

*Cronopio dentiacutus*, que vivió en la Patagonia hace 95 millones de años y tenía un cráneo de unos 2cm. Dibujo Jorge González

# El futuro del pasado

**L**os paleontólogos estudiamos la evidencia fósil para entender el pasado biológico lejano. No tenemos acceso directo a él, pero lo reconstruimos gracias a esa evidencia, con el auxilio de la geología, que es un componente integral de nuestras interpretaciones. El tiempo geológico no solo establece el contexto temporal en el que los procesos evolutivos produjeron una enorme variedad de organismos; también provee un marco geográfico dinámico, signado por los cambios de los continentes, océanos, desiertos y junglas. La paleontología resulta así una ciencia híbrida, con un origen biológico que, según el tema, se mezcla en mayor o menor grado con la geología.

Esa combinación de continuo cambio geológico, que se manifiesta en la atmósfera, la tierra y el mar, y permanente cambio biológico, con extinciones y apariciones de nuevas formas de vida, produce una historia compleja, que descubrimos en la constitución de comunidades que se vuelven endémicas de un lugar o en las dispersiones de sus organismos.

¿Cómo será la paleontología en el futuro? ¿Cómo influirán en ella los avances de las últimas décadas de

la geología y de la biología, e incluso de la medicina? ¿Cómo cambiará nuestro entendimiento del pasado?

## Lo que no cambiará

La información con que trabaja la paleontología continuará proviniendo de los fósiles. La prospección de campo y la colección de especímenes seguirán proporcionando la base de la disciplina. Dado que solo una pequeña fracción de la superficie del planeta ha sido explorada en busca de fósiles, se puede esperar que por muchas décadas haya jóvenes paleontólogos recorriendo el mundo con una piqueta geológica, un GPS y un mapa, y que descubran fósiles que cambien nuestra visión del pasado.

Menos del 1% de todas las especies que vivieron en la Tierra fueron recobradas como fósiles, y estos, independientemente del esfuerzo y la tenacidad que se ponga en coleccionarlos, siempre nos brindarán un panorama incompleto, sesgado en favor de organismos con partes duras como leños, valvas, caparazones, huesos o dientes, que se

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Qué harán igual que siempre y qué harán diferente que ahora los paleontólogos en los próximos diez años? ¿Qué preguntas científicas se plantearán en la Argentina?



El futuro de la paleontología descansa en la colección de nuevos fósiles, como los de pequeños mamíferos que busca este joven paleontólogo de campo en el árido paisaje patagónico.

preservan más fácilmente. Los organismos sin partes duras tienen menos probabilidad de llegar al museo y a la mesa de estudio. De todos modos, los paleontólogos de campo seguirán encontrando especies hoy desconocidas.

El conocimiento anatómico de los fósiles y su clasificación taxonómica o sistemática son fundamentales para entender los restos que aparecen. Si un paleontólogo encuentra o le llevan nuevos fósiles de un animal que se asemeja a un elefante, debe determinar si se trata de un mamut, de un mastodonte o de una especie desconocida, extinguida como las otras dos. Para ello debe ubicar el nuevo fósil en el marco de la evolución de los elefantes y establecer las relaciones de parentesco de las especies que forman su grupo y el momento de origen de cada una.

Trabajar con un marco sistemático basado en la anatomía y en las relaciones de parentesco entre organismos será un rasgo común a los buenos paleontólogos del presente y del futuro. Para las especies que viven hoy, esas

