

# ¿Podrán **revivir** estos **huesos**?



Fabien  
Knoll



Stephan  
Lautenschlager



Esqueleto de dinosaurio del yacimiento de Lo Hueco (Cuenca). El neurocráneo fue sometido a un escaneo que permitió la generación de representaciones en 3D de la cavidad endocraneal y de varias otras estructuras internas (arriba a la izquierda). / F. Ortega

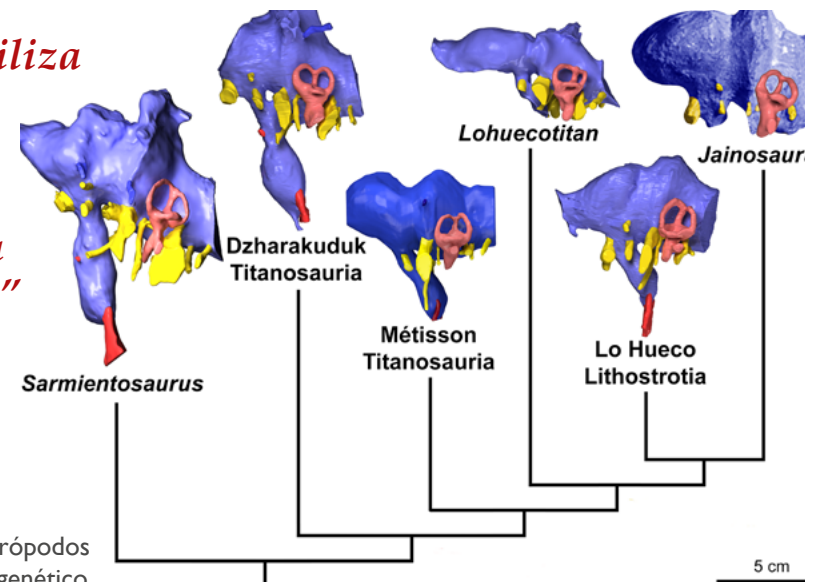
**Aunque la paleobiología de vertebrados cuenta con una historia que abarca más de dos siglos, ha experimentado una transformación profunda en los últimos 50 años gracias al uso de la tomografía computarizada y otras técnicas digitales. En las dos últimas décadas, la generalización de estas herramientas ha revolucionado una de las subdisciplinas de la paleobiología de vertebrados en particular: la paleoneurología.**

La paleontología es el estudio de los fósiles, restos directos de seres pretéritos o de su actividad. En general, los órganos blandos entran en descomposición rápidamente después de la muerte de un ser vivo, por lo tanto es improbable que fosilicen. Así, los paleontólogos de vertebrados solo tenemos a nuestra disposición, en la mayoría de los casos, huesos o dientes, muy a menudo incompletos y deformados. Esto nos dice hasta qué punto los datos con los que trabajamos son deficientes. Sin embargo, desde el origen de la disciplina los paleontólogos hemos sabido sacar toda la información que contienen estos vestigios para poder reconstruir con el máximo grado de certidumbre las partes del animal que no han fosilizado. Georges Cuvier, el famoso naturalista francés de finales del siglo XVIII y principios del XIX, que podemos, con razón, considerar como el padre fundador de la paleontología, fue un maestro de la reconstrucción de los vertebrados del pasado. La piedra angular del método de Cuvier era el principio de correlación de los órganos, según el cual el cuerpo de un animal en su conjunto puede ser deducido de solo una de sus partes.

