

María Jimena Trotteyn

Centro de Investigaciones de la Geósfera y la Biósfera
(CIGEOBIO), Universidad Nacional de San Juan-Conicet

Ariana Paulina-Carabajal

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

Paleoneurología

La paleoneurología es la rama de la paleontología que estudia el cerebro y otras partes del sistema nervioso central de animales de especies extinguidas. Como esos órganos blandos se degradan luego de la muerte del animal, solo se los puede estudiar a partir de los huesos del cráneo, en particular, los que forman la *caja craneana*, un recinto cuya función es contener y dar protección al cerebro y a los órganos de los sentidos de los animales. El espacio interior de la caja craneana, llamado *cavidad craneana*, resulta así un indicador relativamente preciso—dependiendo del tipo de animal—de la forma y las dimensiones de los órganos en cuestión, mientras que las paredes interiores de la caja craneana proporcionan información sobre la superficie de los mencionados órganos. La paleoneurología actual tiene una larga historia, que se remonta al siglo XIX, pero tuvo un auge reciente gracias a la aplicación de técnicas novedosas, como la tomografía computada de rayos X.

La caja craneana está formada por numerosos huesos que los anatomistas distinguen con nombres como occipital, esfenoides, ótico y otros, los cuales tienen perforaciones por las que entran o salen nervios y vasos sanguíneos. Esos orificios, que se aprecian en los fósiles, suelen resultar identificados con relativa facilidad por comparación con animales actuales emparentados con los extinguidos.

Dado que sus objetos de estudio desaparecieron, para llevar a cabo sus investigaciones la paleoneurología se vale de modelos o moldes de ellos, creados naturalmente o por el investigador partiendo de la cavidad craneana. Dichos moldes permiten determinar qué regiones del cerebro estaban más desarrolladas y así inferir cuáles sentidos (vista, olfato u oído) eran más importantes para la supervivencia del animal.

Los moldes naturales resultan del relleno de la cavidad craneana con sedimentos que toman su forma y con el tiempo se endurecen. Esos moldes quedan ex-

¿DE QUÉ SE TRATA?

¿Cómo era el cerebro de los animales de especies extinguidas? ¿Cómo logran los paleoneurólogos descubrirlo?



Izquierda. Cráneo fosilizado de un mamífero extinguido de la especie *Protypotherium australe* encontrado en Santa Cruz; mide unos 6cm. **Derecha.** Molde natural del cráneo de un ungulado extinguido de especie indeterminada también procedente de Santa Cruz; mide unos 12cm de largo. Se estima que ambas especies de mamíferos vivieron en el Mioceno, época que se extendió entre unos 23 y unos 5 millones de años antes de presente, es decir, cuando ya se habían extinguido los dinosaurios. Las autoras agradecen las fotografías a la investigadora María Teresa Dozo, del CENPAT, Puerto Madryn.

puestos si, por causas como erosión o fractura, desaparece el hueso que los rodea. Sin embargo, son muy poco frecuentes, debido, entre otras razones, a que las cabezas de muchos vertebrados fósiles no se han preservado.

En consecuencia, los paleontólogos generan moldes artificiales, principalmente de látex. Para hacerlo, depositan dicho material en estado líquido en varias capas sobre las paredes interiores de la caja craneana, esperan que se seque, lo desprenden de esas paredes y, como es flexible, pueden plegarlo y extraerlo por algún orificio, por ejemplo, por el que da salida a la médula espinal, llamado foramen magno. La superficie de látex que estuvo en contacto con las caras interiores de la caja craneana reproduce fielmente los detalles y las irregularidades de esas caras, un reflejo a su vez de la superficie externa del cerebro y los demás órganos del encéfalo.

Además de moldes de este tipo, que podríamos llamar analógicos, los paleontólogos tienen hoy la posibilidad de recurrir a moldes digitales, generados por tomografía computada de rayos X. Obtienen así imágenes en tres dimensiones generadas a partir de cientos de radiografías de rayos X que conforman una secuencia de cortes o secciones bidimensionales de la caja craneana. Cuanto mayores sean el número de secciones y la definición de las imágenes, mayor será la probabili-

dad de obtener buenos resultados. Mediante programas de computación se integra la información de los cortes y se obtienen imágenes tridimensionales de las diversas estructuras del encéfalo. Los moldes de látex son objetos físicos; los digitales son dibujos que se ven en pantalla o se imprimen en papel. Pero con la información digital y una impresora 3D se puede tener en las manos un molde digital con características de objeto físico.

