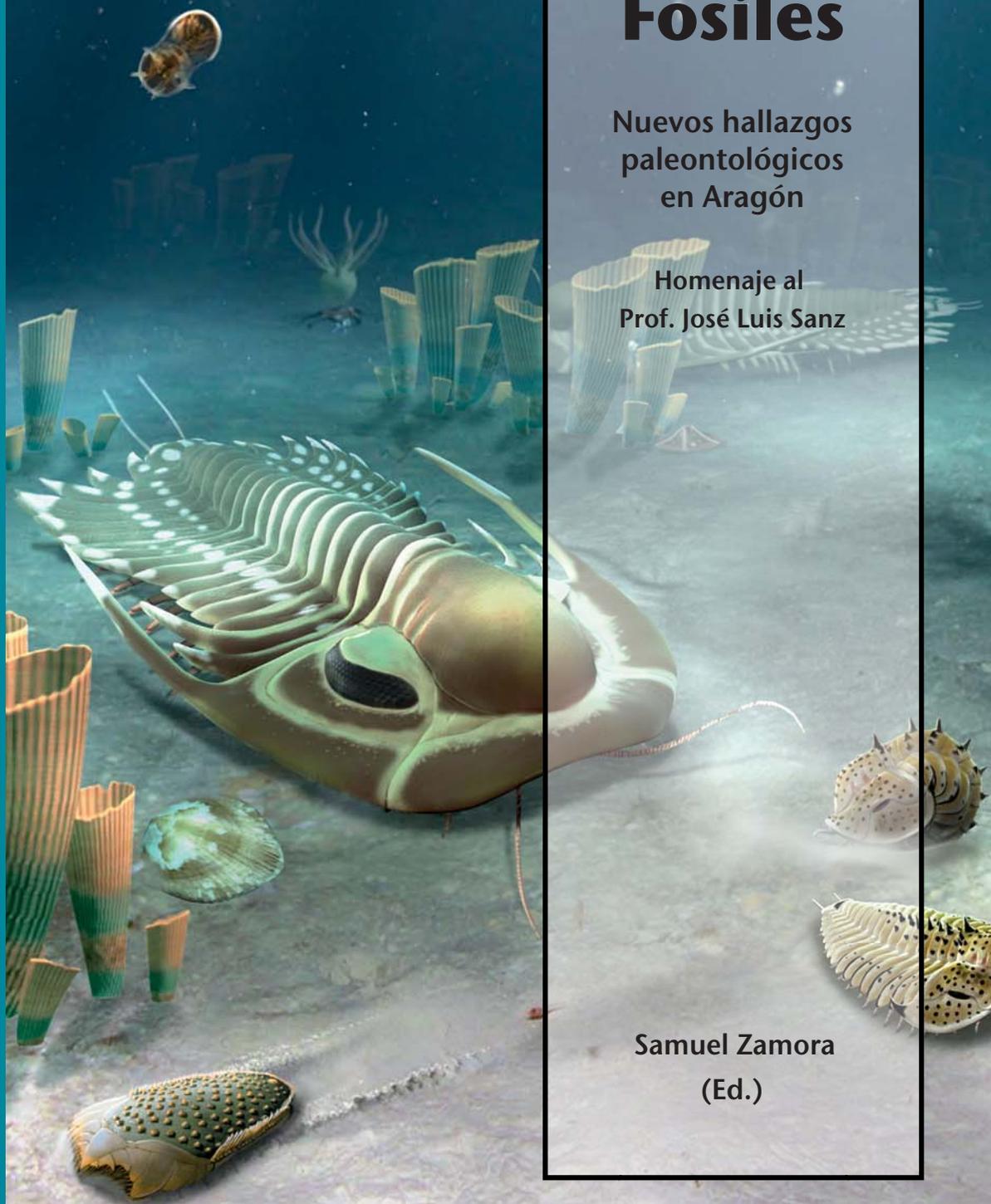


Fósiles

Nuevos hallazgos
paleontológicos
en Aragón

Homenaje al
Prof. José Luis Sanz

Samuel Zamora
(Ed.)



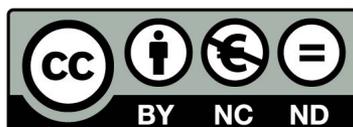
Samuel Zamora (Valencia, 1978)

Científico titular del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Estudió geología en la Universidad de Zaragoza y se licenció en 2004. Realizó su doctorado en la misma Universidad finalizando en 2009. Su Tesis Doctoral versó sobre los fósiles de equinodermos cámbricos del Norte de España. Su trabajo obtuvo la máxima calificación posible y fue galardonado con el premio extraordinario de doctorado de la Facultad de Ciencias. Entre 2010 y 2012 trabajó como contratado postdoctoral en el Museo de Historia Natural de Londres donde investigó sobre equinodermos fósiles y otros invertebrados. En 2013 se incorporó al Departamento de Paleobiología del Museo Nacional de Ciencias Naturales de los Estados Unidos de América, perteneciente al prestigioso Instituto Smithsonian, con base en Washington DC. En 2014 regresó a España con un contrato de investigación de excelencia Ramón y Cajal para trabajar en el Museo Geominero (IGME), donde continúa sus investigaciones. Samuel se interesó por la Paleontología cuando era sólo un niño y pasaba los veranos y fines de semana buscando fósiles en rocas de distintas edades geológicas. Ha publicado numerosos artículos científicos sobre invertebrados fósiles de todo el mundo en revistas internacionales. Además participa en diversas actividades de divulgación, como conferencias y exposiciones, relacionadas con la Paleontología.

MOTIVO DE CUBIERTA: Reconstrucción del Cámbrico de Aragón.

Autor: Óscar Sanisidro. Cortesía de Medio Natural (Gobierno de Aragón).

La versión original y completa de esta obra debe consultarse en:
<https://ifc.dpz.es/publicaciones/ebooks/id/3687>



Esta obra está sujeta a la licencia CC BY-NC-ND 4.0 Internacional de Creative Commons que determina lo siguiente:

- **BY (Reconocimiento):** Debe reconocer adecuadamente la autoría, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de una manera que sugiera que tiene el apoyo del licenciador o lo recibe por el uso que hace.
- **NC (No comercial):** La explotación de la obra queda limitada a usos no comerciales.
- **ND (Sin obras derivadas):** La autorización para explotar la obra no incluye la transformación para crear una obra derivada.

Para ver una copia de esta licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.

FÓSILES

Nuevos hallazgos paleontológicos en Aragón

Memorias de las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología
Libro homenaje al Profesor José Luis Sanz

Organizadas por la Asociación Cultural Bajo-Jalón
y el Instituto Geológico y Minero de España

COLECCIÓN ESTUDIOS
PALEONTOLOGÍA

FÓSILES

Nuevos hallazgos paleontológicos en Aragón



Samuel Zamora
(Ed.)

Institución «Fernando el Católico»
Excma. Diputación de Zaragoza
Zaragoza, 2018

Publicación número 3609
de la Institución Fernando el Católico,
Organismo autónomo de la Excma. Diputación de Zaragoza
Plaza de España, 2 • 50071 Zaragoza (España)
Tels. (34) 976 28 88 78/79
ifc@dpz.es
www.ifc.dpz.es



Coordinación:
Samuel Zamora

© De los textos e imágenes: sus autores
© De la presente edición: Institución Fernando el Católico

ISBN: 978-84-9911-488-0
Depósito legal: Z 772-2018
Diseño y maquetación: Isabel Pérez Urresti
Impresión: INO, Reproducciones

IMPRESO EN ESPAÑA-UNIÓN EUROPEA

- 9 **Presentación.** Imanol Arteaga Cuartero
- 11 **Introducción.** Samuel Zamora
- 13 **Mi relación con la paleontología aragonesa.** José Luis Sanz
- 15 **José Luis Sanz y la moderna dinosauriología ibérica**
Francisco Ortega
- 23 **Crinoideos fósiles de Aragón**
Samuel Zamora
- 49 **Los vertebrados basales del Devónico de Aragón**
Héctor Botella
- 67 **¿Quién nadaba por los mares mesozoicos de Aragón?**
Jara Parrilla-Bel
- 93 **Antiguos lagos y bosques aragoneses como fuentes de paleodiversidad**
Enrique Peñalver
- 111 **Ariño: La mina de los dinosaurios**
Luis Alcalá, Eduardo Espílez y Luis Mampel
- 143 **Investigación del grupo Aragosaurus-IUCA sobre los vertebrados del Mesozoico y Paleógeno de Aragón**
José Ignacio Canudo
- 177 **Nuevos descubrimientos paleontológicos en cuevas aragonesas**
Raquel Rabal-Garcés y Víctor Sauqué
- 203 **Presentación del catálogo “Paleotipos aragoneses”**
Luis Moliner
- 211 **Programas de las Jornadas Aragonesas de Paleontología**



Breite nur die Forme als an der Seite | 1999

“Imprescindible”

Como presidente de la Asociación Cultural Bajo-Jalón no encuentro un calificativo que exprese mejor las sensaciones que percibo ante el documento que tienen en sus manos.

Han pasado cinco años desde la celebración de las XII Jornadas Aragonesas de Paleontología que nuestra asociación organiza en la localidad de Ricla. Este “lapsus tempore” comparado con el tiempo que la vida lleva poblando nuestro planeta no equivale ni a un suspiro, pero en los últimos años la investigación científica y más concretamente la paleontológica ha acelerado su ritmo de tal manera que la magnitud de descubrimientos nos ha motivado a dedicar, íntegramente, las XIII jornadas a realizar una puesta al día de la situación de la paleontología en nuestra comunidad y limitrofes.

Las actas de la XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología son una puesta en escena de la febril actividad paleontológica que nos rodea y para ello se ha contado con los pilares que la sustentan. La Universidad de Zaragoza y su Museo representados por el doctor José Ignacio Canudo y las doctoras Jara Parrilla y Raquel Rabal, el Instituto Geológico y Minero de España a través de los doctores Enrique Peñalver y Samuel Zamora, la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis con su director el doctor Luis Alcalá y la Universidad de Valencia con el doctor Héctor Botella.

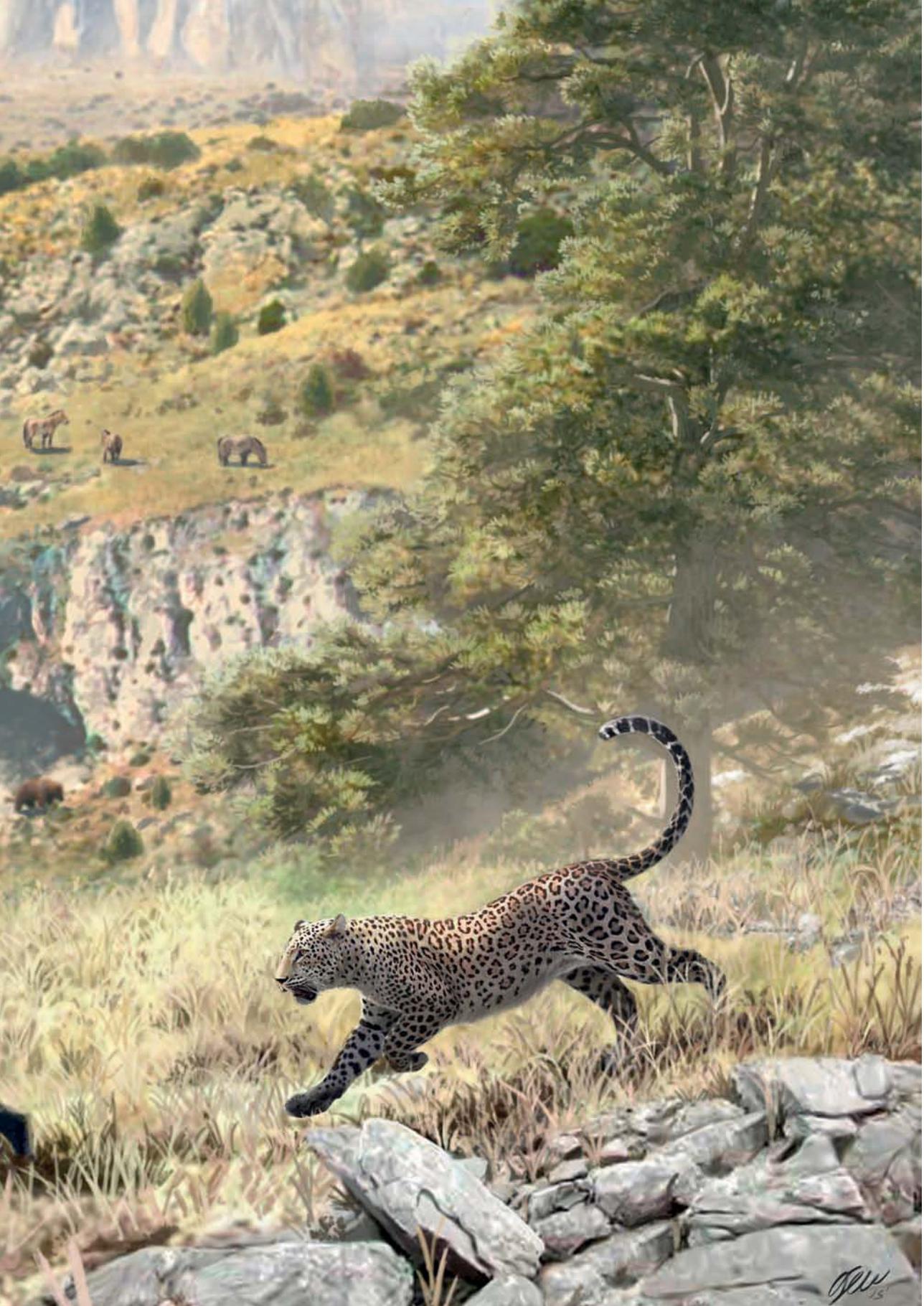
Como no podía ser de otra manera todos ellos forjados por el buen hacer de sus antecesores entre los que me gustaría resaltar a dos: el doctor Eladio Liñán, baluarte científico de ediciones pasadas de estas Jornadas Aragonesas de Paleontología, y el doctor José Luis Sanz (Pepelu), referente mundial del estudio de los dinosaurios, al que en esta edición se homenajea por su implicación, desde la Universidad Autónoma de Madrid, con esta apuesta paleontológica que lleva realizándose la friolera de treinta años en la localidad de Ricla. Todo este magnífico esfuerzo por resetear y actualizar nuestra realidad paleontológica, ha sido posible gracias al buen hacer de grandes científicos que los que ya peinamos canas y calvas hemos visto acudir a nuestras queridas Jornadas Aragonesas de Paleontología como alumnos y les hemos visto crecer y desarrollarse en esta disciplina que amamos.

¡Qué más podemos pedir!

El doctor Samuel Zamora (IGME) como director científico, la doctora Davinia Moreno (CENIEH) a la cabeza de la secretaría y el investigador Fernando Ari Ferratges comisario de la muestra “crustáceos fósiles” nos han demostrado con su magnífico trabajo que el relevo científico está sobradamente garantizado. No quiero despedirme sin nombrar a los doctores Moliner (Geoparque Maestrazgo) y Ortega (UNED) que participaron en esta edición con la presentación del libro “Paleotipos aragoneses”, el primero y la glosa al doctor José Luis Sanz el segundo.

En este espacio de divulgación científica creo que ya me he extendido más de lo que un simple aficionado y enamorado de la paleontología debería, pero me voy a permitir regresar al inicio del texto para incidir en el calificativo que me ha rondado por la cabeza durante la lectura de estas actas.... IMPRESCINDIBLES

Imanol Arteaga Cuartero
Presidente de la Asociación Cultural Bajo-Jalón



W
15

Nuevos hallazgos paleontológicos en Aragón

Aragón cuenta con uno de los patrimonios paleontológicos más ricos de Europa, con fósiles de todos los periodos geológicos desde el Cámbrico, hace más de 540 millones de años. Su situación privilegiada, con los Pirineos al norte, cruzada por la cordillera Ibérica, y surcada por extensas depresiones de rocas terciarias, hace de Aragón una comunidad única para la geología y la paleontología.

Actualmente, Aragón goza de paleontólogos-investigadores pertenecientes a tres instituciones, la Universidad de Zaragoza, la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis y el Instituto Geológico y Minero de España-Unidad de Zaragoza. Para la edición de estas jornadas, quisimos que representantes de las tres instituciones nos deleitaran con los nuevos descubrimientos paleontológicos acaecidos en los últimos años. Evidentemente en este libro faltan muchos descubrimientos, pero el texto que se presenta hace un buen recorrido por muchos grupos y periodos concretos, en los que en los últimos años se han hecho hallazgos que han revolucionado algunos aspectos de la Paleontología actual.

El libro comienza con una glosa de Francisco Ortega sobre nuestro homenajeado, el Profesor José Luis Sanz, quien en su momento describió el primer dinosaurio español *Aragosaurus ischiaticus* encontrado en Galve; y quien por méritos propios se ha ganado el prestigio y el respeto de la comunidad paleontológica internacional. En el primer capítulo Samuel Zamora hace un recorrido por los yacimientos más importantes de crinoideos de Aragón desde el Ordovícico hasta el Eoceno, haciendo hincapié en la importancia de estos organismos en los ecosistemas del pasado. Héctor Botella nos muestra el importantísimo registro de peces del Devónico encontrado en rocas aragonesas, y nos explica su contribución a los ecosistemas de esta época. Jara Parrilla-Bel nos sumerge en los mares mesozoicos de Aragón para conocer a los reptiles que nadaban en ellos. Enrique Peñalver habla de los yacimientos excepcionales que conservan insectos casi intactos en inclusiones de ámbar o en calizas laminadas. Luis Alcalá y colaboradores, nos acercan a un yacimiento excepcional, la mina de Ariño. Data del periodo Cretácico (Albiense) este yacimiento ha proporcionado un registro único de vertebrados de esta edad, incluidos algunos de los dinosaurios más completos del mundo. Además muestra que la colaboración entre la minería y la investigación paleontológica es posible. José Ignacio Canudo, hace un extenso recorrido por la paleontología de vertebrados mesozoicos de Aragón para mostrar el trabajo que el grupo *Aragosaurus* lleva realizando en nuestra tierra durante los últimos treinta años. Raquel Rabal y Víctor Sauqué nos introducen en la paleontología de las cuevas aragonesas, para mostrarnos los animales que convivieron con nuestros antepasados. Por último, Luis Moliner, nos hace una reseña del libro *Paleotipos Aragoneses* que pone de manifiesto la riqueza paleontológica de Aragón, donde hasta 2016 se habían descrito la friolera de 985 taxones nuevos.

Espero que este libro sirva para mostrar aún más el rico y variado patrimonio paleontológico que existe en Aragón; un legado único que la geología y la naturaleza han ofrecido a los aragoneses. Entre todos deberíamos fomentar su conservación, investigación y difusión para que las generaciones futuras puedan disfrutarlo. ¡Quién sabe las sorpresas que todavía ocultan las rocas aragonesas!

Samuel Zamora

Científico titular del Instituto Geológico y Minero de España, Zaragoza



MI RELACIÓN CON LA PALEONTOLOGÍA ARAGONESA

Mi primera relación con la paleontología aragonesa no fueron los dinosaurios. Mi intención al acabar la carrera era muy clara. Quería estudiar estos “grandes reptiles” del Mesozoico, pero una circunstancia se interpuso en esta decisión. La disponibilidad de restos fósiles de dinosaurios para la realización de una tesina (o cualquier otro trabajo de investigación) era muy limitada, al menos en el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (MNCNM) y me temo que posiblemente en todo el país. De manera que, de acuerdo con mi director de tesina, Emiliano Aguirre, decidimos finalmente que se realizaría sobre un reptil triásico depositado en las colecciones de la mencionada institución madrileña. El ejemplar podía ser identificado claramente como un pequeño notosaurio, aunque no se tenía ninguna información sobre la edad y procedencia del fósil. Una revisión de los fondos del MNCNM logró encontrar algunas referencias, junto a un molde en escayola del mismo ejemplar, hallado en las colecciones de Royo y Gómez, que en aquella época estaban situadas en la galería superior de la sala de paleontología. La nota indicaba claramente que el ejemplar procedía de la localidad de Estada en Huesca y la réplica en escayola había sido donada al MNCNM por Odón de Buen en la primera década del siglo XX. Posteriores hallazgos en los registros del museo indicaban que el ejemplar había sido comprado por esta institución. Todavía sigue expuesto en las vitrinas de la renovada sección de paleontología. Finalmente una compañera de promoción, Margarita Cuevas, y yo, localizamos en los alrededores de Estada las facies de donde podría proceder el notosaurio, pertenecientes al Ladinense.

De manera que mi primera publicación profesional en paleontología (1976) fue una adaptación de mi tesina en este ejemplar aragonés, que finalmente fue identificado como *Lariosaurus balsami*. Mi segunda relación con el registro fósil aragonés fue la publicación del primer dinosaurio nominado en España, *Aragosaurus ischiaticus*. El estudio fue realizado junto con Ángela Delgado Buscalioni, Lourdes Casanovas y José Vicente Santafé. Los primeros materiales de *Aragosaurus* fueron descubiertos por José María Herrero. De manera que estos dos hitos, un notosaurio y un dinosaurio, forman parte muy importante de mi carrera como investigador en paleontología y ambos se materializaron en el registro fósil de Aragón.

En definitiva, creo que puede entenderse fácilmente mi emoción durante el homenaje que me dedicaron en las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología de Ricla, celebradas del 10 al 12 de noviembre de 2017. Esta reunión es un ejemplo constante para todas aquellas iniciativas que intenten sumar la actividad paleontológica en todos los ámbitos, profesionales y aficionados, para potenciar el objetivo común de investigar, proteger y divulgar nuestro patrimonio fósil. Muchas gracias a todos por la enorme y cariñosa acogida que disfruté con vosotros durante las jornadas de Ricla.

Profesor José Luis Sanz
Universidad Autónoma de Madrid



JOSÉ LUIS SANZ Y LA MODERNA DINOSAURIOLOGÍA IBÉRICA

Francisco Ortega¹

¹ Grupo de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, UNED. Paseo de la Senda del Rey 9.
28040 Madrid, España

fortega@ccia.uned.es

Resumen: José Luis Sanz es uno de los paleontólogos españoles más conocidos en el campo del estudio de los vertebrados mesozoicos y, particularmente, en la investigación sobre dinosaurios. Catedrático de Paleontología en la UAM y miembro de la Real Academia de Ciencias, Sanz ha estado involucrado en el resurgimiento, a partir de la década de 1980, de esta disciplina en yacimientos como los de Morella (Castellón) o Galve (Teruel). Ha dedicado buena parte de su carrera investigadora al yacimiento de Las Hoyas (Cretácico Inferior de Cuenca) desde el que se han hecho relevantes aportaciones a una de sus líneas de trabajo más reconocidas, la historia evolutiva de las primeras aves. Además, Sanz ha mantenido una intensa actividad de comunicación de la ciencia a través de la paleontología, lo que le ha reportado un alto reconocimiento popular.

Palabras clave: Paleontología de vertebrados, Dinosauria, Península Ibérica, Mesozoico.

Abstract: *José Luis Sanz is one of the most well-known Spanish palaeontologists in the field of the study of Mesozoic vertebrates and particularly in the research on dinosaurs. Professor of Palaeontology at the UAM and member of the Spanish Royal Academy of Sciences, Sanz has been involved in the renaissance, since the 1980s, of this discipline in fossil sites in Morella (Castellón) or Galve (Teruel). He has dedicated the main part of his research career to the Las Hoyas fossil site (Lower Cretaceous of Cuenca), with significant contributions to one of his most recognized work lines, the evolutionary history of the early birds. In addition, Sanz has maintained an intense activity of outreach through palaeontology, which has brought him high popular recognition.*

Keywords: *Vertebrate Palaeontology, Dinosauria, Iberian Peninsula, Mesozoic.*

José Luis Sanz nació en Soria. Los inviernos sorianos de la década de 1950 debieron ser memorables. De hecho, seguro que eran ambientes muy parecidos a los que describe inicialmente la película con la que comenzó su interés por los fósiles. Él mismo declara que su pasión por el oficio de paleontólogo tiene su detonante en la película: “El monstruo de tiempos remotos”, gestada en plena Guerra Fría, y en la que una explosión atómica en el Ártico despierta a una criatura extinguida, “*Rhedosaurus*”, una especie de dinosaurio marino. A pesar de que el paleontólogo de la película muere por culpa del monstruo, y de que los científicos no suelen ser bien tratados en la mayoría de los relatos de ficción, Sanz supo que allí estaba su destino (Ariza, 2017). De manera que José Luis Sanz fue un paleontólogo precoz: en distintas ocasiones ha comentado que con 13 años ya recogía fósiles en los alrededores de su ciudad natal para conservarlos, convenientemente etiquetados, en cajas de cerillas. De la misma forma, también declara que, en este tiempo, leyó todos los textos de paleontología y todas las novelas de historias fantásticas con dinosaurios que pudo y asistió a toda película en la que aparecieran monstruos prehistóricos. Con el tiempo, estudio geología en la Universidad Complutense de Madrid, ejerció como becario en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, se unió al equipo de Nieves López en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) en la que alcanzó el grado de Catedrático de Paleontología y, más recientemente, se ha incorporado a la medalla nº17 de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.





José Luis Sanz realizó su tesis doctoral sobre los notosaurios del registro español, que fue dirigida por Emiliano Aguirre. Sin embargo, los dinosaurios se cruzaron pronto en su camino. Sus primeros encuentros con este registro se produjeron en excavaciones realizadas en la localidad castellanense de Morella, a finales de la década de los años 1970. Allí, en colaboración con José Vicente Santafé y Lourdes Casanovas, ejercieron de pioneros de la nueva dinosauriología en España. En Morella se realizaron las primeras excavaciones sistemáticas españolas de restos fósiles de dinosaurios y los resultados dieron lugar a la publicación de la primera monografía dinosauriana aparecida en España. Después de los años de trabajo en Morella, llegó Galve (Teruel). En esta localidad hay que señalar otro acto pionero: la propuesta de la primera especie de dinosaurio descrita en España, el saurópodo *Aragosaurus ischiaticus*. En esta etapa del renacimiento del estudio de los vertebrados mesozoicos en España, Sanz colaborará en distinta medida en muchos de los registros que, aún hoy, constituyen una referencia como Castellón, Teruel, La Rioja, Soria, el Condado de Treviño o Valencia.

A mediados de los años 1980 Sanz se instala en la que será su principal área de investigación hasta la actualidad: el yacimiento del Cretácico Inferior (Barremiense) de Las Hoyas (Cuenca). En colaboración con geólogos y paleontólogos de la Universidad Complutense de Madrid, la Universidad de Barcelona y otras instituciones, se empezó a generar una estrategia general para abordar el estudio de Las Hoyas desde una perspectiva multidisciplinar. Sanz dirigió el proyecto de Las Hoyas en sus primeros 20 años conformando uno de los grupos más estables y productivos en la investigación del Mesozoico español y que ha generado una amplia información sobre la tafonomía, geología, paleoecología y biota existente en ese punto de la Serranía de Cuenca hace 125 millones de años (para una referencia más detallada, ver la selección de citas bibliográficas en el Apéndice 1).

En el año 2007 se produjo otro hecho afortunado al descubrirse el yacimiento de Lo Hueco (Cuenca) en el que se han excavado, restaurado y estudiado miles de huesos de dinosaurios, cocodrilos y otros organismos del Cretácico Superior y en el que hemos tenido la suerte de contar con la activa colaboración de Sanz. Igualmente, después de una década de trabajo se dispone de una amplia información sobre la geología, paleoecología y los organismos que habitaron esta zona de Cuenca en el pasado remoto.

Entre los temas de interés que el profesor Sanz ha desarrollado en su carrera investigadora probablemente habría que destacar el estudio de las aves primitivas de Las Hoyas: los géneros *Iberomesornis*, *Concornis* y *Eoalulavis*. *Iberomesornis* fue el primero en ser publicado y supuso una aportación relevante a la hipótesis naciente sobre el origen dinosauriano de las aves. Era la primera ave prácticamente completa que se encontraba en el Cretácico Inferior, en un registro intermedio entre el de *Archaeopteryx* y las aves dentadas del Cretácico Superior. Años más tarde se publicó *Eoalulavis*, la primera ave del registro fósil que presentaba evidencias de álula. En definitiva, las aves de Las Hoyas han proporcionado información relevante sobre el origen del vuelo moderno en el grupo corona de las aves, y además ayudaron a sentar las bases del clado Enantiornithes, un linaje extinto de aves cretácicas. Las aves de Las Hoyas generaron un gran impacto científico y también mediático.

