

# Paleontología virtual: Un viaje tridimensional al pasado de los cocodrilos

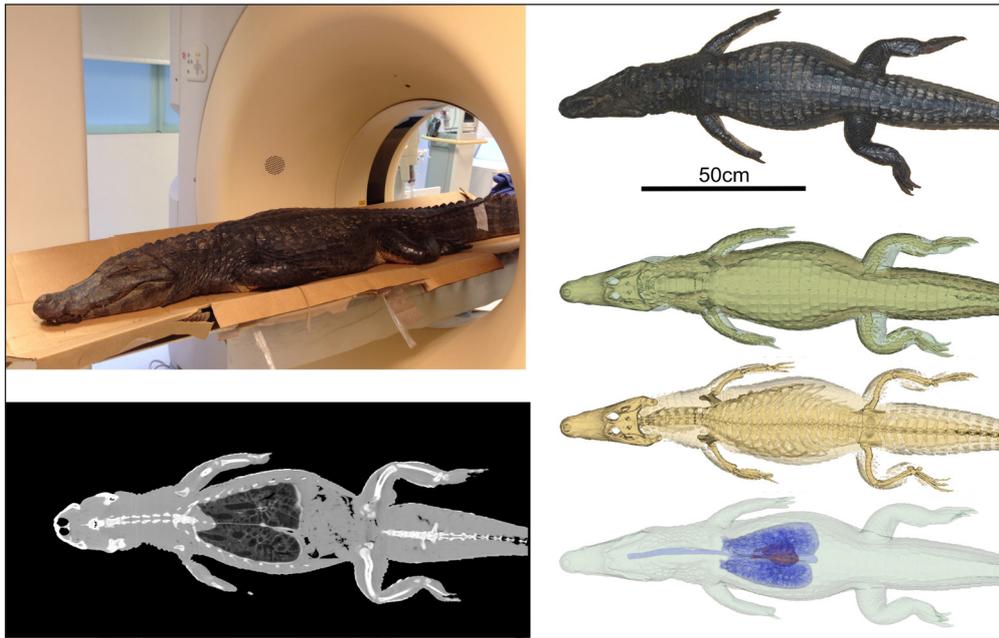


PALEONTOLOGÍA  
Vertebrados

Julia B. Desojo  
M. Belén von Baczko  
Jeremías R.A. Taborda  
Paula Bona

Los fósiles de vertebrados han sido estudiados históricamente por los paleontólogos de manera directa y preparados por ellos y los técnicos para su estudio superficial. Sin embargo, la aplicación de metodologías modernas como por ejemplo la tomografía, han permitido avances impensados como reconstruir sus partes blandas y responder preguntas sobre sus modos de vida. Así, conocemos un poco más a los ancestros de los cocodrilos cuando los continentes estaban juntos formando la Pangea.

Los fósiles de vertebrados, tanto los huesos y dientes como restos dejados por ellos como los *coprolitos* (ver glosario), que extraemos durante las campañas paleontológicas se depositan en colecciones alojadas en museos y otras instituciones. Su estudio incluye la preparación e identificación de los materiales en el laboratorio para saber a qué tipo de animal pertenecían, por ejemplo, mamíferos, reptiles, peces, anfibios. Estudiamos las características morfológicas que nos permiten identificar a qué parte del esqueleto pertenecían e interpretar por ejemplo cómo era la anatomía del animal, cómo vivía