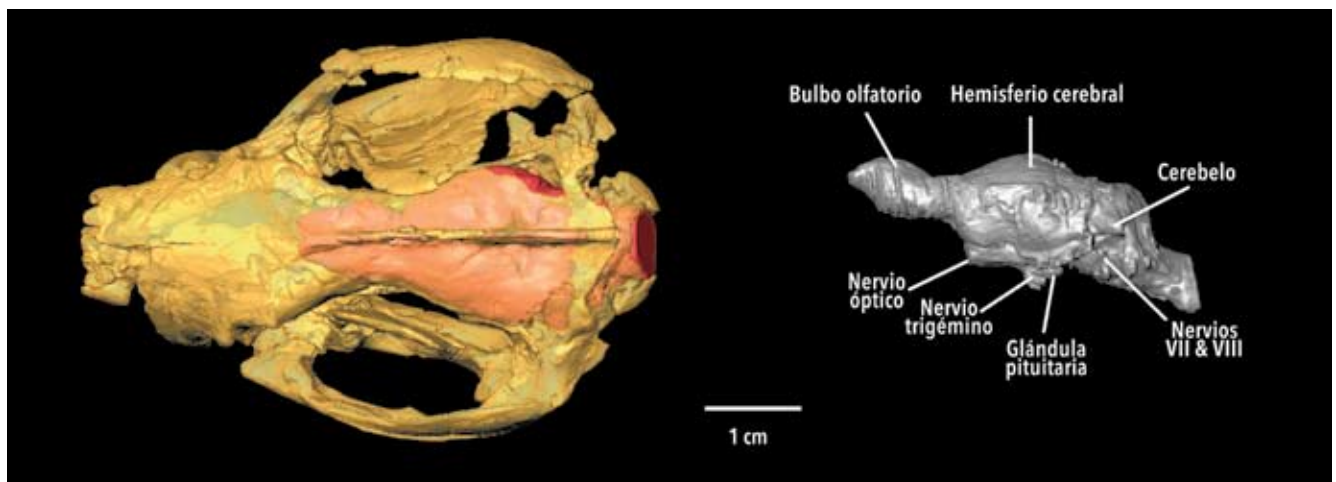
relaciones de parentesco pueden deducirse de las afinidades de sus genomas, en forma paralela o como complemento de las evidencias morfológicas o anatómicas. Los análisis que combinen genética molecular y morfología, importantes hoy, lo serán aun más en el futuro.

## Lo que cambiará

La invención del microscopio abrió la posibilidad de estudiar un mundo biológico antes desconocido. De la misma manera, las imágenes digitales y los programas de procesamiento electrónico de esas imágenes están abriendo posibilidades comparables a aquella.

El reemplazo de la fotografía analógica por la digital permite ahorrar dinero y hacer mejor uso del tiempo, pero no significó un salto cualitativo, como lo es la posibilidad de manipular las imágenes y de hacerlas interactuar entre ellas para producir reconstrucciones muy difíciles de lograr por otras técnicas. También ha traído avances notables el uso en paleontología de recursos hoy comunes en medicina y ciencia de materiales, más allá de las radiografías clásicas con rayos X que, si bien estuvieron disponibles hace bastante, son de limitada utilidad para analizar el interior de fósiles. En cambio, en determinados casos han resultado efectivas para esto técnicas como la tomografía computada, que también se vale de rayos X y puede producir imágenes tridimensionales, por ejemplo, para estudiar el interior de los fósiles y la densidad de la roca que rellena sus cavidades. También se ha recurrido con provecho, en otros casos, a la resonancia magnética nuclear y a la ecografía.

Con estas técnicas fueron reconstruidas pequeñas flores de hace noventa millones de años, fosilizadas dentro de bloques de ámbar. En el pasado reciente se accedía a los espacios internos de los fósiles en forma fortuita, cuando



Cráneo del mamífero *Vincelstes neuquenianus* que vivió hace unos 135 millones de años en la Patagonia. Imagen de tomografía computada del cráneo visto desde arriba, con el cerebro en rosado (foto izquierda), y reconstrucción del cerebro a partir de tomografía computada de alta resolución con indicación de nervios craneanos y otras características neuroanatómicas que permiten inferir ciertas habilidades del animal.

un espécimen se rompía, o por destrucción expresa de un ejemplar para fotografiar lo que iba apareciendo. Pero el camino destructivo, deliberado o fortuito, no podía usarse en forma sistemática.

Entre los logros más destacados en el campo del procesamiento digital de imágenes se cuentan los estudios de la evolución del cerebro de los linajes que desembocan en las aves y mamíferos modernos. Ambos grupos poseen cerebros grandes comparados con los de otros vertebrados. En los fósiles se conservan impresiones creadas por las distintas regiones del cerebro en el interior del cráneo. Recurriendo a tomografías computadas fue posible analizar la forma y el volumen de esos cerebros, más un conjunto de otros parámetros antes imposibles de cuantificar. Procedimientos similares, siempre con fósiles, se han aplicado al estudio del oído interno y de la cavidad nasal de mamíferos que vivieron hace más de 65 millones de años y a estudios de microestructura de invertebrados.

Los archivos digitales de imágenes obtenidos con estas técnicas pueden usarse para construir réplicas en materiales plásticos, sea de especímenes completos o de partes de ellos. Las novedosas impresoras de objetos tridimensionales han abierto en esto importantes posibilidades para la investigación, la enseñanza y la divulgación. Con las rebajas que están experimentando sus costos y la generalización de su uso, es previsible que la impresión en tres dimensiones sea algo cotidiano para el paleontólogo del futuro.

