

## SISTEMAS NEUMÁTICOS EN DINOSAURIOS

**TONELADAS DE AIRE**

*Se pensaba que los dinosaurios saurópodos eran muy pesados. Hoy sabemos que no lo eran tanto, ya que sus esqueletos poseían, al igual que las aves actuales, un sistema de sacos aéreos y divertículos neumáticos que los hacían más livianos.*

**Virginia L. Zurriaguz**

**Esqueletos neumáticos**

Una de las cuestiones que más les ha llamado la atención a los paleontólogos es el colosal tamaño de muchos dinosaurios. ¿Cómo podían desplazarse? ¿Eran tan pesados como lo sería un reptil actual de un tamaño similar? Los dinosaurios eran vertebrados, es decir que poseían un esqueleto óseo con funciones de sostén. En muchos de ellos, este esqueleto tenía una particularidad: era neumático. ¿Qué significa esto? Que los huesos estaban llenos de aire, ni más ni menos. De esta forma, cuando se dice que un organismo posee un sistema neumático, significa que dispone de una serie de estructuras repletas de aire. Entre los vertebrados actuales, las aves -también denominadas dinosaurios avianos- se caracterizan por poseer un sistema neumático que tiene la particularidad de incluir parte del esqueleto. En este grupo de animales, dicho sistema se halla constituido por un conjunto de cavidades y orificios en sus huesos postcraneales (es decir, aquellos que se encuentran detrás del cráneo y no forman parte de él) y que se conectan al sistema respiratorio. Por lo tanto, el sistema neumático involucra tanto a partes duras (huesos) como a blandas (órganos pertenecientes al sistema respiratorio). La anatomía de las partes blandas y duras ha sido muy bien estudiada en animales actuales, pero dado que en el registro fósil sólo se preservan las partes duras, de los anima-

les extintos conocemos solamente aquellas partes del sistema neumático asociadas al esqueleto.

El sistema neumático de las aves modernas está integrado por un conjunto de nueve bolsas o sacos aéreos: uno impar (clavicular) y cuatro pares (cervicales, torácicos anteriores, torácicos posteriores y abdominales). Estos sacos están por fuera de los huesos y poseen una serie de prolongaciones digitiformes denominadas divertículos neumáticos, los cuales invaden algunos de ellos, como el esternón, las costillas, las vértebras y algunos huesos largos (fémures, húmeros) a través de orificios (forámenes). En el interior de las vértebras, los divertículos se hallan limitados tanto por las delgadas paredes externas del hueso como por cámaras internas conectadas. Este sistema de divertículos corre a lo largo de las vértebras cervicales y dorsales (ver Glosario), dejando incluso marcas externas de su contacto con el hueso (ver Figura 1).

**¿Cuándo y cómo surgieron los sistemas neumáticos?**

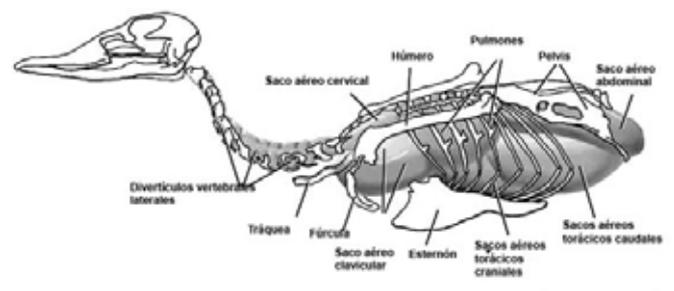
Actualmente sólo las aves poseen sistemas neumáticos, pero esto no fue siempre así. Las aves surgieron en el período Jurásico, en la era Mesozoica (ver Glosario), como una rama muy especializada de dinosaurios denominados terópodos (ver Glosario). Estos últimos fueron muy diversos durante todo el Mesozoi-

**Palabras clave:** esqueleto postcraneal, neumaticidad, sacos aéreos, saurópodos.

**Virginia L. Zurriaguz**

Dra. en Ciencias Biológicas.  
Instituto de Investigación en Paleobiología y Geología,  
Universidad Nacional de Río Negro, Sede Alto Valle y  
Valle Medio - CONICET.  
vzurriaguz@gmail.com

Recibido: 22/11/2016. Aceptado: 14/06/2017



**Figura 1. Esquema de sacos aéreos en aves (pato ali-verde, *Anas crecca*). Los huesos indicados corresponden a estructuras neumaticizadas (Escala 5 cm).**



Ilustración: Jorge Blanco.

