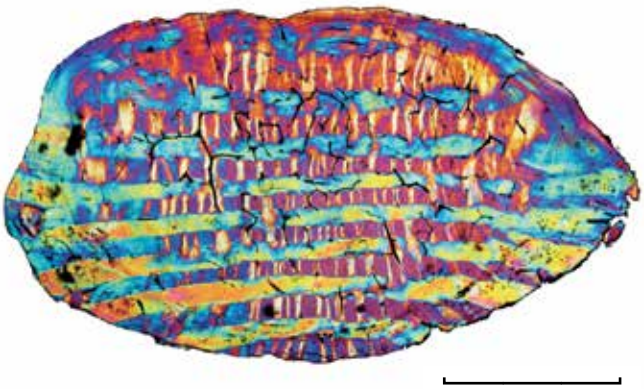


Figura 7. El dinosaurio acorazado *Saltasaurus loricatus*, un saurópodo herbívoro que vivió hace unos 70Ma en lo que hoy es el noroeste argentino (croquis superior), tenía la piel cubierta de formaciones óseas llamadas *osteodermos*, de los que la fotografía del centro, de restos fósiles, muestra un grupo de los más pequeños, denominados *osículos*. La imagen inferior es una microfotografía de un corte de uno de los osículos e indica que estaban formados por gruesos empaquetamientos de fibras colágenas mineralizadas orientadas en distintas direcciones, según lo indican las diferencias de color de la imagen. Las barras que dan la escala aproximada miden respectivamente 2m (arriba), 10cm (centro) y 3mm (abajo).

dad de los restos sino, también, permiten apreciar los tejidos en tres dimensiones, lo cual es muy ventajoso por comparación con los cortes de los especímenes, que muestran las estructuras microscópicas en dos dimensiones.

Pero por el momento las técnicas microtomográficas son de alto costo y solo aplicables al análisis de muestras de tamaño reducido, por lo que los procedimientos tradicionales de corte continúan siendo la mejor opción para los paleohistólogos, aunque se puede esperar que se registren avances que conduzcan a ampliar la posibilidad de la aplicación de las primeras y, con ellos, se extiendan los estudios histológicos de los vertebrados vivientes y los paleohistológicos de dinosaurios y de otros grupos de vertebrados de especies extinguidas. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CERDA IA & POWELL JE, 2010, 'Dermal armour histology of *Saltasaurus loricatus*, an Upper Cretaceous sauropod dinosaur from Northwest Argentina', *Acta Palaeontologica Polonica*, 55, 3: 389-398.

CERDA IA, CHINSAMY-TURAN A & POL D, 2014, 'Unusual endosteally formed bone tissue in a Patagonian basal sauropodomorph dinosaur', *The Anatomical Record*, 297: 1385-1391.

CHINSAMY-TURAN A, 2005, *The Microstructure of Dinosaur Bone*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.

SANDER PM *et al.*, 2006, 'Bone histology indicates insular dwarfism in a new Late Jurassic sauropod dinosaur', *Nature*, 441: 739-741.

Ignacio Alejandro Cerda

Doctor en biología, Universidad Nacional del Comahue. Investigador adjunto del Conicet en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, Universidad Nacional de Río Negro, y en el Museo Carlos Ameghino, Cipolletti.

Fémur de titanosaurio. Museo Egidio Feruglio, Trelew.

Rodolfo A Coria
Museo Carmen Funes, Plaza Huincul

Leonardo Salgado
Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología (IIPG),
Universidad Nacional de Río Negro-Conicet

La diversidad de los dinosaurios herbívoros

El registro paleontológico del actual territorio argentino es de los más abundantes del mundo: abarca la compleja sucesión de *biotas* desplegada por la evolución a lo largo del tiempo desde los primeros atisbos de vida en el planeta. En particular, la diversidad de dinosaurios encontrados en ese territorio es tan enorme como variada. Sus especies abarcan un lapso de la historia geológica que se extiende entre el Triásico superior, hace unos 230Ma, y el final del Cretácico, hace unos 66Ma, cuando todos los dinosaurios –con excepción del linaje que condujo a las aves actuales– desaparecieron. En lo que sigue dejaremos de lado las aves, a las que se dedica otro artículo de este número, y solo nos ocuparemos de un grupo particular de dinosaurios, los herbívoros.

Igual que los actuales, los ecosistemas de la era mesozoica estaban integrados por *organismos productores* y *organismos consumidores*. Entre estos, los dinosaurios herbívoros exhiben mucha mayor diversidad de formas que los carnívoros. Tradicionalmente, los paleontólogos clasifican a los dinosaurios en dos grandes grupos taxonómicos, los *ornitisquios* y los *saurisquios*. Dividen a los segundos, a su vez, en *terópodos*, en su mayoría carnívoros, y *saurópodos*, herbívoros. Los herbívoros solo tienen en común entre ellos –aparte de muy remotos ancestros y de los caracteres que los identifican como dinosaurios– sus hábitos alimentarios. Algunos saurisquios figuran entre los animales de mayor tamaño que hayan existido, cuya característica más saliente, su largo cuello, es una novedad evolutiva del grupo. Su también larga cola, por lo contrario, es un rasgo heredado. A comienzos del período jurásico los *saurópodos*, cuyos ancestros eran bípedos, se volvieron cuadrúpedos, si bien algunos habrían mantenido la facultad de erguirse ocasionalmente sobre sus patas traseras.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Características, evolución y taxonomía de los dinosaurios encontrados en la actual Argentina de un nutrido y variado grupo que habría habitado todas las tierras del planeta, incluida la Antártida.

Por su parte, los ornitisquios fueron más diversos en sus diseños corporales, pues los hubo cuadrúpedos y bípedos, lo cual supone que ocuparon un espectro significativamente más amplio de nichos ecológicos que los saurópodos. Aunque se conocen ornitisquios del hemisferio norte que alcanzaron longitudes superiores a los 10m, los que habitaron en las tierras que hoy son parte de la Argentina por lo general fueron más bien pequeños, con longitudes de entre 2 y 5m. Los más conspicuos rasgos evolutivos que adquirieron incluyen un hueso sin dientes en la punta de la mandíbula, llamado el *predentario*; una articulación de la mandíbula con el cráneo ubicada por debajo de la línea de cierre u oclusión dental y, en ciertos grupos que vivieron a fin del Cretácico, como los *hadrosáuridos* y los *ceratopsios*, baterías dentales formadas por centenares de dientes de reemplazo continuo. De los ornitisquios, hasta ahora se han encontrado en la Argentina abundantes restos de *ornitópodos*, mucho más escasos de *anquilosaurios* y solo algunos de *estegosaurios*.

El período triásico (252-201Ma)

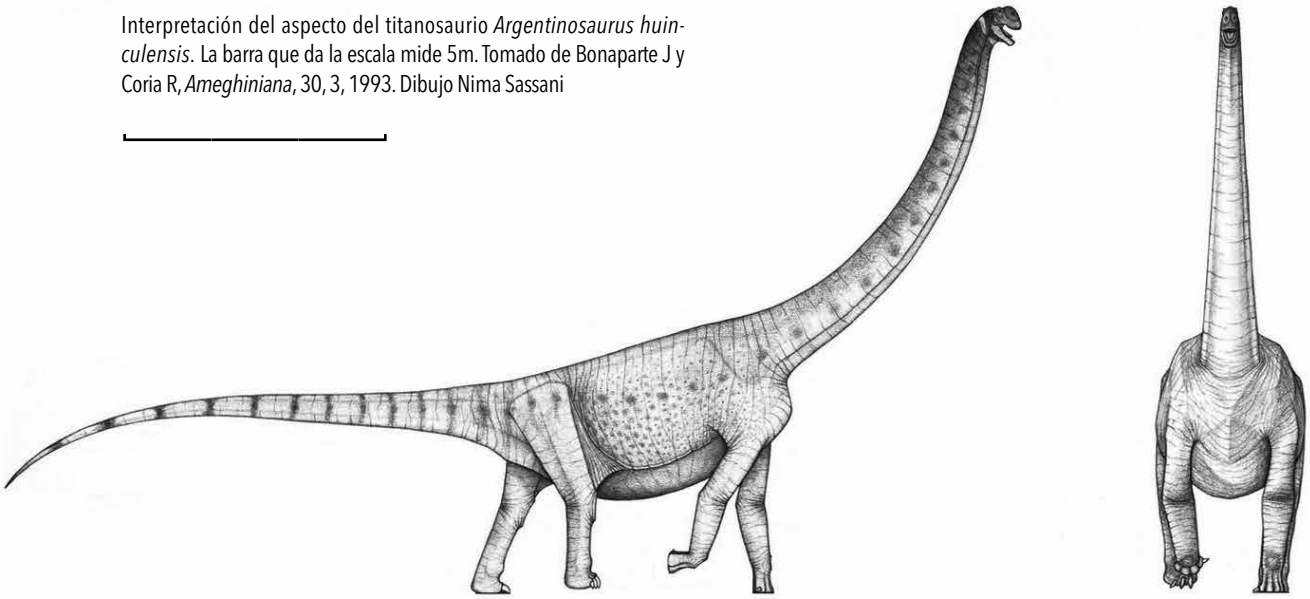
Poco se ha hallado de los ornitisquios antiguos, es decir, triásicos. En el sector de la cuenca geológica San Jorge ubicado en Santa Cruz se encontró un diente en rocas de unos 230Ma que, según algunos autores, sería de un *heterodontosáurido*, un dinosaurio con *dentición heterodonta*, es decir, formada por dientes de formas distintas. Más nutrido, en cambio, es el registro de *sauropodomorfos* triásicos. Son abundantes los más primitivos, denominados comúnmente *prosaurópodos*, entre los cuales se han identificado varios géneros: *Coloradisaurus*, *Riojasaurus*, *Leyesaurus*, *Mussaurus* y otros. Un fósil de hace unos 210Ma considerado prosaurópodo (*Lessemsaurus sauropoides*), encontrado en la formación geológica Los Colorados, La Rioja, y descripto por José Bonaparte en 1999, se tiende ahora a clasificar como saurópodo.

El período jurásico (201-145Ma)

En el Jurásico medio (170-165Ma) los heterodontosáuridos, que estaban presentes desde hacía unos cuantos millones de años, están representados por el género *Manidens*. Este nombre correspondía a un pequeño ornitisquio del tamaño de un perro mediano, del cual se ha encontrado en el área de Cerro Cóndor, Chubut, un esqueleto muy completo, con dentición similar a la de los heterodontosáuridos del Triásico, indicación de que la forma de morder adquirida en ese período se mantuvo en el siguiente. Del Jurásico medio, también, se han encontrado en la Patagonia fósiles de saurópodos primitivos (*Patagosaurus*, *Amygdalodon*), los cuales, sin embargo, presentan enormes diferencias de anatomía dental con los prosaurópodos del Triásico. Mientras que estos tenían por lo general dientes cónicos con bordes cortantes y pequeños dentículos, la dentición de los saurópodos está caracterizada por sus dientes amplios, con forma de pequeñas cucharas con bordes gruesos, semejantes a angostas superficies de desgaste. Esto sugiere que ambos grupos difirieron en sus dietas, ya que distintos dientes indican que no se alimentaban de las mismas plantas.

En el Jurásico superior (164-145Ma) la evolución condujo a que los saurópodos se dividieran en dos grandes grupos, los *macronarios* y los *diplodocoideos*. En territorio argentino, en especial en la Patagonia, se han encontrado los más antiguos integrantes de esos dos grupos: *Tehuelchesaurus*, que pertenece al de los macronarios, y *Brachytrachelopan*, al de los

Interpretación del aspecto del titanosaurio *Argentinosaurus huinculensis*. La barra que da la escala mide 5m. Tomado de Bonaparte J y Coria R, *Ameghiniana*, 30, 3, 1993. Dibujo Nima Sassani



diplodocoideos. El segundo es miembro de la familia de los *dicraeosáuridos*, cuyas formas corporales difieren de las típicas de los saurópodos, pues poseen cuellos cortos dotados de espinas dobles o bifurcadas que se continúan en parte del lomo, y huesos relativamente macizos, con menos cavidades internas que en el resto de los saurópodos (técnicamente, menos *neumáticos*).

En localidades de la Argentina no se han encontrado fósiles de ornitisquios que daten del Jurásico superior, lo que no significa que no los haya, pues es muy probable que los ornitópodos, que fueron ornitisquios bípedos, veloces y livianos, hayan formado parte de la biota terrestre sudamericana de esa edad.

El período cretácico (145-66Ma)

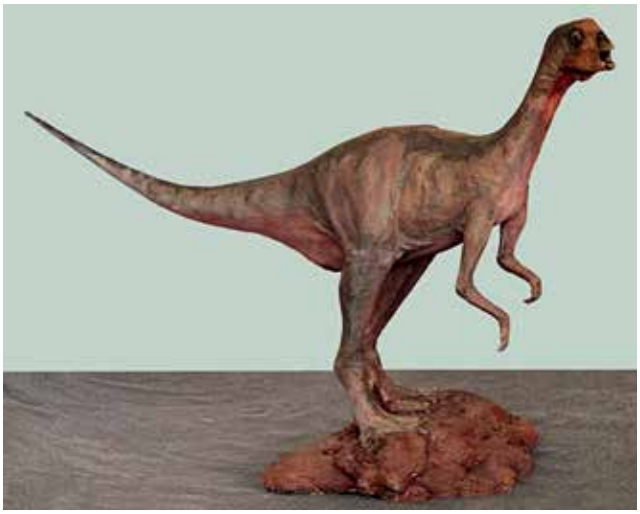
En el Cretácico la situación cambia y el registro paleontológico comienza a mostrar una mayor diversidad de todos los grupos de dinosaurios. Hasta hace pocos años, el Cretácico inferior permaneció esquivo al conocimiento sobre la evolución de los dinosaurios que vivieron en la actual Argentina, en especial en la Patagonia, pero ahora eso es distinto. En Neuquén, en rocas de 130Ma de las formaciones Bajada Colorada y Mulichinco, equipos de paleontólogos dirigidos por uno de los autores de esta nota (Coria) y por Juan Canale están exhumando en estos momentos restos de novedosos diplodocoideos y ornitópodos. Los primeros incluyen un inesperado hallazgo asignado al género *Leinkupal*, saurópodo de la familia de los *diplodócidos*, que se suponía extinguida en el Jurásico y que se caracteriza por tener vértebras altamente neumáticas en la cola.

En los mismos niveles de la formación geológica Mulichinco dicho autor ha encontrado restos de un ornitópodo de tamaño mediano, aún en etapas preliminares de estudio. Determinadas características de la cadera y de los miembros posteriores de ese animal parecen sugerir semejanzas con ciertas formas de Europa. Por el momento ignoramos si estos ornitópodos del Cretácico inferior tuvieron parientes jurásicos en Gondwana.

Montaje de la reconstrucción realizada en 2003 del esqueleto completo de *Argentinosaurus*. El animal habría medido casi 40m de largo y unos 7m de alto, y pesado unas 60 toneladas. Museo Carmen Funes, Plaza Huincul.

Izquierda. Excavación de un dinosaurio saurópodo titanosauriforme en 2014, en rocas de formación geológica Allen, Paso Córdova, Río Negro. De izquierda a derecha, el autor Salgado a cargo de la excavación, Pablo Paniceres, técnico de la municipalidad de General Roca que encontró los restos, y Silvina de Valais, paleontóloga de la Universidad Nacional de Río Negro. Foto Ignacio Díaz Martínez

Derecha. Fémur de un dinosaurio saurópodo titanosauriforme colectado bajo la dirección del autor Salgado en 2014 en rocas de la formación geológica Candeleros, en Chihuidos, Neuquén. La piqueta que da la escala mide 33cm. Foto Leandro Martínez



Interpretación del aspecto que pudo haber tenido el pequeño dinosaurio ornitópodo *Anabisetia*, con unos 2m de largo, 60cm de alto y 20kg de peso. Museo Carmen Funes, Plaza Huincul.

Saurisquios		Ornitisquios
Amargasurus	*Patagosaurus*	*Anabisetia*
Amygdalodon	*Patagotitan*	*Ankylosaurus*
Argentinosaurus	***Prosauropoda***	*Bonapartesaurus*
Brachytrachelopan	*Puertasaurus*	*Ceratopsia*
Coloradisaurus	*Rebbachisauridae*	*Gasparinisaura*
Chubutisaurus	*Riojasaurus*	***Hadrosauridae***
Dicraeosauridae	*Saltasaurus*	***Heterodontosauridae***
Diplodocidae	***Sauropoda***	*Lapampasaurus*
Leinkupal	***Sauropodomorpha***	*Manidens*
Leyesaurus	*Tehuelchesaurus*	*Notohyspsilophodon*
Ligabuesaurus	***Titanosauria***	***Ornitopoda***
Macronaria		*Secernosaurus*
Mussaurus		*Stegosaurus*
Notocolossus		*Talenkauen*

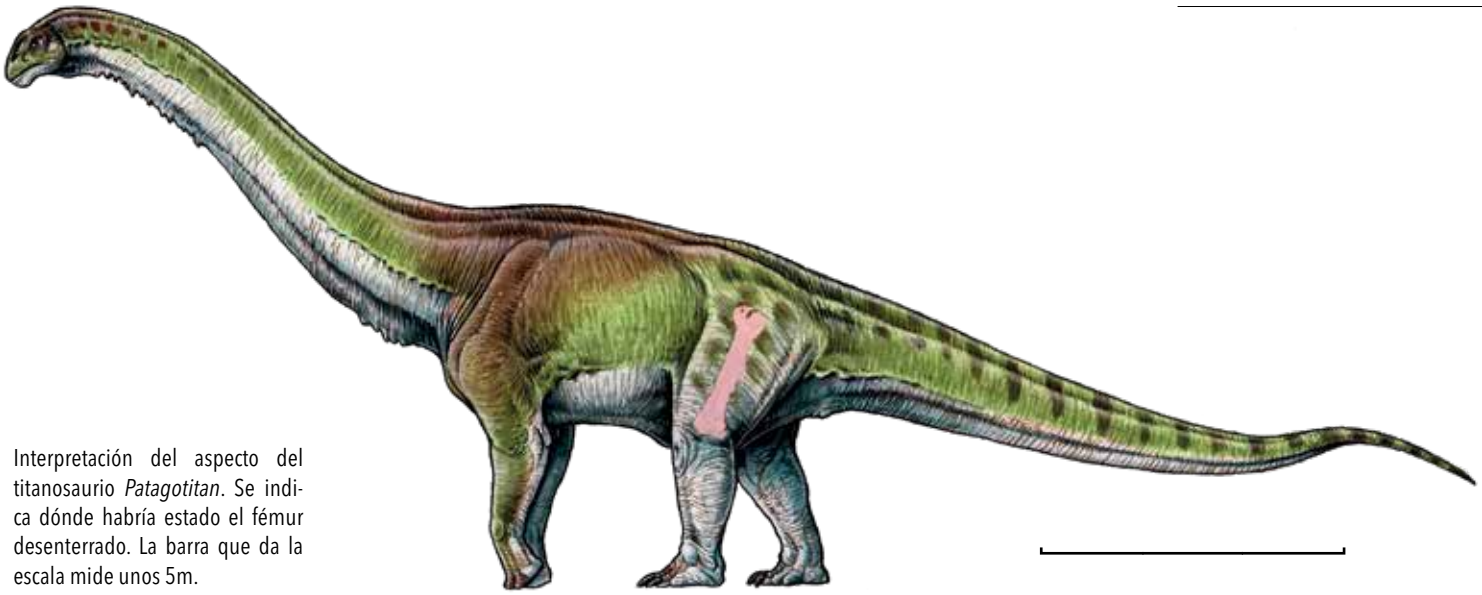
Grupos de dinosaurios mencionados en el artículo. Los géneros están indicados en gris; otros grupos, en negro.