## Evolución y desarrollo

La evolución del desarrollo (conocida por *evo-devo*) es un área relativamente reciente de la biología. Vincula el estudio de la evolución biológica con el del desarrollo (los procesos que gobiernan el crecimiento de los organismos). Se remonta a un grupo de artículos publicados en los *Proceedings of the National Academy of Sciences* de los Estados Unidos (CS Goodman & BC Coughlin, 'The evolution of evo-devo biology', 97, 9: 4424-4425, 25 de abril de 2000, doi: 10.1073/). Su factor desencadenante fue el descubrimiento pocas décadas antes de un grupo de genes (llamados *hox*, contracción de *homeobox*) que determinan el plan corporal del embrión a lo largo del eje principal cabeza-cola. Sutiles cambios en la expresión de esos genes conducen a cambios radicales en la diversidad de los organismos.

Sobre la base de esas constataciones, se han diseñado modelos matemáticos que reflejan las morfologías conocidas de organismos pertenecientes a especies vivientes o extinguidas. Entre otros casos, estos modelos se utilizaron para explorar el origen del ala de las aves a partir de extremidades de dinosaurios, el desarrollo del oído medio de mamíferos a partir de huesos de mandíbula de parientes distantes, y la formación de cúspides en los dientes de mamíferos.

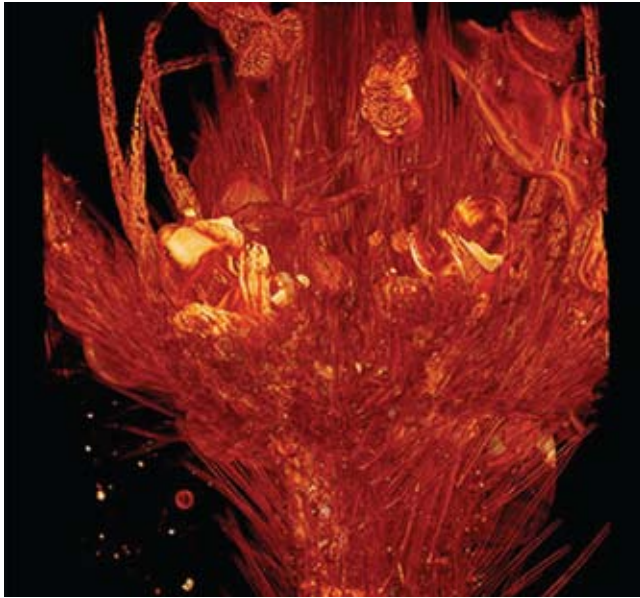
Hasta el advenimiento de esos modelos, que explican las variaciones anatómicas de los individuos como parte del proceso de desarrollo, los paleontólogos nos hemos conformado en gran parte con describir las secuencias evolutivas que constatábamos. Así, pudimos advertir que las serpientes son en realidad cuadrúpedos relacionados con los demás reptiles porque una multitud de caracteres así lo indican, y concluimos que no tienen patas porque las perdieron. Hoy conocemos los caminos genéticos de esa pérdida, en los que interviene un gen llamado *distal-less*.

El estudio conjunto realizado con el auxilio de la genética molecular del desarrollo y la evolución abrió un campo enorme para explorar el cúmulo de organismos extinguidos que esperan ser descubiertos y analizados por los paleontólogos, y constituyen un repositorio de diversidad morfológica que estamos procurando explicar con los parámetros que conocemos. Podemos anticipar que en el futuro dispondremos de modelos con mayor capacidad predictiva, y que los ajustaremos con los datos que provean nuevos descubrimientos. Los paleontólogos están en vías de convertirse en verdaderos biólogos del pasado.

## Otras áreas

La paleontología es compleja y multifacética. Es poco probable que alguien pueda abarcar sus múltiples ramas. A fuerza de necesidad, los paleontólogos somos cada vez más especializados y, a la vez, necesitamos crecientemente colaborar con colegas de nuestra y de otras disciplinas. Estas son algunas vías previsibles de cooperación:

- El uso de bancos de datos a los que puedan acceder en tiempo real múltiples investigadores, como Morphobank, con casi ilimitada capacidad de asociar imágenes, notas, datos, información bibliográfica, etcétera, que ayuden a abordar temas paleontológicos complejos, del tipo del origen de las angiospermas (plantas con flor) o la aparición de los mamíferos, que no pueden ser bien abordados por investigadores individuales en sus laboratorios. La necesidad de incluir disciplinas que hoy no son necesariamente parte del arsenal del paleontólogo, como biología molecular o modelos matemáticos y estadísticos, hace pensar que el paleontólogo del futuro se asemejará más a un organizador político que a un recluso genio en la torre de marfil.
- Dado que los seres vivos tienen requerimientos ambientales específicos en cuanto a temperatura, humedad, salinidad, acidez y otros, permiten inferir el clima y en parte la geografía del pasado. La paleobotánica y la paleontología de invertebrados son particularmente informativas al respecto, pues posibilitan discernir los niveles estratigráficos y correlacionar



Flor de noventa millones de años preservada en ámbar. Mide unos 3mm y pertenece al grupo que integran especies actuales como mentas, margaritas y zanahorias. Foto Mark Riccio, laboratorio William Crepet, Cornell.

formaciones rocosas de distintos lugares. Estas cuestiones tienen importante utilidad económica, por ejemplo, en la exploración de hidrocarburos, y solo pueden crecer en importancia en el futuro.

