

Nuevas maneras de estudiar los dinosaurios

José Ignacio CANUDO

Museo de Ciencias Naturales y Grupo Aragosaurus-IUCA. Universidad de Zaragoza. E-50009 Zaragoza. España.

Introducción

Los dinosaurios son uno de los grupos de organismos extinguidos que más nos fascinan e interesan. Por una parte, sus extraordinarias adaptaciones evolutivas, como son su enorme tamaño, o su desarrollo de garras y dientes hasta límites insospechados, o la adquisición de escudos dérmicos u otros huesos dérmicos que les dan una morfología externa muy particular. Podríamos seguir todo el artículo haciendo enumeración de estas adaptaciones, pero como ejemplo es suficiente.

El estudio y comparación de la morfología de sus huesos es la que ha permitido tradicionalmente describirlos y nombrarlos de manera diferenciada. Las técnicas modernas relacionadas con la tecnología están abriendo una ventana para conocer una parte de su manera de vivir desconocida e insospechada con los métodos tradicionales. Nos podemos adentrar en los secretos de su reproducción, en aspectos de sus comportamientos gregarios, cómo se movían, cómo eran sus sentidos, qué tipo de plantas se alimentaban, la edad que llegaban a alcanzar, las enfermedades que habían sufrido e incluso el color de su piel. Todo esto nos está permitiendo tener una imagen muy real de los dinosaurios, como animales extinguidos, pero con las mismas necesidades y comportamientos de animales actuales. En ocasiones me preguntan ¿qué hay de ver-

dad y de imaginación en los maravillosos documentales de dinosaurios producidos por prestigiosas instituciones como la BBC? La contestación es que casi todo lo que se cuenta está basado en estudios científicos y por tanto cada vez hay menos espacio para la imaginación en los dinosaurios. En este artículo se va a contar algunas de estas nuevas maneras de abordar la investigación de los fósiles de dinosaurios usando algunos ejemplos aragoneses.

El color de la piel de los dinosaurios

Vamos a comenzar por la última frontera. Durante muchos años he impartido charlas de divulgación sobre dinosaurios. Una de las preguntas reiteradas es sobre cómo conocíamos el color de estos animales. Mi respuesta era la misma, el color era algo que se dejaba a la creatividad del paleoartista, claro está, usando modelos similares a los de animales actuales. Esto

cambió con la observación con el microscopio electrónico de barrido (MEB) de la superficie de plumas del pequeño dinosaurio terópodo *Sinosauroptryx*. El MEB produce imágenes de alta resolución a partir de aplicar un haz de electrones para formar una imagen. Estas imágenes tienen una gran resolución y una gran profundidad de campo, permitiendo reconocer detalles que

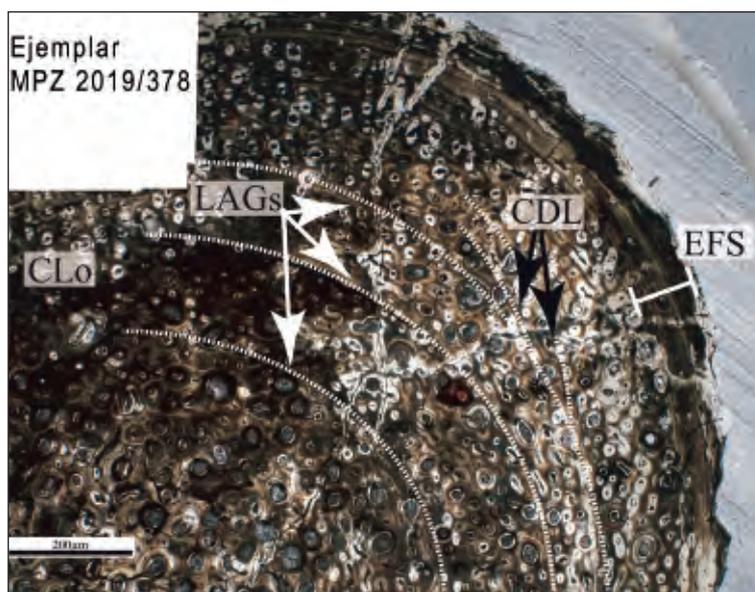


Figura 1. Microfotografía de una sección de una vértebra de *Galvesaurus herreroi*. Se puede ver en la microfotografía una porción compacta del hueso con tejido haversiano de tipo laxo. EFS: sistema fundamental externo. LAG: marcas de crecimiento detenido. CLo: canales vasculares longitudinales. Para más información en JURADO et al. (2020).