También en Neuquén, en el área de Picún Leufú, en rocas del Cretácico inferior de hace unos 120Ma, José Bonaparte identificó hace casi treinta años uno de los saurópodos más extraños registrados, que recibió el nombre de *Amargasaurus cazaui*, el primer dicraeosáurido hallado de América del Sur. Inicialmente se pensó que se trataba de una rareza, pero hoy sabemos que los dicraeosáuridos fueron más abundantes y diversos de lo que se había creído (ya mencionamos a *Brachytrachelopan*, un dicraeosáurido jurásico de Chubut). *Amargasaurus* poseía vértebras cervicales y dorsales con largas espinas dobles sobresaliendo del cuello y del lomo que podrían haber tenido utilidad defensiva, pues parece lógico que saurópodos relativamente chicos, como los dicraeosáuridos, hubiesen desarrollado alguna estructura con esa función, igualmente propia de las placas de hueso de los *Saltasaurus*.

De la misma localidad que *Amargasaurus* provienen fragmentos de un *estegosaurio*, una peculiar forma de dinosaurio ornitisquio de andar cuadrúpedo y con doble hilera de placas óseas en el lomo y en la cola, relativamente abundante en estratos jurásicos de otras regiones del planeta, pero único en los del Cretácico de Neuquén (si bien se ha hallado otros restos fósiles asignables a ese grupo en la formación geológica Bajada Colorada). Evidentemente, estos dinosaurios tuvieron una historia sudamericana hasta el momento insospechada.

Hace más de cincuenta años, un poblador rural encontró en estratos de la cuenca petrolera San Jorge, Chubut, huesos fósiles de un titanosaurio macronario que recibió el nombre de *Chubutisaurus*. Su antigüedad resultó similar a la de saurópodos excavados en la formación geológica Lohan Cura, Neuquén, por ejemplo, los del género *Ligabuesaurus*.

Los diplodocoideos del Cretácico inferior y de la parte inicial del superior corresponden a un linaje de saurópodos hasta hace pocos años muy pobremente conocido: los *rebaquisáuridos*, cuyos cráneos parecían presentar unas especializaciones que los hacían verdaderamente singulares. Ese grupo es un excelente ejemplo, por lo menos entre los saurópodos, de *evolución vicariante*, es decir de una población que se vio escindida en varias por algún proceso, en este caso, la deriva continental, a partir del cual cada una de las



Interpretación del aspecto del titanosaurio *Patagotitan*. Se indica dónde habría estado el fémur desenterrado. La barra que da la escala mide unos 5m.

Fémur del titanosaurio *Patagotitan*, de unos 2,40m de largo, junto con Pablo Puerta, del Museo Paleontológico Egidio Feruglio de Trelew.

subpoblaciones separadas evolucionó en forma independiente de las demás y terminó constituyendo una nueva especie. Como se advierte que las formas africanas y sudamericanas de rebaquisáuridos son bastante similares, se puede concluir que el tiempo transcurrido desde la separación de ambos continentes no habría sido suficiente para que esos linajes divergiesen significativamente.

El registro de saurópodos del Cretácico inferior no es muy abundante, sobre todo teniendo en cuenta que esa época duró más de 40Ma. En ese lapso solo se han identificado siete especies de saurópodos, de las cuales cuatro son diplodocoideos y tres macronarios, por lo que se puede pensar que ambos grupos eran similares en abundancia. Sin embargo, en la etapa inicial del Cretácico superior, hace unos 95Ma, el registro paleontológico indica que tuvo lugar un significativo recambio faunístico mundial que abarcó varios grupos de vertebrados, terrestres y marinos. En la Patagonia hubo grupos de dinosaurios que se extinguieron, como los diplodocoideos, y otros que prosperaron y se diversificaron, como los titanosaurios. Hasta ese momento, gran parte de estos tenía dientes anchos, mientras otros saurópodos, como los rebaquisáuridos, los tenían en forma de lápices o clavijas. Con la desaparición de los diplodocoideos, los titanosaurios de dientes delgados, hasta ese entonces una franca minoría, se volvieron dominantes, en tanto que los de dientes anchos prácticamente

se extinguieron. Varios investigadores sospechan que esto tuvo que ver con cambios en la flora, entre ellos Jaime Powell, de la Universidad Nacional de Tucumán, quien sugirió que la expansión de las angiospermas o plantas con flores habría afectado la evolución de los dinosaurios ornitisquios, cuyo registro en el Cretácico inferior es escaso.

Entre las numerosas especies de titanosaurios del Cretácico superior están los mayores animales terrestres de todos los tiempos, si bien cuál es el dinosaurio más grande descubierto es asunto abierto a discusión. Lo importante es el desarrollo relativo del tamaño corporal de una especie, más que las medidas de los huesos de un ejemplar. De todas formas, cuatro saurópodos encontrados en territorio argentino encabezan por el momento la lista, en un orden aún por establecer: *Argentinosaurus*, *Puertasaurus*, *Notocolossus* y el recientemente publicado *Patagotitan*. Los cuatro habrían sido verdaderamente enormes, con longitudes por encima de los 35m, y se contraponían con el otro extremo de la gama de titanosaurios, los 'pequeños' *Saltasaurus*, de unos 8m de longitud, con sus huesos neumatizados y sus defensas de placas óseas.

Los ornitisquios del Cretácico superior que habitaron lo que hoy es territorio argentino incluyeron linajes *endémicos*, con ancestros sudamericanos posiblemente jurásicos y especies de ascendencia norteamericana que habrían arribado a latitudes patagónicas por conexiones terrestres ubicadas en lo que hoy es Centroamérica y el Caribe. Entre los linajes endémicos encontramos a ornitópodos de pequeños a medianos, como *Notohyspsilophodon*, *Talenkauen*, *Anabisetia* y *Gasparinisaura*, que responden a un patrón corporal generalizado: bípedos, livianos, posiblemente rápidos, y con una hilera simple de dientes en sus fauces. Entre los de ascendencia norteamericana podemos distinguir dos tipos. El primero es el de los *hadrosáuridos*, más bien pesados y cuadrúpedos, aunque a veces adoptaban un andar bípedo (técnicamente, *bípedos facultativos*). En el actual territorio argentino se han encontrado hasta hoy solo tres géneros de hadrosáuridos: *Secernosaurus*, *Lapampasaurus* y *Bonapartesaurus*, pero en Norteamérica y Asia eran abundantes. Poseían cientos de pequeños dientes apretujados en sus fauces, lo que sugiere una alta especialización alimentaria supuestamente basada en cícadas, palmeras, etcétera. Aparentemente, las latitudes patagónicas habrían favorecido una rápida diversificación (técnicamente, una *radiación*) de estas formas, las cuales habrían convivido con ornitópodos de linajes endémicos como los *gasparinisauros*. El segundo tipo de ornitisquios de ascendencia norteamericana es el de los *anquilosaurios*, cuadrúpedos, acorazados y pesados, de los que tenemos un registro patagónico fragmentario proveniente de rocas de 70Ma, la misma antigüedad que los hadrosáuridos. La flora del Cretácico superior de la actual Patagonia debe haber sido lo suficientemente abundante y variada para sostener la enorme presión ejercida por titanosaurios, hadrosáuridos, pequeños ornitópodos y anquilosaurios.

A modo de síntesis

Hasta donde sabemos hoy, los dinosaurios se originaron en el período triásico. Desde el inicio mismo del linaje habrían existido formas herbívoras de estos animales, como lo sugiere el hecho de que tanto los fósiles de ancestros de ellos, que llamamos *prosaurópodos*, como los escasos fósiles de dinosaurios ornitisquios de ese período que se encontraron poseen claras características dentales indicativas de esa clase de alimentación.

Los dinosaurios protagonizaron una historia evolutiva compleja que acompañó los cambios geológicos y climáticos acaecidos en el planeta a lo largo de 160Ma. La investigación de esa historia y de la interacción de sus aspectos tectónicos, climáticos y biológicos está abriendo ventanas que nos ayudan a vislumbrar de dónde viene nuestro mundo actual y nos proporciona bases para intentar comprenderlo. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CARBALLIDO JL y POL D, 2017, 'Patagotitan, ¿el dinosaurio más grande del mundo?', Ciencia Hoy,, 27, 157: 19-25.

OTERO A y SALGADO L, 2015, 'El registro de *Sauropodomorpha* de la Argentina', *APA Publicación Electrónica* 15, 1: 69-89.

PASSALIA MG *et al.*, 2017 'Cuando las primaveras empezaron a tener flores. La historia evolutiva de las angiospermas patagónicas', Ciencia Hoy, 26, 154: 55-61.

Rodolfo A Coria

Doctor en ciencias naturales, UNLu.
Investigador independiente del Conicet en el Museo Carmen Funes.
Profesor asociado, UNRN.

Leonardo Salgado

Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Investigador principal del Conicet en el IIPG, UNRN.
Profesor titular, UNRN.

Juan I Canale
Museo Paleontológico Ernesto Bachmann, El Chocón

La diversidad de los dinosaurios carnívoros

Esta es una larga historia. De hecho, entre la aparición de los primeros dinosaurios carnívoros no aviares en el Triásico superior, hace 230Ma, y la extinción de los últimos a fin del Cretácico, hace 66Ma, transcurrió más del triple del tiempo que se extiende entre los últimos dinosaurios y el ser humano actual. De toda esa eternidad temporal solo conocemos algunos acontecimientos sobrevenidos en momentos aislados. De ciertos períodos, como el Jurásico, no tenemos más que unos pocos registros. Pero en los últimos años la aparición de piezas faltantes del rompecabezas se ha multiplicado y el panorama se está aclarando.

Los dinosaurios carnívoros pertenecen al grupo de los *terópodos* (si bien se han clasificado como terópodos algunos no carnívoros) y componen un linaje sumamente diverso, en el que ya las especies más antiguas mostraban características anatómicas adaptadas a ese hábito alimentario, como una articulación de los huesos del sector central de la mandíbula que brinda flexibilidad a la mordida, dientes con bordes cortantes y manos poderosas con tres dedos largos provistos con garras afiladas. Fueron los principales animales carnívoros (llamados también predadores o depredadores) terrestres durante la mayor parte del Mesozoico (entre hace 252 y 66Ma), sobre todo en el Jurásico y el Cretácico. Eran bípedos y se mantuvieron así en su larga evolución.

La evolución de los terópodos constituye una de las áreas más prolíficas de la investigación actual de los dinosaurios, debido en gran parte a sus vínculos con las aves modernas, por lo cual buena parte de los esfuerzos se han enfocado en resolver las relaciones filogenéticas o de parentesco.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Características, evolución y taxonomía de los dinosaurios terópodos cuyos fósiles fueron encontrados en el actual territorio sudamericano, los que forman parte de un nutrido y variado grupo que habría habitado todas las tierras del planeta, incluida la Antártida.

El registro fósil sudamericano de dinosaurios terópodos es el más completo y diverso del hemisferio sur, con un elevado número de especies descriptas. Incluso, de varias de estas se han encontrado esqueletos casi completos, por ejemplo, de *Giganotosaurus carolinii*, *Skorpiovenator bustingorryi* y *Aucasaurus garridoi*. Los primeros hallazgos inequívocos que realizaron en lo que hoy es Sudamérica ocurrieron a principios del siglo XX. Así, en 1901, el paleontólogo inglés Arthur Smith-Woodward (1864-1944) describió un terópodo del Cretácico inferior encontrado en Cañadón Grande, Chubut, al que denominó *Genyodectes serus*, nombre aún vigente de una especie de la que se conoce un único espécimen, y de este espécimen solo se halló un sector del cráneo que está hoy expuesto en el Museo de La Plata. Los descubrimientos fueron sumamente escasos hasta mediados de la década de 1960, cuando una nueva generación de paleontólogos, en su mayoría locales, se especializó en este particular grupo de dinosaurios. Hoy hay descriptas alrededor de cuarenta especies de dinosaurios terópodos sudamericanos.

El período triásico (252-201Ma)

Probablemente uno de los sitios paleontológicos sudamericanos más renombrados sea Ischigualasto, popularmente conocido como el Valle de la Luna, en San Juan, cerca del límite con La Rioja y del parque nacional Talampaya. Se trata de un yacimiento excepcional, con cuantiosos vertebrados y plantas fósiles de unos 230Ma de antigüedad, es decir, del Triásico superior. De allí proviene *Herrerasaurus ischigualastensis*, uno de los dinosaurios carnívoros más antiguos del mundo, que medía unos 3m de longitud, estudiado y dado a conocer en 1963 por Osvaldo Reig y comentado en este número en el artículo 'El amanecer de los dinosaurios'. Otros dinosaurios carnívoros de entonces provenientes de San Juan y La Rioja son *Eodromaeus murphi*, *Sanjuansaurus gordilloi* y *Zupaysaurus rougieri*, a los que se suma *Staurikosaurus pricei*, encontrado en el sur de Brasil. Esto hace ver que desde sus comienzos los terópodos fueron un grupo diverso que rápidamente ocupó la posición de máximos predadores de sus respectivos ecosistemas.

El período jurásico (201-145Ma)

Los registros fósiles de terópodos encontrados hasta el momento en Sudamérica en rocas del período jurásico, que es la porción media de la era mesozoica, son escasos comparados con los del resto de esa era. La mayoría de los hallazgos proviene del centro de la provincia de Chubut, de rocas de la formación geológica Cañadón Asfalto, aunque muy recientemente se encontraron fósiles de terópodos jurásicos en Chile (*Chilesaurus diegosuarezi*) y en Venezuela (*Tachiraptor admirabilis*).

José Bonaparte, quien acredita una prolífica trayectoria de investigaciones sobre el Mesozoico, describió en 1979

Paisaje del Valle de la Luna, Ischigualasto, San Juan.

Cráneo de *Herrerasaurus ischigualastensis*, Museo de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de San Juan. La barra que da la escala mide 10cm.

los restos fósiles de *Piatnitzkysaurus floresi*, una forma *basal* de terópodo colectado en rocas de Cañadón Asfalto. En 2009, Diego Pol halló en la misma formación un ejemplar casi completo de un dinosaurio que recibió el nombre de *Eoabelisaurus mefi* y describió en 2012 con Oliver Rauhut, un paleontólogo de la Universidad de Múnich; como su nombre lo sugiere, es un primitivo pariente de los abelisáuridos, un grupo importante y diverso de terópodos cretácicos del que se habla más adelante.

El mencionado *Chilesaurus diegosuarezi* (ilustrado en la página 4 y analizado en el artículo de la página 42), del cual se conoce gran parte del esqueleto, es uno de los más notorios hallazgos recientes de terópodos jurásicos. Muestra características que no permiten incluirlo en ningún grupo de terópodos conocidos hasta el momento, entre ellas, su dentición, la cual hace suponer que se trató de un herbívoro. Si bien se conocen unos pocos terópodos herbívoros, todos corresponden al fin del Cretácico, de modo que este descubrimiento indica que los hubo desde mucho antes, incluso entre los terópodos basales.

Por su lado, el citado *Tachiraptor admirabilis* es solo conocido por unos pocos huesos colectados en rocas del Jurásico inferior de los Andes venezolanos, los cuales, sin embargo, presentan información suficiente como para poder determinar que se trata de un terópodo de tamaño pequeño de gran importancia en la historia de la evolución, ya que aparece como una forma ancestral de todos los terópodos cretácicos.

El período cretácico (145-66Ma)

Nuestro conocimiento de los terópodos cretácicos se circunscribe sobre todo al Cretácico superior, mayormente debido a que se basa en registros provenientes de formaciones de rocas sedimentarias principalmente de la Argentina y el Brasil cuyas edades oscilan entre los 100 y los 66Ma. Los principales grupos de terópodos cretácicos son:

Afloramientos del Cretácico superior, en los alrededores del Chocón, Neuquén.

Abelisauridae

Los abelisáuridos son el grupo mejor conocido de terópodos sudamericanos, con varias especies descriptas, de las que algunas, como *Carnotaurus sastrei*, *Skorpiovenator bustingorryi* y *Aucasaurus garridoi*, son conocidas por ejemplares prácticamente completos. Variaban en tamaño entre los 5 y los 10m de longitud.

La primera especie de abelisáurido formalmente identificada fue *Abelisaurus comahuensis*, nombre dado por Bonaparte y Fernando Novas en 1985 sobre la base de un cráneo incompleto. Sin embargo, *Carnotaurus sastrei*, hallado en rocas del Cretácico superior de la provincia de Chubut, descripto por Bonaparte un año después a partir de un esqueleto completo que incluso preserva impresiones de la piel, sentó las bases para el reconocimiento de los abelisáuridos como un importante grupo de terópodos que habitaron principalmente lo que entonces era Gondwana, el supercontinente que reunía a Sudamérica, África, Madagascar, India y Australia.

Carnotaurus tenía aproximadamente 9m de longitud, un cráneo sumamente corto y –lo más interesante– un par de grandes cuernos óseos en la parte superior del cráneo. Sus brazos eran sumamente reducidos, casi dos muñones que sobresalían de su robusto torso. Probablemente haya sido sumamente veloz y utilizado su cornamenta para derribar a sus presas.