- Ciertos elementos químicos, lo mismo que determinadas moléculas, son muy estables: sobreviven decenas y aun cientos de millones de años. Analizando tales moléculas se ha deducido qué colores tenían plumas de dinosaurios y de aves primitivas, la composición química de la cutícula de artrópodos fósiles y la de distintas partes anatómicas de invertebrados.

### LECTURAS SUGERIDAS


- BALANOFF AM, BEVER GS & ROWE TB**, 2013, 'Evolutionary origins of the avian brain', *Nature*, doi: 10.1038/nature12424.
- EKDALE EG**, 2013, 'Comparative Anatomy of the Bony Labyrinth (Inner Ear) of Placental Mammals', *PLoS ONE* 8, 6: e66624, doi: 10.1371/journal.pone.0066624
- LUO Z-X**, 2011, 'Developmental patterns in Mesozoic evolution of mammal ears', *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 42: 355-80, doi: 10.1146/annurev-ecolsys-032511-142302.
- SEPKOSKI D & RUSE M** (eds.), 1992, *The Paleobiological Revolution*, University of Chicago Press.
- SALAZAR-CIUDAD I & JERNVALL J**, 2010, 'A computational model of teeth and the developmental origins of morphological variation', *Nature*, 464: 583-586.
- TAMURA K et al.**, 2011, 'Embryological evidence identifies wing digits in birds as digits 1, 2 and 3', *Science*, 331, 6018: 753-757.

El análisis molecular de fósiles se encuentra en su infancia y promete proporcionar información original sobre ellos.

## Las preguntas científicas

¿Qué temas atraerán preferentemente la atención de los paleontólogos en los próximos diez años? ¿Qué preguntas se están planteando, en especial en la Argentina? El país se beneficia de una tradición paleontológica de más de un siglo. Ya Florentino Ameghino (1854-1911) puso la paleontología del Río de La Plata en la mira internacional. En años recientes, las investigaciones sobre el período mesozoico (entre unos 245 y 65 millones de años atrás) hicieron importantes descubrimientos sobre dinosaurios y otros vertebrados, en especial en la Patagonia, de la cual solo una fracción ha sido explorada y seguramente será uno de los focos de la paleontología venidera en la Argentina.

También podemos pensar que la disciplina, sin perder importancia en lugares tradicionales como Buenos Aires, La Plata, Córdoba y Tucumán, tenderá a descentralizarse y florecerá en instituciones como el museo Egidio Feruglio de Trelew. El futuro de la paleontología está inexorablemente ligado a la riqueza de los yacimientos, que en la Argentina cubren gran parte del tiempo geológico y reflejan la gama de las comunidades biológicas del pasado, desde organismos unicelulares, plantas e invertebrados hasta vertebrados.

Para mantener al carácter avanzado de su disciplina, los paleontólogos del futuro deberán integrarse más estrechamente con la geología y la biología, sus disciplinas de origen. Deberán entender la genealogía de las especies sobre la base de datos moleculares, manejar las técnicas de procesamiento de imágenes, interactuar con bases de datos y operar modelos de desarrollo. Son requerimientos similares a los que esperan a los biólogos. Es posible que en el país haya más paleontólogos profesionales por habitante que en cualquier otro, lo que, unido al hecho de que la cantidad necesaria de dinero para llevar adelante las investigaciones es relativamente modesta, se puede contar un futuro feliz para quienes sueñan con la vida en el pasado. Pero a pesar de nuestra profesión, los paleontólogos no debemos, ni queremos, vivir en el pasado. 



### Guillermo W Rougier

Doctor en biología, Universidad de Buenos Aires.  
 Profesor plenario en el Departamento de Anatomía y Neurobiología, Universidad de Louisville, Kentucky.  
 Investigador asociado del American Museum of Natural History, Nueva York, y del Carnegie Museum of Natural History, Pittsburg.  
[grougier@louisville.edu](mailto:grougier@louisville.edu)