Contrariamente a la imagen popular, la gran mayoría de los paleontólogos no pasamos mucho tiempo en el campo en algún país exótico o en los confines oscuros de los museos. En realidad, gran parte de nuestra labor se lleva a cabo frente a la pantalla de nuestro ordenador,

*“La Tomografía Computarizada se utiliza para realizar endocasts digitales, reconstrucciones en tres dimensiones de la cavidad neurocraneal”*

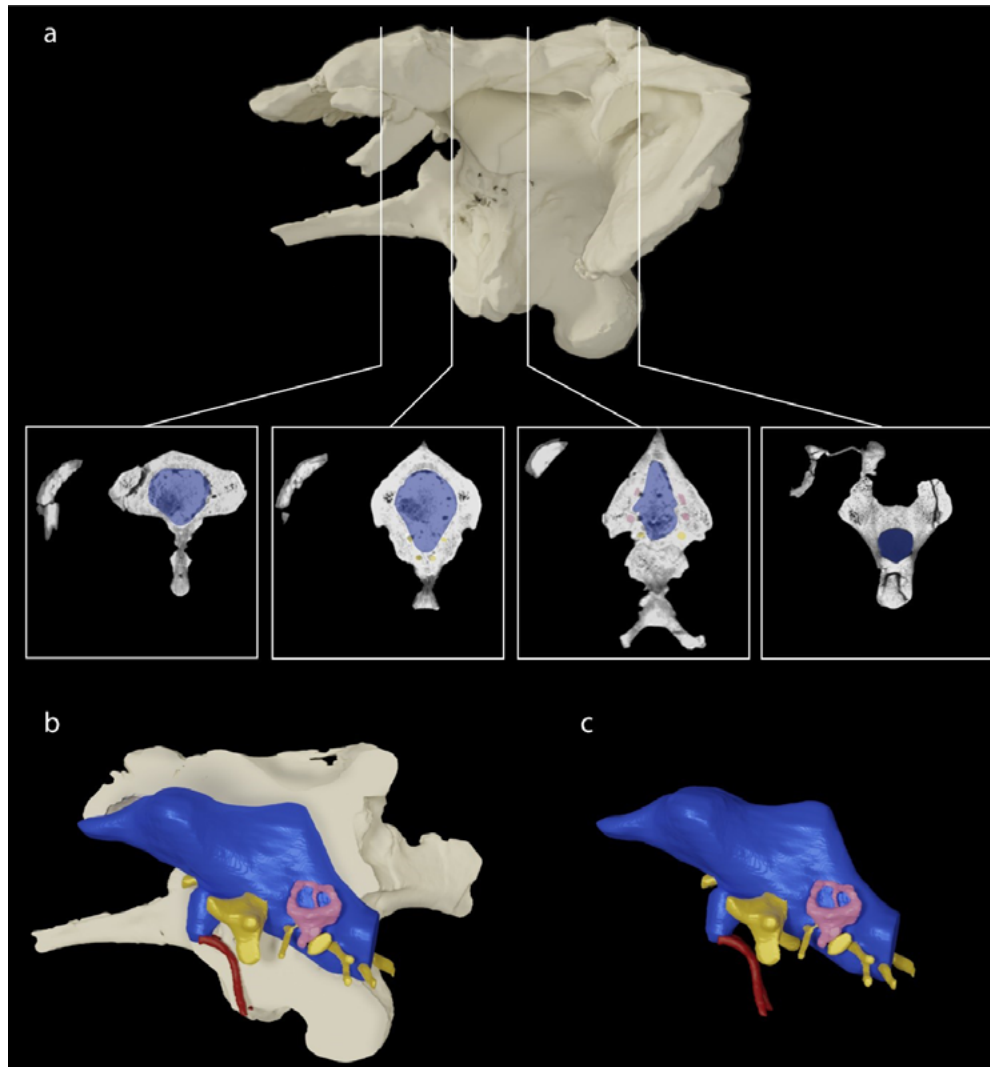
Endocast de diversos dinosaurios saurópodos titanosaurianos en un contexto filogenético.



a veces manipulando un fósil a la vez, pero no necesariamente. A pesar de que hoy en día solemos estar muy especializados, no dejamos de mantenernos al tanto de los avances científicos en otras ramas del conocimiento, así como de los avances técnicos que podrían potenciar nuestras investigaciones. Esta curiosidad ha sido una constante a lo largo del tiempo. Para mencionar tan solo un ejemplo, cuando el físico Wilhelm Röntgen publicó su descubrimiento de los rayos X al final del año 1895, pasaron pocos meses antes de que el método fuera puesto a prueba con diversos fósiles. Por cierto, a lo largo del siglo XX se realizaron frecuentemente radiografías de fósiles. Sin embargo, los resultados fueron dispares y los