Spinosauridae

Se trata de un grupo de terópodos reconocibles por su cráneo angosto y alargado, semejante al de los cocodrilos. Tenían dientes de sección redondeada, diferentes de los de la mayoría de los terópodos, con forma de cuchillo. El género más conocido de la familia es *Spinosaurus*, del que se conocen varios ejemplares colectados en rocas de 100Ma del norte de África. Uno de sus rasgos llamativos, que explica el nombre, es un alargamiento extremo de las espinas de las vértebras dorsales, que habrían sostenido una vela desplegada a lo largo de la espalda del animal.

En Sudamérica se han hallado por lo menos tres especies de espinosáuridos, de las que se recuperaron restos craneanos en rocas del Cretácico inferior del norte del Brasil. No hay registros certeros de ellos en la actual Patagonia, pero como ausencia de evidencia no es evidencia de ausencia, que no se hayan encontrado no significa que no estén, ya que eso puede deberse a un defecto de registro. En este caso particular, sin embargo, la ausencia parecería corresponder a su distribución geográfica real, ya que coincide con la de otros taxones contemporáneos, entre ellos peces, tortugas, reptiles voladores y grupos adicionales de dinosaurios. Ello ha permitido postular la idea de provincialismos en Gondwana; concretamente, que en ese momento del Cretácico en el norte de África y de Sudamérica la fauna difería de la presente en la Patagonia y Australasia.

Réplica del esqueleto de *Skorpiovenator bustingorryi* en la posición en que fue encontrado. Museo Paleontológico Ernesto Bachmann, El Chocón.

Izquierda. Interpretación del aspecto de *Carnotaurus sastrei*. Se ha estimado que el animal podría haber medido unos 9m de largo y pesado 1,5 toneladas. Museo Paleontológico Ernesto Bachmann, El Chocón.
Derecha. Réplica del esqueleto de *Aucasaurus garridoi*. El animal pudo medir unos 6m de longitud. Museo Carmen Funes, Plaza Huincul.

Carcharodontosauridae

Conforma uno de los grupos de terópodos sudamericanos más llamativos debido a los enormes tamaños que alcanzaron, con formas unos 12m de largo y entre 5 y 6 toneladas de peso. Esto los sitúa entre los predadores terrestres más grandes que hayan existido. Sus registros en nuestro continente se concentran en rocas del Cretácico medio, de hace unos 100Ma, en Neuquén, Chubut y Santa Cruz. La especie más conocida de la familia es *Giganotosaurus carolinii*, descripta en 1995 por Rodolfo Coria y Leonardo Salgado, de mayor tamaño que el famoso *Tyrannosaurus rex*, encontrado en los Estados Unidos.

No es casualidad que en los mismos niveles de roca de los que provienen los carcarodontosáuridos se hallaron fósiles de los más grandes dinosaurios herbívoros, los titanosaurios, tratados en el artículo 'La diversidad de los dinosaurios herbívoros' de este número de Ciencia Hoy. Esto lleva a suponer que entre las condiciones ambientales que permitieron la evolución de esos enormes animales se contaba una productividad primaria –las plantas que alimentaban a los herbívoros– sumamente elevada, mucho mayor que la de cualquier ambiente actual. Y a medida que los herbívoros evolucionaban hacia tamaños enormes, también lo hacían los carnívoros, que por lo menos en parte se alimentaban de ellos.

Megaraptoridae

La especie que le da nombre al grupo, *Megaraptor namunhuaiquii*, se conoce desde hace dos décadas, pero su parentesco con otros terópodos ha sido (y aún es) motivo de discusión. Esto se debe en parte a que sus restos fósiles solo incluyen unos pocos huesos de patas y brazos, y en parte a que no se conocían formas emparentadas hasta hace relativamente poco. Lo más llamativo de los primeros restos colectados es una garra curva y afilada de más de 30cm de largo. En un primer estudio, Novas sugirió con reservas que podría pertenecer al grupo de terópodos *celurosaurios*, que incluye variadas formas, entre ellas los géneros *Tyrannosaurus* y *Velociraptor*.

En 2004 y 2009 se encontraron más fósiles, sobre la base de los cuales se determinó que la mencionada garra pertenecía a una mano del animal, y que este poseía fuertes brazos terminados en tres dedos, dos con enormes garras hipertrofiadas. En 2013, Novas lideró un minucioso estudio comparativo, del que participó el autor de esta nota, el cual concluyó que los megarraptores están más cercanamente emparentados con la familia de *Tyrannosaurus* que con cualquier otro grupo de terópodos. De esta manera se puede decir que durante el Cretácico los megarraptores son los representantes gondwánicos de los tiranosauroideos.

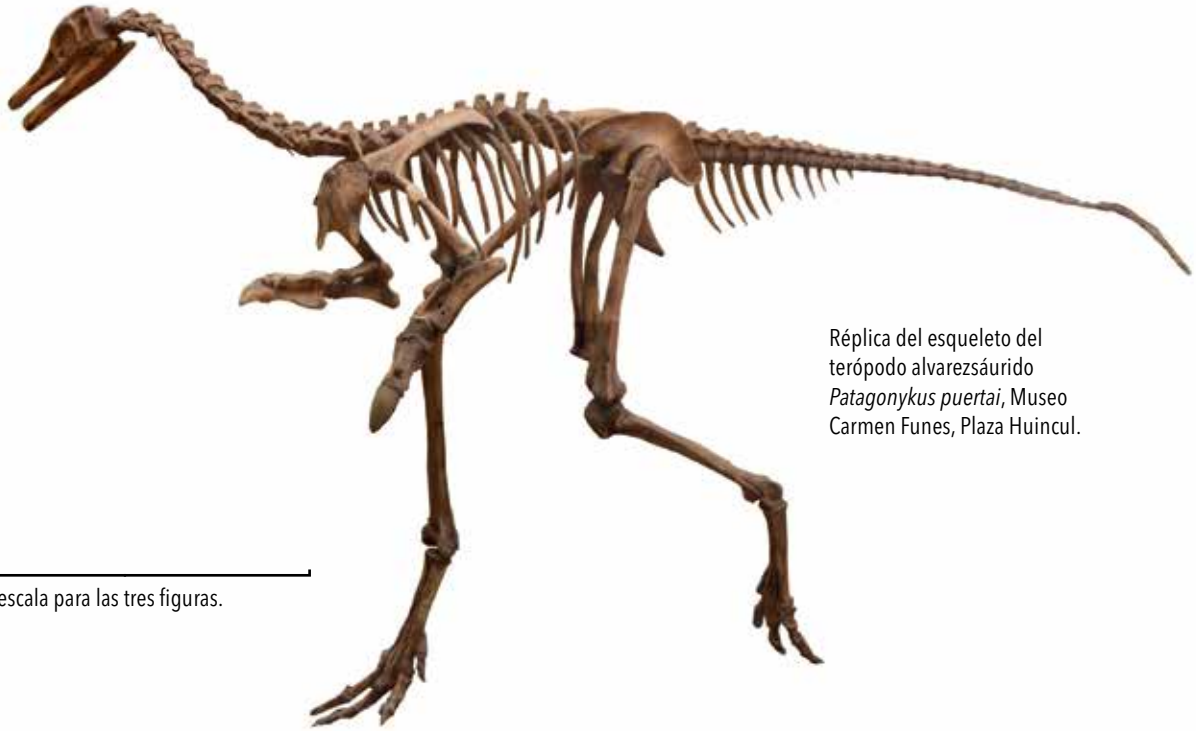
Alvarezsauridae

Uno de los grupos de dinosaurios terópodos sudamericanos más extraños es el de los alvarezsáuridos, animales relativamente pequeños que podrían haber medido entre 1 y 2m. Sus primeros fósiles fueron descriptos por Bonaparte en 1991 y atribuidos a la especie *Alvarezsaurus calvoi*. Como esos restos eran sumamente escasos, no permitieron una buena interpretación de su morfología, pero hallazgos posteriores condujeron a establecer que poseían cráneos relativamente pequeños en proporción al resto del cuerpo, hocicos largos y estrechos, dientes pequeños, relativamente cortos miembros anteriores sumamente robustos y, lo más llamativo, un único dedo funcional en cada mano provisto de una gran garra.

Esta combinación de características llevó a pensar en un modo de vida alejado de los hábitos predadores que se atribuyen a la mayoría de los terópodos y en una dieta

Restos originales del brazo de *Megaraptor namunhuaiquii*, Centro Paleontológico Lago Barreales, Universidad Nacional del Comahue. Adviértanse las garras afiladas sobre la izquierda.

Réplica del esqueleto de *Unenlagia comahuensis*, Museo Carmen Funes, Plaza Huincul.



Réplica del esqueleto del terópodo alvarezsáurido *Patagonykus puertai*, Museo Carmen Funes, Plaza Huincul.

La barra mide 1m y sirve de escala para las tres figuras.

Réplica del esqueleto de *Giganotosaurus carolinii*, Museo Paleontológico Ernesto Bachmann, El Chocón. La barra que da la escala mide 3m.

insectívora. De manera análoga al oso hormiguero actual, los alvarezsaurios podrían haber empleado sus brazos para excavar termiteros y alimentarse.

Unenlagiidae

A mediados de la década de 1990, Novas y Pablo Puerta describieron un pequeño dinosaurio terópodo del Cretácico superior encontrado en la sierra del Portezuelo, en Neuquén, al que llamaron *Unenlagia comahuensis*. En sus restos reconocieron varios rasgos –principalmente en las cinturas escapular y pélvica– semejantes a los de las aves más antiguas. Ello ayudó a reflotar la idea del naturalista inglés Thomas Huxley (1825-1895) de que las aves actuales son dinosaurios vivientes. Huxley formuló esa hipótesis en la década de 1860 a partir del estudio comparativo de dos fósiles desenterrados en Europa: *Archaeopteryx*, el ave más antigua conocida, y el dinosaurio terópodo *Compsognathus*. Sin embargo, durante gran parte del siglo XX su idea sufrió cuestionamientos y existió a la par de teorías alternativas, hasta que, a principios de la década de 1970, el paleontólogo norteamericano John Ostrom (1928-2005) dio un sólido respaldo al cercano parentesco de dinosaurios terópodos y aves mediante argumentos anatómicos y otros derivados del estudio de fósiles de *Deinonychus* (un pariente cercano de *Velociraptor*) encontrados en el oeste de los Estados Unidos.

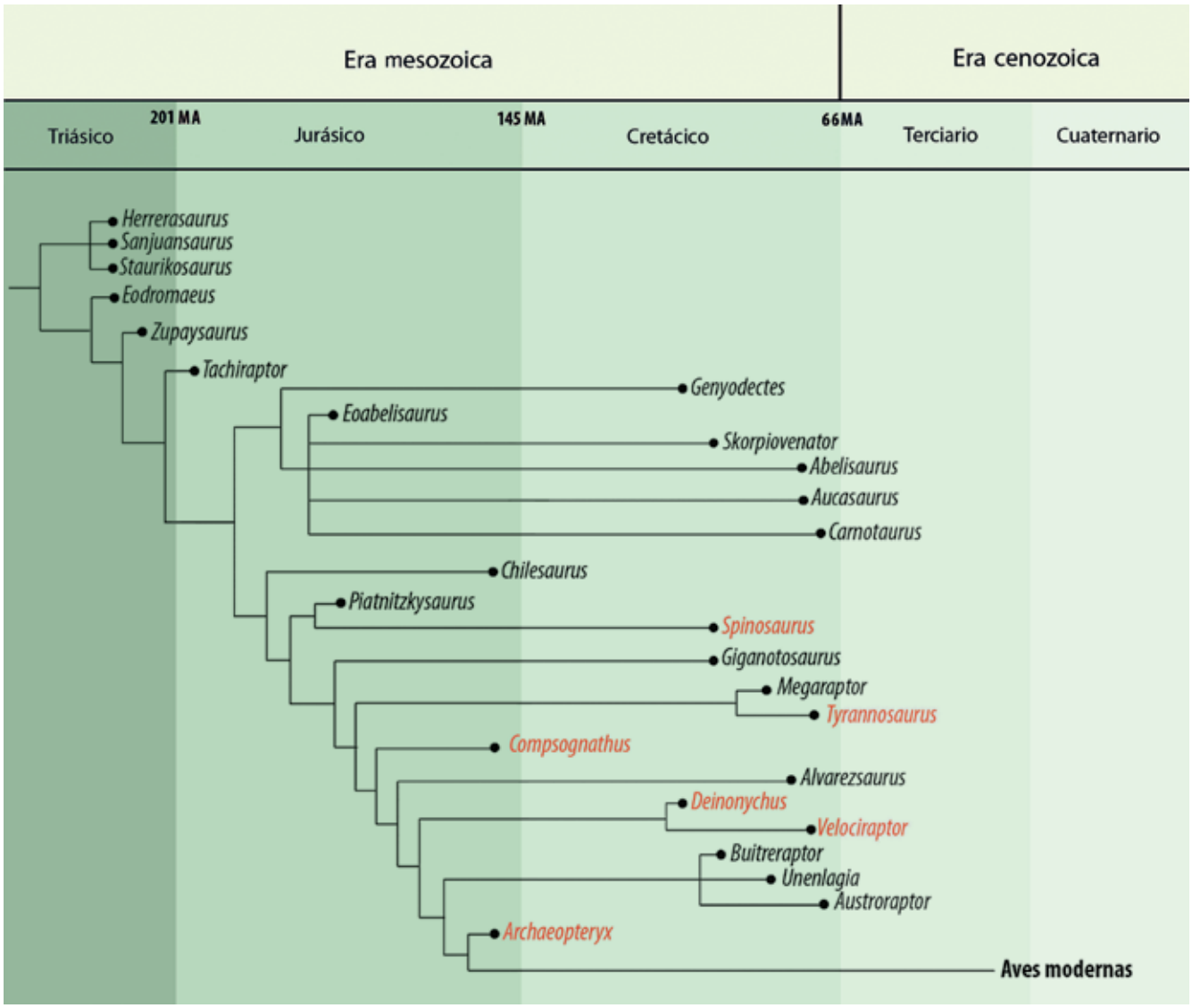
Dientes fósiles de *Giganotosaurus carolinii*, Museo Paleontológico Ernesto Bachmann, El Chocón.

El hallazgo y el análisis de *Unenlagia comahuensis* fueron el inicio de una serie de estudios y descubrimientos, que incluyeron dinosaurios emplumados y aves primitivas, encontrados en su mayoría en China en rocas del Cretácico, que fortalecieron la visión de las aves como dinosaurios vivientes. Hoy la hipótesis alcanzó amplio consenso en la comunidad paleontológica sobre la base de semejanzas de varias líneas de investigación que incluyen el estudio comparativo de huesos, plumas, cáscaras de huevos e, incluso, formas de comportamiento.

Los unenlágidos o raptores de Sudamérica exhiben una interesante diversidad, ya que incluyen formas de menos de 1m de longitud y brazos prolongados, como *Buitreraptor*, hasta otras de alrededor de 6m y brazos proporcionalmente cortos, como *Austroraptor*. Se piensa en estos momentos que es la familia de dinosaurios carnívoros más cercanamente emparentada con las primeras aves.

A modo de síntesis

Esta nota resume el conocimiento actual de los terópodos descubiertos en Sudamérica. No describe to-



Esquema simplificado de las relaciones de parentesco de las especies citadas en el texto. Los esquemas de este tipo se denominan *cladogramas*. En rojo, especies cuyos fósiles fueron encontrados fuera de Sudamérica.

dos los grupos y las especies de estos dinosaurios sino las formas más representativas de un repertorio mucho más amplio y diverso. Nuestro conocimiento sobre estos seres que dominaron los ecosistemas mesozoicos creció exponencialmente en los últimos años. Y, si nos atenemos al importante número de especialistas que trabajan en el tema y a la cantidad y calidad de avances presentados en congresos paleontológicos y publicados en revistas científicas, podemos pensar que hay mucho más por venir. CH

LECTURAS SUGERIDAS

APESTEGUÍA S y ARES R, 2010, *Vida en evolución. La historia natural vista desde Sudamérica*, Vázquez Mazzini, Buenos Aires.

BONAPARTE J, 2007, *Dinosaurios y pterosaurios de América del Sur*, Albatros, Buenos Aires.

GASPARINI Z, SALGADO L y CORIA R (eds.), 2007, *Patagonian Mesozoic Reptiles*, Indiana University Press, Bloomington.

NOVAS F *et al.*, 2013, 'Evolution of the carnivorous dinosaurs during the Cretaceous. The evidence from Patagonia', *Cretaceous Research*, 45: 174-215.

Juan Ignacio Canale

Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Investigador adjunto de Conicet en el Museo Paleontológico Ernesto Bachmann.
Profesor adjunto, UNRN.
juanignaciocanale@hotmail.com

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

Las aves en el tiempo de los dinosaurios

Las aves son los vertebrados voladores por excelencia. Sus miembros anteriores están modificados en forma de alas y llevan largas plumas que les permiten, en la mayoría de los casos, mantener un vuelo sostenido. Debido a sus huesos huecos y relativamente frágiles, las aves fósiles son muy escasas, especialmente en las rocas de la era mesozoica (entre 225 y 65Ma). En Sudamérica esto es especialmente cierto: los descubrimientos de aves son llamativamente pocos y se desconoce casi todo acerca de las aves que convivieron con los dinosaurios. Nuevos hallazgos aún se hacen esperar.

El ave más antigua conocida es la famosa *Archaeopteryx lithographica*, encontrada hacia 1860 en Baviera en rocas del Jurásico de unos 150Ma de antigüedad y descripta por Hermann von Meyer (1801-1869). Ese fósil está hoy en el Humboldt Museum für Naturkunde de Berlín. El animal poseía características tanto de dinosaurios como de aves actuales. Su cuerpo se encontraba cubierto por plumas y sus extremidades anteriores conformaban verdaderas alas, pero también exhibía rasgos reptilianos, como quijadas con filosos dientes, dedos con garras agudas y una larga cola constituida por numerosas vértebras. *Archaeopteryx* constituye una evidencia importante en favor de la hipótesis que concibe a las aves actuales como pequeños dinosaurios emplumados.

Aves arcaicas mesozoicas

La historia conocida de las aves sudamericanas comienza en lo que hoy es el estado brasileño de Ceará hace unos 108Ma, en el período cretácico inferior. Esa

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Hubo aves contemporáneas de los dinosaurios? Las hubo, pero algunos grupos de ellas, en particular el de las *Enantiornithes*, se extinguieron con la desaparición de esos reptiles hace 66Ma y otros, como el de las *Neornithes*, lograron sobrevivir.