**Manada de saltasaurinos a fines del Cretácico.**

co, desde formas muy pequeñas como *Caudipteryx*, de un metro de longitud, hasta dinosaurios de grandes dimensiones como *Giganotosaurus*, de aproximadamente 13 metros. Su dieta era fundamentalmente carnívora y su andar bípedo, al igual que sus actuales representantes voladores. Pero no sólo los dinosaurios terópodos poseían un sistema neumático; también lo tenían los saurópodos (ver Glosario), herbívoros de tamaño grande a muy grande, cuadrúpedos y con colas y cuellos elongados. Esta información permite reconocer que la neumaticidad ya estaba presente antes del origen de las aves, incluso en grupos no emparentados con ellas, como los pterosaurios (ver Glosario) y los saurópodos, por lo que el origen de esta característica se remontaría al período Triásico, alrededor

de unos 250 millones de años atrás (ver Figura 2).

**¿Qué funciones cumple la neumaticidad?**

Es claro que el sistema neumático permite a las aves aligerar su peso, facilitándoles el vuelo. Por otro lado, a nivel respiratorio, los sacos aéreos mantienen un flujo constante de aire dentro del cuerpo del ave, sosteniendo el elevado metabolismo que la función del vuelo requiere. Luego de esta explicación, cabe preguntarse ¿Por qué razón los huesos de estos dinosaurios, que no volaban, eran neumáticos? y, ¿cómo se explica la neumaticidad en pterosaurios, los cuales, si bien volaban, no estaban emparentados con las aves? ¿Surgió dos veces el vuelo asociado a sistemas neumáticos?