Reconstrucción digital de la anatomía endocraneal del dinosaurio *Proa valdearinnensis* del yacimiento de Ariño (Teruel): (a) ejemplos de “lonchas virtuales” segmentadas de la caja craneana; (b) “endocast digital” *in situ* (es decir, en la caja craneana seccionada digitalmente); (c) “endocast digital” *ex situ*.

*“Es posible que en un futuro no muy lejano podamos generar por ordenador no solo reconstrucciones virtuales de plantas o animales individuales, sino también ‘paleomundos’ enteros científicamente precisos”*

paleontólogos decidieron a menudo no incluirlos en las publicaciones científicas.

A principios de los años 70 del siglo pasado, el desarrollo de la tomografía computarizada (TC) revolucionó progresivamente el campo de la imagen médica. Los TC emiten un haz de rayos X y miden el grado de atenuación de estos al atravesar el cuerpo analizado. Las múltiples mediciones de rayos X tomadas desde diferentes ángulos se procesan usando algoritmos de reconstrucción para producir imágenes tomográficas en dos dimensiones o “lonchas virtuales”. En los primeros tiempos del TC, la utilidad de esta técnica en paleontología estaba limitada por varios factores, como el espesor de las lonchas y la capacidad de resolución de los equipos disponibles. Aun así, a finales de los años 70, el antropólogo William Jungers y el bioingeniero Julian Minns pusieron a prueba la técnica, utilizándola para analizar el fémur y la tibia de un lémur gigante recientemente extinto. Sobre la base de estos escaneos los autores pudieron sacar conclusiones sobre las propiedades biomecánicas de estos huesos en este animal comparándolos con los de un lémur actual y con los del ser humano moderno.

Antes de que terminara el siglo XX, se empezó a usar el TC para reconstruir en tres dimensiones la cavidad neurocraneal de especies fósiles, empezando por un dinosaurio terópodo indeterminado y homínidos pleistocenos. Estas reconstrucciones se bautizaron subsecuentemente como “endocasts digitales”. Su estudio se enmarca en la subdisciplina de la paleobiología que se ha beneficiado como ninguna otra de este avance tecnológico: la paleoneurología. Este área de in-



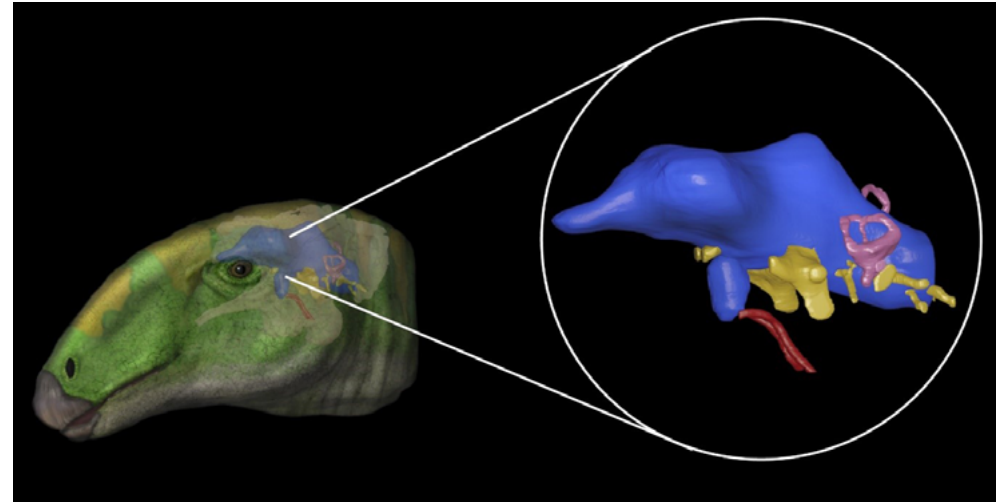


## *“El paleontólogo, verdadero demiurgo de mundos pretéritos, debe ser polifacético, aunando el conocimiento de las prácticas tradicionales con las técnicas digitales”*