Interpretación del aspecto de *Vegavis iaai*, un ave mesozoica moderna de unos 60cm de alto, de hábitos vadeadores, posiblemente ribereña o limícola y capaz de bucear en búsqueda de alimento. Sus fósiles fueron encontrados en la isla Vega, en la Antártida, y datan de tiempos en que dicho continente no estaba cubierto por hielos. En ese momento también vivían allí dinosaurios, como los titanosaurios que muestra la imagen en segundo plano. Dibujo Gabriel Lio

región es célebre por sus fósiles de plantas, peces, insectos y reptiles voladores llamados *pterosaurios*, notablemente preservados, al punto de que algunos guardan patrones originales de coloración.

En dichas rocas se encontró el esqueleto fósil de un ave diminuta (de unos 7cm de longitud sin contar la cola, menos que un gorrión) que fue descripta en 2015 por el paleontólogo brasileño Ismar Carvalho, de la Universidad Federal de Río de Janeiro, junto con colegas del MACN, incluido el autor de esta nota. Recibió el nombre de *Cratoavis cearensis* y quedó clasificada en un extenso grupo de aves extinguidas llamado *Enantiornithes*, exclusivo de la era mesozoica, cuyo sistema de vuelo era muy diferente del de las aves actuales y muchas de cuyas especies retenían caracteres reptilianos, como mandíbulas dentadas o garras en los dedos de la mano.

A lo largo de millones de años las *Enantiornithes* experimentaron una gran diversificación, que culminó en distintos tipos adaptados a una variedad de ambientes. Había entre ellos especies voladoras, buceadoras y vadeadoras; estaban las que se alimentaban de peces, semillas, insectos y vegetales. Dominaron los aires de la mayor parte del Mesozoico, y sus fósiles han sido encontrados en abundancia en todo el mundo, incluso en la Argentina.

A diferencia de otras *Enantiornithes* sudamericanas, de *Cratoavis* se conoce parte de su cubierta original de plumas, incluyendo el álula, un grupo de plumas con musculatura propia, ancladas en el equivalente al dedo pulgar en las aves modernas, que aumenta su maniobrabilidad en el aire. Esto permitiría suponer que el vuelo de las *Enantiornithes* habría sido dinámico y bien controlado.

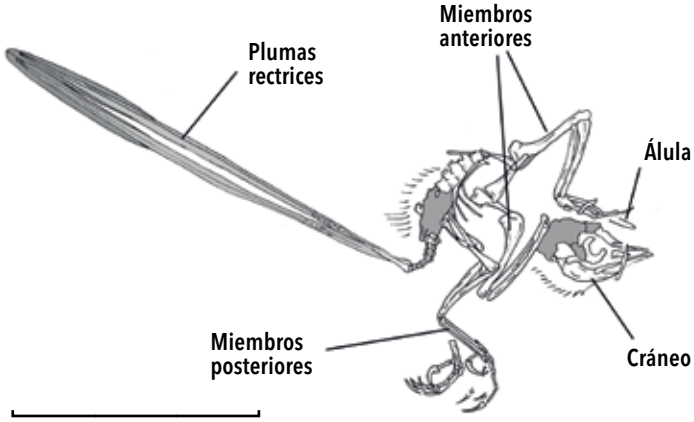
Posiblemente la característica más llamativa de *Cratoavis* esté dada por dos larguísimas plumas rectrices ancladas en la cola, cuya longitud superaba el largo del cuerpo. Eran plumas rígidas, gruesas, con un *cálamo* ancho y *barbas* firmes, lo cual sugiere que habrían tenido una movilidad reducida y sin una función aerodinámica clara. Es un tipo de plumas desconocido en las aves modernas, cuya utilidad, en consecuencia, es difícil determinar. Detalles anatómicos hacen pensar que le ayudarían a mantener el equilibrio cuando el ave se posaba en una rama, como sucede con las largas colas usadas a modo de balancín por algunos primates del presente.

Además, en ambas plumas de la cola se han encontrado cinco manchas marrones formando un diseño particular. Es posible que esas hileras de coloridas máculas indicasen, igual que sucede con muchas aves de hoy –por ejemplo, el pavo real–, que *Cratoavis* tenía un comportamiento de exhibición o cortejo.

En la Argentina se han encontrado fósiles de *Enantiornithes* en diversos lugares, en especial en la estancia El Brete, en el sur de Salta. Sobre la base de restos fragmentarios se han definido géneros, los que recibieron, entre otros, los nombres de *Elbretornis*, *Enantiornis*, *Lectavis*, *Soroavisaurus*, *Martinavis*, *Yungavolucris* e *Intiornis*. En las inmediaciones de Neuquén, en un predio de la universidad, se encontró un esqueleto parcialmente articulado que llevó a definir la especie *Neuquenornis volans*. Del mismo yacimiento se recuperaron otros muchos fósiles de vertebrados, entre ellos, serpientes primitivas, cocodrilos y dinosaurios como *Alvarezsaurus* y *Velocisaurus*. También, abundantes restos fósiles de huevos de *Enantiornithes*, posiblemente del mismo *Neuquenornis*, algunos con embriones osificados en su interior. Recientes estudios encabezados por la paleontóloga Mariela S Fernández, del Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (Conicet), demostraron que estos ponían sus huevos directamente en el suelo, y posiblemente armaban un nido con tierra y barro, como lo hacen hoy los megápodos, aves australianas parientes de las gallinas.

Esqueleto de *Archaeopteryx lithographica*. El ave medía unos 50cm. Foto cortesía Martín Ezcurra

En las aves actuales, la temprana osificación es propia de especies cuyos integrantes abandonan el nido apenas



Fósil del ave mesozoica arcaica *Cratoavis cearensis*, del grupo de las *Enantiornithes*. Fue encontrado en el Brasil y data del Cretácico inferior, hace más de 100Ma. Se advierte que las plumas de la cola superan en longitud al cuerpo. La barra que da la escala mide 5cm.

nacidos y prescinden del cuidado de sus padres. Esos pichones se conocen como nidífugos, un comportamiento primitivo en las aves modernas que, a la luz de los huevos fósiles neuquinos, estaba presente en los *Enantiornithes*.

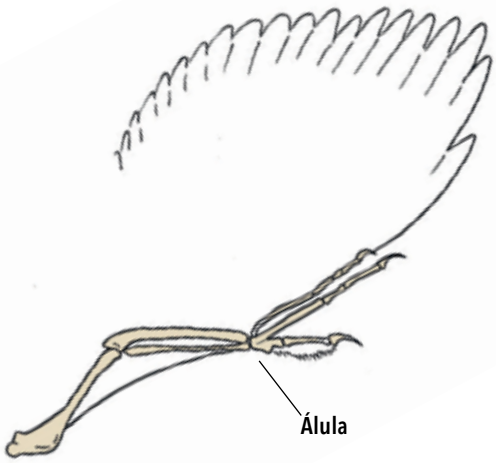
En Sudamérica se han encontrado también restos de aves arcaicas pertenecientes a otros grupos, entre ellas *Patagopteryx deferrariisi*, del tamaño de un pollo doméstico. conocida por varios fragmentos de esqueletos fósiles del Cretácico superior (hace unos 80Ma) hallados en la ciudad de Neuquén. La notoria disparidad de tamaño entre sus extremidades, con alas bien reducidas y miembros posteriores largos y robustos, indica que habría perdido la capacidad de volar, si bien sus ancestros debieron ser voladores, lo que hace pensar que era una especie corredora, como los ñandúes actuales.

Por otro lado, por ser muy diferente de las aves conocidas del resto del mundo, se concluyó que *P. deferrariisi* habría evolucionado en aislamiento geográfico, al igual que otros vertebrados sudamericanos mesozoicos. José Bonaparte interpretó que las *Enantiornithes* y *Patagopteryx* descenderían de un grupo ancestral de aves primitivas que habría evolucionado en Sudamérica por separado de las especies del hemisferio norte.

Aves modernas mesozoicas

El grupo que incluye a las aves hoy vivientes, científicamente conocido como *Neornithes*, incluyó especies que existieron en el Mesozoico, aunque son escasas en el registro paleontológico. Sus restos fósiles usualmente consisten en elementos aislados que poco dicen acerca del aspecto general del animal. Se las llama modernas porque sus rasgos las relacionan con las actuales. Posiblemente el resto más antiguo de un ave moderna del que se tiene hoy noticias provenga de la sierra de Portezuelo, en Neuquén. Se trata de un hueso coracoides incompleto

Álulas en uso por aves actuales. Se las distingue sobresaliendo del borde de ataque o delantero de las alas. Corresponden a un pato silvestre común en el hemisferio norte (*Anas platyrhynchos*) y a un halcón peregrino (*Falco peregrinus*).



Ubicación del álula en el miembro anterior o ala de *Cratoavis cearensis*.

Interpretación del aspecto de *Cratoavis cearensis*. Era un ave pequeña, menor que un gorrión actual, ya que su cuerpo sin la cola medía unos 7cm. Dibujo Gabriel Lio

muy pequeño, que entero habría tenido unos 3cm y que data del Cretácico superior. Recuerda a primitivas gallinas o pavos, indicación de que existían aves modernas diversificadas hace más de 90Ma.

Curiosamente, los ejemplares más completos e informativos de *Neornithes* mesozoicas proceden del continente antártico. Allí, en rocas cretácicas de la isla Vega, se han encontrado varios esqueletos de *Vegavis iaai*, un pariente lejano de aves actuales del orden de los *anseriformes*, es decir, patos y gansos. Uno de los ejemplares se encontró en un perfecto estado de conservación, lo que permitió incluso conocer las características de su aparato fonador y postular que graznaba de manera semejante a los gansos y patos modernos. Se han encontrado igualmente en la Antártida y en Chile fósiles de ancestros de aves actuales de otros órdenes, como los *charadriformes*, que hoy incluye a chorlos, playeros, gaviotas, teros, etcétera, que estarían estrechamente relacionados con *Vegavis*.

El ambiente de la Antártida era entonces muy diferente del actual. Hace unos 70Ma no había casquetes de hielo, las aguas del mar eran menos frías, en tierra prosperaban bosques con helechos donde se desplazaban diversos dinosaurios, entre ellos, *anquilosaurios*, *saurópodos*, *ornitópodos* y *terópodos* carnívoros. En tales ambientes, quizá en cercanías del mar, vivía *Vegavis*, un ave vadeadora de hábitos posiblemente ribereños o limícolas, capaz de bucear en búsqueda de alimento.

Las aves primitivas, en particular las *Enantiornithes*, eran notablemente abundantes y diversas en ambientes continentales, pero eran escasas en los acuáticos, mientras las aves modernas mesozoicas, como el *Vegavis*, estaban casi ausentes de los ambientes continentales y eran frecuentes, incluso dominantes, en ambientes costeros. Para numerosos autores, el origen de las aves actuales habría tenido lugar en costas marinas.

La gran extinción

La mayor parte de los lectores posiblemente conozca la gran extinción de especies ocurrida hacia fines del Cretácico, hace unos 66Ma, que culminó con la desaparición de los dinosaurios (excepto aquellos a cuyo linaje pertenecen las aves del presente) junto con otros grupos de animales y vegetales, incluidos diversos reptiles acuáticos y voladores, e invertebrados marinos como los amonites. La opinión científica mayoritaria cree que fue la consecuencia de la caída de un enorme asteroide en la península de Yucatán.

A pesar de que nuestro conocimiento sobre las aves de entonces es escaso, parece claro que gran parte de las especies mesozoicas desaparecieron por esa causa. Hoy no sabemos de ningún ave primitiva que haya logrado sobrevivir a dicho suceso, ni siquiera alguna de las otrora diversas *Enantiornithes*. De hecho, existen muy escasos restos de aves modernas mesozoicas emparentadas de manera más o menos directa con las aves actuales.

Así, se puede decir que luego de la extinción mesozoica se inició una nueva era en la evolución de las aves. Durante las primeras etapas del Cenozoico, el que sucedió inmediatamente a la gran extinción cretácica, estas parecieron haber experimentado una explosión evolutiva por la que apareció una enorme cantidad de linajes diferentes que desembocaron en la gran mayoría de los grupos de aves vivientes en la actualidad. La desaparición de los grandes dinosaurios y reptiles vo-

Fósil de una extremidad posterior de ave de la especie *Intiornis inexpectatus*, descripta por un equipo en el que participó el autor de esta nota. Fue encontrado en la estancia El Brete, en el sur de Salta, en rocas de unos 70 millones de años de antigüedad. La especie es parte del grupo *Enantiornithes*. La barra que da la escala mide 1cm.

Interpretación del aspecto de *Patagopteryx deferrariisi*, un ave no voladora del tamaño de un pollo doméstico adulto cuyos fósiles fueron encontrados en estratos de hace unos 90Ma en la ciudad de Neuquén. Dibujo Gabriel Lio

Patos siriríes pampas (*Dendocygna viduata*), posiblemente semejantes a *Vegavis iaai* (pág. 36), del que no son descendientes directos. Foto Giselle Mangini

ladores habría posibilitado esa gran explosión y permitido la enorme diversidad de aves del presente.

Desconocemos los factores por los que algunas aves, las modernas mesozoicas, sobrevivieron, y otras, como las *Enantiornithes*, sucumbieron. Recientes estudios de paleohistología indican que las *Enantiornithes* y otros grupos arcaicos habrían tenido una fisiología diferente de la de las aves actuales. Las *líneas de crecimiento detenido* de sus huesos –comparables con los *anillos anuales* de los troncos de los árboles– indican que aquellas habrían crecido por pulsos, con períodos de reposo seguidos por otros breves de crecimiento veloz. En contraposición, en la amplia mayoría de las aves vivientes se produce un crecimiento relativamente rápido y continuo hasta alcanzar la madurez, que generalmente ocurre al año de nacer. También, según algunos investigadores, las aves primitivas no habrían tenido completa capacidad endotérmica, por lo que no habrían podido mantener su temperatura corporal estable. Parecería que una temperatura y un metabolismo constantes habrían permitido sortear condiciones climáticas desfavorables, lo cual, a su vez, explicaría la supervivencia de las aves modernas mesozoicas al cataclismo que concluyó con los dinosaurios.

En síntesis, las aves no solo convivieron con los dinosaurios, sino que fueron abundantes y diversas en la era de estos. Si bien algunos grupos sucumbieron con la gran extinción que puso fin a esa era, otros grupos lograron sobrevivir y dieron lugar a la línea evolutiva a la que pertenecen las aves actuales. En este sentido, los paleontólogos afirman que las aves de hoy son dinosaurios. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BONAPARTE J, 1996, '*Cretaceous tetrapods* of Argentina', en ARRATIA G (ed.), *Contributions of Southern South America to Vertebrate Paleontology*, volumen especial de *Münchner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, 30: 73-130.

CARVALHO I *et al.*, 2015, 'A Mesozoic bird from Gondwana preserving feathers', *Nature Communications*, 6: 7141.

CHIAPPE L, 2007, *Glorified Dinosaurs. The origin and early evolution of birds*, John Wiley & Sons, Hoboken NJ.

CHIAPPE L, 2017, *Birds of Stone: Chinese avian fossils from the Age of Dinosaurs*, Johns Hopkins University Press, Baltimore MD.

CHINSAMY A & ELZANOWSKI A, 2001, 'Bone histology: Evolution of growth pattern in birds', *Nature*, 412: 402-403.

CLARKE JA *et al.*, 2005, 'Definitive fossil evidence for the extant avian radiation in the Cretaceous', *Nature*, 433: 305-308.

CLARKE JA *et al.*, 2016, 'Fossil evidence of the avian vocal organ from the Mesozoic', *Nature*, 538: 502-505.

FERNÁNDEZ MS *et al.*, 2013, 'A large accumulation of avian eggs from the Late Cretaceous of Patagonia Reveals a novel nesting strategy in Mesozoic birds', *PlosOne*, 8, 4: e61030, accesible en *https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061030.*

Federico L Agnolin

Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Investigador adjunto en el MACN, Conicet.
Integrante de la Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
fedeagnolin@yahoo.com.ar

Fernando E Novas
Museo Argentino de Ciencias Naturales
Bernardino Rivadavia (MACN), Conicet
Leonardo Salgado
Instituto de Investigación en Paleobiología y
Geología, UNRN-Conicet
Marcelo Pablo Isasi
MACN, Conicet

Chilesaurus, un rompecabezas evolutivo

Un hallazgo sorprendente en el sur de Chile

En febrero de 2004 el matrimonio de geólogos chilenos formado por Rita de la Cruz y Manuel Suárez estaba explorando los Andes en la región de Aysén con el propósito de relevar los detalles de la formación geológica Toqui, una secuencia de rocas jurásicas datadas hace 145Ma y expuestas en la Patagonia chilena. Esperaban así comprender el origen de las enormes montañas del extremo sur de América.

Los acompañaban su hijo Diego y Macarena, hija de Manuel. En el campamento base, Diego, entonces de siete años, juntaba huesos de vaca como si fueran de dinosaurio, pero una tarde, en el cerro más próximo, encontró pequeños fragmentos de hueso de un verdadero dinosaurio, entre ellos, una diminuta vértebra y una costilla. Fueron los primeros fósiles de vertebrados de Toqui. El día finalizó con una excelente colección de fósiles, los cuales –según ahora sabemos– pertenecen a un extraño dinosaurio terópodo, nuevo para la ciencia, y al que hoy llamamos *Chilesaurus diegosuarezi* como reconocimiento a su joven descubridor.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Relato del descubrimiento y debate científico acerca de las relaciones de parentesco de uno de los dinosaurios más extraños hasta ahora descubiertos, el que permite apreciar que la evolución de estos reptiles fue mucho más compleja que lo imaginado.

Un dinosaurio para armar

Los materiales fueron posteriormente enviados a Buenos Aires con el fin de que los examinara nuestro grupo de trabajo en el Museo Argentino de Ciencias Naturales. Incluían huesos macizos, enormes, de hasta 50cm de diámetro, que indudablemente pertenecían a *saurópodos*, gigantescos dinosaurios cuellilargos, de andar cuadrúpedo y de hábitos herbívoros. Con esos huesos no había dudas en cuanto a su asignación taxonómica, ya que no hay otro grupo de dinosaurios con huesos semejantes en forma y tamaño. Sin embargo, la amplia mayoría de los elementos colectados pertenecía a dinosaurios mucho más pequeños, de un tamaño que cabía dentro de un morral. Evidentemente no eran de saurópodos, sino que pertenecían a otros linajes de dinosaurios. Pero ¿a cuáles?