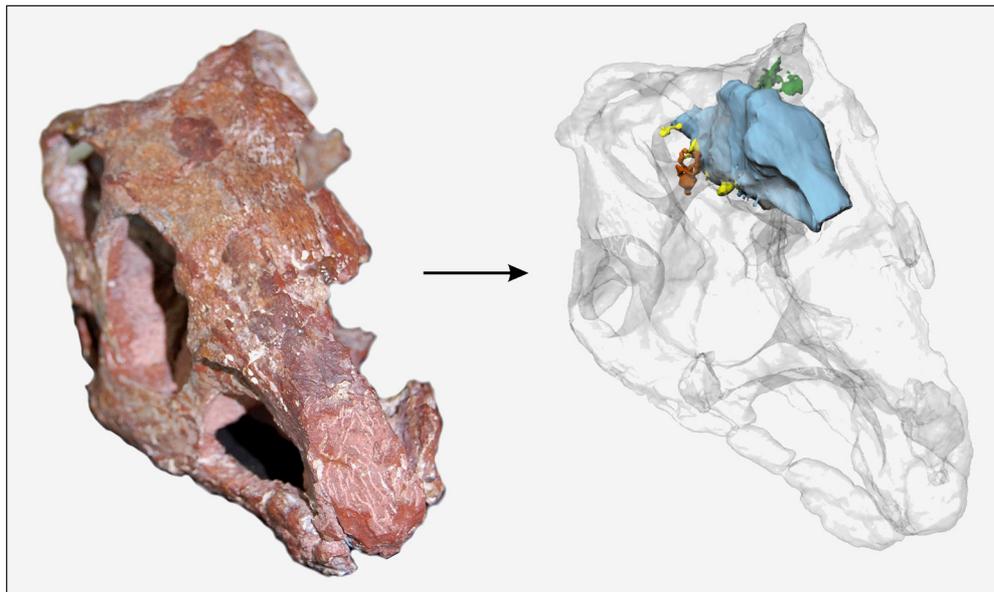


1. *Caiman yacare* en el tomógrafo de la Clínica La Sagrada Familia e imágenes digitales obtenidas a partir de CT. Fotos: M.B. von Baczko, J.R.A. Taborda, J. B. Desojo.

o con qué otros grupos estaba emparentado. De este modo, se hacen descripciones, se toman fotos y medidas directas que permitan ilustrar el fósil y detallar sus características en las publicaciones científicas.

Las partes blandas de un animal, como los músculos y otros órganos, no suelen preservarse de forma directa durante el proceso de fosilización, pero esto no significa que no se puedan estudiar. Algunas metodologías como tomografías computadas, radiografías y microtomografías que comenzaron a utilizarse en paleontología desde la década de 1980, permiten estudiar estas partes no fosilizadas de forma indirecta, conectando a los huesos y rellenando las cavidades que estas partes ocupaban. Así, comparando los restos fósiles con animales actuales más cercanamente emparentados se generan reconstrucciones virtuales a partir de las series de estas imágenes tomográficas (Fig. 1). Utilizando programas especializados de manejo de imágenes tridimensionales (3D), se establecen modelos, por ejemplo, los músculos que conectaban los huesos, las cápsulas cartilagosas que formaban las articulaciones, los órganos sensoriales que rellenaban las cavidades craneales (por ejemplo, oído, vías olfatorias), el cerebro que se alojaba en la cavidad encefálica y los nervios y vasos sanguíneos que atravesaban los distintos canales y orificios de los huesos (Fig. 2).

De este modo, aquellas preguntas que surgen del estudio anatómico de los fósiles pueden ser contestadas a partir de los es-



2. Cráneo fósil de un aetosaurio (*Neoaetosauroides*) y reconstrucción digital con cerebro y oído. Foto: J. R. A. Taborda.

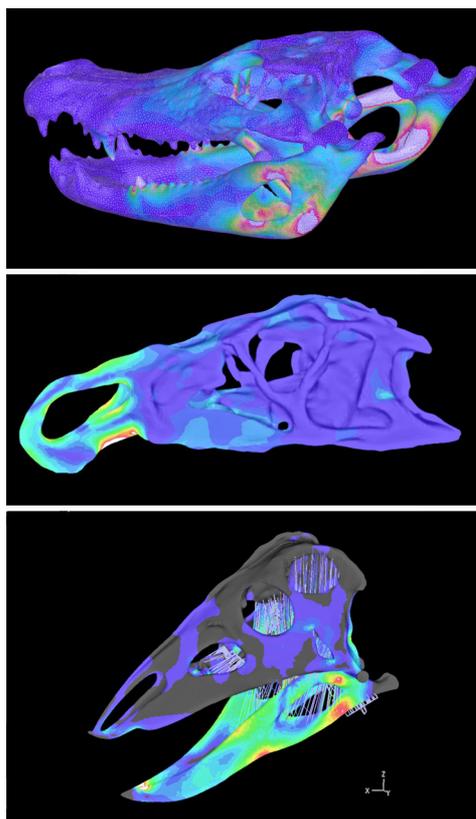
tudios tomográficos. Por ejemplo: ¿Qué tan fuerte mordía un animal extinto? ¿Qué movimiento podían realizar sus patas con respecto a la cadera? ¿Qué tan desarrolladas estaban las partes de su cerebro? ¿Tenía buena visión, olfato y/o audición? ¿Eran ágiles o de movimientos torpes? ¿En qué tipo de ambiente vivían?