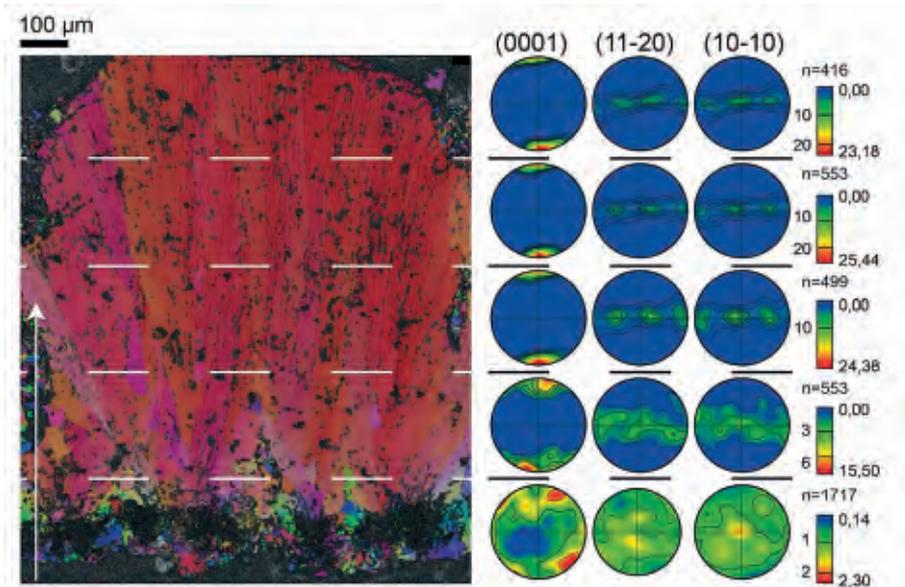


Figura 2. Mapa de EBSD de una cascara del dinosaurio ornitópedo cf. *Maiasaura*. El mapa muestra las orientaciones individualizadas de cada cristal de carbonato que forma la cascara de huevo. También se pueden individualizar pequeñas diferencias en la orientación de los cristales respecto al patrón general, que generan errores en el patrón y en la estructura de las cáscaras. Más información en MORENO-AZANZA et al. (2013).

son difícilmente apreciables en microscopios ópticos tradicionales.

Sinosauroptryx es un ejemplar de conservación excepcional recuperado en la Formación Yixian del Cretácico Inferior en China. En 2010, el estudio de sus plumas permitió identificar unos melanosomas fosilizados. Estos residuos de carbono se habían observado en otras ocasiones, pero se los había considerado como rastros de bacterias descomponedores de los tejidos de las plumas. Los melanosomas son elementos celulares muy resistentes alojados en el interior de la estructura de las plumas de aves y del pelaje de mamíferos modernos. Son los encargados de proporcionar colores como el negro y gris, o tonos anaranjados y marrones. En años posteriores, estudios más detallados con microscopios de gran aumento han permitido reconocer otros colores, incluso la iridiscencia de algunas plumas. Se trata de un nuevo camino que puede conocer los colores y texturas originales de los tejidos más blandos de los fósiles, incluyendo pieles y órganos internos.

La Paleohistología y el crecimiento de los dinosaurios

Los huesos fósiles en muchos casos conservan en su interior su estructura interna que puede ser descrita y estudiada. La paleohistología es una rama de la Paleontología que se ocupa de

investigar los tejidos fósiles. En el caso de los dinosaurios se realizan secciones finas del fósil para observarlas con microscopios ópticos. En los últimos años se han empezado a hacer técnicas menos invasivas y que no destruyen en el fósil como son escáneres, de los que hablaremos más adelante.