Un factor que condiciona los estudios paleoneurológicos, además de la escasez de cabezas fósiles y del mal estado de las que se encuentran, es que, aun si se da con una cabeza intacta, no es posible observar directamente sus partes internas sin cortarla y, por ende, destruir la pieza. Los museos que exhiben cráneos de dinosaurios herbívoros y carnívoros cortados por el medio de modo que se aprecie la cavidad craneana, como sucede en algunos de los Estados Unidos, lo pudieron hacer porque se trata de especies de las cuales se excavaron numerosos ejemplares, de suerte que no se perdió información por cortar alguno.

Lo común, sin embargo, es que cada cráneo preservado de un animal perteneciente a una especie fósil, como los dinosaurios, sea un ejemplar único, lo que excluye estudiarlo por métodos que lo dañen y obliga a recurrir a los modelos descriptos.

Molde de látex del encéfalo de un *Giganotosaurus carolinii* realizado por la autora Paulina-Carabajal. La barra que da la escala mide 10cm.



A partir de estos, el paleontólogo busca pistas o claves que ayuden a confirmar a qué especie perteneció el animal y a descubrir, entre otras cosas, qué son las estructuras que discierne en el molde y cómo se comparan con las de otras especies, y cuáles fueron las capacidades sensoriales del animal cuando estaba vivo. En otras palabras, procura determinar cómo veía, oía o se movía, qué inteligencia tenía y cómo se reflejaba esto en su modo de vida y su relación con el hábitat.

Para llegar a hipótesis sobre los últimos interrogantes, se precisa mucha y muy variada información, desde la anatomía ósea y muscular de distintos grupos de animales, la taxonomía y la filogenia, hasta la paleobotánica y la paleoclimatología. Por ello, es mejor realizar este tipo de estudios reuniendo equipos interdisciplinarios que puedan, entre otros aspectos, considerar la dieta del animal y su modo de alimentación, la forma y complejidad de movimientos de su cabeza, su postura y su estilo de desplazamiento. Con todo, reconstruir el modo de vida de un animal de una especie extinguida no es fácil: es como armar un rompecabezas del cual se ha perdido el 80% de las piezas.