Los modelos 3D nos sirven para realizar estudios anatómicos y *biomecánicos* (ver glosario) de detalle que nos permiten responder estas y muchas otras preguntas acerca de la paleobiología de los animales extintos (Fig. 3). De este modo podemos no sólo realizar descripciones detalladas de los esqueletos con partes previamente desconocidas, si no también saber cómo funcionaban y qué capacidades biológicas (locomoción, alimentación, capacidad sensorial) tenían estos animales hoy extintos.

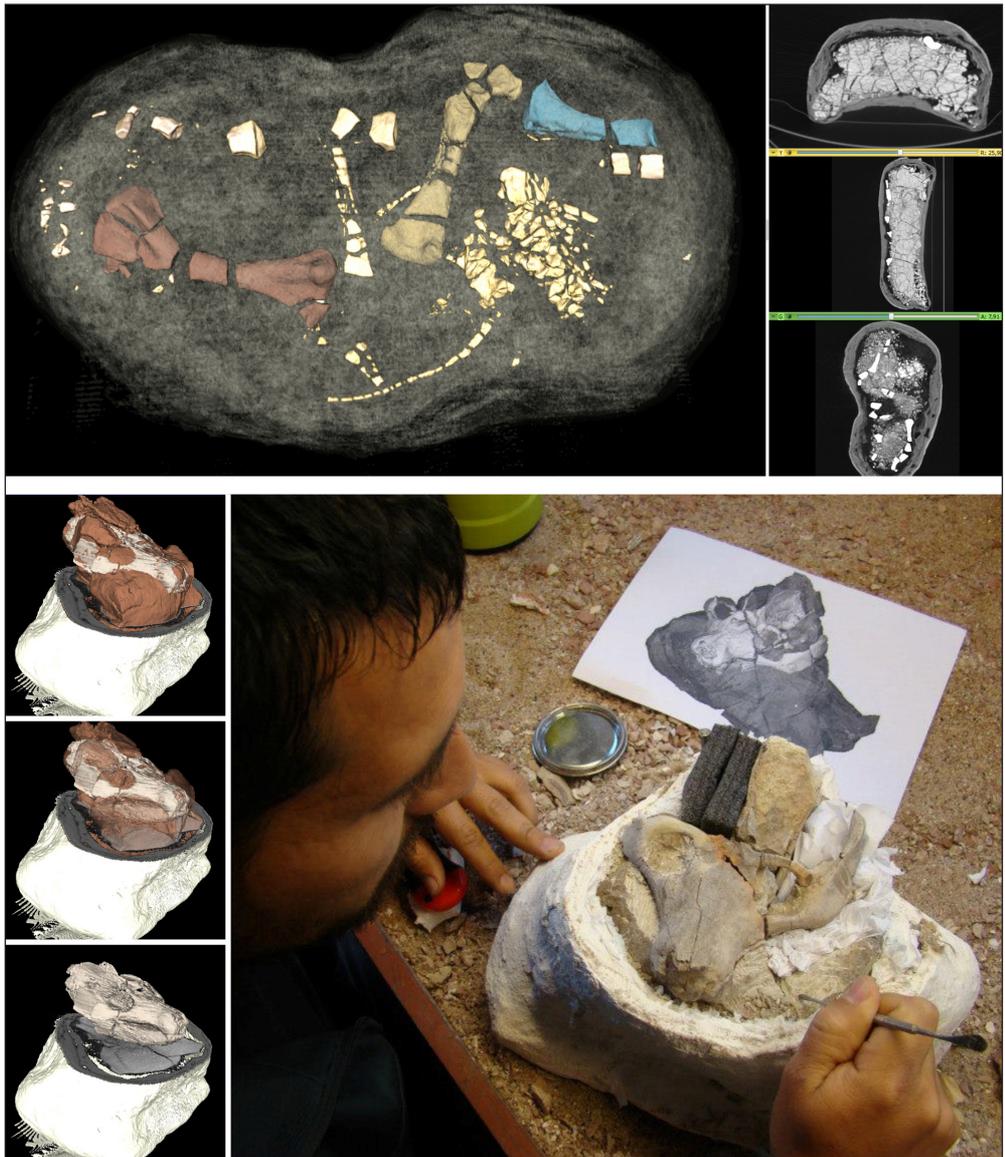
Por otra parte, los modelos 3D obtenidos a partir de las tomografías computadas ofrecen otras aplicaciones, como poder conocer la disposición de los huesos preservados dentro de un bloque de roca o de un *bochón* (ver glosario) realizado en el campo, previo a su preparación en el laboratorio (Fig. 4). De este modo, se puede priorizar la preparación de los ejemplares y el preparador