Se sabe que una misma característica puede desa-

**Figura 2. Árbol filogenético mostrando los taxones que poseen sistemas neumáticos.**

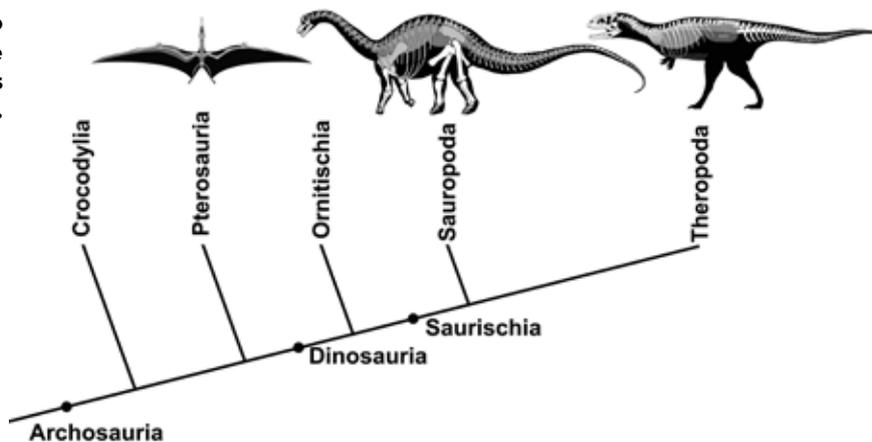
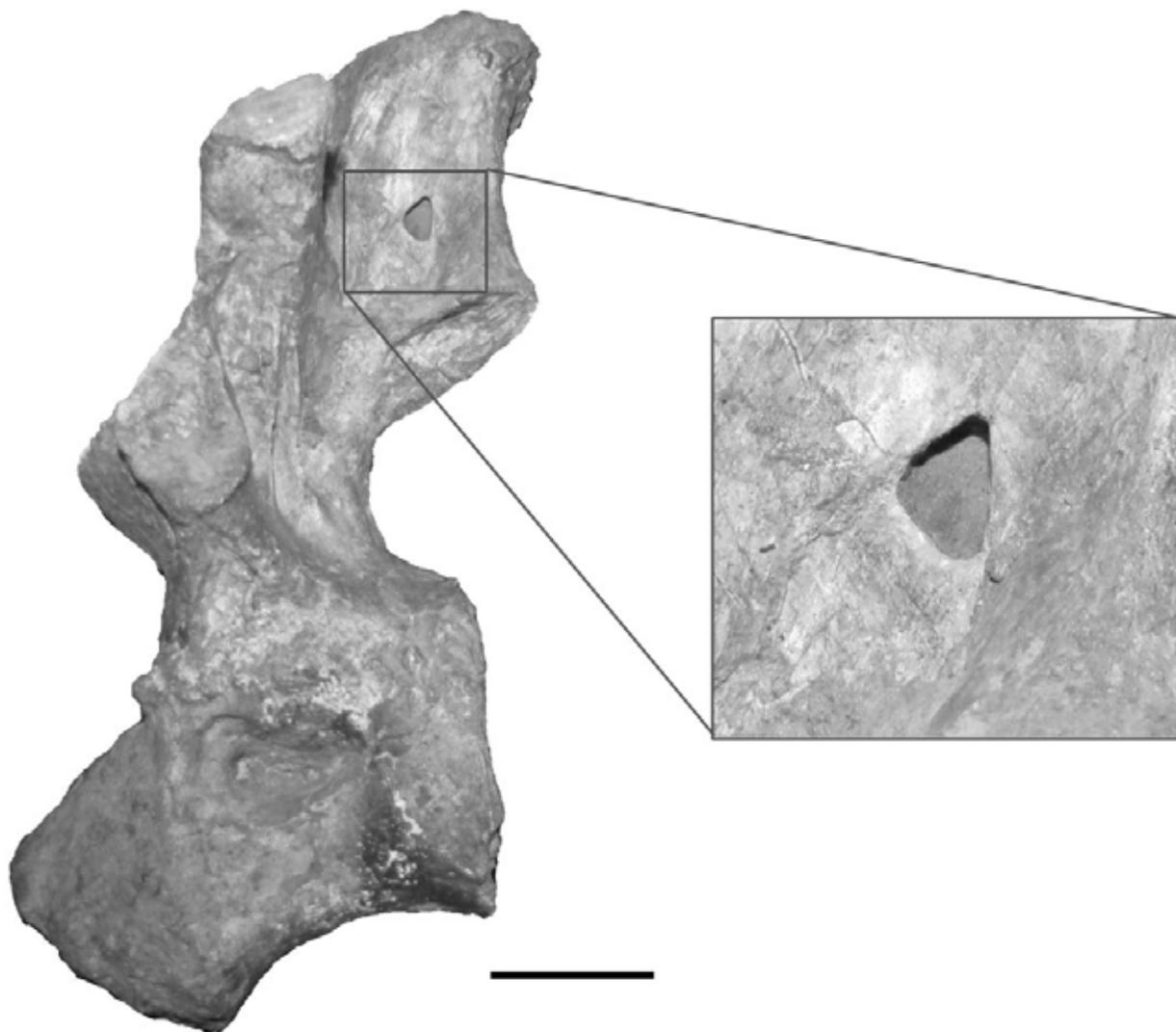


Imagen modificada de Benson et al. 2012.

Imagen modificada de Zurriaguz y Powell 2015.



**Figura 3. Detalle de foramen neumático en una vértebra donde ingresaba un divertículo. Vértebra dorsal del saurópodo *Saltasaurus loricatus*, del noroeste de Argentina (Escala 5 cm).**