En la trayectoria del profesor Sanz existe una clara dualidad intelectual. Por una parte, su carrera estrictamente paleontológica. Por otra, sus aproximaciones a la proyección sociocul-



tural de la paleontología. En este sentido pueden señalarse dos facetas distintas, pero correlacionadas. Por un lado, la utilización de los dinosaurios, y del estudio del registro fósil en general, como vehículo didáctico y de difusión de la paleontología. “Sanz hace comparaciones constantes con elementos fuera de la ciencia, como la literatura, los cómics, el cine o internet, con el objetivo de favorecer el acercamiento de la ciencia a los jóvenes porque, insiste, ésta y la paleontología en concreto, pueden ser divertidas” (Cajales y Galileos, 2012).

Además, José Luis Sanz ha desarrollado, como parte de su actividad investigadora, un compromiso para el estudio, desde bases de la sociología y la crítica, de los productos culturales no científicos asociados a la paleontología, en particular el cine de dinosaurios. Sanz siempre ha defendido la utilidad de los diferentes aspectos socioculturales del estudio de los fósiles. De manera que, para Sanz, la ciencia paleontológica y todas sus proyecciones en diversos aspectos de la cultura popular no solo son compatibles, sino incluso deseables. En sus actividades se reconoce con facilidad la dualidad del comunicador fiel al paleontólogo, es decir, capaz de moverse en el contexto de la paleontología, que tiene que seguir estrechamente el riguroso procedimiento científico, con la misma soltura que en el de la cultura popular, en el que la transmisión de conceptos, incluso paleontológicos, puede fluir con el único límite de la imaginación humana.

REFERENCIAS

Ariza, L. M. 2017. *En Busca del eslabón perdido entre los dinosaurios y las aves*. El País Semanal. https://elpais.com/elpais/2017/11/03/eps/1509663925_150966.html

Cajales y Galileos 2012. *Manual para todo buen dinomaniaco* <https://cajalesygalileos.wordpress.com/2012/11/03/manual-para-todo-buen-dinomaniaco-ciencia-elmundo-es/>

APÉNDICE 1

Selección de algunas publicaciones técnicas y de los libros más relevantes de José Luis Sanz:

Publicaciones técnicas

Cuesta, E., Díaz-Martínez, I., Ortega, F. and Sanz, J.L. 2015. Did all theropods have chicken-like feet? First evidence of a non-avian dinosaur podotheca. *Cretaceous Research*, 56,53–59.

Díez Díaz, V., Mocho, P., Páramo, A., Escaso, F., Marcos-Fernández, F., Sanz, J. L. and Ortega, F. 2016. A new titanosaur (Dinosauria, Sauropoda) from the Upper Cretaceous of Lo Hueco (Cuenca, Spain). *Cretaceous Research*, 68,49–60.

Escaso, F., Ortega, F., Dantas, P., Malafaia, E., Silva, B., Gasulla, J.M., Mocho, P., Narváez, I. and Sanz, J.L. 2014. A new dryosaurid ornithopod (Dinosauria, Ornithischia) from the Late Jurassic of Portugal. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34, 1102–1112.

Escaso, F., Ortega, F., Dantas, P., Malafaia, E., Pimentel, N.L., Pereda-Suberbiola, X., Sanz, J.L., Kullberg, J.C., Kullberg, M.C. and Barriga, F. 2007. New evidence of shared dinosaur across Upper Jurassic Proto-North Atlantic: *Stegosaurus* from Portugal. *Die Naturwissenschaften*, 94, 367–74.

- Gasulla, J.M., Escaso, F., Narváez, I., Ortega, F. and Sanz, J.L. 2015. A New Sail-Backed Styracosternan (Dinosauria: Ornithopoda) from the Early Cretaceous of Morella, Spain. *PLoS ONE*, 10:e0144167.
- Knoll, F., Witmer, L.M., Ridgely, R.C., Ortega, F. and Sanz, J.L. 2015. A New Titanosaurian Braincase from the Cretaceous “Lo Hueco” Locality in Spain Sheds Light on Neuroanatomical Evolution within Titanosauria. *PLoS ONE*, 10:e0138233.
- Knoll, F., Ridgely, R.C., Ortega, F., Sanz, J.L. and Witmer, L.M. 2013. Neurocranial osteology and neuroanatomy of a late Cretaceous titanosaurian sauropod from Spain (*Ampelosaurus* sp.). *PLoS ONE*, 8:e54991.
- Ortega, F., Escaso, F. and Sanz, J.L. 2010. A bizarre, humped Carcharodontosauria (Theropoda) from the Lower Cretaceous of Spain. *Nature*, 467 (7312), 203–206.
- Ortega, F., Bardet, N., Barroso-Barcenilla, F., Callapez, P.M., Cambra-Moo, O., Daviero-Gómez, V., Díez Díaz, V., Domingo, L., Elvira, A., Escaso, F., García-Oliva, M., Gómez, B., Houssaye, A., Knoll, F., Marcos-Fernández, F., Martín, M., Mocho, P., Narváez, I., Pérez-García, A., Peyrot, D., Segura, M., Serrano, H., Torices, A., Vidal, D. and Sanz, J. L.. 2015. The biota of the Upper Cretaceous site of “Lo Hueco” (Cuenca, Spain). *Journal of Iberian Geology*, 41, 83-99.
- Pérez-García, A., Ortega, F., Bolet, A., Escaso, F., Houssaye, A., Martínez Salanova, J., de Miguel Chaves, C., Mocho, P., Narváez, I., Segura, M., Torices, A., Vidal, D. and Sanz, J.L.. 2016. A review of the upper Campanian vertebrate site of Armuña (Segovia Province, Spain). *Cretaceous Research*, 57, 591–623.
- Pérez-Moreno, B.P., Sanz, J.L., Buscalioni, A.D., Moratalla, J.J., Ortega, F. and Rasskin-Gutman, D. 1994. A unique multitoothed ornithomimosaur dinosaur from the Lower Cretaceous of Spain. *Nature*, 370, 363–367.
- Sanz, J. L. and Ortega, F. 2002. The birds from Las Hoyas. *Science Progress*, 85, 113–130.
- Sanz, J. L., Bonaparte, J. J. and Lacasa, A. 1988. Unusual Early Cretaceous birds from Spain. *Nature*, 331, 433–435
- Sanz, J.L., Chiappe, L.M., Pérez-Moreno, B.P., Moratalla, J.J., Hernández-Carrasquilla, F., Buscalioni, A.D., Ortega, F., Poyato-Ariza, F., Rasskin-Gutman, D. and Martínez-Delclòs, X. 1997. A nestling bird from the Lower Cretaceous of Spain: implications for avian skull and neck evolution. *Science*, 276, 1543-1546
- Sanz, J.L., Chiappe, L.M., Pérez-Moreno, B.P., Buscalioni, A.D., Moratalla, J.J., Ortega, F. and Poyato-Ariza, F.J. 1996. An Early Cretaceous bird from Spain and its implications for the evolution of avian flight. *Nature*, 382, 442–445.
- Sanz, J.L., Chiappe, L.M., Fernández-Jalvo, Y., Ortega, F., Sánchez-Chillon, B., Poyato-Ariza, F.J. and Pérez-Moreno, B.P. 2001. An early Cretaceous pellet. *Nature*, 409, 998–1000.
- Sanz, J.L., Fregenal-Martínez, M.A., Meléndez, N. and Ortega, F. 2001. Las Hoyas. En: Briggs D.E.G. and Crowther P.R. (Eds.), *Palaeobiology II*. Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA., 356–359.
- Sanz, J.L., Moratalla, J.J., Díaz-Molina, M., López-Martínez, N., Kálin, O. and Vianey-Liaud, M. 1995. Dinosaur nest at the sea shore. *Nature*, 376, 731-732
- Vidal, D., Ortega, F. and Sanz J.L. 2014. Titanosaur Osteoderms from the Upper Cretaceous of Lo Hueco (Spain) and Their Implications on the Armor of Laurasian Titanosaurs. *PLoS ONE*, 9:e102488.

Vidal, D., Ortega, F., Gascó, F., Serrano-Martínez, A. and Sanz, J.L.. 2017. The internal anatomy of titanosaur osteoderms from the Upper Cretaceous of Spain is compatible with a role in oogenesis. *Scientific Reports*, 7:42035.

Libros

Sanz, J.L. 1999. Los dinosaurios voladores. Historia evolutiva de las aves primitivas. Ediciones Libertarias/Prodhufi, S.A. Mundo Vivo, pp. 239. ISBN 84-7954-493-7

Sanz, J.L. 1999. Mitología de los dinosaurios. Editorial Taurus. Pensamiento, pp. 206. ISBN 84-306-0348-4

Sanz, J.L. 2000. Dinosaurios. Los señores del pasado. Ediciones Martínez Roca. El árbol del saber, pp. 306. ISBN 978-84-270-2517-2

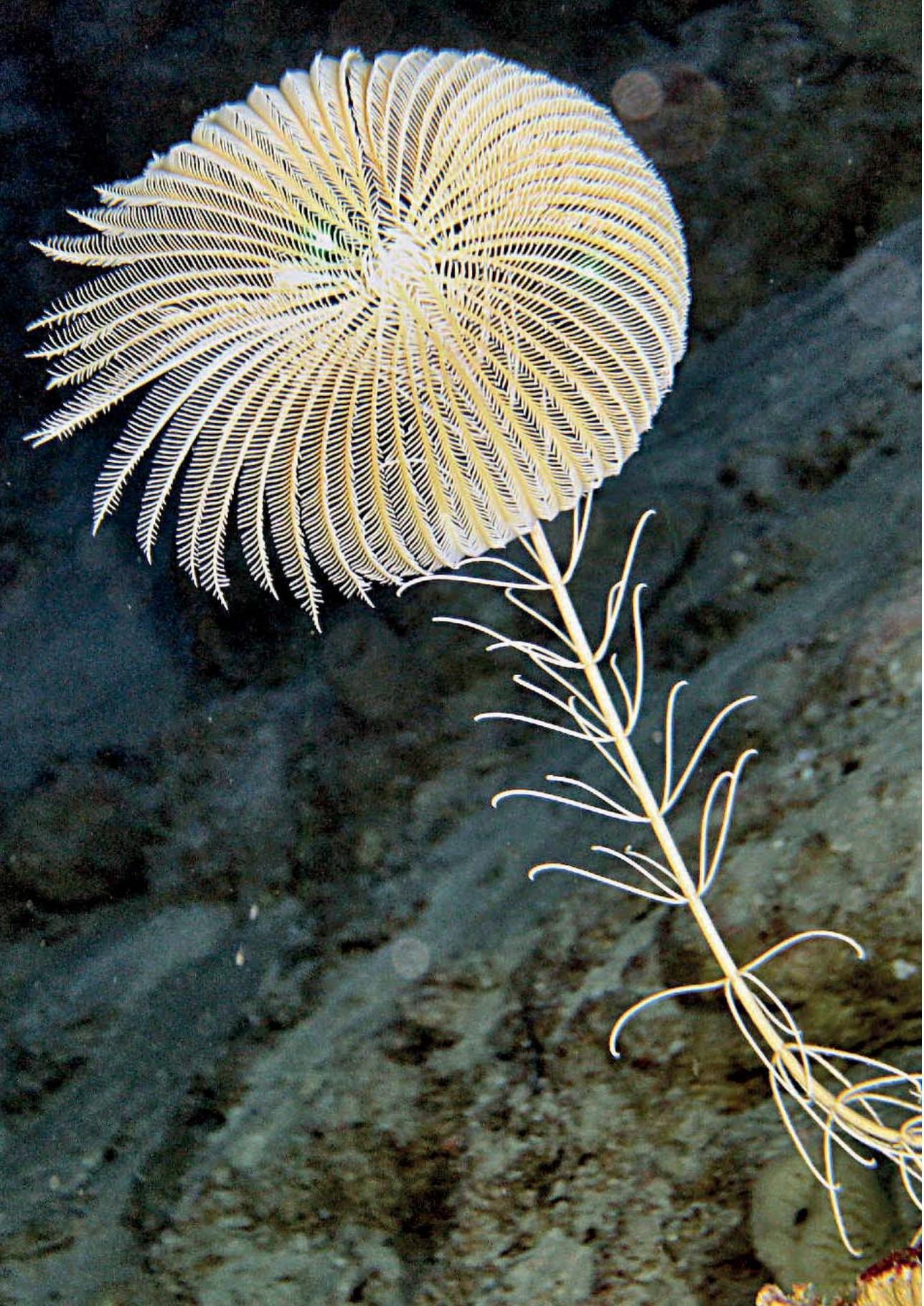
Sanz, J.L. 2002. Starring T. rex!. Dinosaur mythology and popular culture. Bloomington: Indiana University Press, pp. 153. ISBN 0253341531

Sanz, J.L. 2007. Cazadores de dragones. Historia del descubrimiento e investigación de los dinosaurios. Editorial Ariel, pp. 420. ISBN 978-84-344-5316-6

Sanz, J.L. (Ed.) 2007. Los dinosaurios en el siglo XXI. Tusquets. Metatemáticas, 99, pp. 392. ISBN 978-84-8383-030-7

Sanz, J.L. 2012. Pequeña historia de los dinosaurios. Espasa Libros, pp. 192. ISBN 978-84-670-0889-0





CRINOIDEOS FÓSILES DE ARAGÓN

Samuel Zamora¹

¹ Instituto Geológico y Minero de España. C/Manuel Lasala, 44, 9B.
50006 Zaragoza, España

s.zamora@igme.es

Resumen: Los crinoideos son el grupo más primitivo de equinodermos actuales y tienen un registro fósil que comienza en el Ordovícico Inferior. En las rocas de Aragón se han encontrado fósiles de crinoideos en diferentes formaciones rocosas desde el Ordovícico hasta el Eoceno. A finales del Ordovícico aparece una diversidad inusual relacionada con un evento de calentamiento global conocido como Boda, que propició la migración de faunas más cálidas a latitudes subpolares. Durante el Silúrico y Devónico las faunas de crinoideos son escasas pero se han encontrado ejemplares articulados tanto en el Pirineo como en las Cadenas Ibéricas. Los crinoideos post-paleozoicos están representados por varios grupos (comatúlidos, isocrínidos, bourgueticrínidos, cirtocrínidos) con representantes todavía vivos, y sus fósiles nos ayudan a comprender cómo y dónde vivían estas primeras formas, relacionadas con los crinoideos actuales. Además se han encontrado algunos grupos extintos como los millericrínidos. Las comatúlas (crinoideos de vida libre) sólo se han encontrado en rocas del Cretácico Inferior en ambientes profundos. Los isocrínidos son abundantes desde el Jurásico Inferior pero sólo se han encontrado ejemplares articulados en rocas depositadas en ambientes someros del Cretácico Inferior. Los bourgueticrínidos son comunes en facies periarrecifales del Eoceno pirenaico. Los cirtocrínidos por su parte abundan en medios de esponjas relativamente profundos del Jurásico Superior. Todos estos fósiles nos ayudan a comprender mejor la paleodiversidad de crinoideos y nos ayuda a entender cómo las formas actuales han alcanzado su distribución.

Palabras clave: Crinoideos, Aragón, Fósiles, Diversidad, Paleontología.

Abstract: *Crinoids are the most primitive group of modern echinoderms and have a fossil record that began in the earliest Ordovician. The region of Aragon has extensive outcrops with fossil crinoids with fossils found from the Ordovician to the Eocene. Late Ordovician rocks provide a unique high diversity of fossil crinoids related with a global warming, the so-called Boda Event, which favored faunal migrations from warm-temperate conditions to the sub-polar latitudes. Silurian and Devonian rocks have provided few scattered articulated crinoids in both Iberian Chains and Pyrenees. Post-palaeozoic crinoids are represented by comatulids, isocrinids, bourgueticrinids and cyrtocrinids, that represent the roots of modern crinoid groups. They provide critical information about the ecology and environment of extinct representatives of modern crinoids. There are also representatives of millericrinids, and extinct group of typical Jurassic crinoids. Comatulids (free living crinoids) are only present in deep water conditions during the Lower Cretaceous. Isocrinids are common fossils since the Lower Jurassic, but articulated specimens come only from the Lower Cretaceous shallow water environments. Bourgueticrinids are abundant in peri-reefal facies of the Eocene in the Pyrenees. Cyrtocrinids are very common and*

diverse in association with siliceous sponges during the Late Jurassic, living in relatively deep environments. All these fossils help understanding the palaeodiversity of crinoids in Aragon and how modern groups are distributed today.

Key words: *Crinoids, Aragón, Fossils, Diversity, Palaeontology.*

INTRODUCCIÓN

Los crinoideos o lirios de mar son un grupo de invertebrados exclusivamente marinos y que actualmente viven en todos los océanos, donde se extienden desde las zonas arrecifales poco profundas, hasta los fondos abisales donde apenas llega la luz. Existen dos grandes grupos de crinoideos que se conocen informalmente como comátulas y crinoideos pedunculados. Las comátulas tienen un modo de vida libre y los crinoideos pedunculados viven fijos al sustrato (Figura 1). Las comátulas viven desde las zonas poco profundas hasta los fondos abisales; sin embargo los crinoideos pedunculados sólo se encuentran a grandes profundidades, lo que dificulta su estudio.

El registro fósil de los primeros crinoideos se remonta al Ordovícico Inferior (Figura 2) donde aparecen varios taxones (Guensburg y Sprinkle, 2001). Durante el Paleozoico, los crinoideos dominaron muchos ecosistemas marinos y alcanzaron su mayor diversidad en el



Figura 1. Reconstrucción de un sumergible del Instituto para la exploración de las profundidades en Roatán (Honduras) que visualiza por primera vez un crinoideo pedunculado (izquierda) y una comátula (derecha).

Carbonífero. La gran extinción del Pérmico mermó considerablemente este auge evolutivo, y un único grupo, los crinoideos articulados (Articulata) sobrevivieron, derivando del grupo de los eucládidos (Wright *et al.*, 2017) y se diversificaron para volver a ocupar diferentes ambientes marinos (Simms, 1988; Twitchett y Oji, 2005; Foote, 1999; Hess *et al.*, 2011).

El Tratado de Paleontología de Invertebrados (Hess *et al.*, 2011) reconoce cuatro órdenes distintos de crinoideos con representantes actuales: Isocrinida, Hyocrinida, Comatulida (incluye Bourgueticrinina) y Cyrtocrinida; pero durante el Paleozoico se incluyen algunos de los grupos que más diversidad presentaron en el pasado (ej. camerados, inadunados, cládidos). Las relaciones de parentesco (filogenéticas) entre los grupos actuales están en plena discusión

(e.g., Simms, 1988; Simms y Sevastopulo, 1993; Roux *et al.*, 2013; Rouse *et al.*, 2013, Hemery, 2011; Hemery *et al.*, 2013), por lo que cualquier fósil puede aportar datos importantes a este debate.

El objetivo de este trabajo es introducir a los apasionados por la paleontología el grupo de los crinoideos, con especial hincapié en los restos fósiles encontrados en Aragón. Durante la última década, paralelamente a mis trabajos sobre equinodermos del Paleozoico Inferior, he tratado de muestrear las rocas de nuestra comunidad autónoma en busca de estos fósiles. En los próximos años muchos de estos hallazgos serán publicados en revistas especializadas, otros han sido publicados recientemente (Zamora *et al.* 2015; Cole *et al.* 2017), por lo que este trabajo servirá como punto de referencia para dar a conocer este grupo tan apasionante de fósiles desde un punto de vista no especializado. Mi intención es ofrecer unas pinceladas sobre la morfología, origen y clasificación actual de los crinoideos, para después mostrar su diversidad en Aragón y comentar las formaciones rocosas donde se encuentran. Todo ello estará decorado con algunas experiencias personales que me han llevado a indagar y tratar de comprender el origen de estos organismos y a interesarme por sus fósiles, acercándome siempre con respeto a los verdaderos especialistas en este grupo.

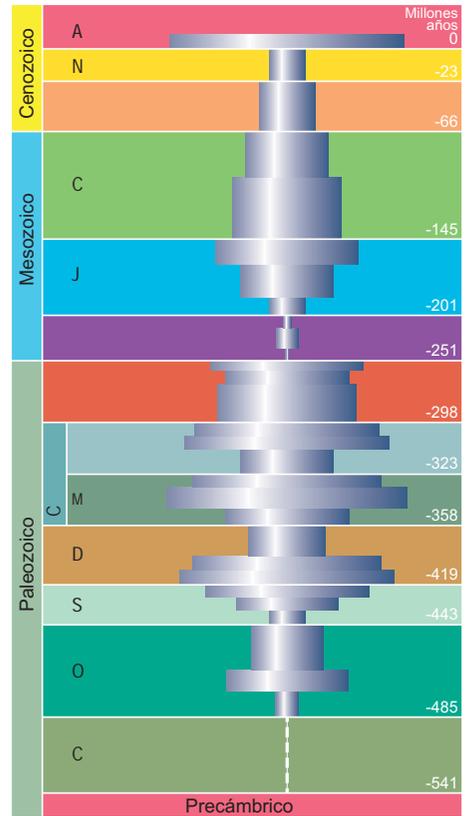


Figura 2. Diversidad de crinoideos a lo largo de la historia geológica basada en número de géneros. Tomado de Broadhead y Waters (1980).

¿QUÉ FORMA TIENE UN CRINOIDEO?

El objetivo de este trabajo no es el inundarlo de términos morfológicos sobre crinoideos por lo que sólo se darán unas pinceladas que permitan reconocer a este grupo de organismos en el registro fósil.

La morfología de los crinoideos es muy variada, pero todos responden a un mismo plan corporal, con un cuerpo central o cáliz, compuesto por placas de calcita organizadas en ciclos; un penacho de brazos que surgen como extensiones de la cavidad corporal y un pedúnculo formado normalmente por placas columnares (o artejos) que termina en una estructura de fijación (Figura 3). Hay que tener en cuenta que los crinoideos completos sólo se encuentran en algunos yacimientos excepcionales; lo habitual es encontrar sólo algunos restos desarticulados como por ejemplo los artejos que son muy comunes en algunas formaciones rocosas. Esto se debe principalmente a que se trata de organismos formados por un esqueleto muy delicado donde sus placas se unen mediante un ligamento muy sensible a la descomposición. Tras la muerte y en unos pocos días, el cuerpo de los crinoideos se desarticula rápidamente salvo que quede enterrado de forma rápida por sedimento.

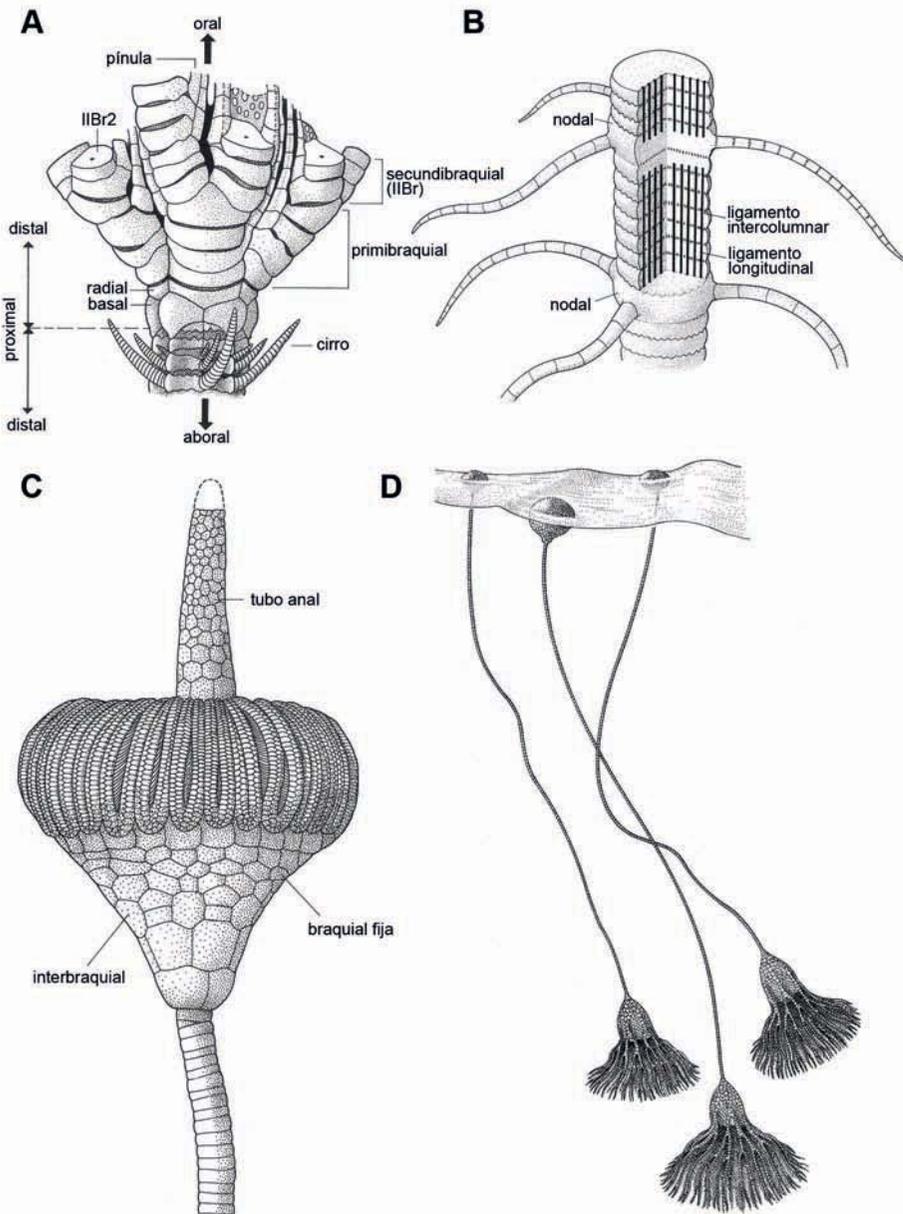


Figura 3. Morfología general de un crinoideo. A. Crinoideo isocrinido. B. Pedúnculo formado por columnares. C. Crinoideo Paleozoico. D. Crinoideo escifocrinitido con modo de vida planctónico. Tomado de Hess *et al.* 1999.

El pedúnculo es una de las estructuras principales en los crinoideos, y tiene como función principal la de elevar el cáliz con sus brazos hacia posiciones óptimas para la filtración. Esta estructura suele ser muy flexible, de longitud variable y formada principalmente por artejos o columnares de diferentes formas y tamaños (Hess *et al.*, 1999). Cada artejo está articulado a los adyacentes por una superficie que suele estar ocupada por varios ligamentos, y todos los artejos se conectan entre sí a través de una perforación central llamada canal axial. Las superficies de articulación entre artejos pueden ser variadísimas, debido a las diferentes

funciones de unos tipos y otros. Además del canal axial, los columnares se conectan por fibras de ligamento que atraviesan el pedúnculo en toda su extensión (Figura 3B). Por lo tanto, aunque los pedúnculos están formados por múltiples elementos, todos ellos se complementan para realizar movimientos coordinados frente a las corrientes marinas. En ocasiones, algunos columnares tienen ramificaciones laterales que se conocen como cirros.

El pedúnculo suele terminar distalmente en la estructura de fijación que permite fijar al organismo sobre el sustrato. Estas estructuras pueden ser muy variadas atendiendo al tipo de sustrato donde viven estos organismos. Por poner algunos ejemplos, existen órganos de fijación en forma de disco que se cementa sobre sustratos duros, en forma de raíz que se inserta en sustratos blandos, o en forma de ancla que penetra sedimentos de grano grueso semiconsolidados.

El cáliz es la estructura principal de los crinoideos, y está compuesta por una serie de placas organizadas en ciclos ordenados. Su principal función es la de albergar los órganos principales en su interior. La organización de estas placas es la que marca las clasificaciones de los crinoideos, y conociendo su configuración podemos incluir los taxones en los diferentes grupos. Las placas del cáliz reciben diferentes nombres atendiendo a su posición, de forma que las basales por ejemplo están en la parte inferior, en contacto con el pedúnculo; aunque la cosa se complica cuando aparecen ciclos de placas extra como las infrabasales. De todas estas placas, las principales son las placas radiales. Éstas, se sitúan en la parte superior y son el punto de partida para la inserción de los brazos. Toda clasificación de un crinoideo, pasa por identificar en primer lugar las placas radiales y a partir de ahí el resto. Para la mayoría de los autores las placas radiales son homólogas (tienen el mismo origen) en todos los grupos de crinoideos (pero ver excepciones en Simms, 1993).