técnico puede tener una mayor precisión al momento de su apertura.

Otra aplicación es poder recuperar la forma natural que habrían tenido los restos fósiles, ya que muchas veces éstos se encuentran deformados por *procesos tafonómicos* (aplastados o movidas sus partes, ver glosario). Esto se logra mediante la manipulación



3. Imágenes 3D para análisis de biomecánica en caimanes y otros arcosaurios basales (*Riojasuchus* y *Neoaetosauroides*). J. R. A. Taborda

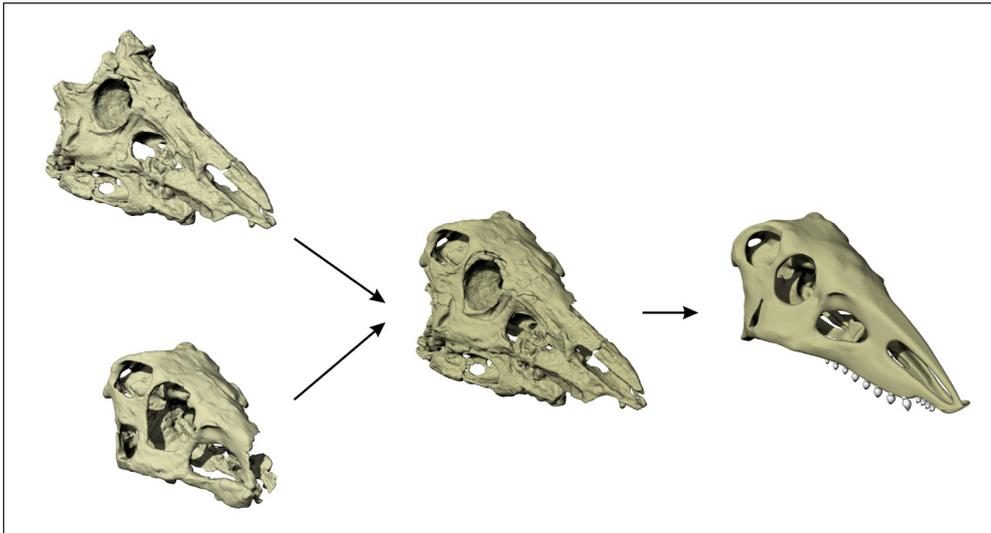


4. Imagen tomográfica de un bochón con su reconstrucción digital y su uso en preparación técnica.  
Foto: L. Fiorelli., J. R. A. Taborda

virtual de los modelos 3D. A su vez, también pueden ser utilizados para la restauración de partes faltantes o rotas (Fig. 5).

Por último, los modelos 3D pueden ser implementados para estudios biomecánicos y paleobiológicos con el fin de responder las preguntas surgidas a partir de los estudios anatómicos iniciales. Por ejemplo: ¿cómo eran sus movimientos mandibulares? ¿eran herbívoros?

Otra ventaja de trabajar con reconstrucciones tridimensionales de fósiles es la posibilidad de su reproducción a través de impresiones 3D. Esto permite realizar una copia fiel del fósil original por medio de técnicas no invasivas como los clásicos



5. Imagen digital de 2 cráneos de aetosaurio (*Neoaetosauroides*) y su ensamblado reconstruyendo la apariencia completa del cráneo. J. R. A. Taborda

moldes, disminuyendo así el riesgo de deterioro del material fósil. Estas impresiones 3D pueden realizarse en diversos tipos de plásticos y resinas. Las copias, así como los modelos digitales, pueden utilizarse en exposiciones de museos para exhibir esqueletos articulados en posición de vida, como material didáctico para docencia y divulgación y para intercambio entre instituciones e investigadores.