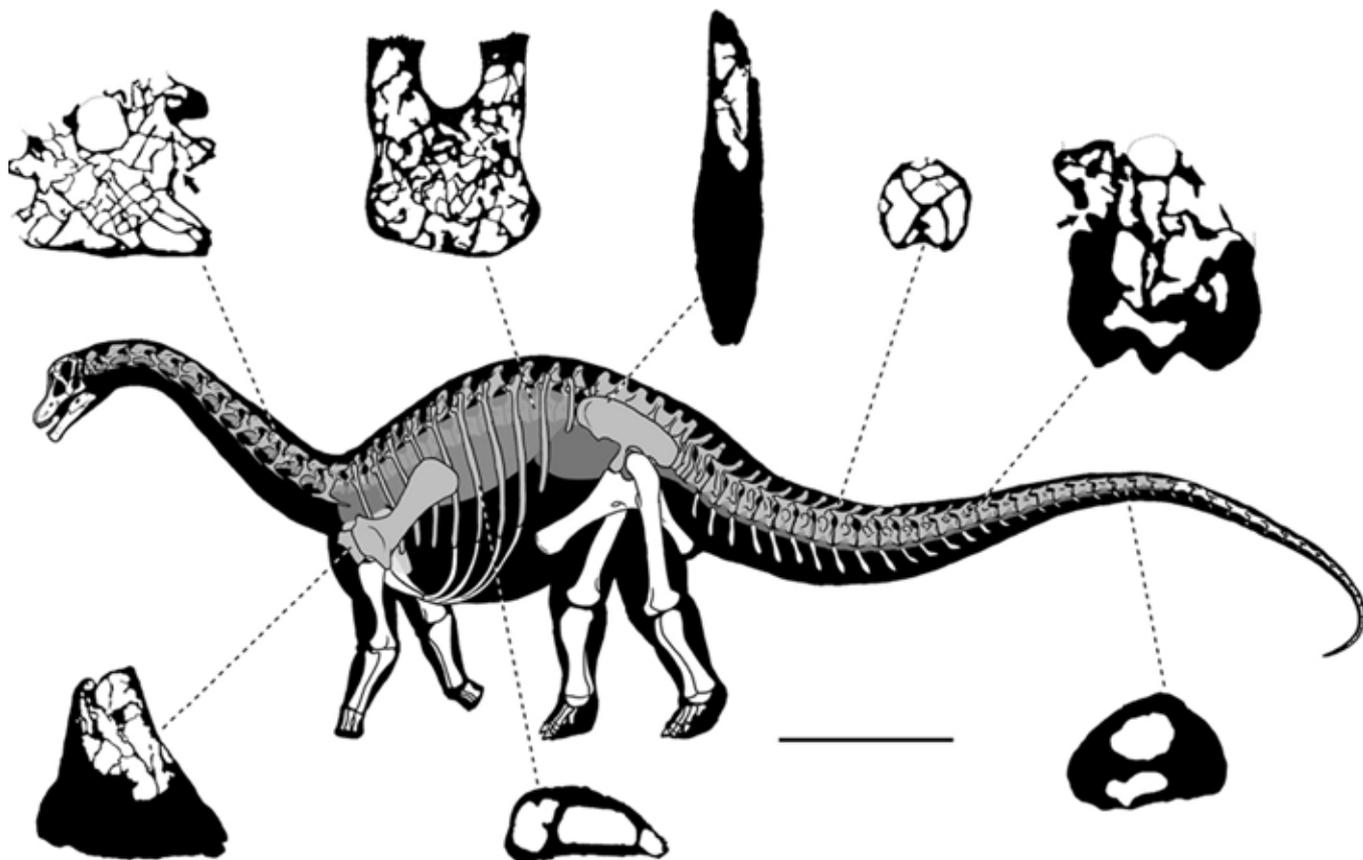
rollarse dos o más veces en la evolución de grupos no emparentados (estas características se denominan paralelismos), y que no todos los rasgos que surgen durante la evolución de un grupo de organismos tienen necesariamente una función. El sistema neumático presente en dinosaurios que no volaban, sería un ejemplo de esto.