La investigación se dedica a la reconstrucción del sistema nervioso de animales extintos (ya sea hace millones de años o más recientemente) mediante el análisis de sus restos óseos (en el caso de los vertebrados). Durante las dos últimas décadas, la paleoneurología ha experimentado un auténtico renacimiento, impulsado no solo por la facilidad con la que se pueden obtener estos endocasts digitales, sino principalmente por la capacidad de aplicar estas técnicas no invasivas a un número más amplio de especímenes. En contraste, las técnicas clásicas, como la creación de moldes de la cavidad cerebral de los fósiles, limitaban considerablemente el material potencial de estudio. A la par que un mayor acceso a los medios de escaneo, como el TC médico, el  $\mu$ TC o incluso el sincrotrón, se han ido desarrollando los programas informáticos diseñados para el procesado de los datos brutos y su conversión en imágenes tridimensionales. En la actualidad, ya están disponibles una gran diversidad de programas más o menos potentes e intuitivos con un coste variable.

El enfoque más común en la reconstrucción de los endocasts digitales es la selección de zonas de interés como la propia cavidad neurocraneal, la cavidad del oído interno o los canales de los nervios craneales en las sucesivas imágenes de “lonchas” producidas por el TC. Este proceso

“Endocast digital” de *Proa valdearrinnoensis* y su colocación con respecto a la cabeza del animal.



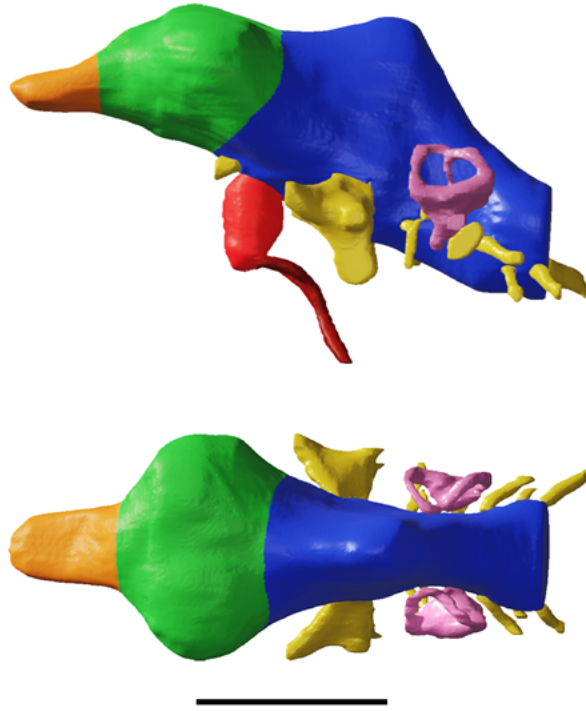
se conoce como segmentación. Según el nivel de contraste entre la zona de interés y las regiones circundantes, puede resultar desde muy fácil, casi automático, a imposible. Por ejemplo, la segmentación de una cavidad neurocraneal vaciada del sedimento que la llenaba cuando el neurocráneo fue descubierto no va a presentar dificultades pues se tratará de una zona rellena de aire y, por lo tanto, de color negro en las lonchas, mientras los huesos fosilizados se presentarán en algún tono de gris. Sin embargo, en la mayoría de los casos la cavidad se encuentra llena de roca y tendrá también un color grisáceo en las lonchas. Muy a menudo la diferencia entre el hueso fosilizado y la roca es difícil de apreciar y complica considerablemente la segmentación, que debe realizarse manualmente, loncha por loncha, a veces con cierta incertidumbre sobre la ubicación exacta del límite de la zona de inte-

rés. Por suerte en los dinosaurios, nuestro grupo de estudio predilecto, al igual que en los mamíferos, el neurocráneo está ampliamente osificado. En los animales en los que el neurocráneo no osifica en ciertas partes (como las tortugas), la reconstrucción de la cavidad neurocraneal requiere “adivinar” la ubicación original de ciertas paredes de esta cavidad, que no han fosilizado. Una vez finalizado el proceso de segmentación, las áreas segmentadas de cada loncha se apilan para crear una imagen tridimensional de las zonas de interés.