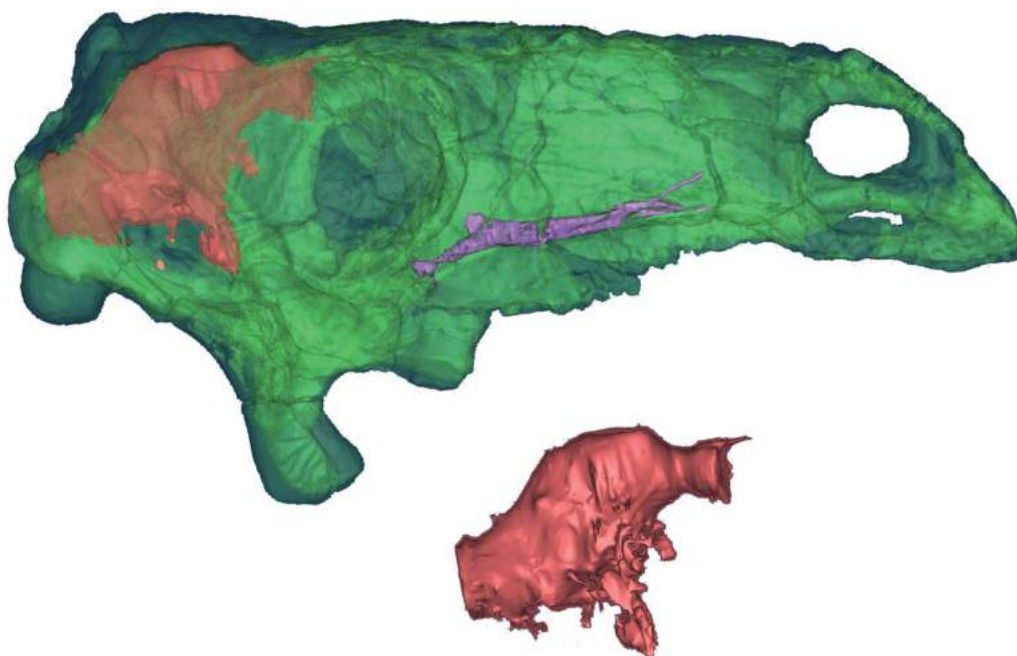
Sentidos e inteligencia

La interpretación de cómo eran los sentidos de los animales de especies fósiles, particularmente la vista, el olfato y el oído, se realiza por comparación con animales actuales, partiendo de la morfología de ciertas estructuras cerebrales y del oído interno. Por ejemplo, en especies vivientes como los cocodrilos es posible calcular el rango auditivo midiendo una región del oído interno

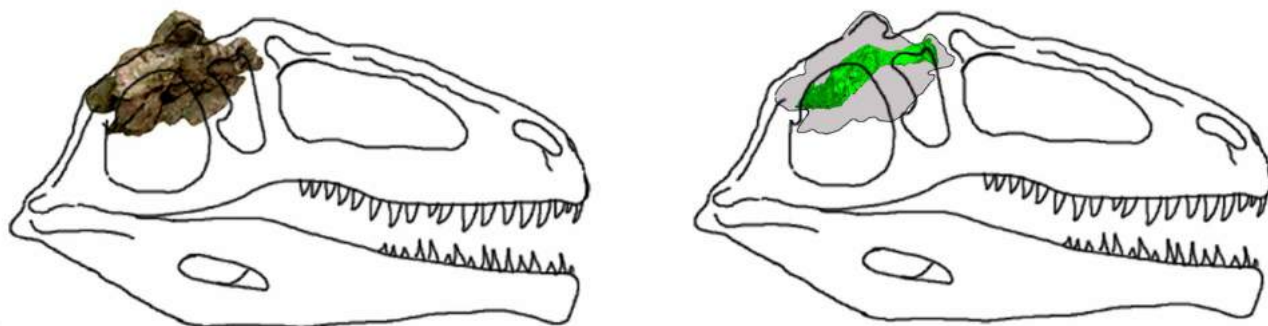
encargada de percibir sonidos, la lagena. Si en un cocodrilo actual esa estructura anatómica tiene un largo aproximadamente igual al que exhibe el fósil de un dinosaurio, se puede suponer que este último habría tenido una capacidad auditiva y captado un rango de frecuencias sonoras similares a las de un cocodrilo.

Por su parte, el tamaño de los bulbos olfatorios es un indicador de la capacidad olfativa, mientras que el tamaño de los lóbulos ópticos lo es de la capacidad visual. También, los canales semicirculares del oído interno se relacionan con el sentido del equilibrio y de balance del cuerpo, por lo que su tamaño constituye un indicador de la amplitud y complejidad de los movimientos que puede realizar la cabeza. Si bien en la mayoría de los casos no es posible cuantificar los sentidos, se puede estimar cuáles fueron más importantes para la supervivencia del animal.

Uno de los primeros análisis que se suele realizar sobre la base de un molde endocraneano es el de la inteligencia del animal. Para ello se calcula el índice de encefalización, que relaciona el volumen del cerebro con el tamaño corporal y permite comparar animales de diferentes tamaños. Tomemos, por ejemplo, dos de los más grandes dinosaurios carnívoros de los que se tiene noticias, uno encontrado en Sudamérica y otro en Norteamérica. El primero, *Giganotosaurus carolinii*, tiene un largo de unos 13m, una masa corporal que ronda los 7000kg y un volumen craneano de alrededor de 300cm³. El otro, *Tyrannosaurus rex*, en cambio, tiene aproximadamente el mismo tamaño corporal pero un volumen encefálico más cercano a los 400cm³, lo cual sugiere que era un poco más inteligente y probablemente un poco más ágil. Una gallina, sin embargo, tiene un índice de encefalización mucho



Reconstrucción digital realizada sobre la base de tomografías computadas de un cráneo fósil descubierto en 1992 en Texas. Perteneció a un dinosaurio de la especie *Pawpawsaurus campbelli*, que vivió durante el período cretácico (entre hace unos 145 y 66Ma). El cráneo (en verde) mide unos 35cm y el cerebro (en rojo), que se muestra en su posición en el cráneo y aislado con más claridad, unos 9cm. La figura morada en el cráneo corresponde al canal alveolar dorsal, por el que pasan la rama maxilar del nervio trigémino y la vena y la arteria maxilares.