Los brazos se originan en las placas radiales, originariamente suelen ser cinco brazos, que pueden ramificarse para formar abanicos de filtración más complejos. Los brazos están formados por placas braquiales, y cubiertos por placas coberteras. Los crinoideos más primitivos (Guensburg y Sprinkle, 2001) muestran la condición ancestral de los brazos, con una estructuración en placas braquiales que se extienden desde la cavidad corporal, placas basales del ambulacro y placas coberteras. Las placas basales del ambulacro, conocidas como *flooring plates* en inglés desaparecen en todo el resto de crinoideos. Las articulaciones entre las placas braquiales de los brazos son muy importantes porque su tipo condiciona la flexibilidad de estas estructuras, y ello puede favorecer enormemente el proceso de filtración y por tanto la captación de nutrientes. Los brazos pueden estar ramificados mediante pínulas. En la zona de confluencia de los cinco brazos, se sitúa la región oral, cuya morfología ha sido ampliamente discutida en un trabajo que realizamos en 2013 (Kammer *et al.*, 2013). Lo interesante de este trabajo es que reconocimos que la zona oral de los crinoideos estaba formada normalmente por cinco placas interradales, y que tiene grandes similitudes con la de algunos cistoideos rombíferos por lo que es muy probable que ambos grupos compartan un ancestro común.

EN BUSCA DEL ORIGEN DE LOS CRINOIDEOS

El origen de los crinoideos es muy controvertido y actualmente la comunidad científica está debatiendo las diferentes posibilidades. Un grupo de científicos entre los que me incluyo (Kammer *et al.*, 2013), consideramos que el grupo más relacionado con los crinoideos estaría dentro de los blastozoos. Los blastozoos son organismos principalmente paleozoicos y que incluye a formas pedunculadas como los eocrinoideos y los cistoideos, cuya morfología es muy parecida a la de los crinoideos. Otros autores prefieren considerar que los crinoideos derivan de formas parecidas a los edrioasteroideos (Guensburg *et al.*, 2016), en concreto muy

relacionadas con los edrioblastoideos; y consideran que las similitudes entre crinoideos y blastozoos son debidas a convergencias.

Este debate había estado latente en la comunidad científica durante décadas, hasta que en el año 2001, Thomas Guensburg y James Sprinkle, dos colegas norteamericanos, publicaron en la prestigiosa revista *Geology* un trabajo donde describían una inusual diversidad de crinoideos en el Ordovícico más basal de Utah e Idaho, en el oeste americano. Hasta el momento todo lo que se conocía de esta época era un crinoideo muy enigmático y discutido encontrado en Francia y que responde al nombre de *Aethocrinus moorei* descrito por Ubaghs (1969). Este taxón había estado situado en el centro del debate sobre el origen de los crinoideos durante décadas, hasta que en 2001 y posteriormente en 2003 (Guensburg y Sprinkle, 2001, 2003) describieron esta gran diversidad de crinoideos ordovícicos. Lo interesante de estas formas es que son muy distintas entre ellas y parece que, esta variación morfológica, responde a que todas ellas se encuentran en grupos bien diferenciados, lo que apunta a que el origen de los crinoideos debe buscarse en rocas más antiguas, seguramente del Cámbrico Medio tardío o Superior.

Y es aquí donde se enmarca mi trabajo que hasta ese momento había sido principalmente el estudio de los equinodermos del Cámbrico. En el año 2012, surgió un nuevo “eslabón perdido” que añadió más discrepancia a este intenso debate. Las rocas cámbricas del Moncayo en la localidad de Purujosa, escondían un equinodermo único que poseía brazos, al igual que los crinoideos pero que tenía un cuerpo y un pedúnculo muy parecido al de los blastozoos. Su nombre *Dibrachycystis purujoensis* atendía a la presencia de dos brazos que conectaban directamente con el cáliz y a la localidad donde fue encontrado, Purujosa. El primer ejemplar de *Dibrachycystis* (Figura 4) apareció por casualidad cuando muestreaba unas capas rojas de pizarra de la Formación Murero y que son muy fosilíferas. El ejemplar era tan interesante que rápidamente lo mostré a la comunidad científica en el año 2010 aprovechando el Congreso Internacional de Paleontología organizado en Londres. Ya que sólo era un ejemplar, los más suspicaces dudaron de que todas las partes que mostraba el fósil realmente pertenecieran a un mismo organismo. Esto me animó a seguir trabajando estas capas y a obtener, tras aproximadamente setenta días de muestreo, un segundo ejemplar muy completo y varios fragmentos de otros. A pesar de ser un candidato muy importante para considerarlo como el grupo más cercano a los crinoideos ya que tenía brazos (y no braquiolas como otros blastozoos), un estudio filogenético (de parentesco) situó a *Dibrachycystis* en la base del linaje de los cistoideos rombíferos en concreto de Glyptocystitida (Zamora y Smith, 2012); y finalmente concluimos que la presencia de brazos en *Dibrachycystis* estaría relacionada seguramente con un proceso de convergencia con los crinoideos.

La mayor parte de los primeros crinoideos aparecen en rocas calizas, en concreto en una roca muy particular y común en el Paleozoico Inferior de Norteamérica que se conoce como “flat pebble conglomerate”, cuya traducción podría parecerse a conglomerado de cantos planos. Este conglomerado tiene un origen muy concreto y se forma en zonas proximales de alta energía, cuya posibilidad de conservar equinodermos articulados es casi nula, debido a las fuertes corrientes en estos medios. Dado que la mayoría de los primeros crinoideos aparecen en este tipo de roca, y en Norteamérica, es muy probable que buscando rocas cámbricas de este tipo pudiera ayudar a encontrar los primeros crinoideos, y esta fue mi hipótesis de partida cuando en 2016 decidí organizar una expedición al oeste americano en busca de los primeros crinoideos. En 2015, se organizó en Zaragoza el Congreso Internacional de Paleobiología de Equinodermos, y durante una semana todos los asistentes estuvimos discutiendo sobre los temas más dispares de los fósiles de equinodermos, desde sus orígenes hasta su modo de vida actual. El Profesor Forest Gahn de la Universidad de Brigham Young en Idaho (EE.UU) hizo



Figura 4. Holotipo de *Dibrachicystis purujoensis* encontrado en el Cámbrico de Purujosa (Zaragoza).

una de las presentaciones más inspiradoras de todo el congreso. En ella hablaba de un nuevo yacimiento en Idaho con decenas de nuevos crinoideos del Ordovícico basal (Gahn, 2015). Tras varias conversaciones acordamos compartir esta expedición que nos llevaría a buscar y tratar de comprender el origen de los crinoideos en el oeste americano.

Durante meses, me dedique a buscar en “Google Earth” y con ayuda de los mapas del servicio geológico americano zonas potencialmente interesantes de rocas cámbricas que pudieran presentar el famoso conglomerado de cantos planos. En concreto, en el cuadrante situado entre Montana y Wyoming aparecen muchos de estos afloramientos, en los que Sumrall *et al.* (1997) ya describieron equinodermos cámbricos en estas rocas, en concreto en la Formación Snowy Range, pero ningún crinoideo. Parajes emblemáticos como el cañón del río Yellowstone, o la reserva de agua de Buffalo Bill, se encuentran en esta región. En el verano de 2016, finalmente estaba todo organizado para que Forest y yo, tratáramos de buscar los primeros crinoideos en Norteamérica. Empezamos por la Formación Snowy Range del Cámbrico Superior, en los estados de Wyoming y Montana, cuyos afloramientos estaban en ocasiones a grandes alturas, y horas de caminata, atravesando bosques y barrancos. Tras varios días de exploración conseguimos encontrar bastantes restos de equinodermos, entre los que se encontraban pavimentos con estructuras de anclaje de blastozoos de grandes dimensiones, pero ni rastro de crinoideos. Al menos, conseguimos localizar algunas áreas potenciales para planificar expediciones en el futuro. Dado que el Cámbrico Superior resultó ser una de las zonas más arduas y hostiles para buscar equinodermos, decidimos intentarlo en el Ordovícico basal. Después de un día conduciendo llegamos al sur de Idaho, a la Formación Garden City. Las rocas de esta formación son muy parecidas a las de la Fm. Snowy Range, pero además presentan montículos microbianos que ofrecen zonas óptimas elevadas para fijarse y favorecen la filtración. En unas pocas horas, habíamos encontrado varios crinoideos, estrellas de mar y edrioasteroideos, lo cual contrastaba enormemente con los hallazgos tan escasos del Cámbrico Superior (Figuras 5, 6). Mucho de este material está pendiente de ser publicado, pero nuestra expedición concluyó que la búsqueda de los primeros crinoideos debe ampliarse a rocas cámbricas, carbona-

Figura 5. Calizas de la Formación Garden City del Ordovícico temprano de Idaho. A la izquierda aparece el Dr. Gahn extrayendo una roca que contiene un crinoideo completo.



tadas, principalmente formadas por conglomerados de cantos planos; y que presenten actividad microbiana.

A día de hoy los primeros crinoideos son todos del intervalo Tremadociense-Floiense (Ordovícico Inferior), y la mayoría han sido descritos en Norteamérica (Guensburg y Sprinkle, 2003, 2009; Guensburg, 2010; Gahn, 2015), Sudamérica (Guensburg y Waisfeld, 2015) y Francia (Ubaghs, 1969). Las rocas cámbricas a nivel mundial no han proporcionado ninguna evidencia de la presencia de crinoideos, por lo que la discusión sobre su posible origen sigue abierta y en los próximos años estará centrada en los estudios filogenéticos (evolutivos) que traten de esclarecer las relaciones entre los grupos primitivos de equinodermos (Kammer *et al.*, 2013; Zamora y Rahman, 2014). A día de hoy, no existe una solución clara a este debate.



Figura 6. Ejemplar de crinoideo de la Formación Garden City.



CLASIFICACIÓN ACTUAL

La clasificación de los crinoideos ha cambiado a lo largo del tiempo, y esto ha sido debido fundamentalmente a la aparición de nuevos taxones, nuevas observaciones o a la implementación de las clasificaciones debido a la utilización de filogenias morfológicas y moleculares. Voy a empezar comentando la filogenia utilizada a día de hoy para entender las relaciones de parentesco entre los distintos grupos de crinoideos fósiles y la clasificación que se deduce a partir de esta filogenia. Posteriormente hablaré brevemente de las filogenias moleculares obtenidas recientemente para los crinoideos actuales del grupo de los Articulata.

Para entender las relaciones de parentesco entre los grupos de equinodermos es necesario proponer hipótesis filogenéticas basadas en caracteres morfológicos de los fósiles. Los crinoideos modernos se incluyen sólo en el grupo de los Articulata, pero el registro fósil muestra que en el pasado este grupo fue muy diverso y fue en el Carbonífero cuando alcanzó su mayor diversidad y disparidad. Por lo tanto, cualquiera que quiera entender este grupo de organismos debe tratar de comprender sus fósiles. Conscientes de este problema, desde hace unos años el Profesor William Ausich de la Universidad de Ohio (EE.UU.), y en el marco del proyecto “Assembling the Echinoderm Tree of Life” decidió becar a varios estudiantes para que realizaran su doctorado en varios grupos de crinoideos, con el fin de crear unas bases de datos que incluyeran a todos los géneros conocidos y crear a partir de ahí una filogenia de los crinoideos.

Dos de sus estudiantes Selina Cole y Davey Wright se lanzaron a esta iniciativa con mucho entusiasmo y tras cuatro años de trabajo, finalmente consiguieron dichas bases de datos. El análisis de sus resultados y otros colaboradores se resumen en el trabajo de Wright *et al.*, (2017) que sienta las bases de la clasificación moderna de los crinoideos y de las relaciones entre los diferentes grupos (Figura 7). En ella los crinoideos se dividen en dos grandes grupos (clados), los camerados y los pentacrinoideos. Los camerados son exclusivamente Paleozoicos e incluirían un clado formado únicamente por *Eknomocrinus*, un crinoideo muy primitivo

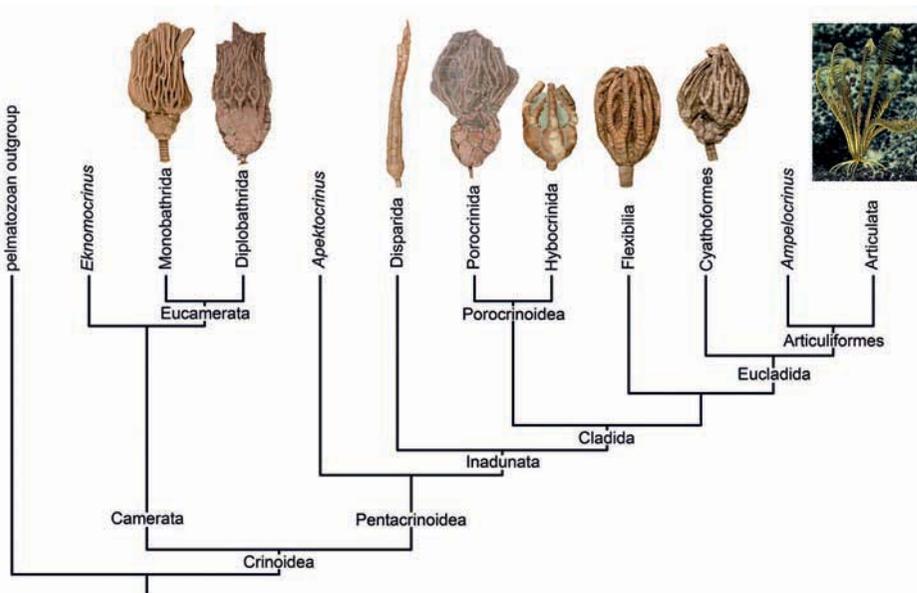


Figura 7. Árbol evolutivo (filogenia) de los crinoideos. Basado en Wright *et al.* (2017). Imagen por cortesía de Davey Wright.

Clase Crinoidea Miller, 1821

- †Subclase Camerata Wachsmuth & Springer, 1885
 - ˆStem eucameradosˆ (e.g., *Eknomocrinus*)
 - Infraclase Eucamerata Cole, 2017
 - Orden Diplobathrida Moore & Laudon, 1943
 - Orden Monobathrida Moore & Laudon, 1943
- Crinoidea *incertae sedis*: †Protocrinoidea Guensburg & Sprinkle, 2003
- Subclase Pentacrinoidea Jackel, 1894
 - †ˆStem inadunadosˆ (e.g., *Apektocrinus*)
 - Infraclase Inadunata Wachsmuth & Springer, 1885
 - †Parvclase Disparida Moore & Laudon, 1943
 - Orden Eustenocrinida Ulsich, 1925
 - Orden Maenilicrinida Ausich, 1998b
 - Orden Tetragonocrinida Stukalina, 1980
 - Orden Calceocrinida Meek & Worthen, 1869
 - Disparida *incertae sedis*: ‘Homocrinida’ Kirk, 1914
 - Disparida *incertae sedis*: ‘Myelodactyla’ Miller, 1883
 - Disparida *incertae sedis*: ‘Pisocrinoidea’ Ausich & Copper, 2010
 - Parvclase Cladida Moore & Laudon, 1943
 - †Superorden Porocrinoidea Wright, 2017
 - Orden Porocrinida Miller & Gurley, 1894
 - Orden Hybocrinida Jaekel, 1918
 - †Superorden Flexibilia Zittel, 1895 (*Cupulocrinus* d’Orbigny, 1849)
 - Orden Taxocrinida Springer, 1913
 - Orden Sagenocrinida Springer, 1913
 - Magnorden Euclidida Wright, 2017
 - †Superorden Cyathoformes Wright et al. 2017
 - Cyathoformes *incertae sedis*: ‘Cyathocrinida’ Bather, 1899
 - Cyathoformes *incertae sedis*: ‘Dendrocrinida’ Bather, 1899
 - Cyathoformes *incertae sedis*: ‘Poteriocrinida’ Jackel, 1918
 - Euclidida *incertae sedis*: †‘Ampelocrinida’ Webster & Jell, 1999
 - Superorden Articulata Miller, 1821
 - †Orden Holocrinida Jackel, 1918 Rasmussen, 1978
 - †Orden Encrinida Matsumoto 1929
 - †Orden Millericrinida Sieverts-Doreck, 1953
 - †Orden Uintacrinida Zittel, 1879
 - †Orden Roveacrinida Sieverts-Doreck, 1953
 - Orden Cyrtocrinida Sieverts-Doreck, 1953
 - Orden Hyocrinida Rasmussen, 1978
 - Orden Isocrinida Sieverts-Doreck, 1953
 - Orden Comatulida Clark, 1908

Figura 8. Clasificación de los crinoideos según Wright *et al.* (2017).

del Ordovícico basal descrito por Guensburg y Sprinkle (2003), y a los Eucamerados, que se subdividen a su vez en los dos grupos clásicos de Monobathrida y Diplobathrida. El otro gran grupo, los Pentacrinoidea, tendrían como grupo basal a *Apektocrinus*, de nuevo otro de los crinoideos descritos por Guensburg y Sprinkle (2003) en Idaho. Como grupo hermano de *Apektocrinus* se encontrarían los Inadunados, que incluirían a su vez grupos clásicos como los Cladidos y Disparidos. Los Cladidos incluirían a Flexibilia y también a los modernos Articulata, los únicos con representantes actuales. La clasificación resultante puede verse en la figura 8.



Figura 9. Ejemplares del crinoideo actual *Florometra serratissima* incluidos en formol fotografiados en las colecciones del Museo Nacional de Historia Natural (Smithsonian Institution).

Centrémonos ahora en los Articulata; uno de los intereses principales del proyecto comentado anteriormente y en el que participé durante varios años era el de establecer las relaciones entre los grupos modernos de equinodermos basándose en datos de sus genes (moleculares). Evidentemente en el caso de los crinoideos este tema se había abordado sólo de forma parcial y uno de los principales problemas es que muchos representantes actuales viven en los fondos batiales y abisales donde reina la oscuridad absoluta. Analizar estos genes pasaba por muestrear varios taxones que se encuentran a esta profundidad. Gracias a la utilización de sumergibles esta tarea resulta a día de hoy posible (Figura 1), pero evidentemente muy costosa. Una parte importante de la diversidad de crinoideos actuales se conserva en tubos llenos de formol en un centro asociado al *Smithsonian Institution*, en Maryland. Con motivo de mis investigaciones sobre crinoideos, en 2017 tuve la ocasión de trabajar con esta impresionante colección (Figura 9), en concreto mi interés se centraba en el estudio de la variabilidad morfológica de los crinoideos actuales, pero esto requeriría otro capítulo para ser contado y no me voy

a extender más. En 2013 finalmente los resultados estaban listos, Rouse *et al.* (2013) publicaban un estudio muy provocativo donde analizaban los genes de 59 especies de crinoideos actuales y proponían por primera vez cuáles eran sus relaciones filogenéticas. En este trabajo tres grupos clásicos que son Isocrinida, Cyrtocrinida e Hyocrinida (Figura 10) permanecían como grupos naturales; pero aquí viene la sorpresa, los resultados mostraban que Bourgueticrinina y Guillecrinina, dos grupos clásicos de crinoideos pedunculados, derivaban de grupos de comatulidos con vida libre. Otro dato interesante que mostraba este trabajo es que proponía que el ancestro de todos los crinoideos Articulata, debió aparecer en el Triásico Inferior, y que muchos de los grupos actuales de crinoideos tienen un origen en el Mesozoico. Y es precisamente aquí donde radica mi interés, Aragón contiene rocas marinas del Mesozoico muy fosilíferas y en algunas de ellas aparecen fósiles de crinoideos muy bien conservados. Como se verá a continuación, estudiando estos fósiles podemos aportar un granito de arena al vasto conocimiento que se tiene sobre los crinoideos Articulata fósiles.

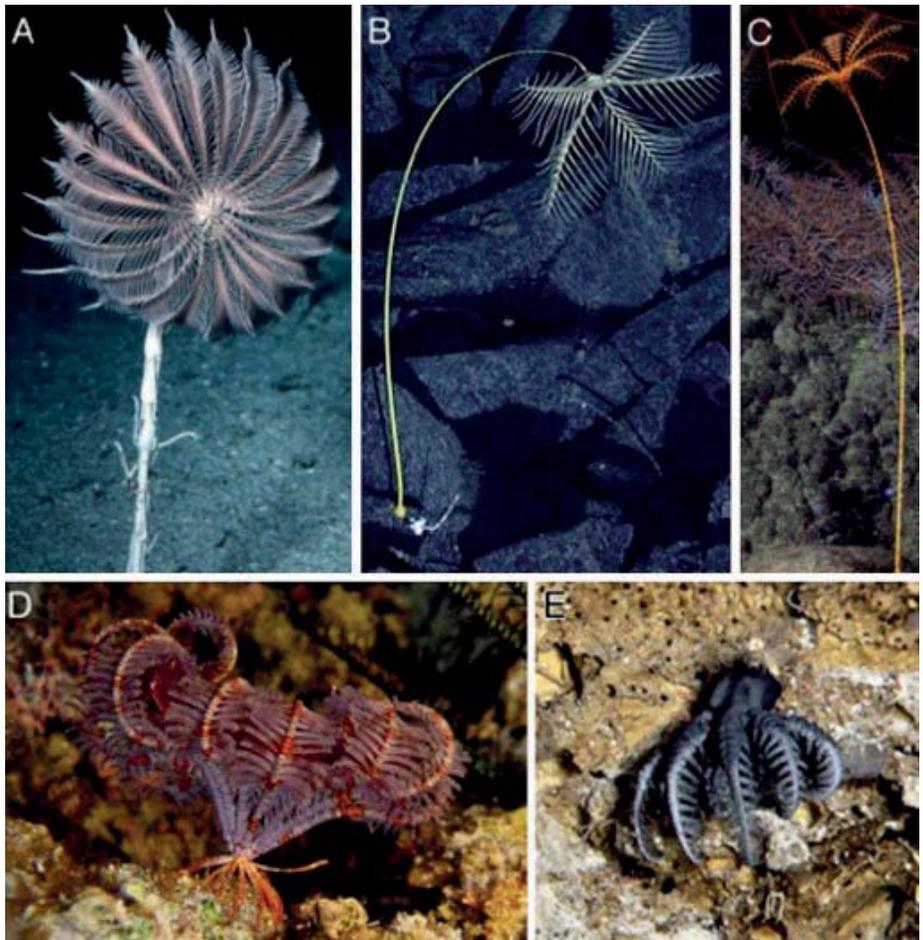


Figura 10. Grupos actuales de crinoideos. A. Isocrinido *Neocrinus decorus* fotografiado a 420 metros en las Bahamas. B. Hyocrinido *Lauberiacrinus pentagonalis* fotografiado en Fiji (Oceano Pacífico) a 2000 metros de profundidad. C. Bourgueticrinido *Bathycrinus cf. equatorialis* fotografiado en las costas de California. D. Comatulídeo *Stephanometra indica* fotografiado a 10 metros en la Gran Barrera (Australia). E. Cyrtocrinido *Holopus rangii* fotografiado a 591 metros en las Bahamas. Imágenes tomadas de Rouse *et al.*, 2013.



Figura 11. A. Profesor Peter Carls en la zona de Fombuena durante la prospección de 2008. B. Crinoideo silúrico *Dimerocrinites aragonensis* encontrado en la Formación Bádenas (Luesma).

LOS CRINOIDEOS MÁS ANTIGUOS DE ARAGÓN

En 2008, me encontraba a punto de terminar mi doctorado sobre equinodermos cámbricos y empezaba a tener cierto interés por los fósiles de rocas más modernas. El Profesor Peter Carls, sabio conocedor del Paleozoico aragonés, tal y como relata en sus vivencias (Carls, 2005), accedió a enseñarme varias localidades con equinodermos en el Ordovícico y Silúrico de la zona de Luesma y Fombuena (Figura 11A). Lo recogí en la famosa posada de la tía Simona en la localidad de Badules y marchamos decididos a recorrer algunas localidades clásicas de la zona. Peter, fue el primero en enseñarme que las rocas silúricas eran ricas en restos de crinoideos, en concreto de la especie *Dimerocrinites aragonensis* (Figura 11B) definida por Le Menn *et al.* (2003) y ya figurada en su tesis doctoral años antes (Le Menn, 1985). Años más tarde el Dr. Jorge Colmenar, especialista en braquiópodos Ordovícicos también empezó a tener cierto interés por las rocas del Silúrico, y juntos muestreamos varias localidades nuevas obteniendo varios crinoideos de esta especie perfectamente articulados (Figura 11B) y que figuramos por primera vez en el trabajo de Zamora *et al.* (2015).

A este hecho se le unió otra circunstancia, tras acabar mi doctorado en el 2009, el Profesor Enrique Villas me mostró una pequeña colección de equinodermos ordovícicos que había recogido durante su tesis doctoral junto a Luesma y Fombuena. Entre ellos había un pequeño, pero completo crinoideo de la Formación Fombuena (Ordovícico Superior), junto a un ejemplar completo mejor conservado de la Formación Castillejo (Ordovícico Medio) conservado en pizarras oscuras (Figura 12). Esto me animó a seguir buscando crinoideos en estas rocas y junto al Dr. Colmenar, encontramos y muestreamos varios yacimientos con el espectacular descubrimiento de las faunas de crinoideos más diversas encontradas en el Ordovícico del supercontinente Gondwana. Estas faunas las presentamos por primera

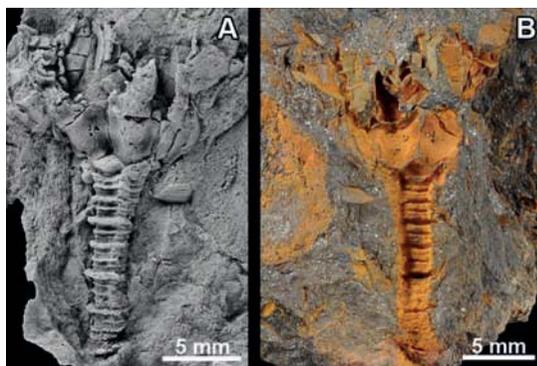


Figura 12. Crinoideo *Heviacrinus melendezi* encontrado por el Profesor Enrique Villas en la Formación Castillejo (Ordovícico Medio).

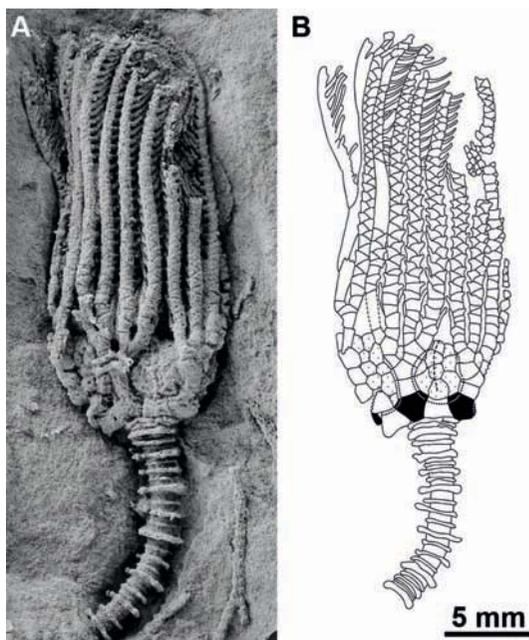


Figura 13. Holotipo del crinoideo *Goyacrinus gutierrezzi* encontrado en la Formación Fombuena (Ordovícico Superior) en Fombuena; y dibujo a cámara clara de dicho ejemplar (Tomado de Cole *et al.*, 2017).



Figura 14. Crinoideo escifocrínítico encontrado en el Silúrico-Devónico del Valle de Benasque (Huesca).

vez en 2014 (Zamora *et al.*, 2014) y en 2015 varios especialistas mundiales en crinoideos nos acompañaron a la salida de campo realizada con motivo del congreso internacional de paleobiología de equinodermos, donde visitamos estos yacimientos (Zamora *et al.*, 2015). Durante la visita al yacimiento aparecieron varios ejemplares más (Figura 13) que fueron encontrados gracias a la ayuda del Prof. Gahn y de Jeremy Savill, un geólogo apasionado a los fósiles de equinodermos que ha recorrido el mundo buscando sus restos. Todo este material resultó en una publicación que presentamos unos años más tarde (Cole *et al.*, 2017), en la que describíamos cinco géneros y seis especies nuevas. Entre ellas había muchas descritas con nombres que hacen referencia a Aragón, a los investigadores que han trabajado el Paleozoico aragonés, o a pintores clásicos españoles como *Fombuenacrinus nodulus*, *Goyacrinus gutierrezii* o *Picassocrinus villasi*.