### **Evidencias de la existencia de neumaticidad en dinosaurios no avianos**

Debido a la natural tendencia a asociar la neumaticidad con el vuelo, es difícil imaginar a los grandes dinosaurios como animales con sistemas neumáticos, sobre todo a los saurópodos. Sin embargo, existen señales claras de su naturaleza neumática, por ejemplo, el sistema de fosas (depresiones) y forámenes (orificios) de sus huesos, especialmente de sus vértebras. ¿Cómo sabemos que estas estructuras se relacionaban con el sistema neumático? De un modo muy sencillo: analizando la posición y el patrón de forámenes en aves actuales, criaturas indudablemente

neumáticas, y efectuando comparaciones con lo que observamos en los grandes dinosaurios no avianos. Se sabe que la presencia de forámenes en las vértebras cervicales de las aves está asociada a la existencia de sacos aéreos cervicales. Otro tanto sucede con la neumatización de la cintura escapular, el húmero, el esternón y la fúrcula (ver Glosario), que indica la presencia del saco aéreo claviclar; ambos patrones han sido encontrados tanto en terópodos no avianos como en saurópodos (ver Figura 3).

Con respecto a los sacos aéreos abdominales hubo mucha discusión al respecto; concretamente, se dudaba que estuviesen presentes en los dinosaurios no avianos. En las aves, los sacos aéreos abdominales "neumatizan" la zona del sinsacro (estructura que resulta de la fusión de las vértebras sacras y caudales anteriores) y la cintura pélvica (ver Glosario), junto con los fémures. Los restantes dinosaurios no tienen un sinsacro, sino una región sacra y una caudal bien diferenciadas. Estas regiones se hallarían "neumatizadas" por los sa-



**Figura 4.** Esquema hipotético de los sacos aéreos de *Saltasaurus loricatus*: saco aéreo cervical ocupando todo el cuello, saco aéreo clavicular, entre las escápulas y debajo del saco aéreo cervical, pulmones con sacos aéreos torácicos ocupando el lomo y saco aéreo abdominal invadiendo la cadera y la cola. Los esquemas que rodean a la figura simbolizan la estructura de los huesos al ser invadidos por los divertículos provenientes del sistema neumático y las líneas punteadas a qué parte del cuerpo neumatizan (Escala 100 cm).

Imagen modificada de Cerda et al. 2012.

cos aéreos abdominales, los que también invadirían las vértebras dorsales posteriores (ver Figura 4) En conclusión, el sistema neumático de los dinosaurios tenía semejanzas con el de las aves actuales (ver Figura 5).

### ¿Hubo saurópodos más “neumatizados” que otros?

Durante mi doctorado y posdoctorado, me dediqué a estudiar la neumaticidad de los saurópodos, centrándome mayormente en un grupo muy particular de titanosaurios: los saltasaurinos. Como resultado de mis investigaciones, pude observar que no todos los saurópodos poseían el mismo grado de neumaticidad. Posiblemente, los más neumáticos hayan sido los saltasaurinos, los cuales habitaron Argentina en el Cretácico Tardío. Se conocen tres especies de saltasaurinos, una oriunda de la provincia de Salta, que da nombre al grupo (*Saltasaurus loricatus*) y otras dos provenientes de Río Negro, *Neuquensaurus australis* y *Rocasaurus muniozi*, hallados en cercanías de las localidades de Cinco Saltos y General Roca, respectivamente. ¿Cómo sabemos que los saltasaurinos eran más neumáticos que otros saurópodos? Nuestro

grupo de investigación realizó estudios analizando sus huesos en busca de forámenes neumáticos, haciendo tomografías computadas para observar el interior de los huesos, y comparando estos resultados con los obtenidos en otras especies de saurópodos. En realidad, las tomografías pueden no ser tan necesarias, puesto que en estos dinosaurios se observa frecuentemente y a simple vista, un tejido hueco que no se halla presente en otros saurópodos, pero sí en aves actuales: el tejido camelado (semejante a un panal de abejas). En los saltasaurinos, este tejido se hallaba sin duda relleno de aire, pero en los fósiles se suele rellenar con sedimento. Los saltasaurinos presentan tejido camelado en sus vértebras cervicales y dorsales y en sus caudales anteriores y medias, e incluso en sus caudales posteriores, lo que es muy poco frecuente en saurópodos. También hay restos de tejido camelado en su cadera y en sus cinturas pélvica y pectoral.

La neumaticidad en saltasaurinos es similar a la observada actualmente en aves y aún no pudo establecerse por qué este pequeño grupo de saurópodos desarrolló esta característica (ver Figura 5).