Izquierda. La caja craneana en su posición natural en el cráneo del dinosaurio *Giganotosaurus carolinii*. **Derecha.** El encéfalo en su posición natural dentro de la caja craneana del mismo dinosaurio.

más alto que ambos, a pesar de tener un encéfalo de volumen muchísimo menor. En otras palabras, para tener la inteligencia de una gallina, según este hipotético análisis, *Giganotosaurus carolinii* y *Tyrannosaurus rex* hubiesen necesitado un cerebro mucho más grande.

Estudio paleoneurológico de un gigante patagónico

Giganotosaurus carolinii es el nombre dado por los paleontólogos Rodolfo Coria y Leonardo Salgado a un dinosaurio hallado en 1993 en las cercanías del dique del Chocón, en Neuquén. Se estima que vivió hace unos 98 millones de años, a comienzos del Cretácico superior. Fue uno de los más grandes carnívoros terrestres, comparable con el mencionado *Tyrannosaurus rex*, y pudo ser estudiado en bastante detalle porque se han hallado dos esqueletos, uno casi completo. Las autoras de este artículo aportaron una visión paleoneurológica a esos estudios.

Los mencionados esqueletos, hoy conservados en el Museo Paleontológico Ernesto Bachmann, de la villa del Chocón, se hallaron desarticulados, con la caja craneana separada de las vértebras. Para la neurobiología esto resultó afortunado, ya que permitió recurrir a la tomografía, pues como el cráneo completo del animal mide aproximadamente 1,80m de largo, de haber estado articulado no habría cabido en ningún tomógrafo.

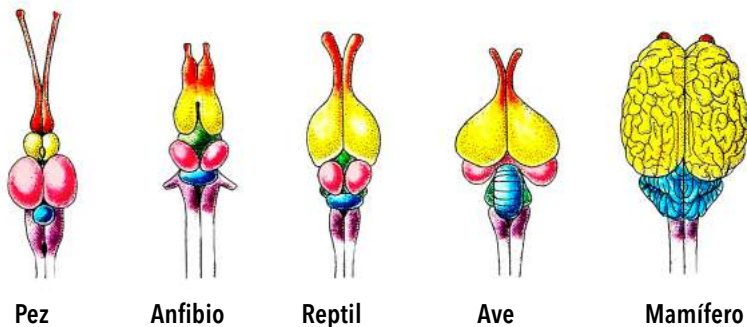
El primer paso para estudiar la paleoneurología del reptil fue vaciar la cavidad craneana del sedimento que la rellenaba, un trabajo muy delicado, que se hizo de forma manual. Luego se procedió a confeccionar un molde endocraneano de látex, formado por varias capas de dicho material depositado sobre el interior de la caja craneana con pincel. Una vez seco el látex, el

molde flexible, despegado del hueso, se extrajo de la caja craneana por el foramen magno. Una vez fuera de la cabeza, el molde se rellenó con el mismo producto para convertirlo en una estructura sólida que durará unos diez años si se tienen los cuidados necesarios.

La descripción preliminar de la superficie del molde permitió conocer por primera vez la morfología del cerebro de un dinosaurio de este tipo encontrado en lo que hoy es Sudamérica, y compararla, por ejemplo, con el aproximadamente contemporáneo *Carcharodontosaurus sa-*



Reconstrucción del esqueleto de *Giganotosaurus carolinii* en el Museo de Historia Natural de Helsinki. Wikimedia Commons



El encéfalo en diferentes grupos de animales actuales. De arriba abajo: bermellón, lóbulo olfatorio; amarillo, cerebro; carmín, lóbulo óptico; turquesa, cerebelo; violáceo, bulbo raquídeo; blanco, médula espinal.

haricus, un dinosaurio cuyos restos se hallaron en el norte de África.