Desparramamos en el museo la formidable colección de fósiles de Aysén sobre una gran mesa con el fin de ordenar los huesos de acuerdo con su posición en el esqueleto. Correspondían a animales cuyos tamaños variaban desde el de un pavo al de un avestruz, y el aspecto anatómico de los huesos nos hacía sospechar que pertenecían a tres linajes diferentes de dinosaurios: los *terópodos*, ágiles depredadores bípedos con garras lacerantes en sus manos; los *ornitisquios*, de dieta herbívora, algunos de andar cuadrúpedo y otros bípedos, y un tercer grupo, filogenéticamente relacionado con los saurópodos, que los paleontólogos informalmente llamamos *prosaurópodos*, unos dinosaurios primitivos que prosperaron hacia fin del período triásico (hace aproximadamente 200Ma) y se extinguieron a principios del Jurásico. Estos últimos se caracterizaban por tener cuellos gráciles y alargados, pies anchos, tobillos de construcción primitiva y dieta herbívora.

La fragmentaria asociación de dinosaurios terópodos y ornitisquios que –en un comienzo– creímos reconocer para Toqui no difería de manera significativa de lo encontrado en otras localidades del Jurásico superior, tales como Tendaguru (en Tanzania) o Morrison (en el oeste norteamericano). Después de todo, durante el Jurásico los continentes estuvieron unidos en dos grandes bloques o supercontinentes: Laurasia al norte y Gondwana al sur, parcialmente separados por el mar de Tethys. Así, los animales y las plantas eran capaces de dispersarse sin mayores dificultades entre puntos distantes del planeta, con el resultado biológico de una fauna de dinosaurios relativamente uniforme en todo el mundo jurásico. Las cosas resultaban claras con esta interpretación, salvo la inusual presencia en Toqui de huesos de prosaurópodos, que no condecía con la datación del Jurásico superior de las rocas del sur de Chile en que fueron hallados.

Una piedra de Rosetta jurásica

La abundancia y el excelente estado de preservación de los fósiles de Toqui nos hicieron pensar que el yacimiento chileno debía contener más materiales con los cuales poder explicar la contradicción indicada en el párrafo precedente. Además, entre las bolsas de materiales reconocimos una roca, no más grande que un puño, en la que se preservaban en perfecta articulación parte de una columna vertebral de un pequeño dinosaurio y huesos de los brazos plegados sobre el pecho en posición de descanso. Esto nos empujó definitivamente a organizar una expedición

De izquierda a derecha: Manuel Suárez, de la Universidad Andrés Bello, Santiago de Chile, con Marcela Milani y Nicolás Chimento, del MACN, en plena búsqueda de fósiles en la región chilena de Aysén.

paleontológica a Aysén, pues indicaba que allí las rocas de la formación Toqui encerraban esqueletos completos a la espera de ser descubiertos.

Partimos en enero de 2010 para encontrarnos con Suárez y su equipo. Los resultados obtenidos en esa primera expedición conjunta fueron sumamente alentadores: varios esqueletos articulados de pequeños dinosaurios, unos yaciendo vientre abajo y con el cuello extendido hacia adelante, otros con los brazos plegados bajo el pecho, y algunos con los brazos extendidos a los lados del cuerpo.

De regreso en Buenos Aires comenzamos a preparar los especímenes en el laboratorio con la convicción de que habíamos colectado fósiles tanto de terópodos como de ornitisquios. Sin embargo, cuando el más completo de los esqueletos colectados quedó finalmente preparado, advertimos que todos los restos correspondían a una única especie de dinosaurio. En otras palabras, la fauna entera de pequeños dinosaurios que habíamos imaginado al comienzo de nuestro estudio se había transformado en una especie única, desconocida hasta entonces. Este fue un momento de enorme entusiasmo en nuestra investigación. El esqueleto que habíamos descubierto fue la piedra de Rosetta que brindó las pistas para organizar todos los huesos que desde hacía meses teníamos desparramados sobre la mesa del laboratorio. En ese momento quedó claro que los grandes y los chicos correspondían a diferentes etapas del crecimiento de los animales de esa nueva especie.

Un dinosaurio desconcertante

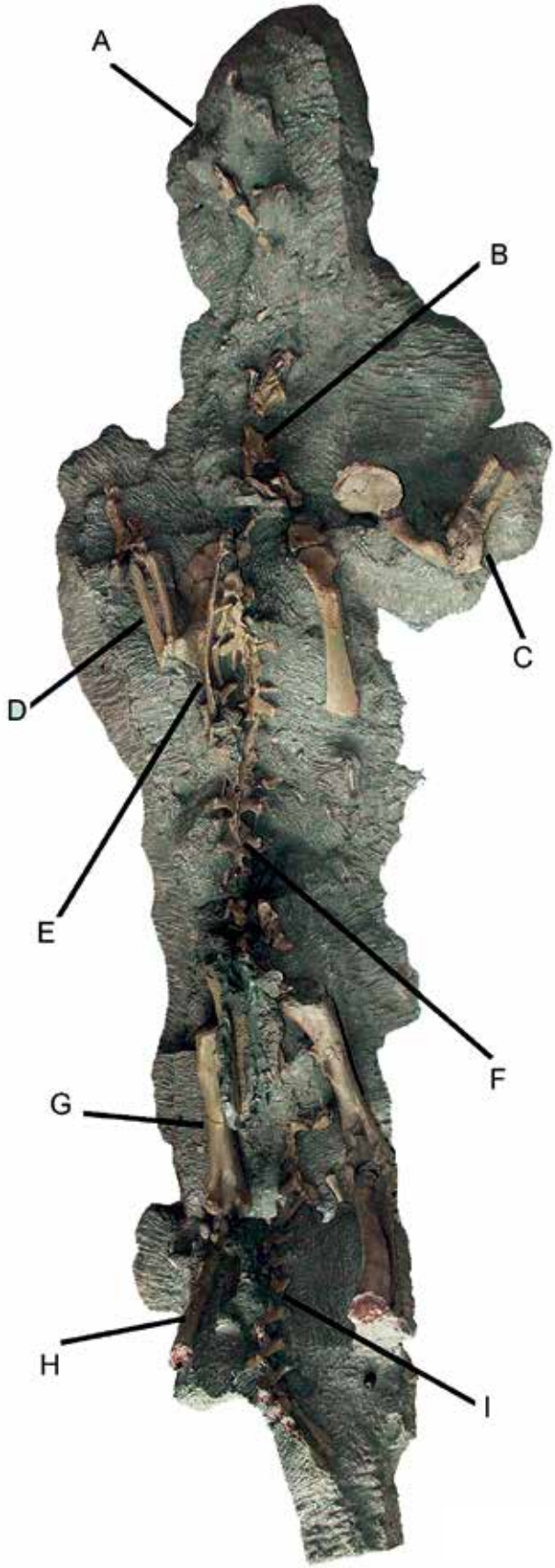
La nueva criatura de los Andes chilenos reunía caracteres de tres grupos claramente distintos de dinosaurios: los terópodos, los sauropodomorfos y los ornitisquios. Los caracteres de terópodo se apreciaban en las vértebras del cuello, provistas de perforaciones (llamadas *pleurocelos*) a ambos lados de sus cuerpos, lo mismo que en el hueso superior de la cadera (el ilion) y en la tibia, cuyas articulaciones aparecían modificadas en su extremo inferior para encastrar con los huesos del tobillo. Además, el pie aparecía con el primer metatarso reducido. Los rasgos de ornitisquio

consistían en la rotación hacia atrás del hueso pubis, el cual aparecía paralelo al hueso isquion y creaba así mayor espacio para albergar intestinos más largos, aptos para procesar alimentos vegetales. Finalmente, los caracteres que lo asemejaban a los sauropodomorfos incluían la robusta construcción de las mandíbulas, portadoras de dientes en forma de hojas y con bordes aserrados, la primitiva construcción de los huesos del tobillo y un pie muy ancho conformado por cuatro dedos, lo que recuerda a los pies de los famosos prosaurópodos del Triásico tanto de la Argentina como de Europa, entre ellos, el *Riojasaurus* y el *Plateosaurus*.

Tal particular mezcla de rasgos osteológicos, ausente en cualquier otro dinosaurio conocido, ofrecía sobradas razones para nombrar una nueva especie: *Chilesaurus diegosuarezi*. Pero de inmediato surgió la pregunta sobre sus relaciones de parentesco: ¿era un prosaurópodo, un ornitisquio o un terópodo?

Por su condición de herbívoro, su pubis girado hacia atrás y sus patas traseras con pies transversalmente anchos, pensamos que *Chilesaurus* podría ser un ornitisquio o un prosaurópodo. Para analizar esta suposición nos basamos en trabajos sobre sauropodomorfos primitivos publicados por Diego Pol, del Museo Egidio Feruglio de Trelew, y Alejandro Otero, del Museo de La Plata. Sin embargo, los resultados del estudio mostraron que *Chilesaurus* no pertenece a ninguno de esos linajes de herbívoros, sino que estaría emparentado con los terópodos.

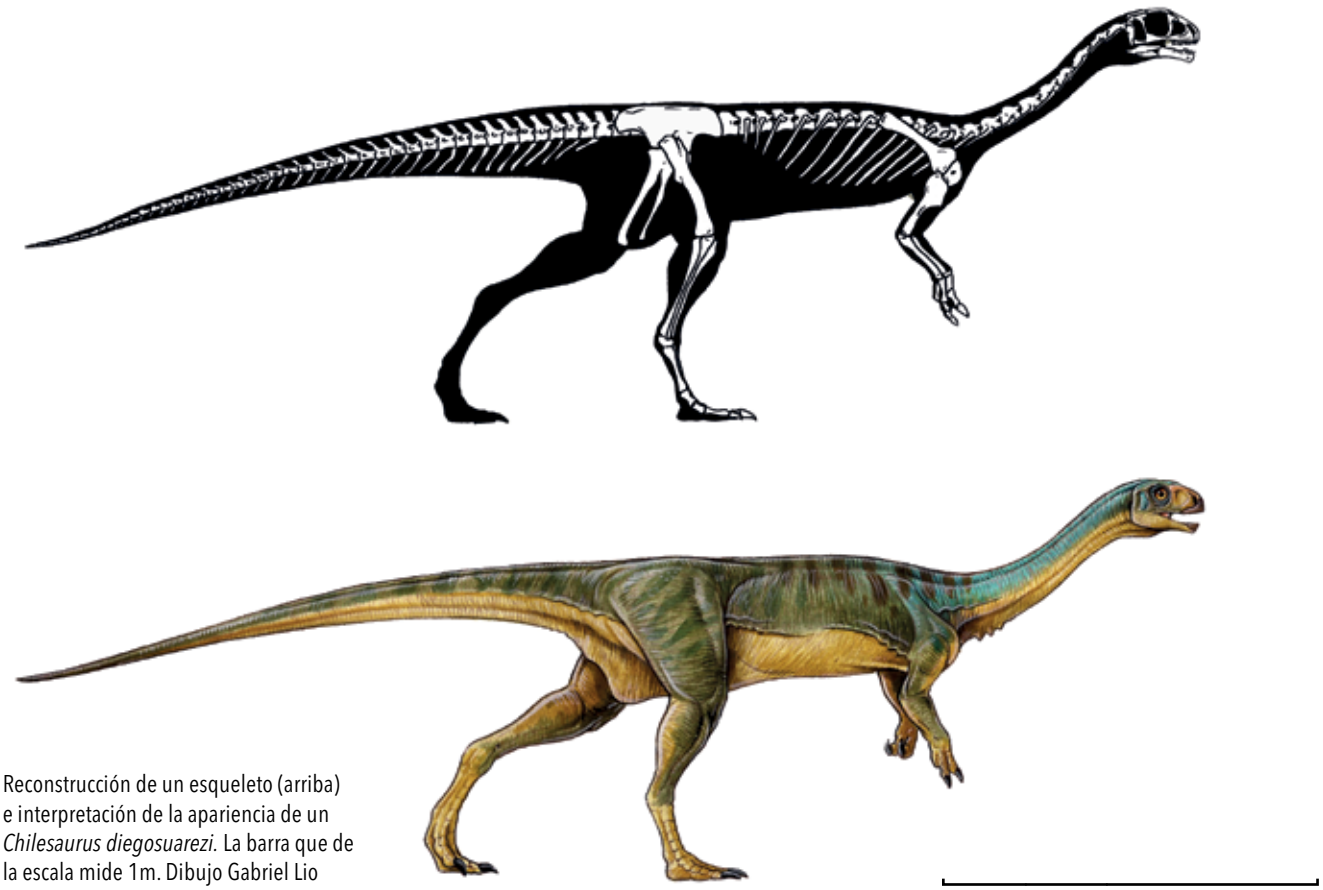
Nuestra hipótesis más firme es que *Chilesaurus* pertenece a un grupo de terópodos conocido con el nombre de *tetanuros*, entre cuyas formas mejor conocidas se cuentan los alosaurios, los tiranosaurios, los oviraptorosaurios, los velociraptores y las aves. No queremos decir con esto que el enigma filogenético del *Chilesaurus* esté resuelto. Muy por el contrario: su anatomía cuestiona considerablemente lo que suponíamos acerca de la evolución de los dinosaurios, y debemos confesar que los resultados que obtuvimos no nos terminan de convencer. De hecho, un reciente y controvertido estudio de paleontólogos ingleses liderados por Matthew Baron, de la Universidad de Cambridge, propone hacer modificaciones profundas en el árbol filogenético de los dinosaurios, al punto de ubicar al *Chilesaurus* como un eslabón perdido entre terópodos y ornitisquios. Se abre, entonces, una línea de investigación que implica revisar la filogenia entera de los dinosaurios, un problema enormemente complejo que requerirá una cooperación internacional.



Uno de los esqueletos mejor preservados de *Chilesaurus* tal como fuera encontrado en la roca. A huesos craneanos. B vértebras cervicales. C brazo derecho. D brazo izquierdo. E escápulo-coracoides izquierdo. F vértebras dorsales. G fémur izquierdo. H tibia izquierda. I vértebras caudales. La barra que da la escala mide 20cm.

Predadores devenidos vegetarianos

En nuestra interpretación, *Chilesaurus* representaría a uno de los últimos eslabones de una larga cadena evolutiva de



Reconstrucción de un esqueleto (arriba) e interpretación de la apariencia de un *Chilesaurus diegosuarezi*. La barra que de la escala mide 1m. Dibujo Gabriel Lio

dinosaurios terópodos devenidos en herbívoros. Aparentemente formó parte de una estirpe de dinosaurios que a lo largo de millones de años fue modificando una dieta originalmente carnívora en otra basada estrictamente en plantas. Sudamérica brindaba las condiciones ecológicas apropiadas para sostener poblaciones de vertebrados herbívoros, como lo demuestran las evidencias paleobotánicas halladas en rocas del Triásico y el Jurásico consistentes en fósiles de equisetales, helechos con semillas y gimnospermas, las plantas más prolíficas de los bosques de entonces.

Sin embargo, este hecho no alcanza a explicar semejante cambio de hábitos. ¿Por qué, en definitiva, los antepasados del *Chilesaurus* abandonaron sus hábitos depredadores y se transformaron en comedores de plantas? No lo sabemos a ciencia cierta, aunque es muy probable que esos lejanos ancestros hayan sido pequeños y de hábitos omnívoros, que incluían en su dieta una variedad de artrópodos, pequeños vertebrados y algo de material vegetal, y que algún cambio ambiental ocurrido en la Patagonia a comienzos del Jurásico haya puesto en marcha el cambio alimentario y llevado selectivamente a los antecesores del *Chilesaurus* hacia una dieta cada vez más vegetariana.

Chilesaurus es uno de los raros ejemplos evolutivos de dinosaurios terópodos que abandonaron la dieta carnívora. Se conocían casos de este tipo en América del Norte y en Asia, como los ornitomímidos, los oviraptorosaurios y los terizinosaurios, que prosperaron durante el período cretácico (entre hace 145 y 66Ma) y pertenecen a un grupo anatómica y filogenéticamente más avanzado que el linaje del *Chilesaurus*. Entre los vertebrados vivientes un ejemplo que ilustra el cambio de una dieta omnívora a otra estrictamente vegetariana es el oso panda (*Ailuropoda melanoleuca*), que comparte un lejano antepasado común con predadores como el oso polar y el oso pardo.

Incertidumbres sobre la geografía jurásica de la Patagonia

Más allá de sus relaciones de parentesco, hay otro aspecto del caso *Chilesaurus* que llama la atención: era la especie numéricamente más abundante de la fauna de reptiles que poblaba Aysén a fines del Jurásico. Considerando que hace 150Ma aún no existía la cordillera de los Andes, es posible que formas emparentadas con *Chilesaurus* hayan vivido también en la Patagonia argentina, pero es curioso que hasta el momento no se haya descubierto evidencia alguna de posibles parientes de *Chilesaurus* en los productivos yacimientos jurásicos correspondientes a las formaciones Cañadón Asfalto y Cañadón Calcáreo,

Mandíbula izquierda con dientes de un *Chilesaurus diegosuarezi*.

en el centro de Chubut. En una palabra, todo parece indicar que esta especie encontró en la margen occidental de la Patagonia las condiciones ecológicas apropiadas para sostener una elevada abundancia numérica, algo que aparentemente no ocurría en otros sitios del continente sudamericano.

El hallazgo del *Chilesaurus*, junto con el de otras extrañas criaturas jurásicas de la Patagonia argentina, como el saurópodo jorobado *Brachytrachelopan* y el pequeño terópodo monodáctilo *Sarmientichnus*, sugieren que el continente sudamericano constituyó una cuna para la evolución de diferentes estirpes de dinosaurios, morfológicamente muy diferentes de los hallados en otras regiones del mundo. El hecho de que los continentes estuvieran unidos y que la fauna de dinosaurios fuera relativamente uniforme en todo el mundo jurásico no significa indefectiblemente que todas las especies de dinosaurios hayan estado uniformemente distribuidas por el planeta. *Chilesaurus*, *Brachytrachelopan* y *Sarmientichnus* no lo estuvieron, e invitan a revisar las condiciones paleogeográficas y paleoambientales de la Patagonia hacia fines del Jurásico para poder explicar por qué estas criaturas solo vivían en la Patagonia durante ese período geológico.

Además del *Chilesaurus*, durante el Jurásico superior habitaron Aysén pequeños cocodrilos primitivos de aproximadamente 80cm de longitud. Tanto estos como los *Chilesaurus* deambulaban entre las patas de los enormes saurópodos. Los restos de saurópodos que colectamos en Toqui proveen información de una etapa evolutiva escasamente documentada en Sudamérica. Es cierto que la Patagonia argentina es famosa por enormes saurópodos como *Argentinosaurus*, *Puertasaurus*, *Patagotitan* y *Notocolossus*, pero se trata de especies del período cretácico, más recientes por unos 50Ma que sus parientes de Toqui. Los nuevos ejemplos del Jurásico chileno nos ayudan a conocer mejor la diversidad que alcanzaron los saurópodos para mediados del Mesozoico, al punto de incluir los primeros huesos conocidos para Sudamérica de la familia de los diplodócidos, grupo de saurópodos cuyo representante más famoso es el renombrado *Diplodocus* del Jurásico del oeste norteamericano.