Además de su valor visual, la reconstrucción de endocasts digitales permite una precisa medición del volumen de la cavidad neurocraneal, de forma más cómoda que si se hiciera a partir del fósil. Esta información ha sido tradicionalmente utilizada para estimar la inteligencia de animales cuyo comportamiento, evidentemente, ya no puede ser observado.



## “La irrupción y generalización de los métodos digitales en la investigación paleontológica ha transformado nuestra indagación de los organismos extintos”



Endocast craneal de *Proa valdearinnensis* compartimentado en distintas regiones funcionales principales.

Naturalmente, cualquier cavidad del esqueleto puede someterse al mismo proceso, lo que permite reconstruir con un protocolo similar los senos craneales, que pueden ser muy extensos en ciertos arcosaurios. Técnicas afines a las empleadas en paleoneurología digital se pueden utilizar también para reconstruir tejidos blandos no cerebrales. Por ejemplo, es posible realizar una reconstrucción digital de la musculatura es-

quelética. En este caso, no es necesario que el escaneo de la estructura ósea estudiada sea obtenido por medio de un TC. Un escaneo superficial (mucho más fácil de obtener utilizando, por ejemplo, un escáner portátil o incluso una buena cámara digital) sería más que suficiente. El grado en que los músculos dejan marcas sobre las estructuras óseas es muy variable, pero en general, la relación entre estos dos sistemas no es tan íntima como en el caso del cerebro. Por lo tanto, el conocimiento de la anatomía deberá subsanar la falta de marcas físicas en el material escaneado para reducir al mínimo las especulaciones y licencias artísticas. Sin entrar en más detalles, las técnicas digitales también pueden utilizarse para reconstruir modelos virtuales de organismos enteros, lo que permite, por ejemplo, explorar sus habilidades locomotoras. Así como en *La Visión del Valle de los Huesos Secos* (Ezequiel 37:3), texto del Antiguo Testamento que inspira el título de este artículo, el paleontólogo podría decir de los huesos fósiles: “Les pondré tendones, haré que les salga carne, y los cubriré de piel; les daré aliento de vida y así revivirán”.

La irrupción y generalización de los métodos digitales en la investigación paleontológica ha transformado nuestra indagación de los organismos extintos. En última instancia, aspiramos a que estos avances permitan no solo la recons-

trucción virtual de plantas o animales individuales, sino también la recreación de sus entornos, generando “paleo-mundos” completos mediante simulaciones computarizadas. Ahora más que nunca, el paleontólogo, verdadero demiurgo de mundos pretéritos, debe ser polifacético, aunando el conocimiento de las prácticas tradicionales con las técnicas digitales.

En este sentido, podríamos preguntarnos qué aportará la Inteligencia Artificial, un avance que despierta tantas esperanzas como temores en la actualidad, a este campo de investigación. Seguramente, facilitará el preprocesamiento de los datos brutos y el proceso de segmentación, pero su contribución sin duda será muchísimo más amplia. Usando las palabras de Edward, el personaje principal de la novela pleistocena de Roy Lewis *Por qué me comí a mi padre*, sus “posibilidades son estupendas”. Sin embargo, a pesar de la potencia de las técnicas digitales, el fósil permanece como la piedra angular en el trabajo de reconstrucción de los seres vivos que el ser humano nunca pudo observar directamente. Así pues, la esencia del trabajo del paleontólogo siempre recaerá en la observación de especímenes originales, cuya existencia se subordina al trabajo de campo. El uso de técnicas cada vez más potentes no sustituye el ojo agudo del naturalista, sino que lo complementa ■