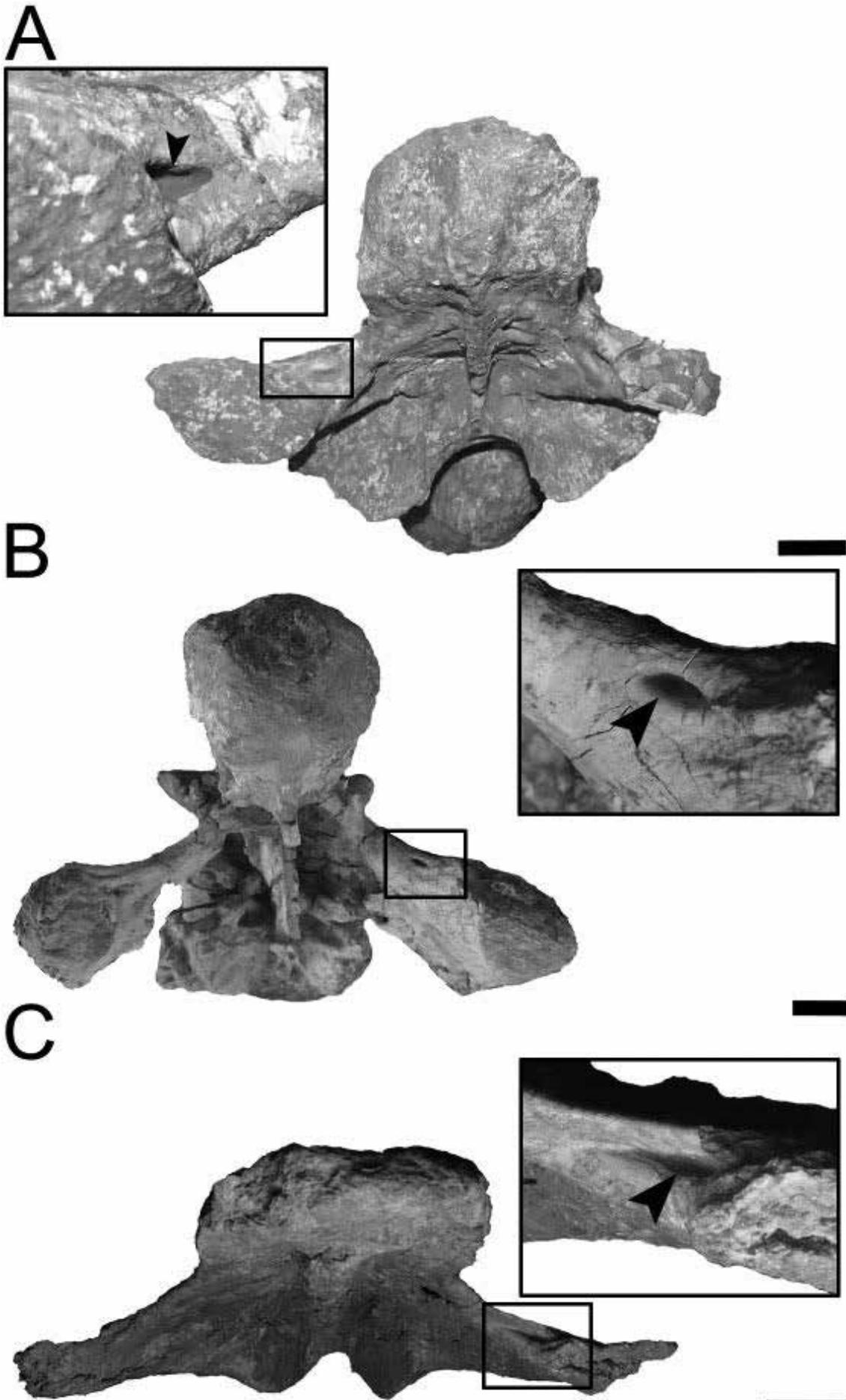


Imagen modificada de Zurriguz y Powell 2015.