Los rocas de la transición Silúrico-Devónico del Pirineo aragonés son ricas en fósiles pero los fósiles de equinodermos son muy raros. Gracias a las prospecciones realizadas con motivo de la ampliación de las pistas de esquí por parte de Aramon, bajo la dirección de Diana Ramón, se encontró en las cercanías de Benasque un yacimiento único y excepcional de crinoideos. Junto a una carretera y en un lado del talud aparecieron varios flotadores de escifocrínítidos completos. En uno de estos niveles se observaban varios brazos articulados por lo que decidimos excavar ligeramente el talud y sacar una laja de pizarra negra que parecía contener ejemplares muy completos. Este material se mandó a la escuela taller de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis donde fue preparado mediante chorro de arena. Tras eliminar la pizarra pudo observarse una colonia de estos organismos excepcionalmente conservada (Figura 14). Los escifocrínítidos son un grupo típico de crinoideos de la transición Silúrico-Devónico con un modo de vida pseudoplanctónico. Se piensa que estos organismos utilizaban la raíz modificada a modo de boya para ascender y descender dentro de la columna de agua (Figura 3D).

Las rocas del Devónico de Santa Cruz de Nogueras y sus alrededores son bien conocidas por su abundancia de fósiles, muchos de ellos figurados en la guía de Herrera y Villas (2013), y expuestos en el Museo de los Mares Paleozoicos. La realización de una carretera promovida por la Diputación de Teruel, y que careció del control paleontológico que exige la legislación actual destruyó un extenso afloramiento del Devónico Inferior rico en fósiles, situado junto a la localidad de Santa Cruz de Nogueras. El talud de dicha carretera dejó al descubierto extensos afloramientos de la Formación Mariposas (Figura 15) y en ellos aparecieron recientemente varios crinoideos completos (Figura 16) y articulados, algunos figurados en nuestro trabajo de Zamora *et al.*, (2017), y muchos otros actualmente en estudio.

Los crinoideos del Paleozoico aragonés, sobre todo las faunas del Ordovícico, son muy importantes ya que muestran por primera vez una asociación dominada por Camerados, grupo que en Norteamérica alcanzó su esplendor mucho más tarde. Muchas de estas formas están ayudando a entender el efecto que tuvo el calentamiento global del evento Boda en la dispersión de las faunas de organismos marinos, previa a la gran extinción de finales del Ordovícico. Las faunas del Devónico también son muy importantes ya que los crinoideos del Devónico Inferior en esa región nunca habían sido antes documentados y seguro que esclarecerán algunas relaciones con otras zonas geográficas.



Figura 15. Rocas devónicas de la Formación Mariposas en Santa Cruz de Nogueras.



Figura 16. Crinoideos devónicos de la Formación Mariposas.

CRINOIDEOS “MODERNOS” EN ARAGÓN

Como comentaba anteriormente, todos los crinoideos actuales pertenecen al grupo de los Articulata cuyo origen data del periodo Triásico. Un trabajo actualmente en curso (Zamora *et al.* en preparación), está tratando de recopilar toda la información de crinoideos post-paleozoicos del NE de España, incluyendo Aragón.

Los crinoideos del grupo de los Articulata más antiguos de nuestra región se encuentran en el Jurásico Inferior, pero no es hasta el Jurásico Superior cuando aparecen restos articulados de cálices que permiten una determinación más precisa. En concreto la Formación Yátova (Figura 17), característica por su abundancia en esponjas contiene una de las diversidades más grandes de crinoideos. El grupo dominante son los cyrtocrínidos (Figura 21D), cuyos representantes actuales son solamente cuatro géneros que viven a gran profundidad (Donovan y Pawson, 2008; Tabla 1), pero que en el Mesozoico llegaron a alcanzar los 40 géneros y vivieron desde las zonas profundas (Charbonnier *et al.*, 2007; Zaton *et al.*, 2008; Hess *et al.*, 2011) a las regiones más someras (Salamon y Gorzelak, 2007; Hess y Gale, 2010). En esta formación también aparecen millericrínidos (Figura 21E), un grupo extinto típico del Jurásico y algunos isocrínidos. La Formación Sot de Chera, ligeramente más



Figura 17. Afloramiento de la Formación Yátova (Jurásico Superior) cerca de Aguilón.

moderna, también ha proporcionado una diversidad inusual de crinoideos dominada por los millericrínidos (Figura 18), algunos completos y conservando las estructuras de anclaje. El Cretácico Inferior presenta algunos hallazgos muy interesantes. Las margas de la Formación Forcall (Figura 19), ricas en fósiles de equinodermos, han revelado el único representante fósil de los comatúlidos con vida libre, en concreto la especie *Decameros ricordeanus* (Figura 21B). Lo interesante de este hallazgo es que por primera vez los ejemplares aparecieron perfectamente articulados, junto a restos de sus brazos y los cirros que empleaban para desplazarse, lo que va a proporcionar una información de su modo de vida muy interesante.



Figura 18. Reconstrucción del Jurásico Superior de la cordillera Ibérica donde se observa una colonia de *Apiocrinites*. Cortesía de Isabel Pérez-Urresti.

En rocas ligeramente más modernas, de la Formación Oliete, también del Cretácico Inferior, se ha encontrado un yacimiento de tipo excepcional de equinodermos, cuyos crinoideos aparecen perfectamente articulados, junto a estrellas de mar y erizos que aún conservan las espinas en posición anatómica. Estos yacimientos de conservación excepcional requieren de una protección especial y representan verdaderas ventanas a las comunidades de equinodermos del Cretácico, ya que los fósiles están perfectamente conservados, seguramente debido a episodios de sedimentación que enterraron a los organismos incluso todavía con vida. Los crinoideos que se encuentran en este yacimiento pertenecen al género *Isocrinus* (Figura 21A), y algunos ejemplares muestran evidencias de depredación y regeneración en sus brazos, lo que aporta información muy interesante. Esta comunidad de crinoideos vivía en aguas relativamente poco profundas, lo que contrasta con el ambiente que ocupan hoy en día los isocrínidos, llegando a alcanzar más de 2000 metros de profundidad (ver imagen inicial de este capítulo).

Algunos autores han apuntado que durante el Cretácico los crinoideos sufrieron un viaje inesperado que les llevó a colonizar las zonas oceánicas profundas debido a la diversificación en aguas someras de algunos depredadores potenciales entre los que se incluyen los peces (Meyer y Macurda, 1977; Oji, 1996; Baumiller *et al.*, 2010). Por lo tanto esta comunidad del Cretácico es una de las últimas que habitaron las aguas someras y su estudio puede aportar datos interesantes acerca de este evento migratorio. Finalmente, las rocas del Eoceno del Pirineo conservan restos abundantes de bourgueticrínidos, otro de los grupos dominantes en la actualidad, y en concreto del género *Bourgueticrinus* (Figura 21C, 22). Este grupo vive también en la actualidad en zonas profundas como los cañones submarinos (Figura 23) que se encuentran en Roatán (Honduras). Durante el Eoceno habitaron las zonas cercanas a los arrecifes donde llegaron a formar colonias compuestas por miles de individuos. Sus restos, muy abundantes en algunas localidades, presentan marcas claras realizadas por depredadores por lo que debían ser una comida habitual de los peces que nadaban por la zona hace cincuenta millones de años.

Figura 19. Afloramiento de las margas de la Formación Forcall cerca de Rubielos de Mora.





Figura 20. Restos del comatúlido *Decameros ricordeanus* encontrados en la Formación Forcall, de edad Cretácico Inferior (Aptiense).



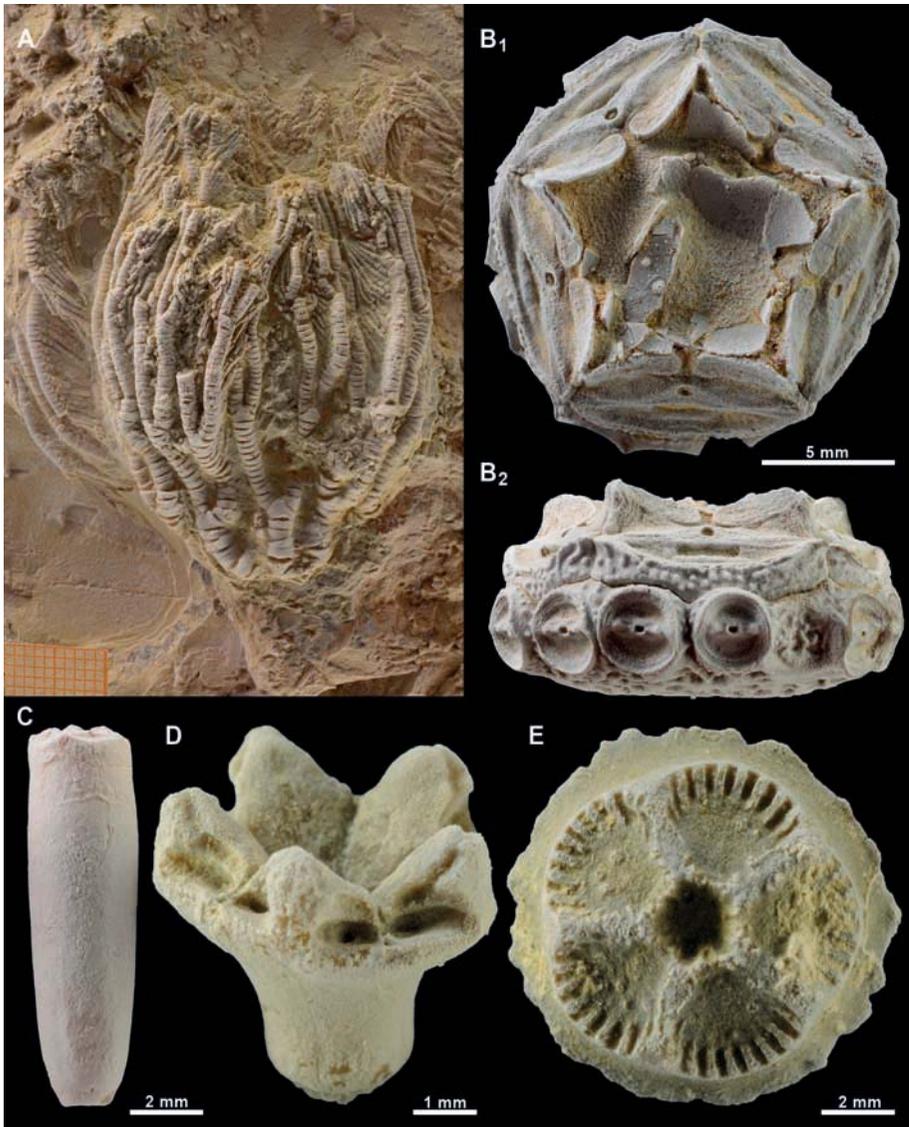


Figura 21. A. Isocrínido *Isocrinus* sp., Fm. Oliete (Cretácico Inferior). B. Comatúlido *Decamerus imricordeanus*, Fm. Forcall (Cret. Inf.). C. Bourgueticrinídeo *Bourgueticrinus* sp., Eoceno. D. Cyrtocrinídeo *Eugenicrinites*, Fm. Yátova (Jurásico Superior). E. Millericrinídeo indeterminado, Fm. Yátova (Jurásico Superior).

CONCLUSIONES

Los crinoideos son un grupo fascinante de organismos cuya diversidad se encuentra actualmente en peligro debido al cambio climático que tanto está afectando a los arrecifes. El estudio de sus fósiles en tierras aragonesas puede ayudar a comprender la distribución de sus fósiles a lo largo del tiempo y a entender cómo respondieron estos organismos a diferentes eventos bióticos y abióticos. Los crinoideos fósiles son comunes en muchas formaciones rocosas de Aragón, y sin duda su conocimiento es muy incipiente. A lo largo de este trabajo he querido sintetizar su conocimiento actual y espero que en los años próximos nuevos hallazgos permitan conocer mejor algunos aspectos relacionados con la clasificación y paleoecología de estos organismos.



Figura 22. Restos del crinoideo *Bourgueticrinus* de la Formación Serraduy (Eoceno Inferior) en Puebla de Roda.

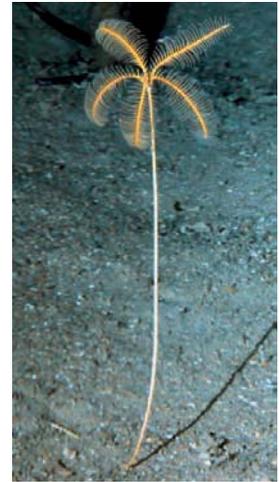


Figura 23. Crinoideo actual *Democrinus* fotografiado cerca de Roatán (Honduras). Cortesía de Charles Messing.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este trabajo al Profesor Peter Carls, sabio conocedor de la geología del Paleozoico ibérico, por su amabilidad y disposición a introducirme en la geología y paleontología del Paleozoico de las Cadenas Ibéricas. Quiero agradecer enormemente la disponibilidad y las discusiones que he tenido a lo largo de estos años con especialistas en crinoideos como Forest Gahn, Bill Ausich, Tom Baumiller, Tom Guensburg, Meg Veitch, Lena Cole, James Saulsbury y Dave Wright. Con el primero de ellos compartí además una campaña de campo en el oeste americano que me sirvió para desarrollar algunas ideas expresadas en este trabajo. También quiero agradecer la inestimable ayuda en el campo de Jorge Colmenar y Diana Ramón, muestreando rocas con crinoideos del Ordovícico y Devónico respectivamente. Este trabajo se engloba dentro del proyecto CGL2017-87631 financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad.

REFERENCIAS

- Baumiller, T.K., Salamon, M., Gorzelak, P., Mooi, R., Messing, C.G. and Gahn, F. 2010. Post-Paleozoic crinoid radiation in response to benthic predation preceded the Mesozoic marine revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107, 5893-5896.
- Carls, P. 2005. Vivencias de un geólogo en el Aragón del siglo XX. En: Gámez, J.A., Liñán, E. y Valenzuela, I. (eds.) *La cooperación internacional en la Paleontología española*, 19-30.
- Charbonnier, S., Vannier, J., Gaillard, C., Bourseau, J-P. and Hantzpergue, P. 2007. The La Voulte Lagerstätte (Callovian): evidence for a deep water setting from sponge and crinoid communities. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 250, 216-236.
- Cole, L., Ausich, W., Colmenar, J. and Zamora, S. 2017. Filling the Gondwanan gap: paleobiogeographic implications of new crinoids from the Castillejo and Fombuena

- formations (Middle and Upper Ordovician, Iberian Chains, Spain). *Journal of Paleontology*, 91 (4), 715-734.
- Donovan S.K. and Pawson D.L. 2008. A new species of the sessile crinoid *Holopus* d'Orbigny from the tropical western Atlantic, with comments on holopodid ecology (Echinodermata: Crinoidea: Holopodidae). *Zootaxa*, 1717, 31-38.
- Foote, M. 1999. Morphological diversity in the evolutionary radiation of Paleozoic and Post-Paleozoic crinoids. *Paleobiology*, 25 (S2), 1-115.
- Gahn, F.J. 2015. Homological and phylogenetic implications of a disparid like posterior interray among lower Ordovician camerate crinoids. In: Zamora, S. and Rábano, I. (eds.), *Progress in Echinoderm Palaeobiology*. Cuadernos del Museo Geominero, 19. Instituto Geológico y Minero de España, 59-65.
- Guensburg, T.E. and Sprinkle, J. 2001. Earliest crinoids: new evidence for the origin of the dominant Paleozoic echinoderms. *Geology*, 29, 131-134.
- Guensburg, T.E. and Sprinkle, J. 2003. The oldest known crinoids (Early Ordovician, Utah) and a new crinoid plate homology system. *Bulletins of American Paleontology*, 364, 1-43.
- Guensburg, T.E. and Sprinkle, J. 2009. Solving the mystery of crinoid ancestry: new fossil evidence of arm origin and development. *Journal of Paleontology*, 83, 350-364.
- Guensburg, T.E. 2010. *Alphacrinus* new genus and origin of the disparid clade. *Journal of Paleontology*, 84 (6), 1209-1216.
- Guensburg, T.E., Blake, D.B., Sprinkle, J. and Mooi, R. 2016. Crinoid ancestry without blastozoans. *Acta Palaeontologica Polonica*, 61 (2), 253-266.
- Guensburg, T.E. and Waisfeld, B. 2015. South America's earliest (Ordovician, Floian) crinoids. *Journal of Paleontology*, 89 (4), 622-630.
- Hemery, L.G., 2011. Diversité moléculaire, phylogéographie et phylogénie des crinoïdes (Echinodermes) dans un environnement extrême : l'océan Austral [PhD dissertation]: Paris, Muséum national d'Histoire naturelle, 381 pp.
- Hemery, L.G., Roux, M., Ameziane, N. and Eleaume, M. 2013. High-resolution crinoid phyletic inter-relationships derived from molecular data. *Cahier Biologie Marine*, 54, 511-523.
- Herrera, Z. y Villas, E. 2013. Fósiles paleozoicos en el valle del río Cámaras, Comarca del Jiloca, Teruel, 74 pp.
- Hess, H., Messing, C.G. and Ausich, W.I. 2011. *Treatise on Invertebrate Paleontology* Part T, Echinodermata 2, Revised, Crinoidea 3: Lawrence, University of Kansas and Paleontological Institute, 216 pp.
- Hess, H., Ausich, W.I., Brett, C.E. and Simms, M.J. 1999. *Fossil crinoids*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 300 pp.
- Kammer, T., Sumrall, C.D., Zamora, S., Ausich, W.A. and Deline, B. 2013. Oral Region Homologies in Paleozoic Crinoids and other Plesiomorphic Pentaradial Echinoderms. *PlosOne* 8 (11).
- Le Menn, J. 1985. Les crinoïdes du Devonien inférieur et moyen du Massif armoricain. *Memoires de la Société géologique et minéralogique de Bretagne*, 30, 1-268.
- Le Menn, J., Gourvennec, R., Pizarra, J.M. and Robardet, M. 2003. Mid-Paleozoic dimerocrinitid crinoids from North Gondwana: evolution, biostratigraphy and paleobiogeography. *Revista Española de Paleontología*, 18 (1), 49-60.

- Meyer, D.L. and Macurda, D.B., 1977. Adaptive radiation of the comatulid crinoids. *Paleobiology* 3, 74–82.
- Oji, T., 1996. Is predation intensity reduced with increasing depth? Evidence from the west Atlantic stalked crinoid *Endoxocrinus parrae* (Gervais) and implications for the Mesozoic marine revolution. *Paleobiology*, 22, 339-351.
- Rouse, G. W., Jermiin, L.S., Wilson, N.G., Eeckhaut, I., Lanterbecq, D., Oji, T., Young, C.M., Browning, T., Cisternas, P., Helgen, L.E., Stuckey, M. and Messing, C.G. 2013. Fixed, free, and fixed: The fickle phylogeny of extant Crinoidea (Echinodermata) and their Permian-Triassic origin. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 66(1), 161-181
- Roux, M., Eleaume, M., Hemery L.G. and Ameziane, N. 2013. When morphology meets molecular data in crinoid phylogeny: a challenge. *Cahier Biologie Marine*, 54, 541-548.
- Simms, M.J., 1988. The phylogeny of post-Palaeozoic crinoids. In: Paul, C.R.C. and Smith, A.B. (eds.), *Echinoderm Phylogeny and Evolutionary Biology*. Clarendon Press, Oxford, 269-284.
- Simms, M.J. and Sevastopulo, G.D., 1993. The origin of articulate crinoids. *Palaeontology*, 36, 91-109.
- Simms, M.J. 1993. Reinterpretation of thecal plate homology and phylogeny in the class Crinoidea. *Lethaia*, 26, 303-312.
- Sumrall, C.D., Sprinkle, J. and Guensburg, T.E. 1997. Systematics and paleoecology of Late Cambrian echinoderms from the western United States. *Journal of Paleontology*, 71, 1091-1109.
- Twitchett, R.J. and Oji, T. 2005. Early Triassic recovery of echinoderms. *Comptes Rendus Palevol*, 4, 531-542.
- Ubaghs, G. 1969. *Aethocrinus moorei* Ubaghs, n. gen., n. sp., le plus ancien crinoïde dicyclique connu. *University of Kansas Paleontological Contributions*, Kansas, Paper 38, 1-25.
- Wright, D.F., Ausich, W.I., Cole, S. R., Peter, M.E., and Rhenberg, M.E. 2017. Phylogenetic taxonomy and classification of the Crinoidea (Echinodermata). *Journal of Paleontology*, 91, 829-846.
- Zamora, S. and Rahman, I. 2014. Deciphering the early evolution of echinoderms with Cambrian fossils. *Palaeontology*, 57 (6), 1105-1119.
- Zamora, S. and Smith, A.B. 2012. Cambrian stalked echinoderms show unexpected plasticity of arm construction. *Proceedings of The Royal Society B*, 279, 293-298.
- Zamora, S. (coord.), Álvaro, J.J., Arbizu, M., Colmenar, J., Esteve, J., Fernández-Martínez, E., Fernández, L-P., Gutiérrez-Marco, J.C., Suárez-Andrés, J.L., Villas, E. and Waters, J. 2015. Palaeozoic echinoderms from Northern Spain. In: Zamora, S. and Rábano, I. (eds.), *Progress in Echinoderm Palaeobiology*. Cuadernos del Museo Geominero, 19. Instituto Geológico y Minero de España, 209-288.
- Zamora, S., Colmenar, J. and Ausich, W.I. 2014. The echinoderm faunas from the Fombuena Formation (Upper Ordovician, Iberian Chains, Spain). En: Royo-Torres, R., Verdú, F.J. y Alcalá, L. (coord.). XXX Jornadas de Paleontología de la Sociedad Española de Paleontología. ¡Fundamental! 24, 257-259.
- Zaton, M., Salamon, M.A. and Kazmierczak, J. 2008. Cyrtocrinids (Crinoidea) and associated stalked crinoids from the Lower/Middle Oxfordian (Upper Jurassic) shelfal deposits of southern Poland. *Geobios*, 41, 559-569.



LOS VERTEBRADOS BASALES DEL DEVÓNICO DE ARAGÓN

Héctor Botella¹

¹ Instituto Cavanilles de Biodiversidad i Biología Evolutiva. Universidad de Valencia. 46980 Paterna, Valencia, España

hector.botella@uv.es

Resumen: Las estructuras características de los vertebrados modernos, – i.e. esqueleto mineralizado, cerebelo, mandíbulas, extremidades, dientes, etc.– evolucionaron en linajes completamente extintos, sin representantes actuales. En este sentido, el estudio del registro fósil se torna como una herramienta insoslayable para poder entender el origen y la evolución temprana de nuestro propio linaje. Los afloramientos del Devónico en las provincias de Zaragoza y Teruel han proporcionado importantes fósiles de estos grupos, entre los que se incluyen varios vertebrados sin mandíbula (agnatos) como telodontos y pteraspídomorfos, dientes, espinas y escamas de los tiburones más antiguos conocidos hasta el momento (*Leonodus carlsi*), varios taxones endémicos de “acantodios” (*Obruchevacanthus ireneae*; *Machaeracanthus goujeti*); placodermos de gran tamaño (*Carolowilhelmina geognostica*) y otros más pequeños de gran relevancia paleobiogeográfica (*Kujdanowiaspis podolica* y *Erikaspis zychi*). En este trabajo se presenta una síntesis de los hallazgos más importantes, desde el punto de vista científico y patrimonial, así como una pequeña revisión de la historia de estos descubrimientos.

Palabras clave: Aragón, Celtiberia, Condrictios, Devónico, Vertebrados primitivos.

Abstract: *Main features of modern vertebrates, – i.e. mineralized skeleton, cerebellum, jaws, limbs, teeth, etc. – evolved into completely extinct lineages, without modern representatives. Thus, the study of the fossil record becomes an unavoidable tool to understand the origin and early evolution of our own lineage. The Devonian outcrops in the provinces of Zaragoza and Teruel (Aragón, Spain) have provided important fossils of these clades, including several groups of vertebrates without jaws (agnates) such as thelodonts and pteraspidomorphs, teeth, thorns and scales of the, currently, oldest known sharks (Leonodus carlsi), several endemic taxa of “acanthodians” (Obruchevacanthus ireneae, Machaeracanthus goujeti) and large placoderms (Carolowilhelmina geognostica) and other smaller ones of high paleobiogeographical importance (Kujdanowiaspis podolica and Erikaspis zychi). Here we present a synthesis of the most important findings, from scientific and patrimonial point of views, as well as a brief review of the history of these discoveries.*

Key words: *Aragón, Celtiberia, Chondrichthyans, Devonian, Early vertebrates.*

INTRODUCCIÓN

Aragón es tierra de fósiles. La riqueza paleontológica de esta región es reconocida internacionalmente desde hace décadas por los especialistas, pero también por las gentes locales, sabedoras de los tesoros científicos que yacen en sus tierras. Tanto es así que Aragón se ha convertido en una región de referencia a nivel europeo en cuanto a política de conservación del patrimonio paleontológico (tanto mueble como inmueble) y el uso de los fósiles como recurso en turismo cultural y en el desarrollo de zonas rurales. En este mismo volumen se pueden encontrar ejemplos de fósiles aragoneses de gran importancia en grupos como insectos, cocodrilos, dinosaurios o mamíferos. En el presente capítulo queremos introducir un grupo de fósiles, también comunes en Aragón, que quizá no han alcanzado la popularidad de otros grupos a pesar de que su relevancia científica fue reconocida desde los primeros hallazgos. Se trata de los restos de los primeros vertebrados o vertebrados basales (del inglés *Early vertebrates*). Con este término informal, incluimos en general a los “peces” (i.e. vertebrados no-tetrapodos) paleozoicos, así como los primeros estadios de la transición tierra-agua.

El origen de los vertebrados se remonta posiblemente a la explosión cámbrica, y el grupo experimentó una primera gran diversificación durante el Ordovícico/Silúrico con la aparición de un dermoesqueleto mineralizado (Sansom *et al.*, 1992; Forey y Janvier, 1993; Shu *et al.*, 2003; Zhang y Hou, 2004). Sin embargo, fue durante el Silúrico, con la evolución de nuevas estructuras anatómicas (i. e. aletas pares, mandíbulas y dientes) que facilitaron el acceso a nuevos nichos tróficos (Botella, 2006; Botella *et al.*, 2007), cuando el grupo sufrió la mayor radiación adaptativa de su historia evolutiva (Anderson *et al.*, 2011; Friedman y Sallan, 2012). Como consecuencia, durante el Devónico, periodo conocido como “La edad de los peces” los vertebrados alcanzaron su máxima diversidad taxonómica, a nivel de grandes grupos, con un total de hasta 11 linajes distintos –ciclóstomos, conodontos, anáspidos, heterostráceos, galeáspidos, osteostráceos, telodontos, placodermos, acantodios, condriictios y osteíctios– (Janvier, 1997; Donoghue *et al.*, 2006) de los cuales solo tres (ciclóstomos, condriictios y osteíctios) tienen representantes actuales. Es a lo largo de la filogenia de estos linajes extintos –diversos no solo taxonómicamente sino también anatómica e histológicamente– donde el plan corporal de los vertebrados modernos se fue adquiriendo gradualmente (Figura 1).