La paleohistología en dinosaurios se ha convertido como un campo de investigación interdisciplinario: una potente herramienta para el estudio de la taxonomía, filogenia y biomecánica de las especies que resulta clave para el estudio los fósiles desde un

punto de vista biológico. Se pueden reconocer los ritmos biológicos (circadiano, estacional, anual) que son los que nos ayudan a entender mejor cómo vivían estos organismos. El estudio paleohistológico de huesos y dientes fósiles permite reconstruir los ciclos vitales de las especies como son la tasa de crecimiento o la edad de madurez somática. Podemos llegar a descubrir la edad de maduración sexual, así como adaptaciones a medios extremos como es el acuático. Ejemplos los tenemos en el estudio paleohistológico del famoso y mediático terópodo *Spinosaurus*. Ha sido uno de los argumentos para interpretarlo como un raro ejemplo de dinosaurio acuático.

El grupo Aragosaurus está desarrollando diferentes investigaciones paleohistológicas en dinosaurios aragoneses lo que ha permitido conocer la edad de diferentes dinosaurios del Maastrichtiense de Huesca y del Cretácico de Teruel. Quiero destacar una de estas investigaciones liderada por Celia Jurado sobre la edad de muerte de *Galvesaurus*. Los restos de este dinosaurio se pueden visitar en el nuevo y moderno museo de Galve (Teruel). Se trata de un saurópodo recuperado en rocas del final del Jurásico en esta localidad turolense. Los huesos de este dinosaurio fueron recuperados en su mayoría por José María Herrero y su familia en la década de los 1980. Además, nuestro equipo desarrollo varias compañías de excavación que permitieron

recuperar algunas importantes piezas como el sacro o vertebras del cuello.

Los huesos fósiles de *Galvesaurus* conservan perfectamente la estructura celular lo que permitió estudiarla en detalle. Al cortar los huesos fósiles y observarlos en microscopio se puede observar las diferentes etapas del crecimiento pudiendo diferenciarse si son juveniles, adultos y seniles, e incluso si el tejido del hueso está bien conservado se puede saber la edad en años del dinosaurio al morir simplemente contando líneas de crecimiento, de manera similar al conteo de los anillos de crecimiento en un árbol. El estudio paleohistológico en vertebrados fósiles tiene la gran ventaja que pueden usarse esquirlas de huesos y no hay necesidad de destruir huesos importantes, que en el caso de *Galvesaurus* son únicos.

El estudio paleohistológico de *Galvesaurus* se realizó a partir de huesos fragmentarios sin interés sistemático, fundamentalmente trozos de cuerpos vertebrales y costillas. La composición original de los huesos (apatito) ha sufrido pocos cambios durante los millones de años que han estado enterrados. La estructura del hueso de *Galvesaurus* indica que era un individuo adulto, por tanto, estaba en la madurez sexual, pero no hay datos que indiquen que fuera un ejemplar en época senil (JURADO *et al.*, 2020). La presencia de los arcos hemales fusionados con los cuerpos vertebrales era una evidencia conocida del holotipo de *Galvesaurus* para proponer que era un individuo adulto. Por tanto, dos evidencias diferentes indican la madurez sexual de *Galvesaurus*.

Uso de microscopios EBSD en el estudio de los huevos de dinosaurio

La evidencia irrefutable que los dinosaurios se reproducían por huevos es su descubrimiento desde el comienzo del s. XX. Sin embargo, la mayoría de los huevos fósiles carecen de embriones en su interior, por lo que su estudio se debe hacer en la cáscara. Se trata de una estructura biológica muy compleja, pero que proporciona una valiosa información de sus productores y de la historia tafonómica de la roca que los conserva. El estudio de los huevos fósiles es una disciplina que está muy ligada a los instrumentos con los que se examinan.

El uso del MEB durante el final del s. XX permitió descubrir detalles de los fósiles de huevos de dinosaurio insospechados al utilizar las técnicas ópticas. A una escala menor, nuestro equipo ha contribuido a una nueva revolución durante el s. XXI con la introducción de la Difracción de Electrones Retrodispersados (EBSD) en el estudio de la estructura de la cáscara de huevo fósil. Esta tecnología, muy utilizada en ciencia de materiales, permite entender cómo se organiza a nivel microscópico la cáscara de huevo y comprender mejor su formación y fosilización. Los miembros del grupo Aragosaurus Miguel Moreno-Azanza y Blanca Bauluz lideraron los primeros pasos de la aplicación de esta técnica, que actualmente se ha vuelto imprescindible en los trabajos científicos de huevos fósiles de dinosaurios (MORENO-AZANZA *et al.*, 2015).