Estudios futuros

Chilesaurus vino a plantear más interrogantes que respuestas. ¿Cuáles fueron sus antepasados? ¿Es correcta la hipótesis de que se trata de un miembro de los terópodos tetanuros? ¿Tendremos que modificar profundamente el árbol filogenético de los dinosaurios para dar cabida a esta especie que no encaja cómodamente en ninguno de los linajes dinosaurianos? Queda mucho por develar acerca de la evolución y el modo de vida de este curioso dinosaurio patagónico. CH

LECTURAS SUGERIDAS

BONAPARTE JF, 1981, 'Dinosaurios del Jurásico de América del Sur', *Investigación y Ciencia*, 63.

LANGER M *et al.*, 2017, 'Untangling the dinosaur family tree', *Nature*, 551, *http://doi.org/10.1038/nature24011*.

NOVAS FE *et al.*, 2015, 'An enigmatic plant-eating theropod from the Late Jurassic period of Chile', *Nature*, 14307: 1-10.

SALGADO L *et al.*, 2015, 'Late Jurassic Sauropods in Chilean Patagonia', *Ameghiniana*, 52, 4.

Fernando E Novas

Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Investigador principal en el Museo Argentino de Ciencias Naturales, Conicet.
fernovas@yahoo.com.ar

Leonardo Salgado

Doctor en ciencias naturales, UNLP.
Investigador principal en el Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología, UNRN-Conicet.
Profesor titular, UNRN.
lsalgado@unrn.edu.ar

Marcelo P Isasi

Bachiller pedagógico, Escuela Modelo Mariano Acosta.
Profesional principal del Conicet en el MACN.
mpisasi@hotmail.com

Noticias institucionales

El CONICET cumple 60 años promoviendo la ciencia argentina

Un nuevo aniversario del principal organismo de investigación en ciencia y tecnología.

El 5 de febrero de 1958 se creó el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), ente autárquico dedicado a promover la investigación científica y tecnológica del país. Bernardo Houssay, Premio Nobel de Medicina, fue su primer presidente. Desde entonces, el CONICET sigue siendo la institución emblema de la ciencia y destina todos los esfuerzos en mejorar la vida cotidiana de los argentinos.

Hoy el CONICET tiene más de 10 mil investigadores, más de 11 mil becarios de doctorado y postdoctorado, más de 2600 técnicos y miembros de la Carrera de Personal de Apoyo a la investigación y casi dos mil administrativos. Trabajan distribuidos a lo largo del país -desde la Antártida hasta la Puna y desde la cordillera hasta el Mar Argentino- en sus 15 Centros Científicos Tecnológicos, 11 Centros de Investigaciones y Transferencia, 1 Centro de Investigación Multidisciplinaria y más de 260 institutos y centros de doble y triple dependencia con universidades nacionales y otras instituciones.

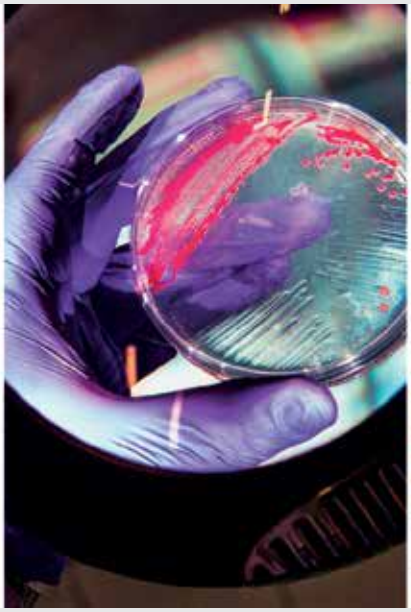
Las investigaciones se realizan en todas las disciplinas: las Ciencias Sociales y Humanidades, las Ciencias Exactas y Naturales, las Ciencias Biológicas y de la Salud, las Ciencias Agrarias, Ingeniería y de Materiales y la Tecnología. La ciencia está en todo: en los celulares, en el tránsito, en la salud, en la ropa, en la comida, en el arte, en los sueños.

Actualmente, el CONICET posee dos buques científicos: el Buque Oceanográfico Puerto Deseado y el Austral, que se encuentran al servicio de la soberanía argentina. Ambos navíos forman parte de Pampa Azul, la iniciativa estratégica interministerial a partir de la cual se desarrollan investigaciones en el Mar Argentino. Las mismas contribuyen a profundizar el conocimiento científico como fundamento para la conservación y manejo de los recursos naturales.

A su vez, el CONICET cuenta con programas multidisciplinarios donde participan otras instituciones del sistema científico y gubernamental: Programa Nacional Ciencia y Justicia, Programa de Promoción de Vocaciones Científicas (VocAr), las Redes Institucionales Orientadas a la Solución de Problemas (RIOSP) y el Programa de Transferencia de Tecnologías para Gobiernos Locales, por nombrar algunas de las iniciativas que buscan resolver temas de interés o vacancia o bien, asesorar a terceros para buscar soluciones a problemas de alcance nacional.

Para el organismo es muy importante la relación con el sistema científico nacional e internacional, es por eso que rubrica convenios con importantes instituciones argentinas como el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), universidades nacionales y empresas, así como también con organismos científicos de otros países.

Año a año celebramos los logros de nuestros investigadores. Eso permite que seis décadas después de su creación, el CONICET se ubique primero dentro de las instituciones gubernamentales de América Latina, según un ranking elaborado por la plataforma de evaluación de alcance mundial SCImago que todos los años mide el desempeño de los centros de investigación. Por eso, este año cumplimos 60 años de orgullo y compromiso para con todos los argentinos.



Ciencia y alimentos

Desarrollan calabaza fortificada con hierro y probióticos para disminuir la incidencia de la anemia

El proyecto impulsado por investigadoras del CONICET aporta cerca de un tercio de las necesidades diarias de hierro. Buscan pasar de la experiencia del laboratorio a una escala piloto.

Por Sergio Patrone Firma Paz.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) "la prevalencia de anemia alcanza a 800 millones de niños y mujeres a nivel mundial, afectando principalmente a niños y mujeres embarazadas y en edad reproductiva". La anemia se produce cuando la sangre no transporta suficiente oxígeno, y la causa más común de anemia es no tener suficiente hierro. El cuerpo necesita este mineral para producir hemoglobina que es una proteína rica en hierro que da a la sangre su color rojo y transporta oxígeno desde los pulmones al resto del organismo.

De esta premisa partieron la Dra. Marina de Escalada Pla, directora del proyecto e investigadora adjunta del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en el Instituto de Tecnología de Alimentos y Procesos Químicos (ITAPROQ, CONICET-UBA) junto a la Dra. Silvia Flores, investigadora del CONICET, la Dra. Carolina Genevois, becaria posdoctoral del Consejo y la Ing. Adriana Castellanos, becaria doctoral de la Universidad de Buenos Aires (UBA).

El proyecto "Desarrollo de un alimento a base de calabaza fortificada con hierro y probióticos" les valió una Mención Especial de Fundación Arcor. "En el marco de la tesis doctoral de Carolina –Genevois-, la nutricionista del equipo, se formuló un alimento a base de calabaza fortificada con hierro y probióticos, destinado a la población anémica por déficit de este mineral. Era una señal que justo en la convocatoria del 2017 la Fundación Arcor quisiera estimular este tipo de iniciativa y fue así que decidimos presentarnos. Creo que sincronizamos los resultados obtenidos como fruto del trabajo en nuestros laboratorios, con un interés real de la Fundación", explica de Escalada Pla, quien desde 2006 investiga el tejido de calabaza.

En relación al reconocimiento la investigadora expresa que "es muy gratificante que se reconozca nuestra labor y nos ayuden a divulgarla. Ello, junto al apoyo económico **nos estimula a seguir trabajando y esperamos transferir los conocimientos y colaborar para que llegue a la comunidad y de ese modo lograr un beneficio para todos".**

Acerca del proyecto

Una de las estrategias más sustentables y costo-efectiva a largo-plazo contra la anemia por deficiencia de hierro es la fortificación de alimentos. Sin embargo, se presentan obstáculos tecnológicos y nutricionales tales como reducir los cambios organolépticos indeseables en el alimento vehículo, utilizar compuestos que se absorban eficientemente, y sobreponerse al efecto inhibitorio que ejercen otros componentes de la dieta sobre la absorción del mineral en el tracto intestinal.

Por un lado, el proyecto propone evaluar la factibilidad de una etapa de escalado del proceso de elaboración de un producto listo para consumir a base de calabaza fortificada con hierro y probióticos en simultáneo y, por otro lado profundizar aspectos nutricionales relacionados al efecto de la presencia del probiótico sobre la bioaccesibilidad del hierro.

En la escala de laboratorio, se logró implementar esta estrategia hasta lotes de casi 300 g. **Para ello, se utilizó zapallo anquito o calabaza *Cucurbita moschata* que es una hortaliza que se consume durante todo el año, en todos los estratos sociales y todas las edades.** La fortificación con hierro se realizó mediante una impregnación en seco y la vehiculización de *Lactobacillus casei* (ATCC-393) a través de la aplicación de una cobertura comestible (CC) en base a hidroxipropil metilcelulosa (HPMC).

Impregnación en Planta Piloto. Foto: gentileza investigadoras.

La impregnación en seco permitió fortificar la matriz de calabaza casi 12 veces respecto al contenido de hierro de la materia prima original, presentando una cantidad final de 35±8 mg de hierro/100 g de calabaza. La bioaccesibilidad del mineral, que se refiere a la liberación del hierro de la matriz alimenticia, presentó un valor del 50% mientras que este parámetro mejoró notablemente con la presencia del probiótico en la CC, alcanzando un valor del 61%.

En resumen, una porción de aproximadamente 25 g del alimento a base de calabaza fortificado con hierro y *L. casei* aporta un contenido de hierro superior al 30% de la RNIs, y una concentración de probióticos por encima de la concentración mínima establecida por la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT) para que un producto sea considerado probiótico al momento del consumo.

Actualmente, las investigadoras trabajarán en "evaluar la factibilidad de una etapa de escalado del proceso de elaboración del alimento -pasar de la experiencia del laboratorio a una escala piloto", y también "en profundizar aspectos nutricionales relacionados al efecto de la presencia del probiótico sobre la bioaccesibilidad del hierro".■

Ciencias biológicas y de la salud

Fiebre amarilla: la amenaza en color

Historia y conocimiento del estado actual para combatir la enfermedad a través de la eliminación del mosquito que transmite el virus.

Por Luis Adrián Díaz
Investigador Adjunto del CONICET en el Instituto de Investigaciones Biológicas y Tecnológicas (IIByT, CONICET-UNC)

En el verano cuando el calor y las lluvias no dan respiro, los virus transmitidos por mosquitos son siempre noticia. Hace varios años el **Dengue** era la preocupación más importante, luego apareció el **Chikungunya** y, recientemente el **Zika**, ambos desde tierras lejanas africanas. Ahora, en pleno boom turístico donde los viajantes sólo quieren descansar y echar a andar sus pies por arenas, mares y selvas aparece una nueva-vieja amenaza desde las selvas amazónicas: la **Fiebre Amarilla**.

Todos estos virus son transmitidos por el mosquito Aedes aegypti y la historia muestra que su erradicación es la estrategia más eficaz para controlar estas y otras enfermedades, ya que es el vector de más de 20 virus. No es sensato desarrollar tantas vacunas y antivirales o imaginar soluciones tan elaboradas como la creación de mosquitos modificados genéticamente o estériles irradiados. **La respuesta más lógica, saludable y sustentable está en la elaboración de planes de control vectorial basados en la educación y participación comunitaria sostenidos en el tiempo**.

Historia

En 1897, en Cuba, los doctores Finlay, Nott y Reed confirmaron por primera vez que un virus era transmitido por la picadura de un mosquito: el Virus de la Fiebre Amarilla (VFA). Sin embargo los registros médicos indican que por el 1600 ya existían epidemias conocidas como "vómito negro" o "muerte negra" en ciudades de Estados Unidos, el Caribe, América del Sur e incluso Europa donde miles de personas morían afectadas por fiebre y hemorragia –coincidente con los síntomas del VFA-. Este virus, de origen africano, ingresó a nuestro continente en el Caribe mediante el comercio de esclavos, junto con su mosquito transmisor –**vector**– urbano: el Aedes aegypti, el mismo que transmite Dengue, Chikungunya y Zika.

En nuestro país el "vómito negro" afectó la ciudad de Buenos Aires en varias ocasiones. La más importante ocurrió durante la presidencia de Sarmiento en 1871 y comenzó en el barrio de San Telmo, introducido probablemente por los soldados que participaron en la guerra de la Triple Alianza en Paraguay. También podría haber ingresado a través de personas provenientes de Río de Janeiro (Brasil), donde la Fiebre Amarilla era endémica. El impacto fue tal que se creó el Cementerio de la Chacarita, el actual Hospital Ramos Mejía, un tercio de la población emigró -incluyendo al presidente Sarmiento junto a 70 allegados- y el 8% de la población porteña murió por el virus.

Gracias al descubrimiento de su vía de transmisión en 1897 que permitió el desarrollo de campañas de control vectorial y a la creación y producción de una vacuna, en 1940 estas epidemias fueron contenidas a nivel global.

¿Cómo circula el virus?

En la actualidad permanece activo en las selvas tropicales de América del Sur y África gracias a la transmisión entre mosquitos vectores –Haemagogus spp. y Sabethes spp. en América del Sur y Aedes (Stegomyia) spp. en África- y primates no humanos –monos-. En nuestro continente la circulación es exclusivamente selvática y no se han registrado brotes urbanos. Los casos humanos se deben a la introducción del hombre en espacios selváticos. Los **monos**, por su parte, **no representan un peligro para la salud humana ya que no hay transmisión directa hombre-primate** pero la muerte de estos animales indica tempranamente la circulación del virus.

En América del Sur, las áreas con circulación continua están representadas por las regiones selváticas amazónicas de Bolivia, Brasil, Colombia, Perú y Venezuela. Sin embargo, los países que poseen las condiciones ecológicas de sostener la transmisión viral se extiende a Argentina, Ecuador, Guyana, Guyana Francesa, Panamá, Paraguay, Surinam y Trinidad y Tobago.

¿Cuál es el riesgo para los humanos?

En América del Sur, la última onda amarílica de importancia se registró en el verano 2008-2009 en el sur de Brasil, Paraguay y norte de Argentina. En esta ocasión se registró la circulación urbana del VFA en Asunción. En nuestro país una persona falleció por el virus y la población de monos aulladores de Misiones y Corrientes quedó diezmada.

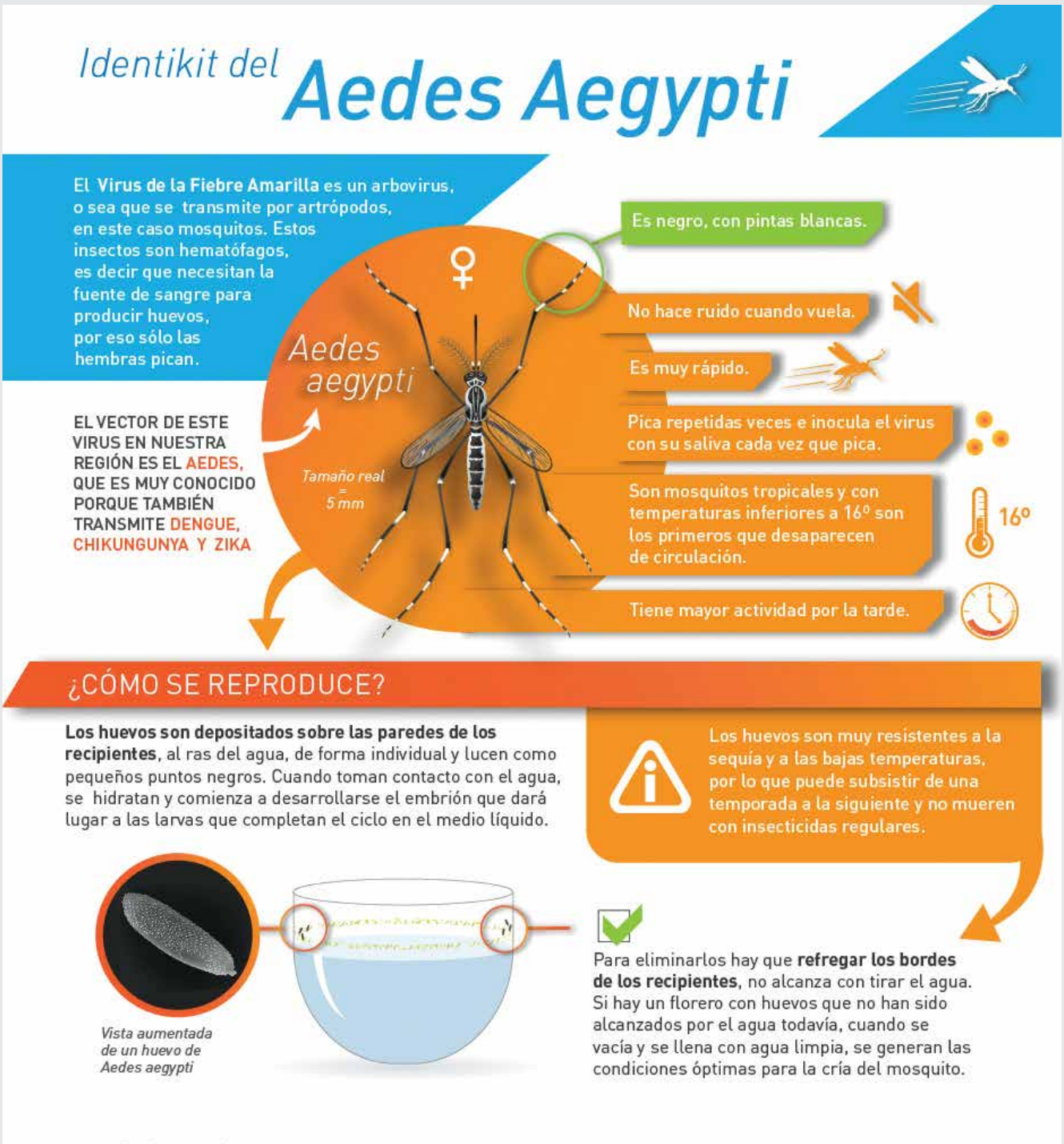
En Brasil, durante el segundo semestre de 2016 a junio de 2017 se confirmaron 777 casos humanos, de los cuales 261 fallecieron. Por su parte murieron 1.659 monos y este fenómeno, que estaba principalmente concentrado en el interior selvático migró hacia el oeste afectando los populosos estados de Minas Gerais, Sao Paulo y Espíritu Santo.