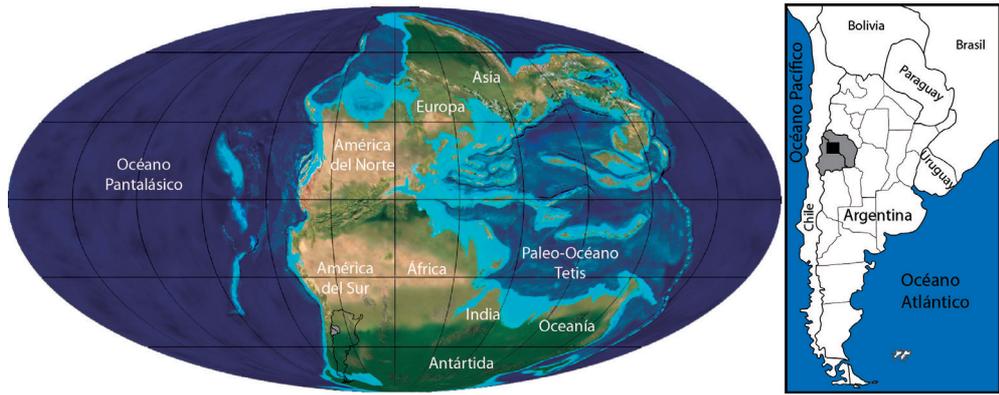
### La aplicación de la paleontología virtual a los fósiles Triásicos del linaje crocodylino

Durante el Período Triásico (250-200 millones de años aproximadamente), surgieron y diversificaron los principales linajes de reptiles que se encuentran representados en la actualidad. En este momento de la

historia todos los continentes estaban unidos en una gran masa continental conocida como el supercontinente Pangea (Fig. 6). En este Período reinaba un clima cálido y monzónico (estaciones alternadas de lluvias y de sequías) y estaba habitado por una gran variedad de peces, anfibios, varios tipos de reptiles, y precursores de los mamíferos, entre otros. Por ello, este momento de la historia de la Tierra es clave para poder comprender el origen y la evolución de estos grupos de animales.

En lo que hoy es el territorio argentino habitaron una gran variedad de formas ancestrales de los cocodrilos modernos, denominados *arcosaurios* basales (ver glosario). Sus fósiles se registran principalmente en rocas del centro-este del país, en la Cuenca Ischigualasto-Villa Unión, ubicada entre las provincias de San Juan y La Rioja que tienen una antigüedad de 230 millones de años aproximadamente. Estos fósiles se

En 2018 publicamos un trabajo en una revista internacional dando a conocer los resultados del estudio paleoneurológico de un cráneo de aetosaurio (*Neoaetosauroides engaeus*) depositado en las colecciones paleontológicas del Instituto Miguel Lillo en Tucumán. A partir de tomografías del cráneo, reconstruimos digitalmente el encéfalo y el oído permitiendo su descripción y la comparación con los de los cocodrilos y aves. El estudio integral del cerebro (tractos olfatorios largos, angostos y bulbos olfatorios elipsoidales) y del oído, permitió conocer como estaba orientada la cabeza y determinar que este aetosaurio, que vivió hace aproximadamente 220 Ma, era animalívoro, a diferencia del resto de los aetosaurios que solo comían plantas (DOI 10.7717/peerj.5456)



6. Mapa de Pangea y la Cuenca Ischigualasto-Villa Unión, Argentina (tomado de R. Blakey).

encuentran mayormente en el Parque Provincial Ischigualasto (San Juan) y el Parque Nacional Talampaya (La Rioja), en los cuales bregan por su conservación y protección permitiendo no sólo su estudio por parte de los paleontólogos y geólogos, sino que también se difunde su conocimiento a toda la sociedad argentina y al mundo.