El principio es sencillo, cuando una muestra es excitada por un haz de electrones, emite diferentes señales que pueden ser recogidas con los

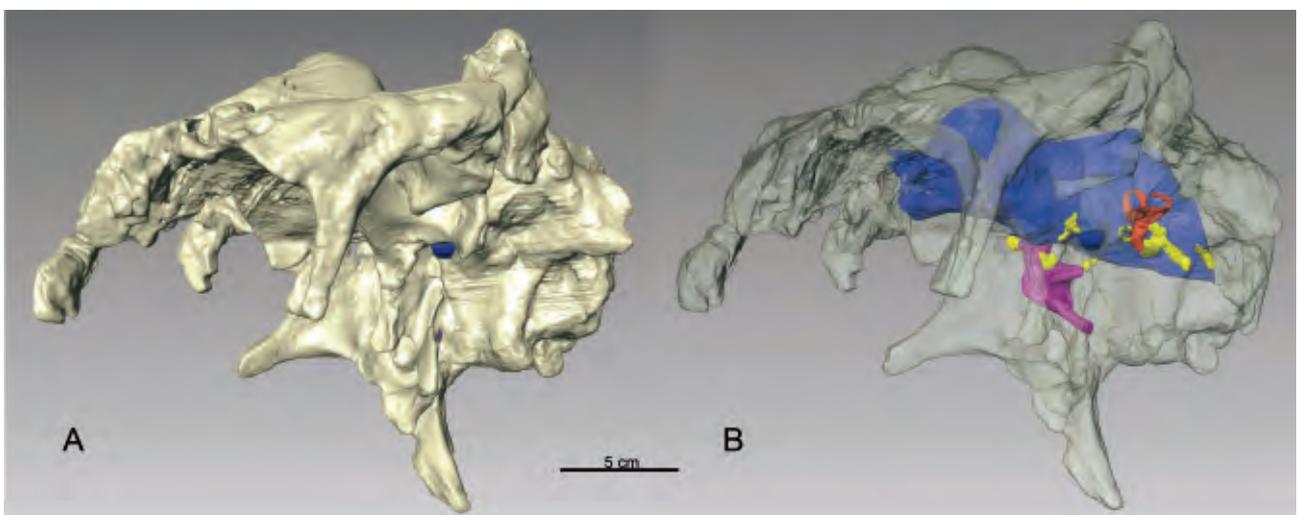


Figura 3. Reconstrucción del interior del cráneo de *Arenysaurus ardevoli*. En color rojo se encuentran reconstruidos los huesos del oído. En azul el endocráneo. Más información en CRUZADO-CABALLERO *et al.* (2015).

detectores adecuados (electrones secundarios, rayos X, luz...). Además de todas estas señales, algunos de los electrones del propio haz «rebotan» y vuelven a salir de la muestra. Estos son los electrones retrodispersados, que desde hace décadas se han utilizado para analizar la composición química de las muestras mediante la EDS (espectroscopia de difracción de electrones). Sin embargo, en la EDS sólo se analizan los electrones que «rebotan» de forma perpendicular o casi perpendicular a la muestra. Cuando se utiliza un detector que sea capaz de recoger los electrones que «rebotan» en ángulos menores, la información composicional se reduce, y lo que se obtiene es información sobre la cristalografía de la muestra, permitiendo identificar minerales y fases de crecimiento y de deformación de los cristales. Podemos llegar a conocer las direcciones de cristalización de los cristales individuales que forma la cáscara del huevo. Dependiendo de la orientación de estos cristales se pueden interpretar aspectos como la dureza de la cáscara. Un mundo de conocimiento que está comenzando a aflorar.

En el interior de los cerebros de los dinosaurios. La tomografía computerizada.