Los fósiles de estos vertebrados primitivos atrajeron desde hace ya más de dos siglos el interés de paleontólogos y naturalistas, (e. g. Murchison 1792-1871; Agassiz, 1807-1873; Pander 1795-1865, entre otros). Más recientemente, con el desarrollo de nuevas disciplinas de la biología y posiblemente debido a nuestra condición de vertebrados, el interés por el origen y evolución temprana de nuestro propio linaje, y en especial de los tejidos mineralizados de su esqueleto, se ha extendido rápidamente a otros campos como la morfología comparada, la biología del desarrollo, la genética evolutiva o la biología molecular (e. g. Zylberberg *et al.*, 1992; Kawasaki *et al.*, 2004; Kawasaki y Weiss, 2006; Wada *et al.*, 2006; Sire *et al.*, 2007; Johanson *et al.*, 2008; Huysseune *et al.*, 2009; Kawasaki, 2009; Smith *et al.*, 2009; Wada, 2010; Shimada *et al.*, 2013), lo que ha aumentado considerablemente nuestro conocimiento en ciertos aspectos de esta cuestión. Sin embargo, los estudios con organismos actuales solo proporcionan una información sesgada a la cuestión sobre el origen y la evolución temprana del plan corporal de los vertebrados. Los taxones en los que el “*bauplan*” vertebrado se estableció –apareciendo y evolucionando inicialmente caracteres como los tejidos óseos y embrionarios especializados, un craneo mineralizado, apéndices pares, mandíbulas o dientes– pertenecen a linajes completamente extintos, sin representantes actuales. En consecuencia, es necesario el estudio del registro fósil para conocer realmente la diversidad anatómica, histológica y funcional de los vertebrados en sus primeros estadios evolutivos. En este sentido, los fósiles de los elementos esqueléticos de los primeros vertebrados, gracias a su naturaleza mineralizada,

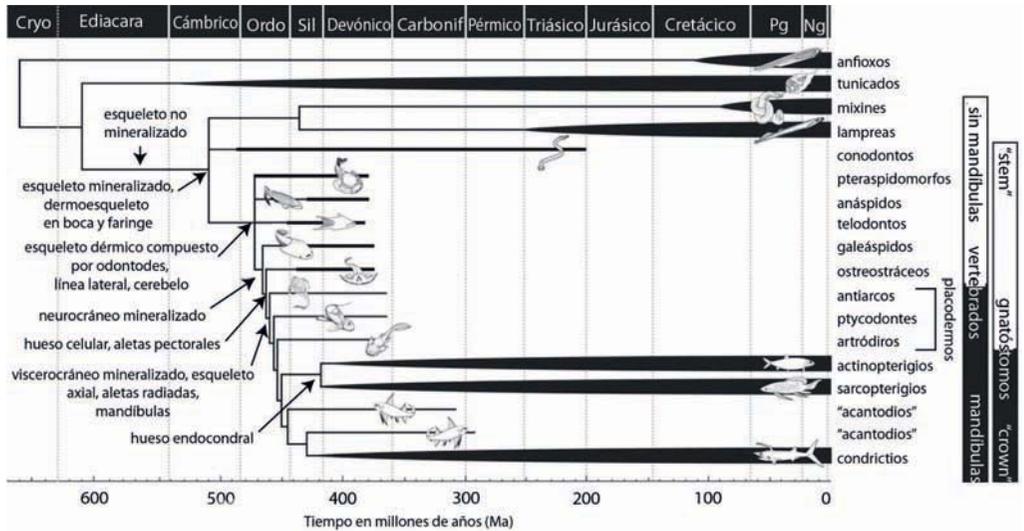


Figura 1. Relaciones filogenéticas entre los principales grupos de vertebrados actuales y extintos con indicación de sus tiempos estimados de aparición y rangos estratigráficos. Obsérvese la gran diversidad de linajes que coexistieron durante el Paleozoico Medio. Las flechas señalan los puntos de aparición de algunos de los principales caracteres de los vertebrados modernos. Modificado de Donogue y Keating (2014).

conservan una considerable información no sólo en cuanto a forma, tamaño y organización anatómica, sino también en cuanto a su desarrollo en forma de líneas de crecimiento, topología tisular, microestructura y polaridades celulares (Donoghue *et al.*, 2006). La comparación de estos datos con los análisis experimentales sobre los procesos de desarrollo en vertebrados actuales, suponen ese enfoque integrador necesario para la comprensión holística de los procesos evolutivos, en nuestro caso, para establecer el origen y la historia evolutiva del plan estructural de los vertebrados, especialmente de su esqueleto.

Durante los últimos años el uso de nuevas técnicas en paleontología, como las técnicas tomográficas de alta resolución (CT scan, micro CT o sincrotrón), ha dado un nuevo enfoque al estudio de los fósiles (ver Sutton *et al.*, 2014). Estas nuevas tecnologías permiten adquirir modelos tridimensionales y estudiar de forma detallada la composición y distribución interna de las distintas estructuras y tejidos a escala sub-micrométrica y de forma no destructiva. Concretamente, el uso de estas técnicas para el estudio de restos fósiles de vertebrados basales está resultando ser especialmente prometedora, permitiendo el análisis no destructivo de especímenes únicos, accediendo al estudio de estructuras internas, no accesibles mediante las técnicas clásicas. Por ejemplo, las aplicaciones de estas técnicas han aportado información acerca del origen de la copulación en vertebrados, mediante la identificación de embriones internos en placodermos artródidos (Long *et al.*, 2008) y el descubrimiento de *claspers* en placodermos basales (Long *et al.*, 2014). Otro ejemplo de los logros obtenidos mediante el uso de estas técnicas son los avances en el entendimiento sobre el origen de la dentición en vertebrados, con la reinterpretación como dientes de ciertas estructuras mandibulares de los primeros gnatostomados (Rücklin *et al.*, 2012) o la disección virtual de la dentición en los primeros osteictios (silúricos) (Chen *et al.*, 2016), que hacen replantearse la teoría tradicional que postula la aparición de la dentición en vertebrados a partir de denticulos dérmicos (“escamas”) cuando los tejidos generadores de estos migraron hacia el interior de la cavidad bucal tras la aparición de las “mandíbulas” (ver Fraser *et al.*, 2010; Donoghue y Rücklin, 2016)

LA IMPORTANCIA DE LOS VERTEBRADOS BASALES DEL DEVÓNICO DE ARAGÓN

La presencia de restos de vertebrados basales se ha documentado en numerosos afloramientos devónicos del territorio español, incluyendo la cordillera Cantábrica (Arbizu *et al.*, 1974; Mader, 1986), las cordilleras Béticas (Valenzuela-ríos *et al.*, 2006), los Pirineos (Liao *et al.*, 2007; Ginter, 2008) y la cordillera Ibérica (ver referencias más adelante). El potencial del registro fósil español ha sido reconocido por los principales especialistas internacionales, haciendo notar su importancia no solo para resolver cuestiones relacionadas con la evolución temprana de los vertebrados sino también en otros problemas como correlaciones geológicas globales y el refinamiento de reconstrucciones paleogeográficas (ver Zangerl, 1981; Cappetta, 1987; Long, 1995; Janvier, 1996; Märss *et al.*, 2007; Cappetta, 2012). Sin duda, los hallazgos más relevantes provienen de los afloramientos devónicos en el sur de Aragón, (provincias de Zaragoza y Teruel). Estos afloramientos aragoneses se ubican en la cordillera Ibérica oriental y están limitados a cinco áreas: Cabezos altos, Anadón-Huesa, Depresión del Río Cámaras (DARC), Nigiüella y Tabuena-Rodanas (Figura 2). Carls *et al* (2002a), Carls (1999; 2002) y Carls y Valenzuela-Ríos (2002) ofrecen una visión detallada del estado actual del conocimiento del Devónico de la cordillera Ibérica, para el lector interesado.

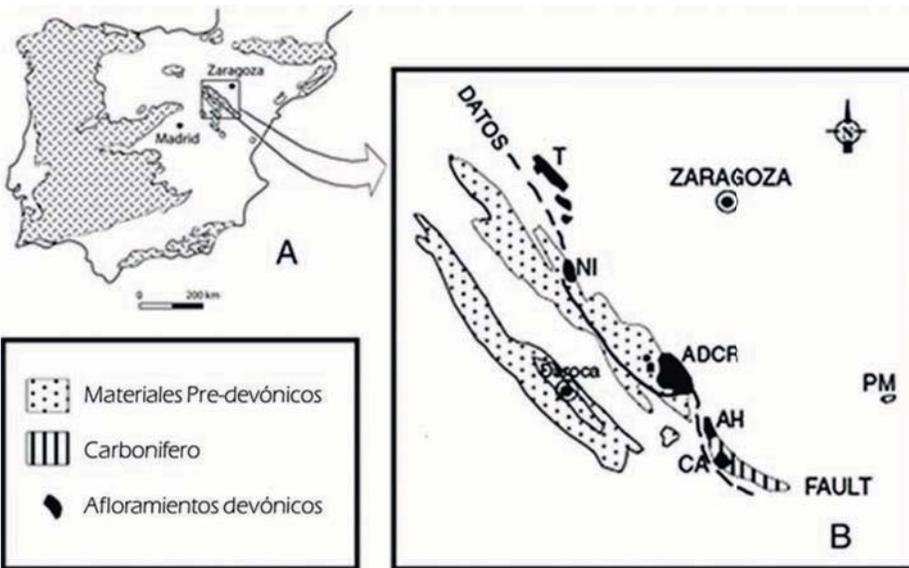


Figura 2. A. Distribución de rocas precámbricas y paleozoicas en la Península Ibérica y ubicación de los afloramientos Devónicos en la cordillera Ibérica en Aragón. B. Mapa geológico abreviado de área que muestra los afloramientos del Devónico y el Carbonífero.; T, Tabuena; NI, Nigiüella; ADRC, depresión axial del río Cámaras; PM, Puig Moreno; AH, Anadón-Huesa; CA, Cabezos Altos. Modificado de Botella *et al* (2006).

La presencia de restos esqueléticos de vertebrados devónicos en Aragón fue indicada por primera vez por el Profesor Peter Carls (Carls, 1965), si bien, los primeros restos de peces estudiados en detalle fueron presentados por Schultze (1973), quien describió los restos cefálicos de un nuevo taxón, *Grossius aragonensis* (Sarcopterigii), del Eifeliense de la Formación Moyuela, uno de los osteictios más basales conocidos hasta la actualidad. Dicho ejemplar se encuentra preservado en una concreción nodular calcárea. Se trata de un cráneo completo de

unos 25 centímetros (se estima una longitud total del animal de en torno a 1 metro). Solo la parte derecha ha quedado expuesta tras la preparación y esta se encuentra notablemente deformada. Durante el presente año nuestro grupo ha iniciado el reestudio de dicho espécimen. El ejemplar se ha escaneado en el micro CT Nikon XT H 225 de la Universidad de Bristol, con el fin de tener acceso a la estructura interna del fósil y de otros caracteres no observables en la superficie expuesta en el nódulo. Los resultados preliminares (Figura 3) son muy prometedores, evidenciando una muy buena preservación de las estructuras internas del fósil.

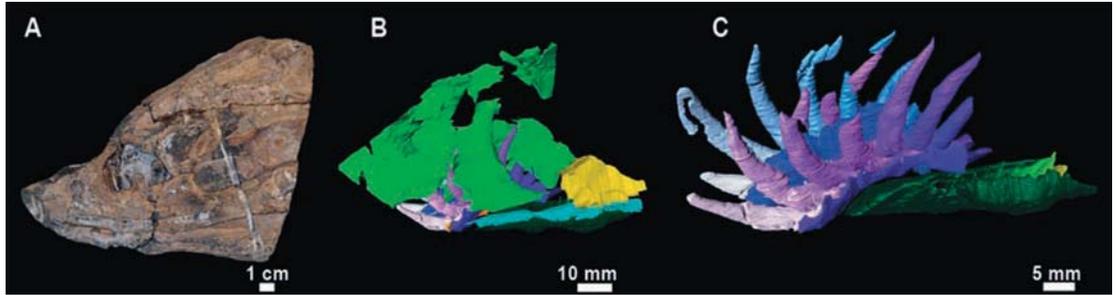


Figura 3. *Grossius aragonensis* Schultze, 1973 (Onychodontiformes (Sarcopterygii)). A. Holotipo (y único ejemplar), depositado en la Universidad de Göttingen (Gö 709-1), en vista lateral. Observar la cabeza en forma puntiaguda de tres esquinas, que da un perfil fuertemente afilado a la región rostral. La longitud máxima del espécimen es de 21 cm. Las grandes órbitas (longitud 3,9 cm, altura de 2,8 cm) se encuentran bien por detrás del rostro. B. CT scan de la región anterior del rostro del espécimen, visualizando los huesos con diferentes colores. C. Detalle de la dentición sinfisal, spiral tooth, de *Grossius aragonensis*.

Pocos años después al trabajo de Schultze, el Profesor Daniel Goujet del *Muséum National d'Histoire Naturelle* en París realizó algunas campañas de campo junto al Prof. Carls. El material obtenido fue estudiado por Goujet, centrándose sobre todo en las escamas de telodontos que fueron referidas a la especie *Turinia pagei* (Goujet y Blicek 1979; Goujet 1984). La Dra. Susan Turner (*Queensland Museum*, Australia) examinó parte de las escamas de telodontos estudiadas por Goujet (Turner, 1984, 1999) identificando escamas de *T. pagei*, escamas de la forma *T. polita* y escamas de *Turinia* parecidas a *T. australensis* y *T. fuscina* del este de Australia. Una revisión más reciente de ese material y colecciones mucho mayores de escamas recuperadas en los últimos años (Botella *et al.*, 2006), nos han permitido agrupar toda esa variabilidad dentro de la escamación de solo dos taxones –teniendo en cuenta que un individuo presenta una gran variedad de morfologías a lo largo de su cuerpo– la especie cosmopolita *T. pagei* y una nueva especie descrita en ese trabajo, posiblemente autóctona de Celtiberia, *Turinia nachoi*. Ambas especies están representadas por escamas cefálicas, transicionales (cefalopectorales) y del tronco. Son claramente diferenciables por características morfológicas e histológicas y además poseen rangos estratigráficos separados (*T. pagei* está restringida a estratos lochkovienses, mientras que *T. nachoi* aparece en sedimentos del Praguense inferior-medio). Los telodontos son un enigmático grupo extinto de peces sin mandíbula (agnatos) cuyo rango estratigráfico se extiende desde el Ordovícico Medio-Superior al Devónico Superior, siendo uno de los linajes más antiguos de vertebrados en el registro fósil. Por lo general, están dentro de un rango de tamaño de 15-30 cm y se diferencian de otros peces agnatos paleozoicos por la estructura de su exoesqueleto que está formado por diminutas escamas placoideas, similar a los tiburones actuales, en lugar de las grandes placas compactas de los “ostracodermos”. Estas diminutas escamas de dentina cubren todo el cuerpo del animal y se dispersarían tras

su muerte, siendo unos fósiles relativamente abundantes y ampliamente distribuidos durante el Silúrico y Devónico Inferior. La morfología de las escamas evoluciona rápidamente entre especies siendo unos buenos indicadores bioestratigráficos, usados para correlaciones precisas entre sedimentos ampliamente distantes. Además, recientemente, Ferrón y Botella (2017) han demostrado la utilidad de estas escamas para inferir el modo de vida de los primeros vertebrados, comparando con patrones de escamación en tiburones actuales, demostrando que los telodontos presentaban ya una gran variedad de modos de vida, en distintas zonas del bentos y de la columna de agua, comparables a la diversidad que presentan actualmente tiburones y teleósteos. Estos “roles” ecológicos incluirían desde formadores de cardúmenes, nadadores rápidos, nadadores lentos de aguas profundas o moradores de fondos arenosos. Sin embargo, frente a la idea tradicional, la mayoría de especies de telodontos vivirían en fondos de sustrato duro, como arrecifes o zonas rocosas aprovechando la flexibilidad de sus cuerpos cubiertos por pequeñas escamas (y la dureza de estas) para amagarse en grietas y pequeñas

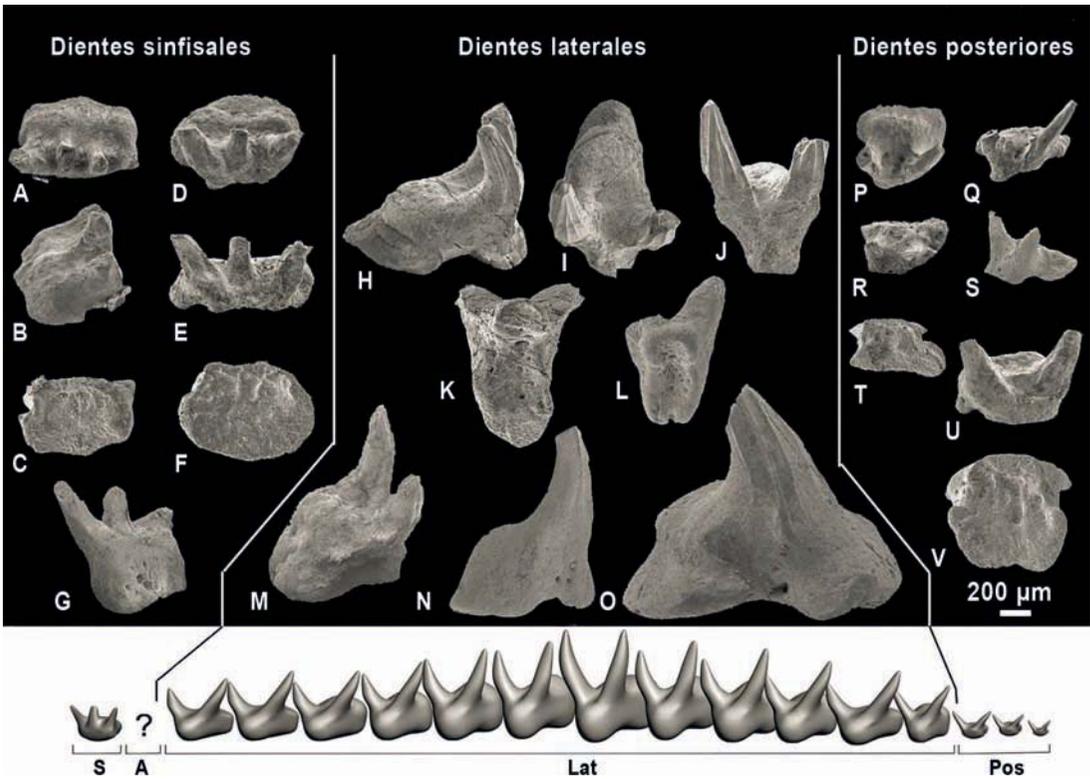


Figura 4. Diferentes tipos dentarios y reconstrucción de la dentición en *L. carlsi*. El número de familias en la representación de una serie dental individual de dientes completamente desarrollados (parte baja de la figura) está basado en las proporciones encontradas para cada tipo dentario: sinfisales 3,3%, laterales 77,2 % y posteriores 19,46 %, y considerando que sólo se desarrolla una única familia de dientes sinfisales entre los palatocúadrados o entre los cartílagos de Meckel. Una familia de dientes anteriores podría estar presente entre los sinfisales y los laterales. A-C. MGUV 14859 en vista superior (A), lateral (B) y basal (C). D-F. MGUV 14860 en vista superior (D), labial (E) y basal (F). G. MGUV 14830 en vista lingual. H-K. MGUV 14861 en vista lateral (H) superior (I), labial (J), y basal (K). L. MGUV 14862 en vista basal. M. MGUV 14863 en vista lateral. N. MGUV 14835 en vista lateral. O. MGUV 14844 en vista lateral. P,Q. MGUV 14864 en vista superior (P) y labial (Q). R-T. MGUV 14865 en vista superior (R), lateral (S) y basal (T). U,V. MGUV 14866 en vista labial (U) y basal (V).

cuevas, frente a otros peces paleozoicos con escudos cefálicos inflexibles que fueron restringidos a ambientes más abiertos. Asombrosamente, todas estas conclusiones paleocológicas, provienen del estudio de diminutas escamas desarticuladas, mostrándonos, una vez más, la cantidad de información biológica que subyace en los fósiles.

Durante más de 40 años el profesor Carls siguió acumulando pequeños restos de vertebrados devónicos que aparecían, tras la disolución de rocas carbonáticas en busca de conodontos. El estudio de una gran parte de estos fósiles, y otros muestreos particulares, ha dado lugar a tres tesis doctorales (Mader, 1986; Wang, 1993 y la mía misma en 2005). En estos trabajos se pone en evidencia la gran diversidad taxonómica presente en el Devónico de Aragón que incluye telodontos, pteraspídomorfos, acantodios, condriictios basales, placodermos y osteíctios basales. También reflejan la diversidad anatómica de los restos encontrados, consistente en placas dérmicas, *tessereas*, escamas, denticulos dérmicos, mandíbulas, espinas y dientes desarticulados.

El trabajo más importante, quizá por pionero, sobre los restos de peces devónicos de la cordillera Ibérica es el realizado por Mader (1986), quien estudió los dientes y escamas de acantodios y elasmobranquios de la colección que el Prof. Carls había elaborado en la cordillera Ibérica, junto con otros microictiolitos procedentes de sus muestreos en la cordillera Cantábrica. Mader, describió estas faunas y situó sus rangos estratigráficos locales, comparándolas con faunas de edad similar en otras localidades, sobre todo con la encontrada en el del ártico de Canadá (Vieth, 1980). Esta obra supuso un gran aporte para el conocimiento sobre la evolución y diversificación de los vertebrados primitivos. En ella el autor describe un gran número de nuevos taxones, principalmente de condriictios basales (*Leonodus*, *Lunalepis*, *Iberolepis* y *Arauzia*) de gran valor paleontológico, que aportaron importantes evidencias sobre el origen de los condriictios. Entre estos taxones destaca *Leonodus carlsi*, que es el registro más antiguo de dientes de tiburón conocido hasta la fecha a nivel mundial. Nuestras campañas de campo durante los últimos años en las zonas de Nigiüella y la DARC, nos han permitido completar una colección de en torno a los 2000 dientes de este taxón, lo que permite reconstruir con cierta fiabilidad la serie dental (Figura 4) y realizar ciertos estudios estadísticos. Así, el estudio de estos dientes ha mostrado las primeras evidencias fósiles de una lámina dental en vertebrados (Botella, 2006) y la presencia de un sistema de reemplazamiento dental similar al de los tiburones modernos, aunque con tasas mucho más bajas (Botella *et al.*, 2009a), lo que se ve reflejado en presencia de un elevado número de dientes que presentan un alto desgaste después de haber sido utilizados durante un largo tiempo para procesar comida (Figura 5).

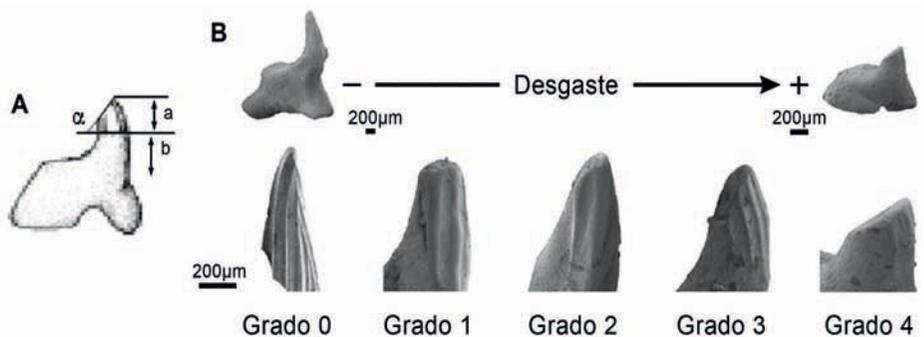


Figura 5. Proceso de desgaste presente en los dientes de *L. carlsi*. El diente sufre un desgaste continuo desde el momento en que aparece en la boca hasta que es desprendido. A. Medidas utilizadas para la cuantificación del desgaste. B. Desgaste progresivo y desigual del diente en las superficies labial y lingual. Observar que en avanzados estados de desgaste el diente siempre conserva un borde cortante inclinado hacia la parte lingual, generado por la distribución desigual de la capa de tejido esmaltoide. Modificado de Botella *et al* (2009).

Así mismo, el estudio histológico con técnicas más modernas, de los dientes de estos primeros tiburones revela que el “esmaltoide” –i.e. la capa de tejido hipermineralizado que cubre los dientes de los condictios– en tiburones basales es homóloga a la de tiburones actuales, pero podría no serlo de los esmaltoides y esmaltes presentes en el resto de vertebrados (Botella *et al.*, 2009b). Sin embargo, la reconstrucción en 3D del sistema de vascularización de los dientes de *Leonodus*, por medio de tomografía con Synchrotron, muestra una densa y compleja red de canales, incluyendo canales horizontales, ascendentes y secundarios (Figura 6). Una estructura ciertamente distinta a los tipos de vascularización tradicionalmente definidos para tiburones mesozoicos y cenozoicos.

Wang (1993), en su tesis doctoral estudia material procedente de la DARC obtenido por el Prof. Carls en las Fms. Luesma, Nogueras y Santa Cruz (Lochkoviense-Praguense). Wang estudió 9 secciones (algunas de las cuales han sido muestreadas de nuevo y estudiadas con

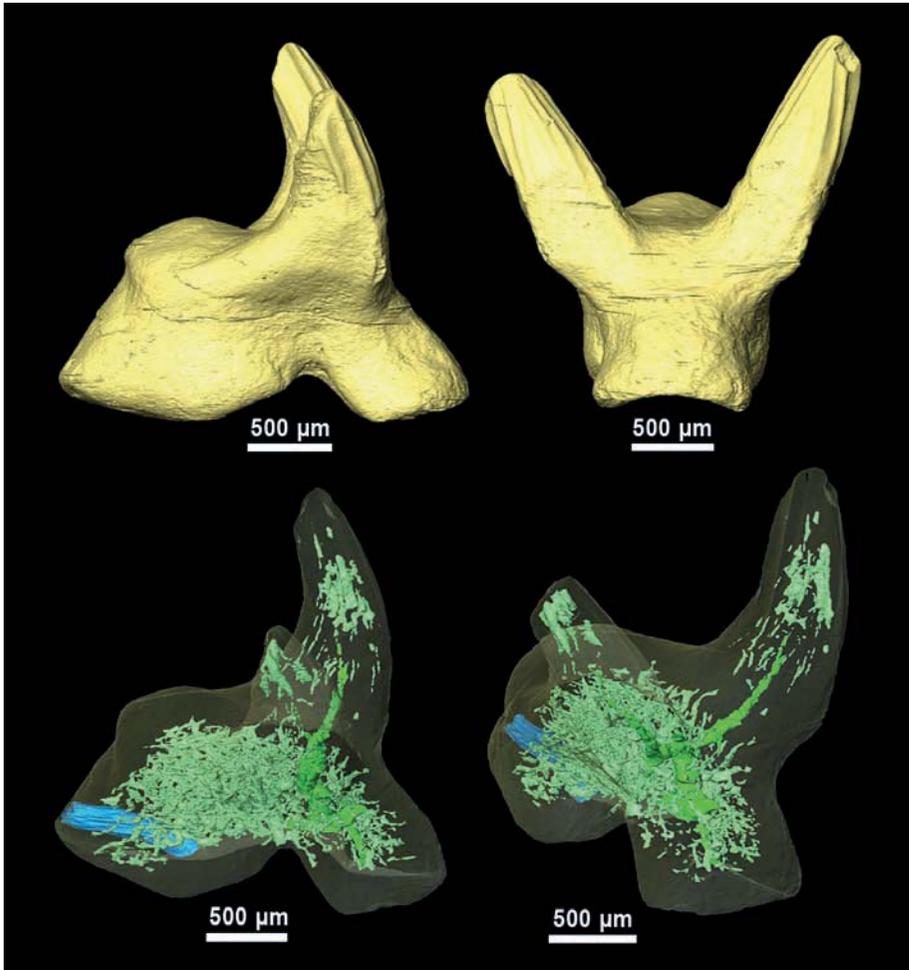


Figura 6. Ejemplar de *Leonodus carlsi* Mader, 1986 escaneado en el *Synchrotron Radiation X-ray Tomographic Microscopy* (SRXTM), TOMCAT (Suiza). MGUV-36.141, Nivel 131-30 de la sección Poyales-Este (Santa Cruz de Nogueras, Teruel, España), Nogueras Fm, (Lochkovian, Devónico inferior). A-B. Representación de superficie derivada de los datos tomográficos en vistas lateral (A), labial (B). C-D. Segmentación del sistema vascular que muestra en verde claro la compleja red de canales, en verde oscuro los principales canales vasculares ascendentes (canales pulpares), y en azul el principal canal lingual-labial.

posterioridad) y realizó un primer intento de biozonación con vertebrados para el Lochkoviense y Praguense de Celtiberia. Este autor distinguió más de 65 taxones, muchos de ellos basados en pequeñas variaciones morfológicas, que en mi opinión estarían mucho más lógicamente enmarcadas dentro de la variabilidad morfológica interespecífica presente en un número mucho menor de especies. Por ejemplo, como se comentó anteriormente, las cuatro especies de telodontos identificadas por este autor fueron posteriormente agrupadas en variaciones topológicas (escamas cefálicas, cefalopectores y troncales) de solo dos especies. En el mismo sentido las varias especies del género *Leonodus* propuestas por Wang, junto a su nueva especie *Phoebodus ancestralis* son, en mi opinión, mucho más fácilmente enmarcadas dentro de la variabilidad dentaria de un solo taxón, *L. carlsi*. La variabilidad en la morfología dentaria de este taxón se puede asociar a la existencia de heterodoncia monognática gradual (ver Figura 4) y/o a la presencia de dientes patológicos con morfologías anómalas, algo bastante habitual en tiburones. En cualquier caso, los datos proporcionados por Wang (1993) permitirán, junto con datos procedentes del área de Nigiüella, una primera caracterización del límite Lochkoviense/Praguense, basada en restos de peces, principalmente escamas (Valenzuela-Ríos y Botella, 2000b; Botella y Valenzuela-Ríos, 2005).