Para avanzar en el estudio se realizó luego una tomografía del cráneo de *Giganotosaurus* en una clínica de la ciudad de Neuquén. Con esas imágenes se pudo reconstruir digitalmente en tres dimensiones no solo lo que se conocía del encéfalo a partir del molde de látex sino, también, el oído interno y los nervios. Estos no habían aparecido en el látex porque los canales de los huesos de la caja craneana a través los cuales pasaban permanecían rellenos de sedimento.

Reconstrucción digital y molde de látex son técnicas complementarias, ya que cada una tiene alguna ventaja sobre la otra. En el ejemplo que comentamos, la primera proporciona los mencionados detalles de los nervios y vasos sanguíneos, pero algunos moldes de látex pueden copiar pequeñas impresiones de vasos sanguíneos que no aparecen en las tomografías. Esos moldes pueden ser preferibles si se desea tener en las manos objetos en tres dimensiones en vez de los dibujos en perspectiva que son el resultado de las reconstrucciones digitales, si bien con las impresoras 3D se pueden obtener dichos objetos a partir de las tomografías. Otra ventaja de los procedimientos digitales es

la facilidad de la transmisión electrónica instantánea del resultado final completo a cualquier lugar del mundo.

Limitaciones de los moldes endocraneanos

El cerebro de los animales está rodeado en el cráneo por una serie de tejidos y vasos sanguíneos que lo nutren y protegen, entre ellos membranas como las meninges, en particular la duramadre, senos venosos, grasas, líquidos y otros tejidos. En algunos grupos, como las serpientes, las aves o los mamíferos, el cerebro rellena casi el 100% de la caja craneana y deja escaso espacio a los tejidos circundantes, de suerte que un molde endocraneano refleja la morfología encefálica casi con exactitud. Pero en la mayoría de los peces, anfibios y reptiles actuales esto no se cumple, ya que los tejidos circundantes adquieren considerable espesor y reducen el volumen de cavidad craneana ocupado por el cerebro entre 15% y 50%. Esto implica que en esos animales el molde endocraneano no es una copia exacta del cerebro.

Nuestro análisis de *Giganotosaurus* nos condujo a concluir que, justamente, tenía un cerebro que no rellenaba completamente el cráneo. Encontramos que sus hemisferios cerebrales estaban poco expandidos y sus lóbulos ópticos escasamente delimitados, por lo que no dejaron una impresión en las paredes de la caja craneana. En cambio, sus bulbos olfatorios aparecían relativamente grandes, lo que permite suponer que para el animal estudiado el olfato era probablemente el sentido más importante para la supervivencia, dado que le pudo haber dado la capacidad de detectar por el olor animales muertos a la distancia. Esto, sin embargo, no es prueba definitiva de que podría haber sido más carroñero que cazador, una hipótesis hoy en plena discusión.

LECTURAS SUGERIDAS

CORIA RA y SALGADO L, 1996, 'Dinosaurios carnívoros de Sudamérica', *Investigación y Ciencia*, 237: 39-40.

PAULINA-CARABAJAL A, 2015, 'Guía para el estudio de la neuroanatomía de dinosaurios *Saurischia*, con énfasis en Theropoda basales', en Fernández M y Herrera Y (eds.), *Reptiles extintos. Volumen en homenaje a Zulma Gasparini*, Asociación Paleontológica Argentina, accesible en <http://www.peapaleontologica.org.ar/index.php/peapa/article/view/94>.

PAULINA-CARABAJAL A e IGLESIAS A, 2016, 'Paleoneurología de uno de los dinosaurios más grandes del planeta', accesible en <http://www.anbariloche.com.ar/noticias/2016/01/24/51592-paleoneurologia-de-uno-de-los-dinosaurios-carnivoros-mas-grandes-del-planeta>.



María Jimena Trotteyn

Doctora en ciencias biológicas, Universidad Nacional de Cuyo.
Investigadora adjunta en el CIGEOBIO, UNSJ-Conicet.
Profesora adjunta, UNSJ.
jtrotteyn@gmail.com



Ariana Paulina-Carabajal

Doctora en ciencias naturales, UNLP.
Investigadora adjunta en el INIBOMA, Universidad Nacional del Comahue-Conicet.
a.paulinacarabajal@conicet.gov.ar