Recientemente, la muerte de un mono por Fiebre Amarilla en el estado de Sao Paulo encendió el alerta al aumentar el riesgo de introducción al ambiente urbano en el estado más poblado del país, con una población de 20 millones de personas. Sin embargo, para tranquilidad del veraneante, **las áreas costeras sin conexión con la selva poseen bajo riesgo de circulación del virus**.

Factor común y sentido común

Los arbovirus que han generado preocupación y epidemias en la región en **los últimos 5 años**, tienen un factor común: todos son transmitidos en los ecosistemas urbanos por el **Aedes aegypti**. Este mosquito africano se adueñó de las ciudades de nuestro continente y permitió que virus exóticos como Dengue y Fiebre Amarilla hayan generado epidemias en nuestro continente.

Gracias a una campaña agresiva aplicada por los gobiernos y liderada por la Organización Panamericana de la Salud durante las



décadas del 50 y 60, se logró disminuir drásticamente las poblaciones del vector y con ello el riesgo de epidemias. Sin embargo, luego de la certificación de "erradicación" del mosquito en casi todos los países de la región, las medidas de control disminuyeron y para la década del 80 nuevamente el mosquito invadió los centros urbanos. Esto posibilitó la reemergencia del Dengue, introducción y establecimiento de Chikungunya y Zika y el aumento del riesgo de urbanización de la Fiebre Amarilla. En nuestro país la distribución geográfica del Aedes aegypti ha ido en aumento, encontrándose en regiones templadas donde nunca antes se lo había detectado y ampliando la zona de riesgo.

Es tiempo de evaluar qué factores operan sobre nuestras sociedades que impiden ver la gravedad de la situación, un buen punto de partida sería identificar por qué no percibimos el riesgo real al que estamos expuestos al permitir la cría del mosquito Aedes aegypti en nuestros domicilios. La transmisión vectorial de los virus ha sido descubierta hace más de 100 años y gracias a ese descubrimiento la transmisión de estos virus es algo prevenible. No estamos hablando de accidentes sino lamentablemente de negligencia.■

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

Marina B Soares
Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS)

Analía M Forasiepi
Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales (IANIGLA), Conicet

Cinodontes triásicos y mamíferos en el tiempo de los dinosaurios

Cinodontes y mamíferos

Con más de 4500 especies en la actualidad, una gran variedad de configuraciones morfológicas, masas corporales que oscilan entre unos pocos gramos y 2,5 toneladas, y una amplia distribución geográfica, desde las regiones polares a los desiertos tropicales, los mamíferos y sus antepasados acreditan una larga historia evolutiva, que se extiende por más de 300Ma. En el presente existen tres grandes grupos de mamíferos, los *monotremas* (equidnas y ornitorrincos), los *marsupiales* (comadrejas, canguros y koalas) y los *placentarios* (felinos, murciélagos, cetáceos, ratas y humanos, entre muchos otros). Su diversidad en el pasado fue notoriamente mayor e incluyó grupos que no han sobrevivido hasta nuestros días.

Existen hoy mamíferos adaptados a la vida acuática (ballenas, delfines, manatíes, ornitorrincos), voladores (murciélagos), cavadores (armadillos, marmotas), corredores (guepardos, gacelas, caballos); los hay con hábitos

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo eran los mamíferos que coexistieron con los dinosaurios y sobrevivieron a la extinción de estos, y cómo eran sus ancestros inmediatos, los cinodontes, de los que se diferenciaron hace unos 210Ma.

alimentarios sumamente estrictos (osos hormigueros, koalas, pandas), de gran tamaño corporal (elefantes, rinocerontes, ballenas), extremadamente pequeños (musarañas) y con gran desarrollo cerebral (elefantes, delfines, monos, humanos). Con solo mirar el presente, nos cuesta entender su compleja historia evolutiva y sus parentescos. Para dilucidarla, desde hace siglos los científicos estudian su anatomía como medio para construir árboles filogenéticos e interpretar las relaciones de parentesco. Más recientemente, ampliaron esos análisis con datos moleculares, los que dieron nuevo fundamento y a veces modificaron las formas en que los zoólogos los clasifican y la interpretación de cómo evolucionaron.

La historia de los mamíferos se remonta a tiempos geológicos muy remotos. Si partimos de los primeros *amniotas*, que son los vertebrados cuyo embrión se desarrolla fuera del agua pero en un medio acuoso protegidos por membranas, encontramos que, durante el período carbonífero, hace unos 320Ma, se ramificaron de ellos dos grandes linajes: los *saurópsidos* y los *sinápsidos*. Al primer linaje pertenecen animales extinguidos como *mesosaurios* y dinosaurios, y animales vivientes como aves, tortugas y cocodrilos, entre otros. Al segundo linaje pertenecen los *cinodontes*, y al de estos, los mamíferos. La línea de descendencia de los sinápsidos se ramificó considerablemente durante el período pérmico (entre hace unos 299 y 252Ma), el último de la era paleozoica, y también hacia fines del Triásico (hace unos 210Ma), el primer período de la era mesozoica, momento en el cual se originaron los mamíferos.

Cinodontes sudamericanos

Los hallazgos de fósiles de cinodontes en Sudamérica conforman un registro importante, tanto por el número de especies como por el de ejemplares. Fueron realizados principalmente en rocas del Triásico de las provincias argentinas de La Rioja, San Juan y Mendoza, y del estado brasileño de Rio Grande do Sul. Los paleontólogos han clasificado los animales correspondientes a esos fósiles en varios grupos, entre ellos, los *cinognátidos*, los *diademodóntidos*, los *traversodóntidos* y los *probainognatios*. Al primero pertenece *Cynognathus crateronotus*, encontrado en rocas del Triásico medio (entre hace 247 y 237Ma) en la región mendocina de San Rafael, un animal de algo más de 1m de largo, de hábitos carnívoros y dotado de fuertes dientes, con aspecto similar a un perro. Del segundo grupo es parte *Diademodon tetragonus*, descubierto en la misma región, que era un animal omnívoro con un conjunto de dientes de morfologías diversas, es decir que presentaba una marcada *heterodoncia*.

Cynognathus y *Diademodon* son fósiles clave para establecer las relaciones entre los estratos fosilíferos de países distantes, ya que sus restos también fueron encontrados en rocas de edad triásica en Sudáfrica, Lesoto, Zambia, Tanzania, Namibia y la Antártida, lo que sugiere, entre otras cosas, una continuidad geográfica en ese remoto pasado.

Los traversodóntidos fueron un grupo de cinodontes herbívoros u omnívoros muy diversificado y con amplia distribución geográfica durante el Triásico medio y superior (entre hace 247 y 201Ma), con adaptaciones dentarias y craneanas comparables con las de algunos mamíferos herbívoros. Se han reconocido más de diez especies de ellos por fósiles encontrados en Mendoza, San Juan, La Rioja y Rio Grande do Sul. Los géneros más comunes son *Massetognathus*, *Luangwa*, *Scalenodon*, *Santacruzodon*, *Menadon* y *Exaeretodon*, cuya presencia en el registro fósil ayuda a establecer

Interpretación del aspecto de *Cynognathus crateronotus*, un cinodonte de hábitos carnívoros del Triásico medio (entre hace 247 y 237Ma) del que se encontraron fósiles en la región de San Rafael, Mendoza. Medía alrededor de 1,20m y tenía una cabeza singularmente grande.

relaciones bioestratigráficas. *Massetognathus* se registró en la Argentina y el Brasil, *Luangwa* en el Brasil y Zambia, *Scalenodon* en el Brasil, la Argentina y Tanzania, *Menadon* en el Brasil y Madagascar, y *Exaeretodon* en la Argentina, el Brasil y la India.

Los probainognatios, por último, forman el grupo de cinodontes a cuyo linaje pertenecen los mamíferos. Fueron muy diversos en el Triásico, con unas veinte especies encontradas en la Argentina y Brasil. Eran animales de tamaño medio a pequeño, carnívoros, insectívoros o herbívoros, de aspecto similar a perros, comadrejas o ratones. En este grupo se han reconocido los principales cambios anatómicos del cráneo, la mandíbula, la dentición y el resto del esqueleto que se aprecian en los mamíferos. Esos cambios morfológicos implicaron modificaciones en los sistemas nervioso y circulatorio, tal vez relacionados con la aparición de hábitos crepusculares o nocturnos. Estas modificaciones se aprecian en los fósiles, los que muestran, entre otras cosas, cómo el cerebro y la cavidad ósea que lo contiene incrementaron su volumen, cómo se separa la cavidad oral de la olfatoria, y cómo las narinas internas, que ayudan a controlar la temperatura y humedad del aire inhalado, se hicieron más complejas.

Entre los probainognatios mejor conocidos de Argentina y Brasil se cuentan *Ecteninion*, *Trucidocynodon*, *Chiniquodon*, *Aleodon*, *Bonacynodon*, *Probainognathus*, *Therioherpeton*, *Prozostrodon*, *Chaliminia*, *Riograndia*, *Botucaraitherium*, *Brasilodon* y *Brasilitherium*. Exhiben morfologías distintivas, con formas carnívoras especializadas, como *Chiniquodon* y *Trucidocynodon*. La mayoría eran animales pequeños, con dientes que indican una dieta insectívora o frugívora, como es el caso de *Riograndia*, *Prozostrodon* y *Brasilodon*.

El descubrimiento de algunos de estos pequeños cinodontes fue quizá el acontecimiento que más contribuyó en años recientes a esclarecer el lejano origen de los mamíferos. Fue realizado hace unos veinte años por un equipo de paleontólogos liderado por José Bonaparte, en el que participaron los autores de este artículo. Los trabajos de campo, en Rio Grande do Sul, resultaron en el hallazgo de múltiples fósiles muy bien preservados, entre ellos, cráneos y mandíbulas, e incluso un estribo, el hueso más pequeño del cráneo de los mamíferos, parte del oído medio. Esos hallazgos incluyeron ejemplares de *Brasilodon*, *Brasilitherium* y *Minicynodon*, con características más próximas a los mamíferos que cualquier otro cinodonte conocido hasta el momento.

Mamíferos mesozoicos de lo que hoy es Sudamérica

Luego de la rápida diversificación o *radiación* de los cinodontes durante el Triásico, existe un lapso de varios

Interpretación del aspecto de *Exaeretodon*, un cinodonte herbívoro de unos 1,8m de largo del grupo de los traversodóntidos hallado en estratos del Triásico ubicados en la Argentina, el Brasil y la India.

Vista lateral de un fósil del cráneo del cinodonte *Riograndia* hallado en estratos del Triásico en el sur del Brasil. La barra que da la escala mide 1cm.

Vista lateral de un fósil del cráneo de un cinodonte *Brasilitherium* hallado en estratos del Triásico en el sur del Brasil. La barra que da la escala mide 1cm.

millones de años en que el registro fósil sudamericano brinda escasa información sobre los mamíferos mesozoicos, incluso se conoce menos sobre ellos que sobre los cinodontes que los antecedieron. La explicación de este fenómeno radica en varios factores. Uno es que los mamíferos jurásicos y cretácicos eran en su mayoría muy pequeños, lo que dificulta dar con ellos en el campo y hace a menudo necesario recurrir a técnicas especiales de búsqueda, como el lavado y tamizado de los sedimentos, para encontrar dientes y pequeños huesos aislados. Asimismo, los fósiles diminutos no suelen atraer tanta atención durante el reconocimiento en el terreno como los de grandes vertebrados, entre ellos los dinosaurios. Otro factor es la fragilidad del esqueleto de los mamíferos mesozoicos en comparación con sus parientes cinodontes, en perjuicio de su preservación. A pesar de eso, en las últimas décadas el conocimiento sobre los mamíferos mesozoicos de Sudamérica creció considerablemente y se convirtió en referencia crucial sobre los mamíferos de Gondwana. Ello se debe a descubrimientos realizados principalmente en la Argentina, más algunos en Bolivia y el Brasil.

Interpretación del aspecto de *Botucaraitherium,* un cinodonte del grupo de los probainognatios encontrado en estratos del Triásico en el sur del Brasil. Se estima que medía unos 10cm.

Trabajos de campo en el sitio Linha São Luiz, próximo a la ciudad de Faxinal do Soturno, Rio Grande do Sul, en el que se encontraron numerosos fósiles de cinodontes, entre ellos, *Brasilodon*, *Brasilitherium* y *Riograndia*, evolutivamente próximos a los mamíferos.

Mandíbula izquierda del mamífero australosfénido *Henosferus*, excavada en estratos del Jurásico sobre el río Chubut, en Cerro Cóndor, a unos 180km al sudeste de Esquel. La barra que da la escala mide 1cm.

Cráneo de *Vincelestes* visto desde arriba o en vista dorsal. Es uno de los mamíferos mesozoicos de mayor tamaño y mejor conocido. Data del Cretácico inferior (de hace entre 145 y 101Ma). Sus restos fósiles fueron excavados en el sudoeste de Neuquén. Se estima que el animal medía unos 30cm de largo, más una larga cola de unos 20cm. La barra que da la escala indica 2cm, lo que significa unos 7,5cm como largo del cráneo.

En Cerro Cóndor, sobre el río Chubut y a unos 180km al sudeste de Esquel, el paleontólogo Guillermo W Rougier condujo, durante la última década, varias excavaciones de las que resultó información relevante acerca de los mamíferos del período jurásico de la era mesozoica. Los fósiles corresponden a por lo menos cuatro especies de esos mamíferos, de tres grupos diferentes (*Australosphenida*, *Eutriconodonta* y *Amphilestidae*). Dos géneros del primer grupo (*Asfaltomylos* y *Henosferus*) contribuyeron marcadamente a avanzar en el conocimiento sobre el origen y la evolución de los molares *tribosfénicos*, es decir aquellos caracterizados por su forma compleja, con cúspides cortantes y cuencas que permiten tanto cortar como moler los alimentos, como aparecen en los actuales mamíferos placentarios y marsupiales.

Los australosfénidos poseían una mandíbula en la que se advierten vestigios de estructuras similares a las de los cinodontes, pero tenían molares tribosfénicos. Esta contraposición de caracteres primitivos en la mandíbula y derivados en la dentición permitió relacionar a dichas especies fósiles con el tercer gran grupo de mamíferos actuales, los monotremas. La adquisición de los molares tribosfénicos en los australosfénidos, los marsupiales y los placentarios se dio de manera independiente, como lo explica un artículo de Ciencia Hoy (18, 104, 2008) citado entre las lecturas sugeridas.

Otros mamíferos jurásicos descubiertos en la Argentina, que por su dentición se llaman *eutriconodontes*, exhiben molares con tres cúspides cónicas alineadas en sentido antero-posterior. Sus especies incluyen a *Argentoconodon* y a *Condorodon*. De *Argentoconodon* se conocen diversos restos fósiles que muestran adaptaciones en el esqueleto por las cuales habría podido planear de manera semejante a las ardillas voladoras; habría estado cercanamente emparentado con *Volaticotherium*, un animal fósil encontrado en 2008 en China cuya antigüedad se estimó en unos 164Ma.

Es notoria la diversidad y abundancia de los fósiles de mamíferos que datan del período geológico siguiente, el Cretácico. Los principales registros corresponden al norte de la Patagonia, el mejor conocido de los cuales hasta el momento es *Vincelestes*, un mamífero distantemente relacionado con los marsupiales y los placentarios. Tenía una forma de dentición llamada pretribosfénica, anterior a la tribosfénica, y fue encontrado en la formación geológica La Amarga, en Neuquén, por paleontólogos del Museo Argentino de Ciencias Naturales dirigidos por el mencionado Bonaparte. Proviene de estratos del mismo nivel que *Amargasaurus*, un conocido dinosaurio saurópodo, con espinas vertebrales bifurcadas.

Hacia el final del Cretácico, las formas predominantes que conocemos de mamíferos eran los *meridioléstidos* y los *gondwanaterios*. Los primeros constituyen un grupo muy diverso que incluye desde animales muy pequeños, como *Cronopio* y *Leonardus*, con dentición insectívora, hasta otros de mayor tamaño, de aspecto robusto y hábitos herbívoros y omnívoros, como *Mesungulatum* y *Coloniatherium*. Solo se conocen dientes aislados y fragmentos craneanos de la mayoría de estas especies, salvo del *Cronopio*, hallado en estratos de hace unos 98Ma de la formación geológica Candeleros, en La Buitrera, Río Negro, del que se conocen varios cráneos muy bien preservados. Era pequeño, con el hocico largo y estrecho y un par de caninos hipertrofiados. Su dentición era simple, con coronas triangulares posiblemente adaptadas a una alimentación insectívora. Distintas especies

omnívoras y herbívoras de meridioléstidos están bien documentadas en las formaciones Los Alamitos y Allen, Río Negro, y La Colonia, Chubut. Sus fósiles más representativos son *Mesungulatum*, *Coloniatherium* y *Reigitherium*, y una forma del Cenozoico temprano, *Peligrotherium*, de la formación geológica Salamanca, Chubut. Estos animales adquirieron dientes transversalmente más anchos, con mayor superficie de contacto (u *oclusión*) con los dientes de la otra mandíbula (o *antagónicos*).

El primer gondwanaterio descripto correspondió a un fósil encontrado en la mencionada formación geológica Salamanca, después del cual se hicieron nuevos hallazgos en lugares como la Patagonia, Madagascar, la Antártida y la India. Con excepción de *Vintana*, de Madagascar, solo se han encontrado dientes y fragmentos mandibulares aislados. Con la información disponible hasta el momento, el grupo resulta sumamente enigmático pues sus rasgos dentales se asemejan en grado extremo a los de los roedores, a pesar de no estar emparentados. Su relación con otros mamíferos es por el momento controvertida.