El uso de la tomografía computerizada en los fósiles, en general, y en los dinosaurios en particular, ha permitido abrir una ventana insospechada en el conocimiento de algunas partes anatómicas inaccesibles de estos fósiles. Además, está permitiendo la reconstrucción en tres dimensiones de dinosaurios y de otros fósiles sin necesidad de extraerlos de la roca. La tomografía

computerizada es una técnica de rayos X con la que obtiene finos y múltiples cortes virtuales del fósil analizado. Usando diferentes aplicaciones informáticas con estas secciones se puede llegar a reconstruir partes internas y externas del fósil de manera tridimensional. La tomografía nos permite obtener la morfología externa e interna del fósil estudiado. Se puede realizar una reconstrucción en tres dimensiones del mismo,

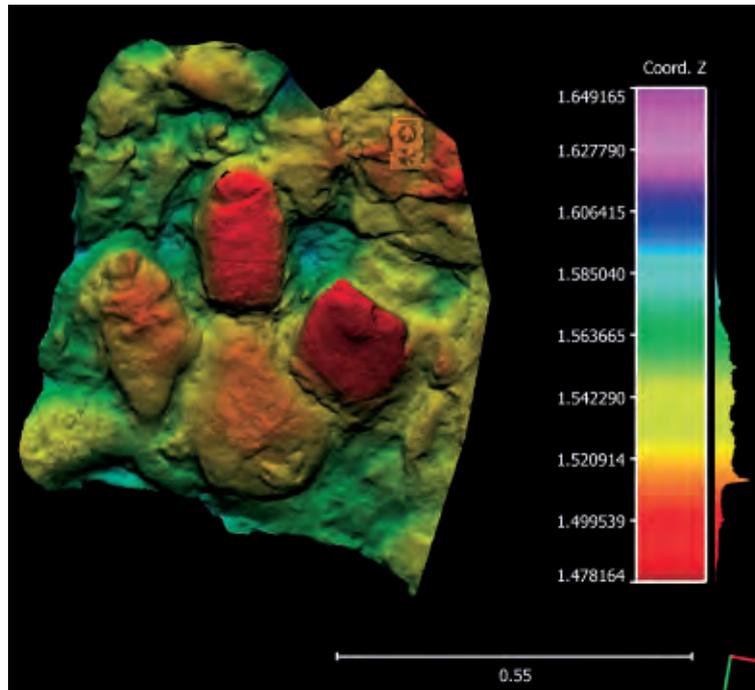


Figura 4. Fotografía de una icnita de un gran ornitópodo procedente del yacimiento de San Benon (Camarillas, Teruel). Los colores señalan diferencias en la profundidad de la icnita. Cuanto más intenso es el rojo más profunda es la pisada. Más información en CASTANERA et al. (2022).

obtener datos biométricos, realizar réplicas de gran detalle del fósil sin tener que apenas tocarlo, e incluso obtener información de regiones que con otras técnicas serían inaccesibles. Así se puede llegar a reconstruir como era el cerebro de un dinosaurio que se extinguió hace millones de años.

Una de las primeras reconstrucciones del encéfalo de un dinosaurio español fue realizada en el cráneo de *Arenysaurus*. Se trata de

un dinosaurio hadrosaurido lambeosaurinae descrito en el Maastrichtense superior de Arén (Huesca). El holotipo, que incluye el cráneo, es el ejemplar de dinosaurio fitófago más completo descrito en nuestro país. Un equipo de la Universidad de Zaragoza (Aragosaurus) y del ICP liderados por la profesora Penélope Cruzado actualmente en la Universidad de La Laguna fue la encargada de aplicar la nueva tecnología (CRUZADO-CABALLERO et al., 2015).

Entre los dinosaurios ornitisquios, los hadrosáuridos son los que tienen una de las mayores capacidades cerebrales en relación con su tamaño. Tienen un hemisferio cerebral bien definido y unos bulbos olfatorios bien desarrollados. *Arenysaurus* al igual que sus parientes norteamericanos y asiáticos presentan estas mismas características, pero además presenta otras típicas de la subfamilia Lambeosaurinae a la que pertenece. Un ejemplo de estas singularidades

son una cavidad cerebral acortada anteroposteriormente y la presencia de un ángulo entre el hemisferio cerebral y la horizontal. Estos caracteres paleoneuroanatómicos confirmaron la asignación que se hizo a partir del estudio de sus huesos como Lambeosaurinae. Además, se pudo reconstruir el oído interno de *Arenysaurus*, que presentaba diferencias con otros lambeosaurinos y podía ser consecuencia de sus adaptaciones a una vida insular. Esto es solo una muestra de la gran y novedosa información que puede aportar la tomografía computerizada en la investigación de los dinosaurios.