Además de información paleobiológica y bioestratigráfica, los microictiolitos de Aragón también han aportado información útil para resolver algunos problemas paleogeográficos. Martínez-Pérez y colaboradores (2010) reportan por primera vez la presencia de tres especies de condriictios, *Seretolepis elegans*, *Altholepis composita* y cf. *Knerialepis mashkovae* en el Devónico inferior de Celtiberia. Estos taxones pertenecen a un extraño grupo de tiburones primitivos que carecen de dientes, pero muestran una escamación y características endoesqueléticas típicas de los condriictios, aunque tienen pares de espinas en las aletas pares, espinas de aleta anal y, en algunos casos, hileras de espinas prepectoral y prepélvica, como los acantodios primitivos (Hanke y Wilson, 2010). Estos hallazgos han tambaleado las filogenias tradicionalmente establecidas para los vertebrados, poniendo de manifiesto que la separación usual entre dos de los cuatro grandes linajes de vertebrados mandibulados, condriictios y acantodios, no queda reflejada en el registro fósil. De hecho, actualmente, los acantodios son considerados como un conjunto de linajes basales en el árbol de los condriictios (Brazeau y Friedman, 2015). Hasta su descubrimiento en Aragón, la distribución geográfica de estas especies se limitaba a unas pocas localidades del Lochkoviense de Laurussia. Los nuevos hallazgos contrastaban con el patrón aparente de endemismo presente en el conjunto del resto de condriictios encontrados anteriormente (ver arriba), evidenciando la presencia de rutas faunísticas entre Celtiberia (Armorica, peri-Gondwana) y Podolia-Canadá (Laurussia) durante el Devónico temprano. Esto apoya una imagen de, al menos, una proximidad relativa entre Ibero-Armorica y Laurussia, lo que permite la formación de rutas de migración periódicas entre las dos áreas en el intervalo entre el Lochkoviense tardío y el Praguense temprano. Es decir, coincide con otros argumentos en contra de la presencia de extensos océanos (i.e. el paleo-océano Rheico) actuando como barreras biogeográficas entre Báltica y Gondwana a principios del Devónico. Esta idea ha sido también apoyada posteriormente con el registro de otros grupos de vertebrados basales en el Devónico Inferior de Celtiberia, los pequeños placodermos “actinolépidos” *Kujdanowiaspis podolica* y *Erikaspis zychi* (Dupret *et al.*, 2011; Figura 7) conocidos únicamente en Lochkoviense de Podolia (Ucrania) y considerados hasta ese momento endémicos de Laurasia.

Estos ejemplos son una pequeña parte del potencial del registro fósil de los microictiolitos de la cordillera Ibérica aragonesa. Actualmente estamos estudiando una colección de en torno a 30.000 nuevos restos exoesqueléticos (principalmente escamas y dientes) de vertebrados basales del Devónico de la cordillera Ibérica. Estos restos provienen de nuevas campañas de campo realizadas por nuestro grupo de investigación (“*Early Vertebrate Evolution Research-*

lab^o (EVER); www.evervalencia.es), así como de la donación de una colección elaborada por el equipo alemán del Profesor Peter Carls durante la década de los 70 y 80, anteriormente depositados en la Universidad Técnica de Braunschweig (Alemania). Actualmente se encuentran depositados provisionalmente durante su estudio en el *Museu de Historia Natural de*

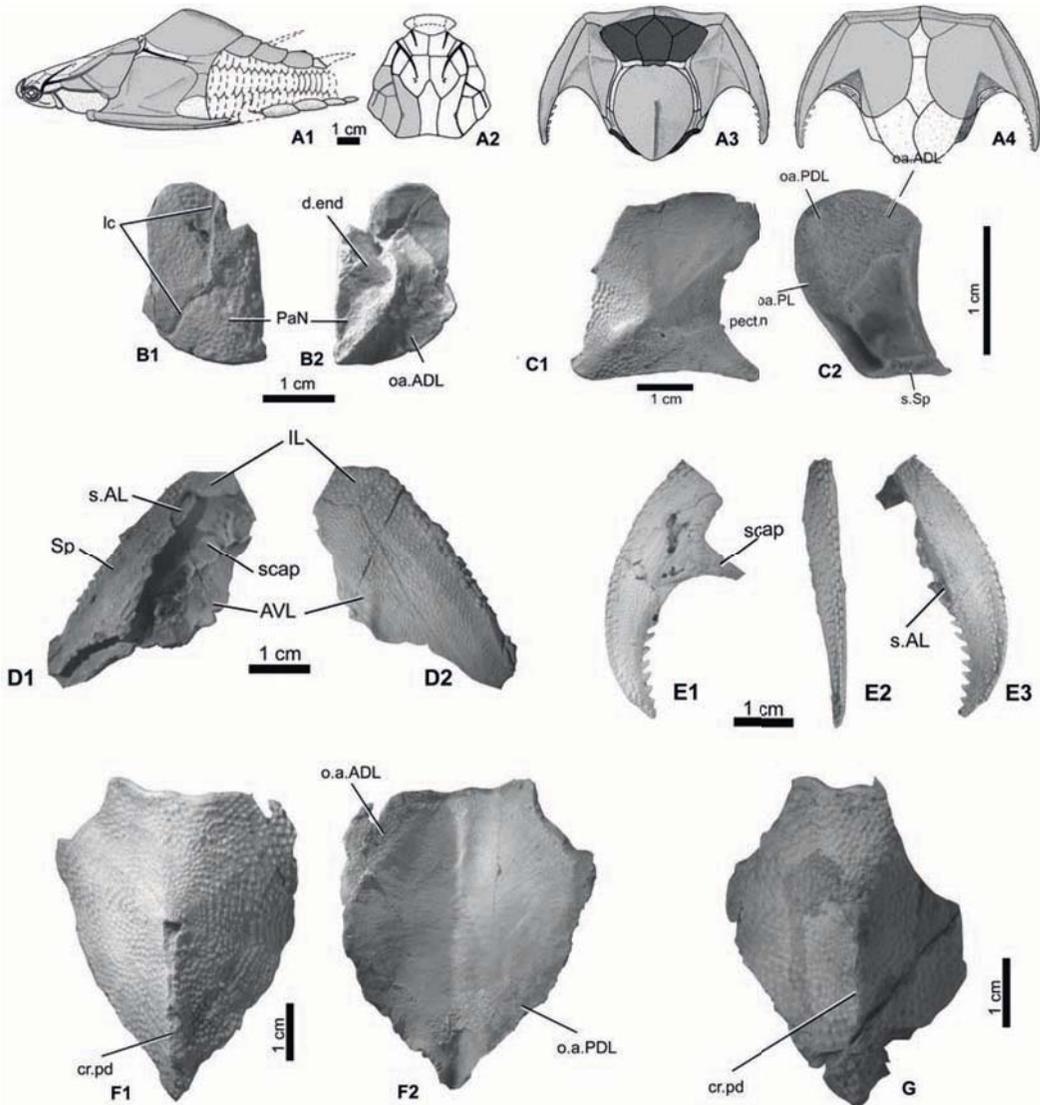


Figura 7. *Kujdanowiaspis podolica* (Brotzen, 1934). A. Reconstrucción de *Kujdanowiaspis podolica* (Brotzen, 1934) en la vista lateral izquierda (A1), techo craneal en vista dorsal (A2); armadura torácica en dorsal (A3) y vista ventral (A4); las placas que han sido recuperadas en Aragón están indicadas en gris. B. Placa paranotal izquierda (especimen MPZ 2009/99) en vistas dorsal (B1) y ventral (B2). C1. Placa anterolateral izquierda (especimen MPZ 2009/97) en vista externa. C2. Placa anterolateral izquierda de un individuo juvenil (especimen MPZ 2009/93) en vista interna D. Parte de la armadura ventral izquierda (especimen MPZ 2009/103) en la vista dorsal interna (D1) y ventral externa (D2). E. Placa espinal derecha (especimen MPZ 2009/98) en vistas ventral (E1), lateral (E2) y dorsal (E3). F. Placa dorsal media (especimen MPZ 2009/90) en vistas dorsal (F1) y ventral (F2). G. Placa dorsal media (especimen MPZ 2009 / 118a) en vista dorsal. Tomado y modificado de Dupret *et al.* (2011).

la Universitat de València (MGUV), tras lo cual serán depositados definitivamente bajo la tutela de Patrimonio de la Diputación General de Aragón. En mi opinión, la información paleobiológica que vamos a poder extraer del estudio de estos fósiles es enorme. De hecho, el estudio de una pequeña parte de ese material nos ha permitido describir dos nuevas especies de “acanthodios” basadas en asociaciones de distintos elementos óseos (dientes, escamas, espinas, escapulocoracoides...): *Obruchevacanthus ireneae* y *Machaeracanthus goujeti* (Botella *et al.*, 2012, 2014). El estudio paleohistológico de las espinas de las aletas de esta última demostró que consisten en capas de dentina trabecular y laminar y que la capa más superficial de dentina se deposita de forma centrífuga en toda la espina. Esta condición se encuentra en las espinas de la aleta de algunos condrictios y contrasta con la observada en espinas típicas de “acantodios”, aportando de nuevo taxones que poseen un mosaico de caracteres entre estos dos grupos. o lo que es lo mismo la difusa diferenciación entre ambos (Figura 8),

Por otro lado, el registro de vertebrados de Aragón no se limita exclusivamente a elementos dérmicos desarticulados. También se han descrito algunos restos óseos espectaculares de gran tamaño, destacando el descubrimiento de diversos ejemplares articulados en tres dimensiones. Anteriormente ya se comentó el caso de *Grossius aragonensis* descrito en 1973 por el profesor Schultze, pero sin duda el ejemplar más emblemático de entre los vertebrados basales de Aragón es el placodermo de “nariz alargada”, *Carolowilhelmina geognostica* Carls, 1995 (pero ver también Mark-Kurik y Carls, 2002). Este espécimen consiste en un cráneo casi completo de unos 43 centímetros que se encuentra actualmente expuesto en el Museo de Ciencias

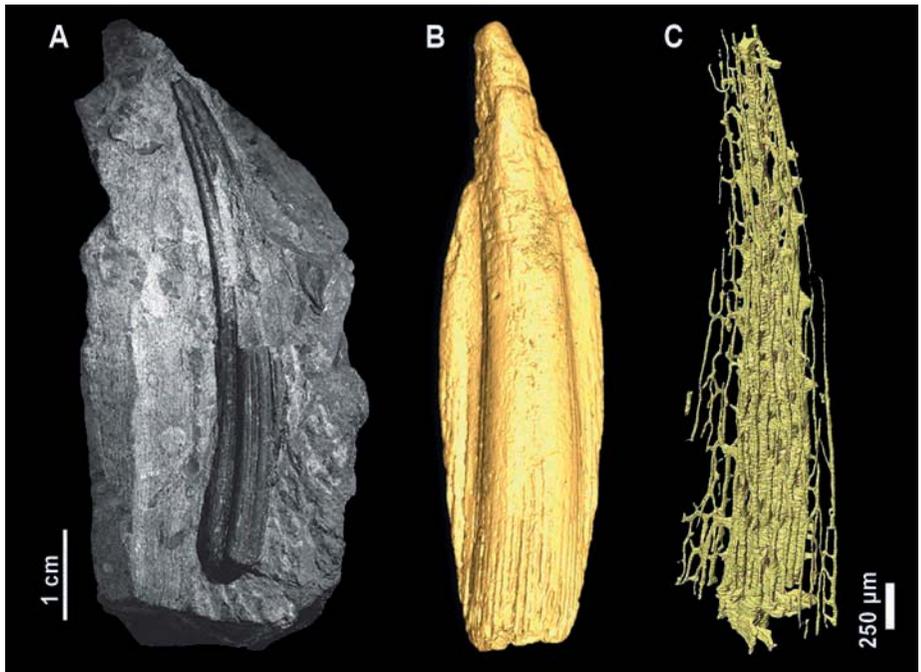


Figura 8. Espina pectoral de *Machaeracanthus goujeti* Botella, Martínez-Pérez y Soler-Gijón. 2012; A. Holotipo (morfortipo 1), elemento MPZ 2010/948, vista lateral superior, caracterizado por la ausencia de estriación longitudinal, Formación Nogueras, Sección Poyales-Este (ADRC Devónico Inferior, cordillera Ibérica). B. Representación de superficie derivada de los datos tomográficos (escaneado en el SRXTM, TOMCAT (Suiza) de una espina juvenil en (MPZ 2010/950), en vistas superior. C. Segmentación del sistema vascular que muestra la existencia de una gran cavidad pulpar central y canales periféricos interconectados. Ejemplar A tomado de Botella *et al.* (2012).

Naturales de la Universidad de Zaragoza, como una de sus joyas más importantes (Figura 9). La historia de este fósil es también apasionante. En el año 1971 el Prof. Carls junto con el Dr. Otto Walliser se encontraban realizando una prospección en busca de restos de “peces” en los afloramientos de la Formación Moyuela cerca de las localidades de Loscos y Monforte de Moyuela a pies del arroyo de Moyuela. En el ocaso del día, cuando comenzaba a oscurecer, Carls partió un nódulo calcáreo para muestreo de conodontos, pero lo desechó porque le pareció algo impuro para su ataque con ácidos. El resto fue a parar al lecho del riachuelo. Al día siguiente se retomaron los trabajos en la zona, y durante los mismos se acercó a refrescarse al arroyo. Este había lavado los fragmentos arrojados el día anterior y le pareció identificar algo que parecía hueso. El fragmento fue recuperado y pasaron el resto del día intentando buscar, sin éxito, la otra mitad del nódulo, incluso apartando con pico y pala varios metros de derrubio que se había deslizado y cubierto parte de la sección. El fragmento del nódulo que incluía el hueso fue trasladado a la Universidad de Göttingen (Alemania), donde el profesor Hans-Peter Schultze lo reconoció como un fragmento de placodermo, pero no se profundizó más en su estudio o preparación. Bastante tiempo más tarde, en 1986, el profesor Carls se encontraba, como cada año, realizando estudios de campo en Aragón y visitó de nuevo los afloramientos de la Formación Moyuela cerca del arroyo que lleva su nombre. El arroyo había erosionado parte del derrubio que cubría el afloramiento y la sección pasó a estar mucho mejor expuesta. En esta ocasión Carls encontró de nuevo restos óseos en un gran nódulo, que se encontraba insertado en su estrato. Este bloque fue extraído y preparado por él mismo durante años, tanto con baños en ácido diluido como mecánicamente, de lo que se obtuvo casi la totalidad del ejemplar tal y como se conoce actualmente. En 1993 le mostró un dibujo del cráneo recuperado a H.-P. Schultze, que por aquel entonces estaba a punto de trasladarse a Berlín para ocupar el cargo de Director del Instituto de Paleontología en el *Museum fuer*



Naturkunde. Al ver el dibujo, el Prof. Schultze recordó haber visto una sección oval muy parecida a la parte frontal de este espécimen en el nódulo que le enviaron desde España en 1971, entonces ordenó recuperar los restos óseos de este nódulo en Göttingen, los cuales resultaron ser la parte más distal de la alargada placa rostral de *Carolowilhelmina* encajando perfectamente ambas partes.

En fin, en este capítulo he intentado repasar los fósiles de vertebrados devónicos encontrados en Teruel y Zaragoza (Aragón) y evidenciar la importancia de los mismos para resolver cuestiones relacionadas con la paleobiología, la filogenia, la bioestratigrafía o la paleogeografía. Es posible que, por mi descuido, falte por comentar alguno de los hallazgos del pasado. Es indudable que faltan los hallazgos futuros, que serán, sin duda, de una relevancia igual o mayor a los aquí enumerados.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer en primer lugar la formación recibida en el campo por el Prof. Peter Carls, quien me acompañó y me mostró las localidades y los niveles fosilíferos de vertebrados en el Devónico de Aragón. Estoy agradecido por los comentarios y sugerencias de Samuel Zamora (IGME), que han mejorado la calidad del trabajo. Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno de España, el Ministerio de Economía y Competitividad, el Proyecto de Investigación CGL201452662, y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) “Una forma de hacer Europa”.

Figura 9. *Carolowilhelmina geognostica* Carls, 1995, Cráneo. Holotipo MPZ 95/174 Depositado en el Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza. Vista lateral del cráneo que tiene una longitud total de 43 cm. Fotografía facilitada por Dr. José Ignacio Canudo.



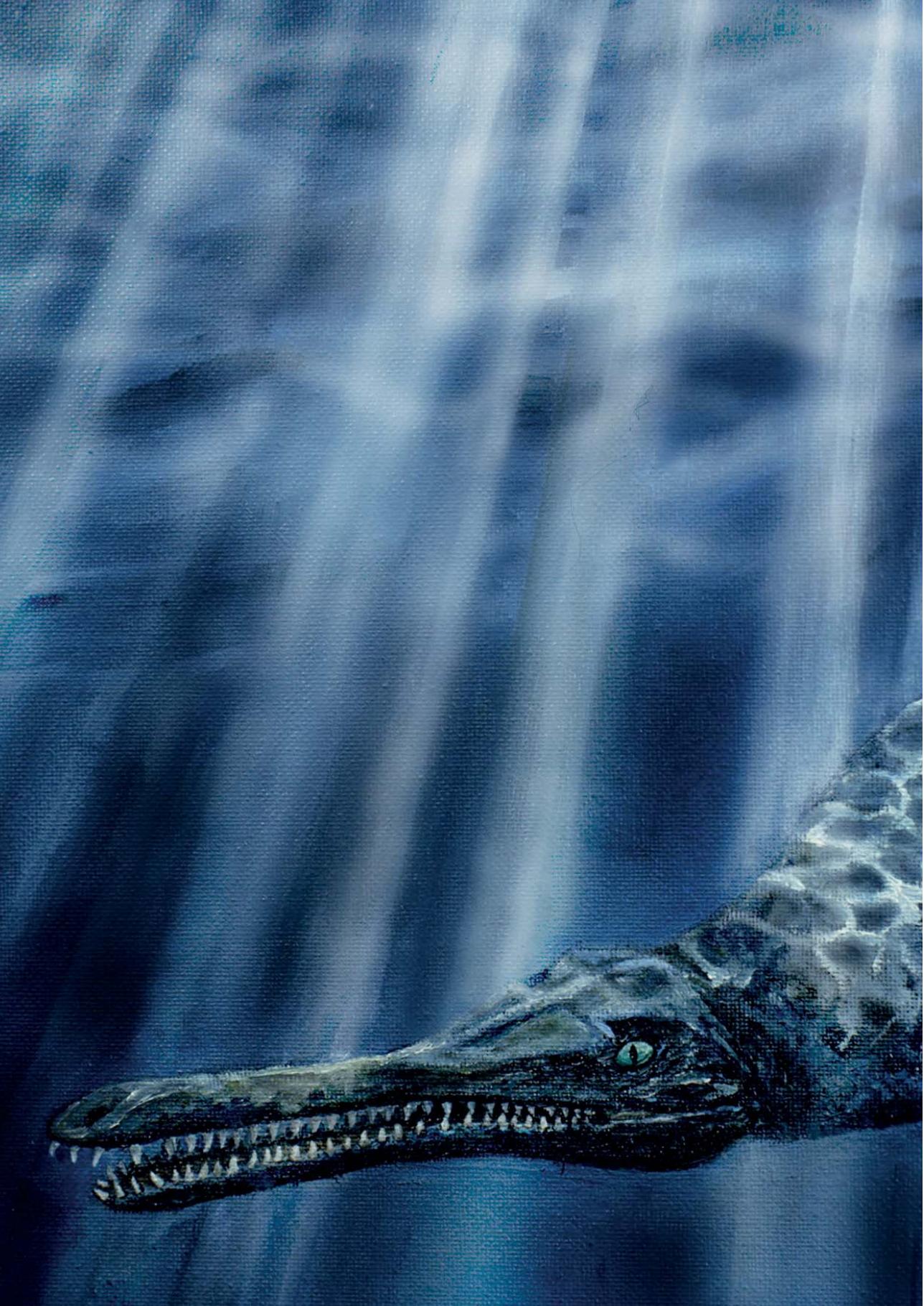
REFERENCIAS

- Anderson, P.S., Friedman, M., Brazeau, M.D. and Rayfield, E.J. 2011. Initial radiation of jaws demonstrated stability despite faunal and environmental change. *Nature*, 476 (7359), 206.
- Arbizu, M., García-Alcalde, J.L., Soto, F. y Truyols, J. 1974. Nota sobre la fauna ictiológica del Devónico cantábrico. *Breviora Geologica Asturica*, 18, 28-32.
- Botella, H. 2006. The oldest fossil evidence of dental lamina in sharks. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26, 1002-1003.
- Botella, H. 2005. *Microictiolitos del Devónico Inferior de Nigüella (Cordillera Ibérica); consideraciones paleobiológicas e hidrodinámicas de condriictios y agnatos primitivos*. Universidad de València, 270 pp.
- Botella, H. y Valenzuela-Ríos, J.I. 2005. Análisis comparativo de microvertebrados fósiles del límite Lochkoviense/Praguense (Devónico Inferior) en la Depresión Axial del río Cámaras. *Teruel*, 88, 45-68.
- Botella, H., Blom, H., Dorka, M., Ahlberg, P. E. and Janvier, P. 2007. Jaws and teeth of the earliest bony fishes. *Nature*, 448 (7153), 583.
- Botella, H., Donoghue, P.C.J. and Martínez-Pérez, C. 2009b. Enameloid microstructure in the oldest known chondrichthyan teeth. *Acta Zoologica*, 90 (s1), 103-108.
- Botella, H., Manzanares, E., Ferrón, H.G. and Martínez-Pérez, C. 2014. *Obruchevacanthus ireneae* gen. et sp. nov., a new ischnacanthiform (Acanthodii) from the Lower Devonian of Spain. *Paleontological Journal*, 48 (10), 1067-1076.
- Botella, H., Valenzuela-Ríos, J.I. and Carls, P. 2006. A new Early Devonian thelodont from Celtiberia (Spain), with a revision of Spanish thelodonts. *Palaeontology*, 49 (1), 141-154.
- Botella, H., Valenzuela-Ríos, J.I. and Martínez-Pérez, C. 2009a. Tooth replacement rates in early chondrichthyans: a qualitative approach. *Lethaia*, 42 (3), 365-376.
- Botella, H., Martínez-Pérez, C. and Soler-Gijón, R. 2012. *Machaeracanthus goujeti* n. sp. (Acanthodii) from the Lower Devonian of Spain and northwest France, with special reference to spine histology. *Geodiversitas*, 34 (4), 761-783.
- Brazeau, M. D. and Friedman, M. 2015. The origin and early phylogenetic history of jawed vertebrates. *Nature*, 520 (7548), 490.
- Cappetta, H. 1987. *Chondrichthyes II. Handbook of paleoichthyology*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 193 pp.
- Cappetta, H. 2012. *Handbook of Paleoichthyology, Volume 3E: Chondrichthyes. Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii: Teeth*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 512 pp.
- Carls, P. 1965. Jung-silurischen und unterdevonische Schichten der Östlichen Iberischen Ketten, NE-Spanien. Diss. Math.-naturwiss. Fak. Univ. Würzburg, 155 pp.
- Carls, P. 1995. *Carolowilhelmina geognostica* – ein Meisterwerk der Evolution. Carolowilhelmina, Mitteilugen, Technische Universität Braunschweig. *Jahrgang*, 30, 18-25.
- Carls, P. 1999. El Devónico de Celtiberia y sus fósiles. En: Gómez Vintaned, J.A. y Liñán, E. (eds.), *Memorias de las VI Jornadas Aragonesas de Paleontología. "25 Años de Paleontología Aragonesa"* Homenaje al Prof. Leandro Sequeiros, 101-164.
- Carls, P. 2002. Iberian Ranges and eastern Guadarrama. In: Gibbons, W. and Moreno, E. (eds.). *Geology of Spain, Geological Society of London, Special Publications*, 76-79.

- Carls, P. and Valenzuela-Ríos, J. I. 2002. Early Emsian Conodonts and associated shelly faunas of the Mariposas Fm. (Iberian Chains, Aragon, Spain). In: García-López, S. and Bastida, F. (eds.). *Palaeozoic Conodonts from Northern Spain*. Instituto Geológico y Minero de España, serie Cuadernos del Museo Geominero, 1. 315-333.
- Carls, P., Valenzuela-Ríos, J.I., Pocoví, A. and Lago, M. 2002a. Geology of the Iberian Cordillera, with emphasis on Hercynian and Alpine tectonics. In: García-López, S. and Bastida, F. (eds.). *Palaeozoic conodonts from Northern Spain*. Instituto Geológico y Minero de España, serie Cuadernos del Museo Geominero, 1. 261-280.
- Chen, D., Blom, H., Sánchez, S., Tafforeau, P., and Ahlberg, P. E. 2016. The stem osteichthyan *Andreolepis* and the origin of tooth replacement. *Nature*, 539 (7628), 237.
- Donoghue, P.C.J., Sansom, I.J. and Downs, J.P. 2006. Early evolution of vertebrate skeletal tissues and cellular interactions, and the canalization of skeletal development. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 306 (3), 278-294.
- Donoghue, P.C. and Rücklin, M. 2016. The ins and outs of the evolutionary origin of teeth. *Evolution & development*, 18 (1), 19-30.
- Dupret, V., Carls, P., Martínez-Pérez, C. and Botella, H. 2011. First Perigondwanan record of actinolepids (Vertebrata: Placodermi: Arthrodira) from the Lochkovian (Early Devonian) of Spain and its palaeobiogeographic significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 310 (3-4), 273-282.
- Ferrón, H. G. and Botella, H. 2017. Squamation and ecology of thelodonts. *PloS one*, 12 (2), e0172781.
- Forey, P. and Janvier, P. 1993. Agnathans and the origin of jawed vertebrates. *Nature*, 361 (6408), 129.
- Fraser, G.J., Cerny, R., Soukup, V., Bronner-Fraser, M. and Streelman, J.T. 2010. The odontode explosion: the origin of tooth-like structures in vertebrates. *Bioessays*, 32 (9), 808-817.
- Friedman, M. and Sallan, L. C. 2012. Five hundred million years of extinction and recovery: a Phanerozoic survey of large-scale diversity patterns in fishes. *Palaeontology*, 55 (4), 707-742.
- Ginter, M. 2008. Devonian filter-feeding sharks. *Acta Geologica Polonica*, 58 (2), 147-153.
- Goujet, D. 1984. Les poissons placodermes du Spitzberg: Arthrodira Dolichothoraci de la Formation de Wood Bay (Dévonien inférieur). *Cahiers de Paléontologie*. 316 pp.
- Goujet, D. and Blicq, A. 1979. Les vertébrés de l'Assise des Schistes et Grés de Pernes (Dévonien du Nord de la France). *Annales de la Société géologique du Nord*, 98 (4), 263-278.
- Hanke, G.F. and Wilson, M.V.H. 2010. The putative stem-group chondrichthyans *Kathemacanthus* and *Seretolepis* from the Lower Devonian MOTH locality, Mackenzie Mountains, Canada. *Morphology, phylogeny and paleobiogeography of fossil fishes*. Munich: Verlag Dr. Friedrich Pfeil, 159-182.
- Huysseune, A., Sire, J.Y. and Witten, P. E. 2009. Evolutionary and developmental origins of the vertebrate dentition. *Journal of Anatomy*, 214 (4), 465-476.
- Janvier, P. 1996. *Early vertebrates*. Oxford University Press, Oxford, 339 pp.
- Johanson, Z., Tanaka, M., Chaplin, N. and Simth, M. 2008. Early Palaeozoic dentine and patterned scales in the embryonic catshark tail. *Biology letters*, 4, 87-90.
- Kawasaki, K. 2009. The SCPP gene repertoire in bony vertebrates and graded differences in mineralized tissues. *Development genes and evolution*, 219 (3), 147.