De cualquier manera, se distinguen dos grandes grupos de gondwanaterios: los *ferugliotéridos* y los *sudamerícidos*. Los primeros incluyen a *Ferugliotherium* y *Trapalcotherium*, mientras que los segundos fueron más abundantes, sobrevivieron a la extinción de fin del Cretácico y llegaron al Cenozoico. Sus formas mejor conocidas por fósiles encontrados en la Argentina son *Gondwanatherium*, del Cretácico superior, y *Sudamerica*, del Paleoceno. Las formas encontradas en Madagascar e India datan del Cretácico, y las halladas en la Antártida, del Cenozoico. La presencia de estos herbívoros de *molares hipsodontes* –altos, de crecimiento continuo y con un coronamiento (o superficie oclusal) plano, apto para aplastar y moler plantas abrasivas– ha generado varias preguntas sobre su dieta específica, el ambiente en que vivieron y su vegetación predominante. Los gondwanaterios son los primeros mamíferos con hipsodoncia, morfología que más tarde, en el Cenozoico, va a caracterizar a varios grupos nativos de mamíferos sudamericanos.

Interpretación del aspecto del gondwanaterio *Sudamerica*, del que se han encontrado restos fósiles en la Patagonia y la Antártida. Apareció hacia fines del Cretácico superior, hace unos 66Ma, y sobrevivió a la extinción masiva de especies que se produjo entonces. Un adulto habría medido unos 40cm de largo.

En comparación con los estudios de otras faunas mesozoicas o cenozoicas, los realizados sobre los mamíferos del Mesozoico sudamericano son más recientes y escasos. En los últimos años, el caudal de descubrimientos se incrementó notablemente y está proporcionando nuevos vestigios de información sobre su diversidad, sus características biológicas, su evolución, sus relaciones de parentesco y su distribución global. Los mamíferos fueron componentes minoritarios de los ecosistemas dominados por los dinosaurios, aunque su impronta en aquel pasado remoto permite entender la evolución del grupo, incluyendo la de nuestra propia especie. CH

Cinodontes sudamericanos citados

Cynognathidae (cinognátidos)	*Cynognathus*
Diademodontidae (diademodóntidos)	*Diademodon*
Traversodontidae (traversodóntidos)	*Exaeretodon* *Luangwa* *Massetognathus* *Menadon* *Santacruzodon* *Scalenodon*
Probainognathia (probainognatios)	*Aleodon* *Bonacynodon* *Botucaraitherium* *Brasilitherium* *Brasilodon* *Chaliminia* *Chiniquodon* *Ecteninion* *Minicynodon* *Probainognathus* *Prozostrodon* *Riograndia* *Therioherpeton* *Trucidocynodon*

Mamíferos mesozoicos sudamericanos citados

Australosphenida (australosfénidos)	*Asfaltomylos* *Henosferus*	
Cladotheria (cladoterios)	*Vincelestes*	
Amphilestidae (anfiléstidos)	*Condorodon*	
Eutriconodonta (eutriconodontes)	*Argentoconodon*	
Meridiolestida (meridioléstidos)	*Coloniatherium* *Cronopio* *Leonardus* *Mesungulatum* *Peligrotherium* *Reigitherium*	
Gondwanatheria (gondwanaterios)	*Ferugliotheridae* (ferugliotéridos) *Sudamericidae* (sudamerícidos)	*Ferugliotherium* *Trapalcotherium* *Gondwanatherium* *Sudamerica*

Los dibujos que ilustran este artículo fueron realizados por Jorge Blanco.

LECTURAS SUGERIDAS

BONAPARTE JF y MIGALE LA, 2015, *Protomamíferos y mamíferos mesozoicos de América del Sur*, Museo de Ciencias Naturales Carlos Ameghino, Mercedes.

KIELAN-JAWOROWSKA Z, CIFELLI RL & LUO Z-X, 2004, *Mammals from the Age of Dinosaurs. Origins, evolution and structure*, Columbia University Press.

LUO Z-X, 2007, 'Transformation and diversification in the early mammalian evolution', *Nature*, 450: 1011-1019.

MARTINELLI AG, FORASIEPI AM y ROUGIER GW, 2008, 'Australosfénidos. Parientes cercanos de los enigmáticos monotremas', Ciencia Hoy, 18, 104: 52-62.

ROUGIER GW, 1995, 'Los mamíferos mesozoicos', Ciencia Hoy, 6, 32: 30-42.

ROUGIER GW *et al*., 2012,'The Miocene mammal *Necrolestes* demonstrates the survival of a Mesozoic non-therian lineage into the late Cenozoic of South America', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109: 19871-19872.

Agustín G Martinelli

Doctor en ciencias, UFRGS.
Investigador adjunto en el MACN, Conicet.
agustin_martinelli@yahoo.com.ar

Marina B Soares

Doctora en ciencias, UFRGS.
Profesora asociada, UFRGS.
Directora del Museo de Paleontología Irajá Damiani Pinto, UFRGS.
marina.soares@ufrgs.br

Analía M Forasiepi

Doctora (PhD) en ciencias, Universidad de Louisville, Kentucky.
Investigadora adjunta en el IANIGLA, Conicet.
aforasiepi@mendoza-conicet.gob.ar

Marcelo Pablo Isasi
Federico Brissón Egli
Museo Argentino de Ciencias Naturales
Bernardino Rivadavia (MACN), Conicet

Técnicas paleontológicas

Cuando recorremos las salas de exhibición de los museos de ciencias naturales solemos encontrarnos ante magníficos ejemplares de animales extinguidos de los que solo conocemos sus esqueletos fósiles (o partes de ellos), montados de una manera que cautiva nuestra imaginación. Sin embargo, por lo general desconocemos el largo camino que debieron recorrer esos fósiles para que los podamos apreciar en el museo. Ese camino comienza con su hallazgo en el campo por los paleontólogos, normalmente en lugares remotos y a veces poco accesibles, y sigue con su extracción de los estratos geológicos en que se preservaron por millones de años, su traslado a un centro de investigación o un museo, y su cuidadosa preparación, por la que se separan los huesos de la roca. Esto posibilita el detallado estudio anatómico y, en caso de que los materiales estén bien preservados, su exhibición al público.

Los encargados de realizar muchas de esas tareas son los técnicos en paleontología, un grupo de especialistas en la extracción, preparación y conservación de los fósiles con una tradición ya centenaria en la Argentina. Un destacado representante de esa tradición fue Carlos Ameghino (1865-1936), quien encontró y extrajo de los estratos geológicos, sobre todo en la Patagonia, miles de especímenes, luego estudiados por su célebre hermano Florentino.

A partir de la década de 1960, cuando comenzaron las grandes exploraciones lideradas por José Bonaparte en búsqueda de dinosaurios, la aplicación de nuevas técnicas con relación a las de tiempos de Ameghino y una mayor disponibilidad de financiamiento para la investigación paleontológica llevaron a que se formara una nueva generación de técnicos, cuyos sucesores continúan la tarea en la actualidad.

Hoy los técnicos llevan a cabo una labor crecientemente especializada, imprescindible para el avance de las in-

¿DE QUÉ SE TRATA?

El largo y engorroso camino que siguen los fósiles desde las rocas que los contienen hasta los gabinetes de estudio de los paleontólogos y las salas de exposición de los museos.

Taller de montaje de esqueletos en el MACN hacia principios del siglo XX, cuando el museo ocupaba un sector de la Manzana de las Luces.

vestigaciones paleontológicas que, día a día, van descubriendo las piezas del aún fragmentario rompecabezas constituido por el registro fósil de especies extinguidas. Y también imprescindible para que, con la intervención de museólogos y diseñadores de exhibiciones, los museos de historia natural puedan cumplir con su cometido de divulgar al público lo que se va descubriendo de ese pasado.

Hallazgo

Hay fósiles en los lugares más variados que uno pueda imaginar, desde los desiertos de Mongolia y las heladas soledades antárticas hasta los túneles del subterráneo de la ciudad de Buenos Aires. En el imaginario colectivo, las excavaciones paleontológicas suelen tener lugar en lejanos desiertos rocosos, lo cual no está tan errado en lo que a dinosaurios se refiere, pues la mayor cantidad y variedad de estos se ha hallado en parajes aislados y áridos de los Estados Unidos, China y la Argentina, donde las rocas están ampliamente expuestas. Pero innumerables hallazgos se realizaron en condiciones muy diferentes, como el pequeño (unos 80cm de largo) cocodrilo extinguido *Yacarerani boliviensis*, que vivió entre hace unos 94 y 85Ma, encontrado por Fernando Novas en 2002 en las profundidades de la selva amazónica del parque nacional Amboró, en el departamento boliviano de Santa Cruz, en una cascada en que afloraban pequeños parches de roca.

No obstante, en los desiertos es más fácil encontrar fósiles, debido a que la falta de vegetación hace que no exista mucho más que arena y roca entre el paleontólogo actual y los restos fósiles que tiene ante sus ojos. Los buenos sitios para encontrar fósiles de dinosaurios suelen tener rocas formadas por estratos comprimidos de sedimentos depositados a lo largo del tiempo.

Los fósiles pueden ser encontrados por paleontólogos que los buscan específicamente, por geólogos que exploran estratos rocosos, o de manera fortuita por algún lugareño, como el trabajador rural Pocho Sastre, quien en 1984 encontró en rocas del Cretácico superior de la provincia de Chubut el fósil de un dinosaurio carnívoro al que Bonaparte bautizó en su honor: *Carnotaurus sastrei* (véase 'La diversidad de los dinosaurios carnívoros', en este número de Ciencia Hoy). De la misma manera, un pescador de truchas encontró en los márgenes del embalse del

Transporte de bloques de piedra con restos fósiles o *bochones*, en el bajo de Santa Rosa, a unos 70km al noroeste de Valcheta, Río Negro. Foto Hernán Cannutti

Remoción de bloques de roca con fósiles de un plesiosaurio de las aguas costeras del lago Argentino, en las proximidades del Calafate. Los plesiosaurios eran reptiles marinos de distribución global que vivieron en los períodos jurásico y cretácico.

Extracción de materiales fósiles en el cabo Lachman, en el norte de la isla antártica James Ross, en el verano austral de 2003. Foto Juan Manuel Lirio, Instituto Antártico Argentino.

Chocón unos huesos fósiles del Cretácico superior, de hace unos 90Ma, que dieron lugar a la identificación de una nueva especie de dinosaurio: *Bicentenaria argentina*.

Extracción

Luego del hallazgo, es necesario encarar la extracción del fósil, un trabajo delicado cuya manera de ejecución varía según las características del lugar del descubrimiento y el tamaño y las particularidades de los restos. A medida que se va destapando el fósil, se procura establecer sus límites y aislar el bloque de roca que lo contiene mediante una canaleta en su derredor. Después, para protegerlo, se cubre el bloque con papel y, sobre este, arpillera embebida en yeso. Una vez fraguado, los huesos y su envoltorio protector conforman objetos llamados *bochones* en la jerga paleontológica.

El siguiente paso es remover los bochones y transportarlos al laboratorio para su preparación. Remoción y transporte pueden ser tareas difíciles, porque puede tratarse de objetos grandes, pesados, poco maniobrables, frágiles y ubicados en lugares difícilmemente accesibles. De ahí que se haya recurrido a toda clase de formas de transporte, desde caballos, motocicletas y cuatriciclos, hasta camionetas, camiones y grúas, e incluso helicópteros en casos extremos.

Así, en 2009, para extraer los fósiles de un gran plesiosaurio (un reptil marino extinguido, de largo cuello) encontrado dentro de una roca de marcada dureza bajo las aguas costeras del lago Argentino, el equipo de paleontólogos del MACN comenzó por improvisar un dique en torno al fósil con bolsas de sedimentos, luego se succionó con bombas el agua del dique y, por último, con el auxilio de maquinaria pesada como martillos neumáticos y palas cargadoras mecánicas, se cargaron unas siete toneladas de roca que contenían los huesos del animal en camiones, los que las trasladaron hasta el taller de preparación del museo, en el parque Centenario.

De particular complejidad es el manejo de fósiles encontrados en la Antártida, donde a veces técnicos, paleontólogos y auxiliares necesitan llegar en helicóptero y acampar aislados durante semanas con temperaturas bajo cero, fuertes vientos y tormentas de nieve. Las tareas de extracción enfrentan obstáculos como el congelamiento y descongelamiento permanente del suelo, lo que produce la fragmentación de los huesos fosilizados.

Los restos de enormes dinosaurios, como *Argentinosaurus* o *Patagotitan*, que alcanzaron longitudes de unos 37m y pesos de hasta 60 toneladas, constituyen casos extremos en más de un aspecto (véase en este número de Ciencia Hoy 'La diversidad de los dinosaurios herbívoros', y en el número 157, octubre-noviembre de 2017, '*Patagotitan*, ¿el dinosaurio más grande del mundo?'). Es fácil caer en la cuenta de que aun para manipular huesos individuales, como un húmero que supera los 2m de largo, se requiere el concurso de maquinaria vial y de grandes camiones, lo mismo que de espaciosos galpones, a veces construidos ad hoc, para alojarlos durante su preparación.

El mencionado fósil encontrado en la excavación de un túnel del subterráneo de Buenos Aires apareció fortuitamente a doce metros de profundidad, en el año 2000, cuando se prolongaba la línea B por debajo de la avenida Triunvirato. Se trató de los restos de un gliptodonte, un gran mamífero acorazado pariente de los actuales armadillos (peludos y mulitas), cuya especie se extin-

Preparación de los fósiles para su incorporación a las colecciones científicas de museos y su posible exhibición en estos.

guió hace unos 10.000 años. Los paleontólogos estimaron que el ejemplar en cuestión habría alcanzado unos 2m de largo y pesado unos 800kg. Las mismas máquinas que realizaban el túnel sirvieron para extraer la coraza del gliptodonte del sedimento en que yacía. Hoy esos restos se exhiben en la estación Tronador de dicha línea.

Preparación

La preparación de un fósil consiste en quitarle los fragmentos de roca y dejar su superficie lo más limpia posible. El primer paso a dar con un bochón que llega al taller es remover el yeso protector con sierras u otras herramientas cortantes, de la misma manera que se quita el yeso de un accidentado. Luego, dependiendo del fósil y de la dureza de la roca, se recurre a buriles, puntas, amoladoras y, sobre todo, pequeños martillos neumáticos del tamaño de una lapicera, con punta de carburo cementado o *widia*, para desintegrar los fragmentos de roca y separarlos del hueso.

Para dejar en descubierto detalles minúsculos se emplean en forma manual puntas metálicas duras del grosor

Armado y montaje del esqueleto del dinosaurio carnívoro *Austroraptor cabazai* en el MACN.

de una aguja y menos, particularmente si se deben limpiar fósiles frágiles o muy pequeños, como los de *Cratoavis cearensis*, un ave extinguida del noreste del Brasil del tamaño de un gorrión (véase en este número de Ciencia Hoy 'Las aves en el tiempo de los dinosaurios'), que se preparan con el auxilio de lupas binoculares de hasta 80 aumentos y agujas lo suficientemente delgadas para revelar rasgos microscópicos (la forma de las plumas, entre otros).

Concluida su preparación, los fósiles quedan en condiciones de pasar a las colecciones de los museos y de ser estudiados en detalle por los investigadores. Llegado el caso, también están listos para ser exhibidos, si bien para hacerlo se necesita resolver varias cuestiones que se consideran en los próximos párrafos.

Montaje y exhibición

Un fósil puede exhibirse al público visitante de muchas maneras, de las que paleontólogos y museólogos eligen la que consideran más adecuada para formar parte de cada muestra que montan. En otras palabras, es común que a lo largo de los años una misma pieza pase varias veces de los depósitos a las salas y viceversa, y que cada vez que aparezca expuesta a los visitantes se la exhiba de manera diferente, porque es parte de relatos distintos.

En ciertos casos los museos exponen la pieza original; en otros, una réplica. A menudo procuran mostrar esqueletos completos de los que no se han encontrado todos los huesos, por lo que necesitan modelar y reproducir las partes faltantes. Los paleontólogos, conocedores de la anatomía de los animales fósiles, guían a los técnicos en las tareas de reconstrucción.

En el pasado, las réplicas de huesos fósiles se realizaban en yeso, lo que daba por resultado piezas pesadas y frágiles, excelentes como material de estudio pero de difícil montaje. En la actualidad se emplean materiales más livianos, más resistentes y que permiten un mayor detalle de copiado, entre ellos, para montajes que van a estar a la intemperie, resinas náuticas y epoxis, y para montajes de interior, poliuretanos rígidos.

Para reproducir un fósil se necesita primero confeccionar un molde que replica la forma exacta y la textura externa del hueso. Cada molde es una pieza compleja compuesta de varias capas de caucho y silicona separadas por telas de gasa y sostenidas por una camisa rígida de resina. Esos moldes se llenan con los mencionados materiales según el destino exterior o interior de las piezas. Una vez fraguadas y endurecidas las copias, se desmoldan y se les dan los toques finales, entre ellos limarles las rebabas que resultan del moldeado.

Con frecuencia los museos procuran exhibir esqueletos completos. En el pasado montaban los fósiles originales, una práctica poco conveniente debido a que son piezas frágiles, pesadas y por lo común irreemplazables, características que no tienen las réplicas que hoy se utilizan. Los huesos originales quedan resguardados en las colecciones científicas, conservados de manera adecuada, y accesibles para los investigadores que necesitan estudiarlos.

Montar un esqueleto tiene, sin embargo, sus bemoles. Hay que dar a cada hueso replicado una posición anatómicamente correcta y al esqueleto una postura verosímil. En el caso de animales gigantescos el lugar disponible puede ser un factor limitante. Y resueltas estas cuestiones, se arma una estructura (por lo común metálica) para sostener todos los huesos. El paso final es pintar las réplicas del color del fósil original. Una vez que se concluyen estos pasos el esqueleto está listo para ser exhibido. Terminado, solo queda inaugurar la exposición y, con ella, despertar el interés del público por las ciencias naturales. Si esto se logra, se habrá alcanzado el objetivo. CH

LECTURAS SUGERIDAS

CIFELLI RL (ed.), 1996, *Techniques for Recovery and Preparation of Microvertebrate Fossils*, Oklahoma Geological Survey.

LEIGGI P & MAY P (eds.), 2006, *Vertebrate Paleontological Techniques*, Cambridge University Press

PAUL GS (ed.), 2000, *The Scientific American Book of Dinosaurs*, St Martin's Press, Nueva York.

Marcelo Pablo Isasi

Bachiller con orientación docente.
Técnico profesional principal del Conicet en el MACN.
mpisasi@hotmail.com

Federico Brissón Egli

Bachiller en producción de bienes y servicios.
Técnico del Conicet en el MACN.
fedebe@gmail.com

¡NO TE PIERDAS EL CONOCIMIENTO DE LAS CIENCIAS!

SUSCRIBITE A

CIENCIA HOY DE LOS CHICOS

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

chicos@cienciahoy.org.ar CHicosdeCienciaHoy Tel (011) 4961 1824 Fax (011) 4962 1330

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.

www.tenaris.com/argentina

Tenaris