Fotogrametría y escáner

La utilización del sistema de digitalización Lidar en yacimientos paleontológicos por parte de nuestro equipo Aragosaurus se inició en el año 2005 con la colaboración del ICP en diferentes yacimientos de icnitas de dinosaurios de Aragón y Soria. El principio es simple, consiste en un aparato capaz de emitir una luz láser que al llegar a un lugar se refleja y se capta por un receptor. Este sistema permite trabajar a una resolución de aproximadamente medio centímetro. Se puede tomar imágenes de alta resolución con una cámara fotográfica incorporada y sincronizada al mismo aparato. El resultado final es una nube de puntos en tres dimensiones que pueden transformarse en una imagen tridimensional. El objetivo final es poder generar un modelo en 3D de todo el yacimiento de icnitas. Una vez obtenido el modelo se puede estudiar en detalle la morfología de las icnitas individuales, el número de icnitas y la orientación de los rastros, el número de dinosaurios distintos que pasaron por superficie que forma yacimiento, el tipo de movimiento de los dinosaurios y mucho más. Esta técnica permite «llevarte el yacimiento de icnitas a casa», dicho de una manera coloquial.

En los últimos años se ha desarrollado la técnica de la fotogrametría para el estudio de icnitas y para documentar los huesos de dinosaurios. Al ser una técnica barata y sencilla de aplicar se ha convertido en un instrumento imprescindible en la investigación de dinosaurios. El objetivo de la fotogrametría en dinosaurios es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un fósil cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre fotografías de ese objeto tomadas

en diferentes posiciones. Mediante aplicaciones, algunas de ellas de uso libre, podemos hacer modelos en tres dimensiones del fósil. Para que la aplicación pueda hacer el modelo se necesita poner dianas o puntos de solape entre las diferentes fotografías.

Nuestro grupo ha desarrollado muchas investigaciones aplicando tanto la toma de datos con la técnica Lidar, como la fotogrametría especialmente en trabajos sobre icnitas de dinosaurio donde nuestro compañero Diego Castanera tiene bastantes publicaciones. Un ejemplo reciente del uso de la fotogrametría en dinosaurios que podemos describir es el estudio de una icnita de un gran ornitópodo de la Formación Castellar en Camarillas, Teruel (CASTANERA *et al.*, 2022). Posiblemente se trata de la icnita mejor conservada recuperada en Aragón. Además, puede visitarse en la misma localidad de Camarillas donde se ha habilitado un espacio para su visionado. En la fotogrametría de esta icnita (Fig. 4) se puede observar diferentes colores que indican las distintas profundidades de la icnita.

Referencias bibliográficas

- CASTANERA, D., BÁDENAS, B., AURELL, M., CANUDO, J. I. & GASCA, J. M. 2022. First ornithopod tracks from the Lower Cretaceous El Castellar Formation (Spain): implications for track preservation and evolution of ornithopod footprints. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **591**, 110866.
- CRUZADO-CABALLERO, P., FORTUNY, J., LLACER, S. & CANUDO, J. I. 2015. Paleoneuroanatomy of the european lambeosaurine dinosaur *Arenysaurus ardevoli*. *PeerJ*, **3**, e802.
- JURADO, C., BAULUZ, B., CASTANERA, D. & CANUDO, J. I. 2020. Paleohistología e historia fosildiagenética de dos saurópodos de la secuencia jurásica en la subcuenca de Galve (Teruel). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, **33** (2), pp. 3-16.
- MORENO-AZANZA, M., MARIANI, E., BAULUZ, B. & CANUDO, J. I. 2013. Growth mechanisms in dinosaur eggshells: an insight from electron backscatter diffraction. *Journal of Vertebrate Paleontology*, **33** (1), pp. 121-130.