- Kawasaki, K. and Weiss, K.M. 2006. Evolutionary genetics of vertebrate tissue mineralization: the origin and evolution of the secretory calcium-binding phosphoprotein family. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 306 (3), 295-316.
- Kawasaki, K., Suzuki, T. and Weiss, K. M. 2004. Genetic basis for the evolution of vertebrate mineralized tissue. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (31), 11356-11361.
- Liao, J. C., Ginter, M. and Valenzuela-Rios, J. I. 2007. Chondrichthyan microremains from the Givetian of the Aragonian Pyrenees (Spain). *Bulletin de la Société géologique de France*, 178 (3), 171-178.
- Long, J.A., Mark-Kurik, E., Johanson, Z., Lee, M.S., Young, G.C., Min, Z., Alhberg, P.E., Newman, M., Jones, R., den Blaauwen, J., Choo, B. and Trinajstić, K. 2015. Copulation in antiarch placoderms and the origin of gnathostome internal fertilization. *Nature*, 517 (7533), 196.
- Long, J.A., Trinajstić, K., Young, G.C. and Senden, T. 2008. Live birth in the Devonian period. *Nature*, 453 (7195), 650.
- Long, J.A. 1995. *The rise of fishes: 500 million years of evolution*. Baltimore, 223.
- Mader, H. 1986. Schuppen und Zähne von Acanthodien und Elasmobranchien aus dem UnterDevon Spaniens (Pisces). *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie*, 28, 1-59.
- Manzanares, E., Plá, C., Martínez-Pérez, C., Rasskin, D. and Botella, H. 2014. The enameloid microstructure of euselachian (Chondrichthyes) scales. *Paleontological Journal*, 48 (10), 1060-1066.
- Mark-Kurik, E. and Carls, P. 2002. A long-snouted Late Eifelian arthrodire from Aragón, Spain. *Revista Española de Paleontología*, 17 (1), 117-135.
- Märss, T., Turner, S. and Karatajūtė-Talimaa, V. 2007. *Handbook of Paleoichthyology. Volume 1B "Agnatha" II Thelodonti*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Martínez-Pérez, C., Dupret, V., Manzanares, E. and Botella, H. 2010. New data on the Lower Devonian chondrichthyan fauna from Celtiberia (Spain). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30 (5), 1622-1627.
- Rücklin, M., Donoghue, P.C., Johanson, Z., Trinajstić, K., Marone, F. and Stampanoni, M. 2012. Development of teeth and jaws in the earliest jawed vertebrates. *Nature*, 491 (7426), 748.
- Sansom, I.J., Smith, M.P., Armstrong, H.A. and Smith, M.M. 1992. Presence of the earliest vertebrate hard tissue in conodonts. *Science*, 256 (5061), 1308-1311.
- Schultze, H.-P. 1973. Crossopterygier mit heterozerker Schwanzflosse aus dem Oberdevon Kanadas, nebst einer Beschreibung von Onychodontida-Resten aus dem Mitteldevon Spaniens und aus dem Carbón der USA. *Palaeontographica, Abt. A*, 143, 188-208.
- Shimada, A., Kawanishi, T., Kaneko, T., Yoshihara, H., Yano, T., Inohaya, K., Kinoshita, M., Kamei, Y., Tamura, K. and Takeda, H. 2013. Trunk exoskeleton in teleosts is mesodermal in origin. *Nature Communications*, 4, 1639.
- Shu, D.G., Morris, S.C., Han, J., Zhang, Z. F., Yasui, K., Janvier, P., Chen, L., Zhang, X.-L. and Liu, H. Q. 2003. Head and backbone of the Early Cambrian vertebrate *Haikouichthys*. *Nature*, 421 (6922), 526.

- Sire, J.Y., Davit-Béal, T., Delgado, S. and Gu, X. 2007. The origin and evolution of enamel mineralization genes. *Cells Tissues Organs*, 186 (1), 25-48.
- Smith, M.M., Fraser, G.J. and Mitsiadis, T.A. 2009. Dental lamina as source of odontogenic stem cells: evolutionary origins and developmental control of tooth generation in gnathostomes. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 312 (4), 260-280.
- Sutton, M., Rahman, I. and Garwood, R. 2014. *Techniques for virtual palaeontology*. John Wiley & Sons. UK. 208 pp.
- Janvier, P. 1997. Vertebrata. Animals with backbones. Version 01 January 1997 (under construction). <http://tolweb.org/Vertebrata/14829/1997.01.01> in The Tree of Life Web Project, <http://tolweb.org/>
- Turner, S. 1984. *Studies on Palaeozoic Thelodonti (Craniata: Agnatha)* (Doctoral dissertation, University of Newcastle upon Tyne). University of Newcastle-upon-Tyne., United Kingdom, 223 pp.
- Turner, S. 1999. Wenlock–Lochkovian (Gedinian) thelodont assemblages and their possible ecological significance. 42-78. In: Boucat, A.J. and Lawson, J.D. (eds.) *Palaeocommunities: a case study from the Silurian and Lower Devonian. International Geological Correlation Programme, Project Ecostratigraphy, Final Report*. Cambridge, 895 pp.
- Valenzuela Ríos, J. I., & Botella, H. 2000b. Análisis comparativo de microvertebrados fósiles del límite Lochkoviense/Praguense (Devónico inferior) en la depresión axial del río Cámaras (cordillera Ibérica, provincia de Teruel). *Teruel*, 1 (88-89), 109-133.
- Valenzuela-Ríos, J.I. y Botella, H. 2000b. ¿Es posible una caracterización ictiológica del límite Lochkoviense/Praguense (Devónico Inferior) en Aragón?. En: Díez J.B. y Balbino, A.C. (eds.), I Congreso Ibérico de Paleontología, 297-298.
- Valenzuela-Ríos, J.I., Liao, J.-C., Pardo Alonso, M.V., Fernández-Martínez, E., Dojen, C., Botella, H., Rodríguez, S. y Cózar, P. 2006. El Devónico Inferior del Dominio Obejo-Valsequillo-Puebla de la Reina (Zona de Ossa-Morena): conodontos, braquiópodos, corales, ostrácodos y peces. *XXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, León, 240-241.
- Vieth, J. 1980. Thelodontier-, Acanthodier- und Elasmobranchier-Schuppen aus dem Unter-Devon der Kanadischen Arktis (Agnatha, Pisces). *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie*, 23, 1-69.
- Wada, H. 2010. Origin and genetic evolution of the vertebrate skeleton. *Zoologica Scripta*, 27 (2), 119-123.
- Wada, H., Okuyama, M., Satoh, N. and Zhang, S. 2006. Molecular evolution of fibrillar collagen in chordates, with implications for the evolution of vertebrate skeletons and chordate phylogeny. *Evolution & development*, 8 (4), 370-377.
- Wang, R. 1993. Taxonomie, Palökologie und Biostratigraphie der Mikroichthyolithen aus dem Unterdevon Keltiberiens, Spanien. *CFS. Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 161, 1-205.
- Zangerl, R. 1981. *Chondrichthyes (Handbook of Paleoichthyology Vol. 3A)*. New York, 113.
- Zhang, X.-G. and Hou, X.-G. 2004. Evidence for a single median fin-fold and tail in the Lower Cambrian vertebrate, *Haikouichthys ercaicunensis*. *Journal of Evolutionary Biology*, 17 (5), 1162-1166.
- Zylberberg, L., Geraudie J., Meunier F.J. and Sire J.Y. 1992 - Biomineralization in the integumental skeleton of the living lower Vertebrates. In Hall B.K. (ed.), *Bone*, 4: 171-224, CRC Press.



¿QUIÉN NADABA POR LOS MARES MESOZOICOS DE ARAGÓN?

Jara Parrilla-Bel¹

¹ Grupo Aragosaurus-IUCA, Departamento de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12. 50009 Zaragoza, España

jarapbel@gmail.com

Resumen: Se presenta una síntesis del registro fósil de reptiles marinos mesozoicos de Aragón. Aunque en general los restos son fragmentarios y poco diagnósticos, se han recuperado fósiles en las tres provincias aragonesas. En Estada (Huesca) se hallaron restos de *Lariosaurus balsami* del Triásico, especie de notosaurio bien conocida por la recuperación de varios ejemplares en distintos estadios ontogenéticos en Estada y Mont-ral-Alcover (Tarragona). Los fósiles hallados en Zaragoza son también muy escasos, y el ejemplar más importante es *Maledictosuchus riclaensis* del Jurásico, conocido por el cráneo y tres vértebras, con una conservación excepcional. Por último, la mayor parte de los fósiles aragoneses de reptiles marinos provienen de yacimientos de la provincia de Teruel. En esa provincia cabe destacar los yacimientos del Triásico localizados en la zona sur (Manzanera, Torrijas, Royuela), con restos de placodontos y notosaurios, y los yacimientos de la Formación Blesa, del Cretácico Inferior, en los municipios de Obón, Josa y Cortes de Aragón, donde se han hallado restos de plesiosaurios y crocodylomorfos.

Palabras clave: Crocodylomorpha, Plesiosauria, Reptiles marinos, Thalattosuchia.

Abstract: *A synthesis of the fossil record of Mesozoic marine reptiles of Aragon is presented. Remains are in general fragmentary and poorly diagnostic, albeit fossils have been recovered in the three provinces of Aragon. In Estada (Huesca), remains of Lariosaurus balsami were found, a notorious species well known for several specimens in different ontogenetic stages from Estada and Mont-ral-Alcover (Tarragona). The marine reptile fossils found in Zaragoza are very scarce, and the most important specimen is Maledictosuchus riclaensis, described from the skull and three vertebrae with exceptional conservation. Finally, most of the Aragonese fossils of marine reptiles come from several sites in the province of Teruel. In that province it is worth mentioning the Triassic deposits located in the southern zone (Manzanera, Torrijas and Royuela), that have yielded placodonts and notosaurs, and the sites of the Blesa Formation, of the Lower Cretaceous, in the municipalities of Obón, Josa and Cortes de Aragón, where plesiosaurs and crocodylomorphs have been found.*

Key words: *Crocodylomorpha, Marine reptiles, Plesiosauria, Thalattosuchia.*

INTRODUCCIÓN

Aragón es una región con abundancia en fósiles de vertebrados mesozoicos. El Mesozoico, periodo de tiempo que abarca desde hace unos 252 m.a. (millones de años) hasta hace 66 m.a., se conoce como la Era de los Dinosaurios, y es habitual encontrar en prensa y revistas científicas, noticias y publicaciones sobre investigaciones de dinosaurios aragoneses. Sin embargo, poco se sabe sobre los grandes “reptiles” marinos que convivieron en el tiempo con ellos.

Durante el Mesozoico, gran parte de Aragón estuvo sumergida bajo el mar, de manera que en numerosas zonas de la región afloran sedimentos depositados en plataformas marinas y llanuras costeras. Muchas de estas formaciones geológicas son ricas en restos fósiles y se han realizado numerosos estudios estratigráficos y de paleontología de invertebrados en ellas. Sin embargo, aunque más escasos, también aparecen restos de vertebrados, como peces o reptiles marinos, los cuales son en general poco conocidos. El grado de conservación de estos fósiles de vertebrados es muy variado, desde dientes y elementos postcraneales aislados (especialmente vértebras) hasta ejemplares con una conservación excepcional, como el ejemplar de *Lariosaurus balsami* de Estada (Huesca) o el holotipo de *Maledictosuchus riclaensis* de Ricla (Zaragoza).

¿Qué son los reptiles marinos?

La definición de reptil según el Diccionario de la lengua española es: *animales vertebrados, ovíparos u ovovivíparos, de temperatura variable y respiración pulmonar que, por carecer de pies o por tenerlos muy cortos, caminan rozando la tierra con el vientre; p. ej., la culebra, el lagarto y el galápago*. Según esta definición es difícil de imaginar que un dinosaurio o un pterosaurio (reptil volador) sean reptiles. Sin embargo, la segunda acepción es: *Clase de estos animales*. Esta segunda acepción hace referencia a los animales que comúnmente conocemos como reptiles, y a todos los amniotas actuales y fósiles más estrechamente relacionados con ellos que con los mamíferos (Figura 1).

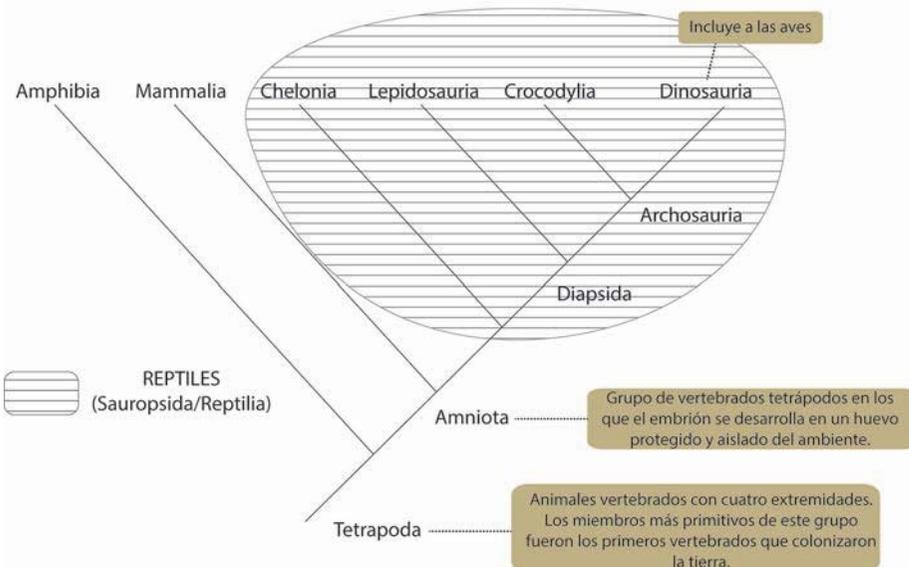


Figura 1. Cladograma simplificado de los vertebrados terrestres (tetrápodos), donde se señalan los grupos taxonómicos incluidos en el grupo (clado) Reptilia.

Los primeros vertebrados tienen su origen hace unos 530 m.a., en los mares del Cámbrico. Estos primeros vertebrados eran animales totalmente acuáticos, y no colonizaron la tierra hasta hace aproximadamente 370 m.a. El grupo de vertebrados que consiguió superar la barrera y habitar en tierra firme son los tetrápodos. El término tetrápodo hace referencia a las características de sus extremidades, en los cuales se produce el reemplazamiento de las 4 aletas de los peces por dos pares de patas. Este grupo incluye a anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Para lograr la supervivencia en el medio terrestre eran necesarias una serie de adaptaciones corporales que les permitiesen soportar el

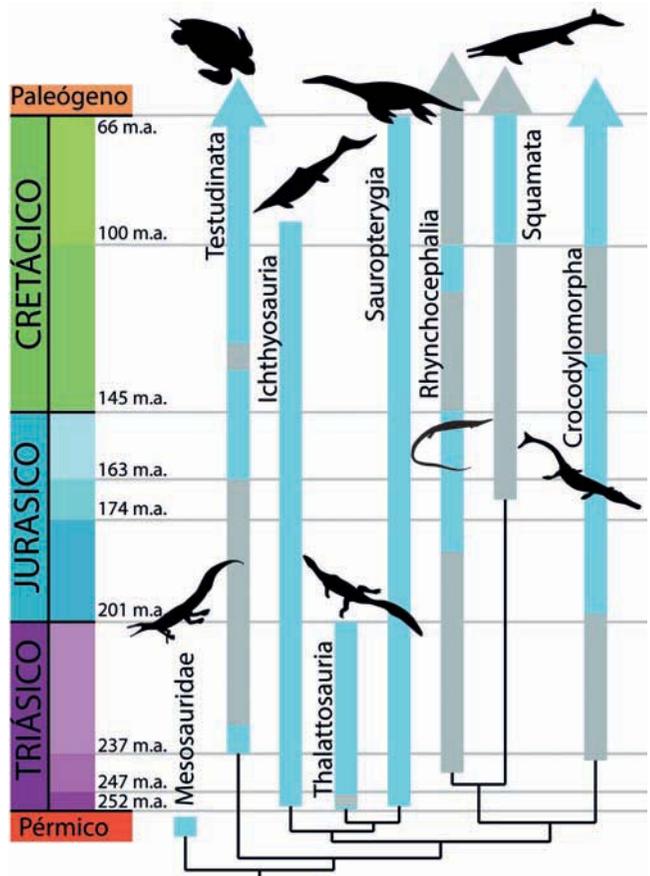


Figura 2. Relaciones filogenéticas de los reptiles marinos mesozoicos.

peso del cuerpo fuera del agua, además de modificaciones en el cráneo o en el oído, así como cambios en el tipo de respiración (pulmonar) para poder interactuar en el medio terrestre/aéreo y no sólo en el agua. Sin embargo, el desarrollo del huevo amniota (huevo protegido y aislado del ambiente durante su desarrollo) fue lo que permitió a algunos de estos tetrápodos desligarse completamente del agua. El desarrollo de este tipo de huevo se dio en reptiles, aves y mamíferos, característica que no adquirieron los anfibios, quienes necesitan del medio acuático para evitar la deshidratación de los huevos y las larvas.

Durante el Mesozoico, muchos de estos tetrápodos terrestres adquirieron nuevamente adaptaciones acuáticas en su anatomía. Estos nuevos vertebrados acuáticos que evolucionan a partir de formas terrestres son los denominados vertebrados acuáticos secundarios. Dentro de los vertebrados acuáticos secundarios, algunos ocuparon los ambientes de agua dulce, mientras que otros adquirieron también adaptaciones para sobrevivir en medios salinos, como por ejemplo métodos de regulación de la salinidad del agua del mar en el organismo (glándulas de la sal), lo que les permitió colonizar de nuevo el medio marino. Con el tiempo, se diversificaron sistemática y ecológicamente y llegaron a dominar los mares, igual que los dinosaurios dominaron el medio terrestre.

Por lo tanto, el término “Reptiles marinos” no designa a un grupo taxonómico concreto, sino que incluye a las formas marinas secundarias de distintos grupos de reptiles (Figura 2).

En la actualidad solo existen cuatro grupos de reptiles marinos: cocodrilos, lagartos (iguana), tortugas y serpientes (Graham *et al.*, 1987; Ogamba y Abowei, 2012). Sin embargo, aproximadamente 20 linajes distintos de reptiles se adaptaron de forma independiente al medio marino en el Mesozoico (Carroll, 1997). Desde su descubrimiento a finales del s. XVII y principios del s. XVIII, el registro fósil de los reptiles marinos ha aumentado de manera exponencial, habiéndose encontrado en todos los continentes.

Los mesosáuridos son los reptiles marinos más antiguos conocidos, teniendo su primera aparición en el Pérmico (Carroll, 1969). Poco a poco, los mares fueron ocupados por notosaurios, placodontos, talosaurios, ictiosaurios, plesiosaurios, mosasaurios (escamosos), talatosuquios (crocodilomorfos) y quelonios. Algunos de estos grupos, como los ictiosaurios, plesiosaurios y talosaurios eran exclusivamente marinos y se extinguieron durante el Mesozoico, mientras que otros, como quelonios (tortugas), crocodilomorfos, esfenodontes (tuátaras) y escamosos (que incluye a los mosasaurios, así como a los actuales lagartos, camaleones, iguanas, serpientes y culebras), han contado con representantes marinos en distintos momentos a lo largo de su historia evolutiva y, aunque casi de manera simbólica, cuentan también con representantes actuales (Bardet *et al.*, 2014) (Figura 2).

REPTILES MARINOS DEL MESOZOICO

Los principales grupos de reptiles marinos mesozoicos son talosaurios, tortugas, ictiosaurios, plesiosaurios, cocodrilos, escamosos y esfenodontes.

Thalattosauria

Los talosaurios vivieron durante el Triásico Medio y Superior (Figura 3). Se dividen en dos linajes: unos poseen dientes afilados, adaptados a una dieta piscívora, y otros con dientes redondeados, típicos de la dieta durófaga, compuesta por animales de concha dura. Este grupo de reptiles marinos, de tamaño medio a grande (de 1 a 4.4 m de longitud), se caracteriza por poseer cuerpo estilizado, una cola muy larga y aplanada y extremidades cortas no especializadas para la locomoción acuática (Fraas, 1902), con un modo de locomoción anguiliforme, es decir, a partir de movimientos ondulatorios del cuerpo y la cola (Bardet *et al.*, 2014).

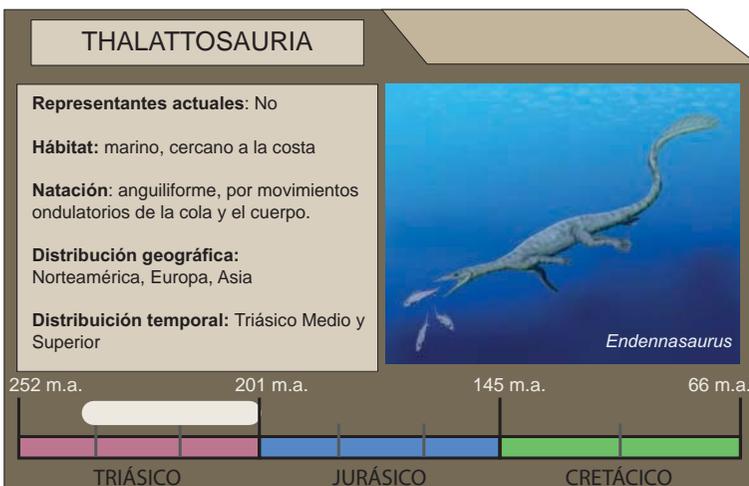


Figura 3. Thalattosauria. Reconstrucción de *Endennasaurus acutirostris*, thalattosaurio del Triásico Superior de Italia. Autor: Nobu Tamura; CC BY 3.0.

Testudinata

Las tortugas son uno de los grupos de reptiles marinos más exitosos que han existido, siendo el único grupo actual de reptiles acuáticos que está totalmente adaptado al medio marino (Callaway y Nicholls, 1997). Aparecieron hace más de 200 millones de años, en el Triásico Superior, y a lo largo del tiempo se han producido varias radiaciones independientes de tortugas marinas (Figura 4). Las tortugas se caracterizan por poseer un patrón o plan corporal (*bauplan*) exclusivo, que incluye el desarrollo de caparazón, de forma que los elementos de la cintura escapular y pélvica están situados en el interior de la caja torácica. El grupo más exitoso de tortugas marinas, y uno de los pocos grupos de reptiles marinos en sobrevivir a la extinción del final de Cretácico es Chelonioidea, superfamilia que comprende tanto formas fósiles como varias especies actuales. Se caracteriza por la modificación y alargamiento de sus extremidades delanteras en grandes palas con forma de remo, que utilizan como órganos de propulsión, con un modo de natación denominado *underwater flight* (vuelo bajo el agua) por su similitud con el movimiento de las alas de las aves al volar.

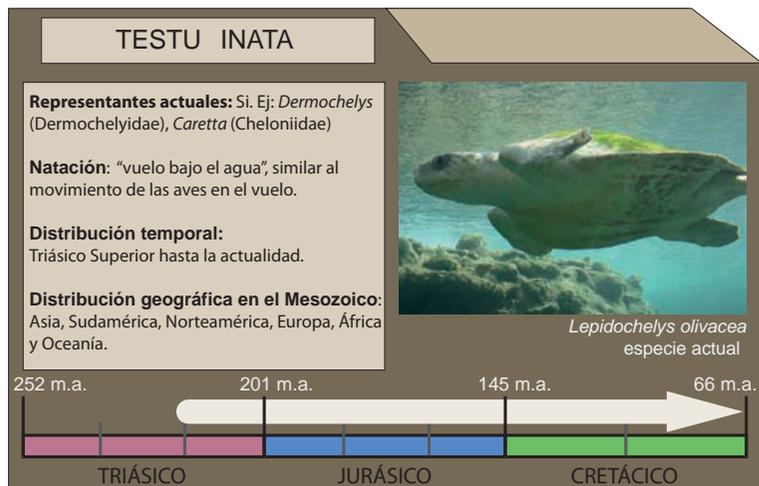


Figura 4. Testudinata. Imagen de la especie actual de tortuga marina *Lepidochelys olivacea*. Fotografía de Thierry Caro; CC BY-SA 3.0.

Ichthyopterygia

Ichthyopterygia significa “aletas de pez” y es el grupo que incluye a los ictiosaurios (“pez lagarto”) y sus ancestros. Aparecieron en el Triásico y se extinguieron a principios del Cretácico Superior (Figura 5). La morfología de los ictiosaurios recuerda mucho a la de los tiburones, con el cuerpo fusiforme, rostro alargado, las extremidades transformadas en aletas, cola bilobulada y presencia de aleta dorsal. Los más derivados tenían ojos de gran tamaño, los mayores ojos conocidos en vertebrados (Motani, 1999). No se conocen formas terrestres o semiacuáticas dentro de este grupo, ya que incluso los ictiosaurios más primitivos conocidos hasta el momento estaban totalmente adaptados a la vida marina (Callaway y Nicholls, 1997). Los ictiosaurios alcanzaron su máxima diversidad en el Triásico Superior, con morfologías, formas de alimentación y tamaños muy variados, con especies de tamaños inferiores a 1 metro, a otras que superarían los 20 m (Bardet *et al.*, 2014).

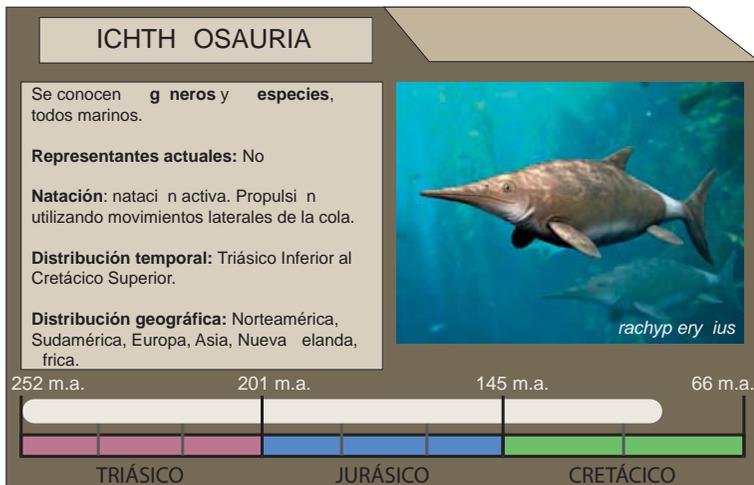


Figura 5. Ichthyosauria. Reconstrucción de *Brachypterygius extremus*, ictiosaurio del Jurásico Superior de Inglaterra. Autor: Nobu Tamura; CC BY-SA 4.0.

Sauropterygia

Es el grupo más numeroso de reptiles marinos mesozoicos (Figura 6). Habitaron los mares durante más de 180 millones de años y se divide en dos linajes principales: Placodontia y Eusauropterygia (grupo que incluye a los plesiosaurios y los notosaurios) (Morani, 2009). Los placodontos vivieron en el Mar de Tetis en el Triásico y se dividen en dos grupos en función de la presencia o ausencia de caparazón. Por otro lado, los eusauropterigios tuvieron una gran distribución geográfica y temporal, con una distribución global a lo largo de casi 185 millones de años, y que representa un clado muy diversificado de animales gráciles con cuellos largos (Bardet *et al.*, 2014). Aparecieron en el Triásico y se extinguieron a la vez que los dinosaurios, al final de Cretácico.

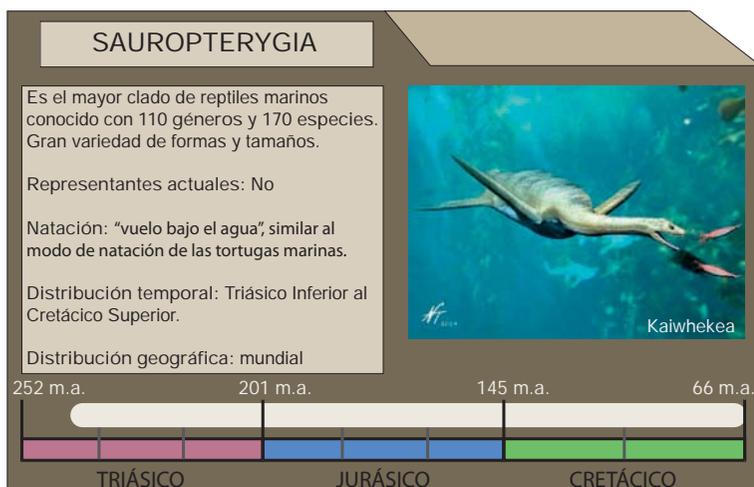


Figura 6. Sauropterygia. Reconstrucción de *Kaiwhekea katiki*, Plesiosaurio del Cretácico Superior de Nueva Zelanda. Autor: Nobu Tamura; CC BY-SA 4.0.

La distribución temporal de los notosaurios se restringe exclusivamente al Triásico. Se trata de animales de cuerpo y cola largos que podían alcanzar hasta los 3-4 metros de longitud, muchos de ellos con un modo de vida anfibio. Tenían el cuello también largo y la cabeza alargada y plana, con numerosos y afilados dientes, indicativo de una dieta basada fundamentalmente en peces y cefalópodos. El grupo más derivado dentro de Eusauropterygia es el clado Plesiosauria. Los plesiosaurios aparecieron en el Triásico Superior, hace aproximadamente 200 m.a., y se extinguieron hace 66 m.a. (Bakker, 1993). Durante este periodo de tiempo, cerca de 135 m.a., alcanzaron una distribución global (Benson *et al.*, 2010; Bardet *et al.*, 2014). Los plesiosaurios estaban totalmente adaptados a la vida acuática. Sus cuerpos eran hidrodinámicos, poseían tanto las extremidades anteriores como las posteriores modificadas en forma de grandes aletas y una cola corta, en ocasiones con una pequeña aleta caudal. El tamaño de la cabeza y la longitud del cuello varía enormemente dentro del grupo, con formas de cabeza grande y cuello corto (pliosauromorfos), formas de cabeza pequeña y largos cuellos (plesiosauromorfos), así como morfologías intermedias entre ambos extremos (O’Keefe, 2002). El tamaño del cuerpo y el tipo de alimentación (inferido a partir de la morfología craneal y dental y del contenido estomacal) también es muy variable entre los plesiosaurios (Massare, 1987). Plesiosauria se ha considerado como uno de los clados de vertebrados acuáticos más exitoso, reflejado en parte en su gran diversidad taxonómica (Ketchum y Benson, 2010).