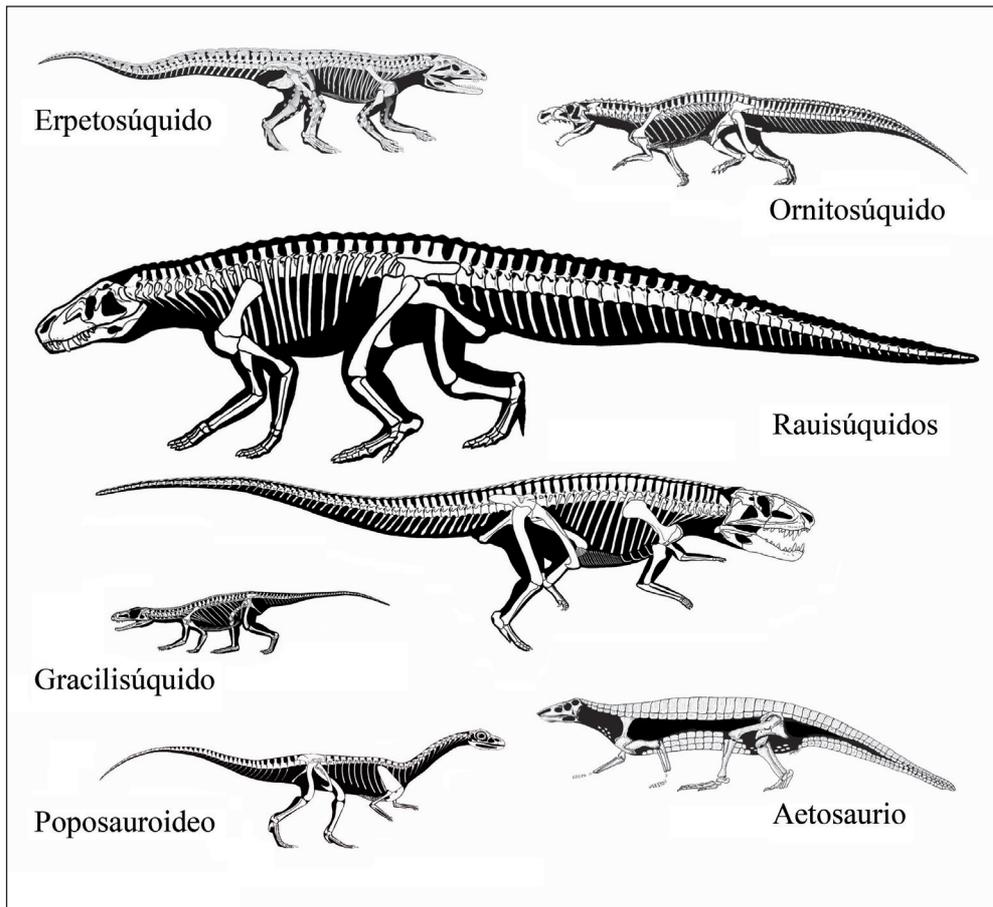
Los cocodrilos actuales (gaviales, cocodrilos y aligátors) estaban representados durante el Triásico por una gran diversidad de ancestros (arcosaurios basales), hoy completamente extintos. Entre estos precu-

sores de los cocodrilos se incluían formas acorazadas como los aetosaurios; grandes carnívoros representados por los raiusúquidos que llegaron a medir hasta 8 metros; predadores de pequeño y mediano tamaño como los gracilisúquidos, erpetosúquios y esfenosúquios que no sobrepasaron los 1,5m; formas bípedas, con hocicos cortos y extraños como por ejemplo los ornitosúquidos y poposauroides y, por último, formas semiacuáticas con hocicos largos como los fitosaurios (Fig. 7). El estudio de estos animales fósiles nos permite conocer cada vez mejor a los antepasados de los cocodrilos, como evolucionaron y cuándo y por qué desaparecieron.

## El Archosauriform Research Group

Con este fin, nos reunimos un grupo de investigadores, estudiantes y técnicos de diversas instituciones científicas y universitarias argentinas y formamos un grupo de investigación de los arcosaurios, el Archosauriform Research Group o ARG. En este grupo estudiamos los animales vertebrados que vivieron en el Período Triásico, hace 250 millones de años, que incluían a los precursores de los cocodrilos, dinosaurios y mamíferos, para entender cómo vivían y cuáles eran sus roles ecológicos en las comunidades terrestres durante el Triásico Tardío.