**Figura 5. Foramen neumático proveniente de un divertículo neumático en una vértebra dorsal de A) *Saltasaurus loricatus*, B) *Neuquensaurus australis* y C) *Rocasaurus muniozi* (Escala 2 cm).**

## Concluyendo

Existen diversas pruebas que indican que los dinosaurios saurisquios tuvieron un sistema neumático semejante al de las aves actuales, y que éste pudo haberse originado como una exaptación (característica que surge sin una función determinada) posiblemente en los ancestros de los dinosaurios. También los pterosaurios tuvieron un sistema neumático que seguramente les permitió aligerar el peso de su cuerpo, lo que fue decisivo para adquirir la función del vuelo. Sin embargo, y pese a lo mucho que se conoce, quedan varios interrogantes ¿Quiénes fueron los primeros animales en presentar un sistema neumático? ¿Cuándo surgió la neumaticidad? ¿Por qué no existe ni se tiene registro de sistemas neumáticos en cocodrilos, animales emparentados con los dinosaurios? Es probable que tanto las nuevas tecnologías y técnicas aplicadas en paleontología como los hallazgos de nuevos fósiles, den respuesta a estos interrogantes, sembrando a su vez nuevas preguntas sobre la vida y evolución de uno de los grupos de vertebrados más fascinantes que han existido jamás.

---

## Glosario

**Cintura escapular:** Estructura ósea formada por la clavícula y la escápula, que une las extremidades anteriores con el tronco.

**Cintura pélvica:** Estructura ósea formada por el isquion, el ilion y el pubis, que une las extremidades posteriores con la columna vertebral. En aves, estos tres huesos se sueldan entre sí y con la columna formando el sinsacro.

**Era Mesozoica:** División de la escala temporal geológica que se inició hace  $251,0 \pm 0,4$  millones de años y finalizó hace  $65,5 \pm 0,3$  millones de años. Se compone de tres divisiones o períodos: Triásico, Jurásico y Cretácico.

**Fúrcula:** Hueso en forma de horquilla que poseen únicamente las aves y los dinosaurios terópodos no avianos, formado por la fusión de las dos clavículas.

**Pterosaurios:** Grupo de reptiles voladores que existieron durante casi toda la Era Mesozoica. Fueron los primeros vertebrados en conquistar el aire. Sus alas estaban formadas por una compleja membrana sostenida por el cuarto dedo de la mano, que estaba hipertrofiado. Los fósiles de pterosaurios son muy comunes y se han hallado centenares de especímenes en África, Asia, Australia, Europa, Norteamérica y Sudamérica.

**Sauropódos:** Infraorden de dinosaurios sauropodomorfos que vivieron desde el Triásico Tardío hasta finales del Cretácico Tardío (aproximadamente entre 210 y 65 millones de años), en lo que hoy es América, Asia, Europa, África, Oceanía y la Antártida. Eran herbívoros y cuadrúpedos.

**Terópodos:** Suborden de dinosaurios saurisquios que vivieron desde el Triásico Tardío hasta finales del Cretácico Tardío (aproximadamente entre 228 y 65 millones de años), en lo que hoy es América, Europa, África, Asia, Oceanía y la Antártida. No obstante la extinción de finales del Cretácico, este orden ha sobrevivido hasta nuestros días bajo la forma de las aves modernas, sus directos descendientes.

**Vértebra caudal:** Vértebra de la cola.

**Vértebra cervical:** Vértebra del cuello.

**Vértebra dorsal:** Vértebra de la región torácica.

**Vértebra sacra:** Vértebra de la región sacra.

---

## Lecturas sugeridas

- Benson, R. J., Butler, R. J., Carrano, M. T. and O'Connor, P. M. (2012). Air-filled postcranial bones in the theropod dinosaurs: physiological implications and the 'reptile'-bird transition. *Biological Reviews*, 87 (1), pp. 168-193.
- 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), pp. 42-57.
- Salgado, L. y Coria, R. A. (2002). Dinosaurios Gigantes de la Patagonia. *Investigación y Ciencia*, 312, pp. 38-44.
- Salgado, L. (2005). Los dinosaurios del Cretácico de Patagonia: no sólo el tamaño importa. *Ciencia e Investigación*, 57(1), pp. 14-20.