Para ello no sólo estudiamos la anatomía de los esqueletos de estos animales, para saber cómo fueron en vida (bípedos o cuadrúpedos; predadores, carroñeros o



7. Diversidad de arcosaurios basales.

herbívoros), sino también el lugar donde fueron encontrados. Esto nos permite saber de qué se alimentaban, cómo era el ambiente que habitaban y determinar el clima predominante en este período de la historia de

nuestro planeta. Los integrantes del ARG, no solo hacemos campañas paleontológicas en busca de fósiles de arcosaurios, sino también estudiamos embriones y hacemos disecciones de cocodrilos actuales (por

## Ventajas y desventajas de estos estudios

- + Acceso a partes de los fósiles que no podemos ver a simple vista.
- + Es un método no invasivo por lo tanto no perjudica al material.
- + Permite una vista previa del bochón antes de prepararlo.
- + Estudio de estructuras muy delicadas y frágiles (momificaciones, insectos en ámbar, ejemplares muy pequeños).
- + Permite el fácil intercambio entre instituciones (para investigadores, colecciones, exhibiciones, docencia) por medio de impresiones 3D y tomografías.
- Se trabaja con una reconstrucción del material la cual es subjetiva ya que depende de la calidad del tomógrafo y de la experticia del técnico que maneja el equipo y del especialista que genera la reconstrucción.
- El tamaño de los fósiles puede ser limitante para realizar la tomografía.
- No todas las instituciones poseen equipos tomográficos.
- Las impresiones 3D son costosas y, a veces, no se dispone de financiamiento.

ejemplo caimanes), describimos y reconstruimos los cerebros de animales fósiles y actuales, analizamos cortes histológicos y confeccionamos curvas de vida de animales que existieron hace 230ma.

Estas técnicas, si bien hace muchos años que comenzaron a utilizarse en paleontología, se están perfeccionando cada vez más y fundamentalmente, se están haciendo más accesibles con los avances tecnológicos. Hace unas pocas décadas era inimaginable pensar en poder “ver” el interior de las rocas buscando respuestas que hoy tenemos al alcance de nuestra mano. Gracias a ello, dilucidamos los ancestros de los cocodrilos, reconstruimos los ambientes en los que vivieron y conocemos mucho más de ellos. ◆

## Glosario

*Arcosaurio*: grupo de reptiles que agrupa a todos los precursores de los cocodrilos y de las aves, incluyendo a los pterosaurios y dinosaurios no avianos.

*Biomecánica*: Aplicación de principios mecánicos a organismos vivos, utilizando conceptos de física e ingeniería para evaluar las capacidades mecánicas y funcionales de las estructuras y sus efectos en la biología de los organismos.

*Bochón*: Cubierta de papel y tela (vendajes, arpillera) embebida en yeso utilizada para proteger fósiles frágiles y poder transportarlos sin riesgo de roturas.

*Coprolito*: Materia fecal fosilizada, compuesta principalmente de fosfato de calcio. Puede contener restos de vegetales y/o animales que hayan sido ingeridos por el animal generador del coprolito.

*Procesos tafonómicos*: Comprende todos los procesos que le ocurren a un organismo desde que muere hasta que fosiliza y es descubierto, tales como descomposición, enterramiento, fragmentación/desarticulación, compactación, recristalización, entre otros.

## Información adicional

*Link del “Archosauriform Research Group”*  
<http://archosaurarg.wixsite.com/archosaur>

*Link del Parque Talampaya*: <https://parquesnacionales.gob.ar/areas-protegidas/region-centro/pn-talampaya/>

*Link del Parque Ischigualasto*: <http://ischigualasto.gob.ar>

*Link de la Clínica La Sagrada Familia donde se realizaron las tomografías*: <http://sagradafamilia.com.ar>

---

*Julia B. Desojo, División Paleontología Vertebrados, FCNyM, UNLP-CONICET*

*M. Belén von Baczko, División Paleontología Vertebrados, FCNyM, UNLP-CONICET*

*Jeremías R.A. Taborda, CICTERRA-CONICET.*

*Paula Bona, División Paleontología Vertebrados, FCNyM, UNLP-CONICET*