Squamata

Los escamosos aparecieron en el Jurásico Medio, y actualmente es el grupo de reptiles más diverso, con más de 9400 especies, la mayor parte de agua dulce, pero también con algunas de ellas marinas (Bardet *et al.*, 2014). Incluye los lagartos, camaleones, iguanas y formas afines, las serpientes y las culebrillas ciegas. Al final del Mesozoico, en el Cretácico Superior, aparecieron los mosasauros (Figura 7). Estos reptiles marinos alcanzaron una distribución global (Motani, 2009), y con la desaparición de los ictiosaurios y pliosaurios (Plesiosauria, Sauropterygia) probablemente se convirtieron en los depredadores marinos dominantes. Desaparecieron hace 66 millones de años, en la extinción del límite Cretácico/Terciario (límite K/T).

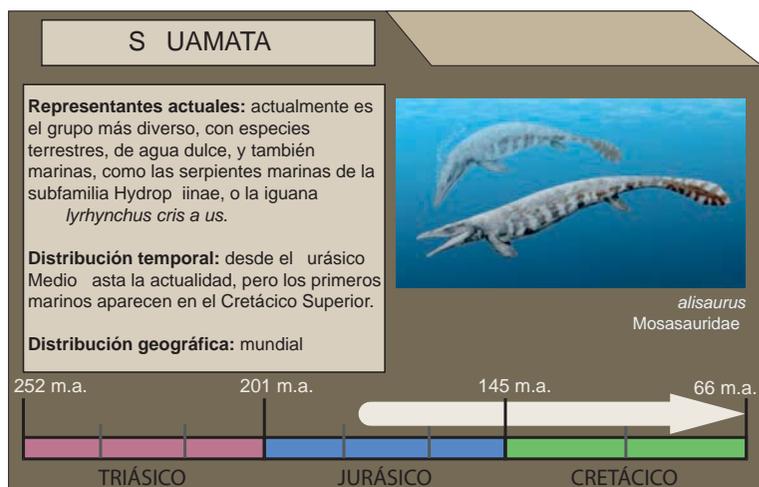


Figura 7. Squamata. Reconstrucción de *Halisaurus arambourgi*, mosasauro del Cretácico Superior de Marruecos. Autor: Nobu Tamura; CC BY 3.0.

Tenían una morfología similar a la de los varanos actuales, con cuerpo anguiliforme y cráneo grande y alargado, pero totalmente adaptados a la vida acuática. La gran variedad de formas y tamaños refleja un amplio rango de adaptaciones ecológicas, desde pequeños animales piscívoros hasta grandes depredadores oportunistas, de hasta 15 m de longitud, o formas durófagas robustas (Bardet *et al.*, 2014).

Rhynchocephalia (Sphenodontia)

Se trata de un clado de reptiles de pequeño a medio tamaño, con un único representante actual, *Sphenodon*, que incluye dos especies, ambas con modo de vida terrestre (Figura 8). Al menos dos veces a lo largo de su historia este grupo se especializó hacia un modo de vida marino, en el Jurásico y en el Cretácico Inferior (Bardet *et al.*, 2014).

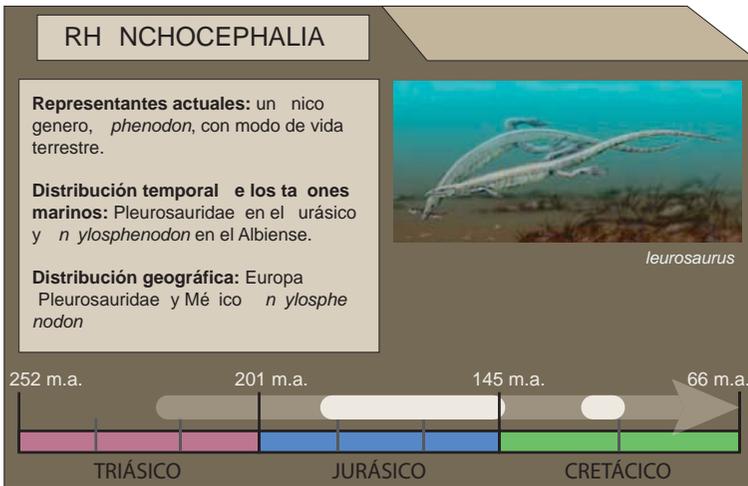


Figura 8. Rhynchocephalia. Reconstrucción de *Pleurosaurus goldfussi*, esfenodonto del Jurásico Superior de Europa (Francia y Alemania). Autor: Nobu Tamura; CC BY 3.0.

Crocodylomorfa

Crocodylomorpha fue uno de los primeros grupos de reptiles fósiles en ser descubierto y estudiado (Buffetaut, 1987). Los cocodrilos han sido considerados popularmente como fósiles vivientes, ya que algunos miembros han mantenido una morfología corporal similar a lo largo de la historia del grupo, prácticamente desde que surgió hasta la actualidad (Ross, 1989); sin embargo, fue un clado muy diverso morfológica y ecológicamente durante el Mesozoico, desde pequeñas formas terrestres, como *Sphenosuchus* (Walker, 1990), a formas acorazadas como *Armadillosuchus* (Marinho y Carvalho, 2009), o especies totalmente marinas como por ejemplo, *Neptunidraco* (Cau y Fanti, 2011).

Numerosos linajes de crocodylomorfos a lo largo de la historia han derivado en distintos momentos en formas marinas o estuarinas, como los talatosuquios, tetisuquios, gavialoideos, o el único representante marino actual, *Crocodylus porosus*.

Los talatosuquios ocuparon los mares desde el Jurásico Inferior al Cretácico Inferior, y durante este tiempo se dispersaron y diversificaron prácticamente por todo el mundo (Wilkinson *et al.*, 2008) (Figura 9). Thalattosuchia se divide en Teleosauroidea y Metriorhynchoidea.

Ambas superfamilias están representadas por especies de cuerpos largos y estrechos y cola musculosa que facilitarían los movimientos en el agua. Los teleosáuridos son más primitivos y estarían menos especializados en su adaptación al medio marino; los metriorrínquidos, en cambio, son los crocodylomorfos mejor adaptados a este medio, siendo el único grupo de arcosaurios que pobló de nuevo los mares, con un modo de vida pelágico (Steel, 1973). Estos crocodylomorfos marinos adquirieron una serie de adaptaciones acuáticas, convergentes con otros amniotas marinos, como extremidades en forma de aleta modificadas para la natación, cola heterocerca (asimétrica), hipocerca (con el lóbulo inferior más largo), y cráneo y cuerpos hidrodinámicos (Fraas, 1902). A estas modificaciones en el esqueleto se le suma la presencia de glándulas de la sal, mecanismo de regulación extrarrenal (Fernández y Gasparini, 2000).

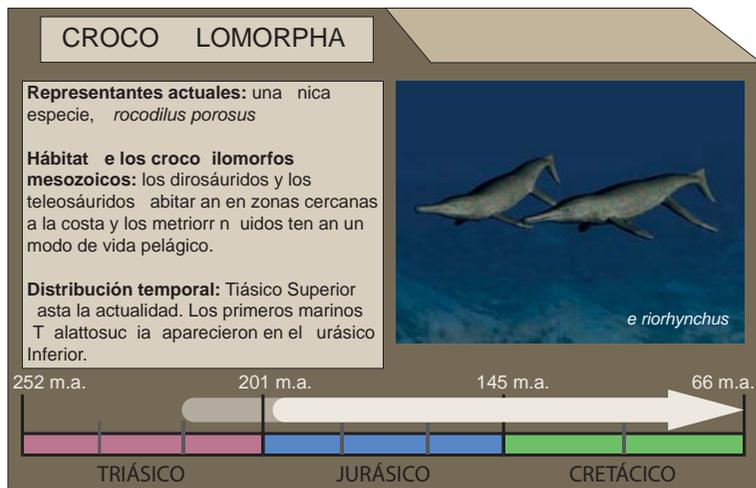


Figura 9. Crocodylomorpha. Reconstrucción de *Metriorhynchus superciliosus*, talatósucio del Jurásico Medio-Superior de Europa. Autor: Nobu Tamura; CC BY 3.0.

Tethysuchia (Neosuchia) es el clado que engloba a Pholidosauridae, Dyrosauridae y probablemente Elosuchidae. Todos ellos son “cocodrilos” acuáticos o semiacuáticos, con la aparición de algunas formas marinas hacia el final del Mesozoico y principio del Cenozoico (Young *et al.*, 2014a). Fue uno de los grupos de crocodylomorfos que sobrevivió a la extinción masiva del final del Cretácico y que experimentó una importante radiación y diversificación durante el Paleoceno y el Eoceno con el clado Dyrosauridae (Buffetaut, 1976). Los dirosáuridos tienen un aspecto similar al de los gaviales, con grandes ventanas supratemporales, y rostros largos y finos con numerosos dientes, adaptados a una dieta piscívora. Están descritos desde el Maastrichtiense (Cretácico Superior) en África, y los restos más modernos son del Eoceno Inferior (Jouve, 2005). En general, los dirosáuridos son crocodylomorfos marinos, ligados a zonas costeras, poco profundas, con un tipo de natación axial, similar a la de los cocodrilos actuales, pero con los músculos de la cola mucho más desarrollados, lo cual mejoraría la movilidad dentro del agua (Schwarz-Wings *et al.* 2009). También se han encontrado formas adultas ligadas a zonas de agua dulce (Hastings *et al.*, 2011). Pholidosauridae es un grupo poco conocido de crocodylomorfos y tiene tanto formas marinas (*Terminonaris* y *Oceanosuchus*) como de agua dulce. Quizás el representante más conocido sea *Sarcosuchus*, el famoso cocodrilo gigante del Cretácico Inferior (Serenó *et al.*, 2001).

REPTILES MARINOS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

En la Península Ibérica, el registro de reptiles marinos se extiende desde el Triásico Medio hasta el Cretácico Superior y, aunque la mayor parte del material es aislado y fragmentario y difícilmente asignable por debajo de Familia, hay representación de prácticamente todos los clados principales (Bardet *et al.*, 2008).

La primera mención sobre un fósil de reptil marino en la Península data de la segunda mitad del s. XIX. Fue el ingeniero de minas Guillermo Schulz (1858) quien citó la presencia de partes del esqueleto y aletas de un plesiosaurio, procedentes de Villaviciosa, en su publicación “Descripción de la provincia de Oviedo”, donde también aparece el primer mapa geológico de la región. Unos años más tarde, Sauvage (1897-1898) publicó los primeros restos de este grupo en Portugal. Existen también algunas citas clásicas en las que se nombran restos de plesiosaurios e ictiosaurios (Calderón 1876; Vidal, 1915a, b). Sin embargo, a pesar de haber pasado más de un siglo desde entonces, el conocimiento sobre el registro de reptiles marinos en España sigue siendo muy escaso y poco conocido. El reptil marino mejor conocido en el registro ibérico es el notosaurio *Lariosaurus balsami*, representado por numerosos esqueletos en diferentes estados de desarrollo ontogenético, provenientes del Muschelkalk (Triásico Medio) de Mont-ral-Alcover (Tarragona) y Estada (Huesca) (Rieppel y Hagdorn, 1998); mientras que los restos más abundantes en la Península, a nivel de género y especie, son los mosasaurios, que provienen en su mayoría de la región Vasco-Cantábrica (Bardet *et al.*, 1997).

Hasta la fecha se han definido dos nuevos reptiles marinos a partir de material de España: *Nothosaurus cymatosauroides* (Sanz, 1983) (Sauropterygia, Nothosauridae), del Ladiniense (Triásico) de Mont-ral-Alcover (Tarragona), y *Maledictosuchus riclaensis* Parrilla-Bel *et al.* (2013), del Calloviense (Jurásico) de Ricla (Zaragoza).

Triásico

En general, el registro de reptiles marinos triásicos en España es escaso y la mayoría de los restos consisten en elementos aislados, generalmente atribuidos a notosaurios, paquipleurosaurios y placodontos indeterminados. Se han encontrado restos en Aragón, Baleares, Castilla la Mancha, Castilla-León y Cataluña (Bardet *et al.*, 2008; Miguel Cháves *et al.*, 2015 y referencias allí; Miguel Cháves *et al.*, 2016). Además de los ejemplares citados anteriormente de *Lariosaurus balsami* hallados en Estada (Sanz, 1976) y en Mont-ral-Alcover (Sanz, 1983), en este último yacimiento se han identificado restos de *Ceriosaurus*, pistosaurios, placodontos, paquipleurosaurios, y probablemente talosaurio, y se ha definido la especie de sauropterigio *Nothosaurus cymatosauroides* (Sanz, 1983). También se ha citado la presencia de *Nothosaurus* sp. en Royuela (Teruel) y Bienservida-Villarodrigo (Albacete). En el Keuper (Triásico Superior) de El Atance (Guadalajara) se han descrito restos probablemente de un taxón cercano a *Simosaurus* (Sauropterygia) (Bardet *et al.*, 2008). Quesada *et al.* (2009) atribuye varias vértebras aisladas halladas en Sigüenza (Guadalajara) a un notosaurio indeterminado, y varios esqueletos a *Simosaurus*. Se han identificado restos de placodontos en el Muschelkalk de numerosas localidades de Castilla la Mancha, como Bienservida-Villarodrigo, Valdemeca, Riba de Santiuste-Tordelrábano, Rillo de Gallo, Cañete, Boniches o Alcázar de San Juan, y en Torrijas y Royuela en Teruel (Bardet *et al.*, 2008). Pinna (1990) asigna una costilla aislada proveniente del Landiniense de Henarejos (Cuenca) al género de placodonto *Paraplocodus*. Navarro-Lorbés *et al.* (2016) describen una vértebra de eosauropterigio del Keuper de Alpartir (Zaragoza). Los restos de ictiosaurios son prácticamente desconocidos en España, siendo

más numerosos en Portugal, pero en su mayoría son restos aislados y poco diagnósticos. En España se han descrito algunos restos triásicos, del Landiniense de Collbató (Barcelona) que probablemente pertenecen a un ictiosaurio durófago (Fortuny *et al.*, 2011). También se han descrito restos de ictiosaurios en Manzanera (Teruel), donde han aparecido además restos de placodontos y notosaurios (Rubio *et al.*, 2003; Miguel Chaves *et al.*, 2015).

Jurásico

Asturias es uno de los lugares más ricos de la Península en reptiles marinos del Mesozoico. Schulz (1858) cita en esta región los primeros restos fósiles de España. Suárez Vega menciona, en 1974, vértebras cervicales de un ictiosaurio en el Jurásico Inferior (Pliensbachien) de Santa Mera (Villaviciosa, Asturias), pero no es hasta la segunda mitad de los 90 cuando empiezan a recuperarse restos óseos de forma sistemática (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2006) (Figura 10). A partir de los años 90, se recuperaron restos pertenecientes a ictiosaurios, plesiosaurios, quelonios y crocodilomorfos, de las formaciones Gijón (miembro superior, Hettangiense-Sinemuriense inferior), Rodiles (Miembro Santa Mera, Pliensbachien-Bajociense inferior), Tereñes y Lastres (Kimmeridgiense) de Asturias (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2006). Latorre-Macarrón *et al.* (2005) describieron el primer resto de reptil marino en el Jurásico del sector occidental de la rama aragonesa de la cordillera Ibérica, en Soria. Se trata de una vértebra aislada y parcialmente erosionada que atribuyeron a un ictiosaurio. En

Figura 10. MUJA, Museo Jurásico de Asturias, en Colunga, donde permanece depositada la mayor colección de reptiles marinos de la Península, provenientes de múltiples yacimientos asturianos. Fotografía de Noemí García García.



cuanto a crocodilomorfos marinos, Boscá (1903) publicó la descripción de un fragmento de rostro de un teleosáurido jurásico hallado en Buñol (Valencia). Sauvage (1897-98) cita restos de *Machimosaurus* en Cáceres y Badajoz, y Lapparent (1966) *Thalattosuchia* indet. en Logroño. Casanovas-Cladellas y Calzada (1976) estudiaron un fragmento de maxilar de teleosáurido del Dogger de Obón (Teruel) y, más tarde, Buscalioni (1986) lo clasifica como *Thalattosuchia* indet. También en el Jurásico Superior de Asturias se han encontrado numerosos restos de talatosuquios; sin embargo, la mayoría de ellos permanecen sin estudiar (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2010). Martínez *et al.* (1995) describió un ejemplar prácticamente completo (restos postcraneales) de *Teleosauridae* indet. Ruiz-Omeñaca *et al.* (2007, 2010) describieron dientes aislados hallados en varios afloramientos en los acantilados de Colunga y Ribadesella, asignados a *Thalattosuchia* indet. y cf. *Machimosaurus* sp., y Young *et al.* (2014b)

asignaron tres dientes a *Machimosaurus hugii*. También se han citado fragmentos craneales de un metriorrínquido de Griegos (Buscalioni, 1986) y restos craneales de un crocodylomorfo marino en Ariño (Canudo, 2011), ambos de la provincia de Teruel. En 1994, C. Gonzalbo, C. Laplana y M. Soria, recuperaron un cráneo de metriorrínquido, de edad Calloviense, en la localidad de Ricla (Zaragoza). Se trata del holotipo de *Maledictosuchus riclaensis*, un cráneo de preservación excepcional, que tiene gran relevancia en Aragón y ha sido citado y figurado en numerosos trabajos (Parrilla-Bel *et al.*, 2013).

Cretácico

Los fósiles de reptiles marinos del Cretácico Inferior en la Península Ibérica son realmente escasos, principalmente representados por restos aislados y fragmentarios de vértebras y dientes (Bardet *et al.*, 2008). Se han descrito restos aislados de plesiosaurios en el Barremiense de varias localidades turolenses (Galve, Castellote, Josa, Obón, Cortes de Aragón), Aptiense de Morella (Castellón), en el Albiense-Cenomaniense de Jabaloyas (Teruel) (Yagüe *et al.*, 2003; Ruiz-Omeñaca, 2006; Jorquera Grau *et al.*, 2009; Parrilla-Bel y Canudo, 2015b). También se ha citado la presencia de folidosáuridos en el Hauteriviense-Barremiense de Galve y en Ortigosa de Cameros (La Rioja) que necesitan ser revisados (Bardet *et al.*, 2008), así como restos de un talatosuquio hallado en el Berriasiense inferior de las cordilleras Béticas, en Sur de Bedmar (Jaén) (Gea *et al.*, 2001). Royo y Gómez (1927) citan unos dientes asignados a *Steneosaurus* aff. *obtusidens* y *Machimosaurus* sp. en el Weald de Benageber (Valencia); sin embargo este material se perdió, por lo que es imposible confirmar su asignación. En Teruel, se han citado restos de *Thalattosuchia* indet. en Alcalá de la Selva (Lapparent, 1966), y dientes asignados a aff. *Machimosaurus* en el Barremiense de Allepuz (Gasca *et al.*, 2011), que también deberían ser revisados. En cuanto a tortugas marinas, se han descrito restos en el yacimiento de Las Hoyas (Cuenca) de edad Barremiense (Cretácico inferior).

Los restos de reptiles marinos del Cretácico Superior hallados en la península corresponden prácticamente en su totalidad con mosasáuridos provenientes de distintos yacimientos de la región Vasco-Cantábrica, donde se han identificado al menos 5 géneros de mosasáuridos: *Mosasaurus*, *Tylosaurus*, *Leiodon*, *Prognathodon* y *Platecarpus* (Bardet *et al.*, 2008). Se han identificado también restos de tortugas marinas en el Santoniense (Cretácico Inferior) de San Pantaleón de Losa (Burgos) (Pérez-García y Gascó, 2010).

REPTILES MARINOS MESOZOICOS DE ARAGÓN

El registro de reptiles marinos en Aragón abarca desde el Triásico Medio hasta el Cretácico Inferior. Como se ha comentado en el apartado anterior, los fósiles hallados hasta la fecha son en general escasos, fragmentarios y poco diagnósticos, pero poco a poco la colección y el conocimiento de estos reptiles marinos se va incrementando. Se han identificado restos de crocodylomorfos, sauropterigios e ictiopterigios. La tabla 1 recoge todo el material de reptiles marinos mesozoicos de Aragón, que han sido descritos o citados en trabajos previos.

Manzanera (Teruel) es uno de los lugares que mayor diversidad de restos de reptiles marinos triásicos ha proporcionado en la Península Ibérica (Miguel Cháves *et al.*, 2015; Rubio *et al.*, 2003) (Figura 11). Los restos provienen de las facies Keuper y han sido asignados a *Simosaurus*, *Cyamodontoidea* indet. e *Ichthyosauria* indet.

Los restos de vertebrados del Jurásico son muy escasos, a pesar de la riqueza paleontológica de invertebrados de esta edad en la cordillera Ibérica, y todos ellos pertenecen a crocodylomorfos.

| | TAXÓN | MATERIAL | EDAD | LOCALIZACIÓN | REFERENCIA |
|-----------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|---|
| TRIÁSICO | | | | | |
| Sauropterygia | Cyamodontoidea indet. Placodontia | Osteodermos | facies Muschelkalk (Triásico Medio) | Manzanera (Teruel) | Miguel Chaves <i>et al.</i> (2015); Rubio <i>et al.</i> (2003) |
| | Placodontia indet. | | facies Muschelkalk (Triásico Medio) | Torrijas (Teruel) | Bardet <i>et al.</i> (2008) |
| | Placodontia indet. | | facies Muschelkalk (Triásico Medio) | Royuela (Teruel) | Bardet <i>et al.</i> (2008) |
| | Eusauropterygia indet. | Vértebra caudal (MPZ 206/107) | facies Keuper (Triásico Superior) | Alpartir (Zaragoza) | Navarro-Lorbés <i>et al.</i> (2016) |
| | <i>Lariosaurus balsami</i> Nothosauria | | Ladiniense (Triásico Medio) | Estada (Huesca) | Sanz (1976) |
| | <i>Nothosaurus</i> sp. Nothosauria | | facies Muschelkalk (Triásico Medio) | Royuela (Teruel) | Bardet <i>et al.</i> (2008) |
| | <i>Nothosaurus</i> sp. Nothosauria | | Carniense (Triásico Superior) | Manzanera (Teruel) | Miguel Chaves <i>et al.</i> (2015); Rubio <i>et al.</i> (2003) |
| | <i>Simosaurus</i> sp. Nothosauroida | Centros vertebrales, espinas neurales y fragmentos de costillas | Carniense (Triásico Superior) | Manzanera (Teruel) | Miguel Chaves <i>et al.</i> (2015); Rubio <i>et al.</i> (2003) |
| Ichthyopterygia | Ichthyosauria indet. | Vértebras | Carniense (Triásico Superior) | Manzanera (Teruel) | Miguel Chaves <i>et al.</i> (2015); Rubio <i>et al.</i> (2003) |
| JURÁSICO | | | | | |
| Crocodylomorpha Thalattosuchia | Thalattosuchia indet. | Cráneo incompleto | Jurásico | Ariño (Teruel) | Canudo (1998, 2011) |
| | Thalattosuchia indet. | Maxilar derecho | Toarciense (Jurásico Inferior) | Obón (Teruel) | Casanovas-Cladellas y Calzada-Badía (1976), Buscalioni (1986) |
| | <i>Maledictosuchus riciensis</i> Metriorhynchidae | Cráneo y tres vértebras (MPZ 2001/130) | Calloviense (Jurásico Medio) | Ricla (Zaragoza) | Parrilla-Bel <i>et al.</i> (2013); Parrilla-Bel y Canudo (2015) |
| | ¿ <i>Geosaurus</i> Metriorhynchidae | Restos craneales | Jurásico Superior | Griegos (Teruel) | Buscalioni (1986b), Gea <i>et al.</i> (2001) |
| Reptil marino | Indeterminado | Disco intervertebral (MNCN 58644) | Jurásico | Sierra de Albarracín (Teruel) | Pérez-García y Gascó (2010) |
| CRETÁCICO | | | | | |
| Sauropterygia | Plesiosauria indet. | | Barremiense (Cretácico Inferior) | Galve (Teruel) | Ruiz-Omeñaca (2006) |
| | Plesiosauria indet. | | Barremiense (Cretácico Inferior) | Castellote (Teruel) | Ruiz-Omeñaca (2006) |
| | Plesiosauria indet. | | Barremiense (Cretácico Inferior) | Las Parras de Castellote (Teruel) | Ruiz-Omeñaca (2006) |
| | Plesiosauridae indet. Plesiosauria | Vértebra caudal (MPZ 2013/396) | Barremiense (Cretácico Inferior) | Cortes de Aragón (Teruel) | Parrilla-Bel y Canudo (2015b) |
| | Plesiosauridae indet. Plesiosauria | Vértebras cervicales, pectoral, caudal y diente (MPZ 2013/398, 402, 401, 399, 407) | Barremiense (Cretácico Inferior) | Josa (Teruel) | Parrilla-Bel y Canudo (2015b) |
| | Plesiosauridae indet. Plesiosauria | Vértebra cervical, dorsal, sacra y diente (MPZ 2013/400, 403, 405, 404) | Barremiense (Cretácico Inferior) | Obón (Teruel) | Parrilla-Bel y Canudo (2015b) |
| | Plesiosauridae indet. Plesiosauria | Vértebra cervical (MPZ 2013/406) | Barremiense (Cretácico Inferior) | Formación Blesa (¿) (Teruel) | Parrilla-Bel y Canudo (2015b) |
| | Plesiosauridae indet. Plesiosauria | Vértebra cervical (CPT-3298) | Albiense-Cenomaniense (Cretácico Inferior-Superior) | Jabaloyas (Teruel) | Royo-Torres y Cobos (2008) |
| Crocodylomorpha | Thalattosuchia indet. | Tres vértebras y fragmentos óseos | Cretácico Inferior | Alcalá de la Selva (Teruel) | Bardet <i>et al.</i> (2008) |
| | Crocodylomorpha indet.? | Fragmento craneal | Barremiense (Cretácico Inferior) | Josa (Teruel) | Parrilla-Bel <i>et al.</i> (2012). Actualmente en estudio |
| | Crocodylomorpha indet. | Fragmentos rostro (MPZ 2016/78, 79) | Barremiense (Cretácico Inferior) | Josa y Obón (Teruel) | Parrilla-Bel y Canudo (2018) |

Tabla 1. Recopilación del registro fósil aragonés de reptiles marinos mesozoicos.



Figura 11. Fotografía de las facies Keuper de Manzanera (Teruel), en las que hay localizados varios yacimientos con restos de reptiles marinos triásicos. Fotografía de Carmen Núñez Lahuerta.

En cuanto a los fósiles del Cretácico, en los últimos años se ha recopilado una pequeña colección de material del Barremiense inferior proveniente de la Formación Blesa en varias localidades de Teruel. El contenido de vertebrados fósiles continentales de la parte inferior de esta formación es conocido por el excepcional yacimiento de La Cantalera (Canudo *et al.*, 2010). Sin embargo la parte media de la Formación Blesa presenta niveles marinos donde han aparecido restos de vertebrados, por lo que poco a poco se ha convertido en una de las más prometedoras formaciones con potencial fosilífero de entre las pocas que se conocen en cuanto a reptiles marinos barremiense se refiere (Parrilla-Bel y Canudo, 2015b; Parrilla-Bel *et al.*, 2012) (Figura 12).

Entre los restos aragoneses se han identificado restos asignados a Ichthyosauria; tres órdenes de sauropterigios: Placodontia, Notosauroida y Plesiosauria; y dos subórdenes de crocodylomorfos: Thalattosuchia y probablemente Tethysuchia. Además, se reconocen al menos 6 familias/superfamilias diferentes: Cyamodontoidea (Placodontia), Nothosauridae y Simosauridae (Nothosauroida), Plesiosauridae y Plisosauridae (Plesiosauria) y Metriorhynchidae (Thalattosuchia). Finalmente, aunque los restos en general son poco diagnósticos, algunos han sido identificados a nivel de género, con un total de 5 géneros diferentes reconocidos en los fósiles aragoneses: *Lariosaurus*, *Nothosaurus*, *Simosaurus*, *Geosaurus* y *Maledictosuchus*.

Maledictosuchus riclaensis es el primer género y especie de reptil marino descrito en Aragón, y por ello le dedicamos el apartado siguiente.

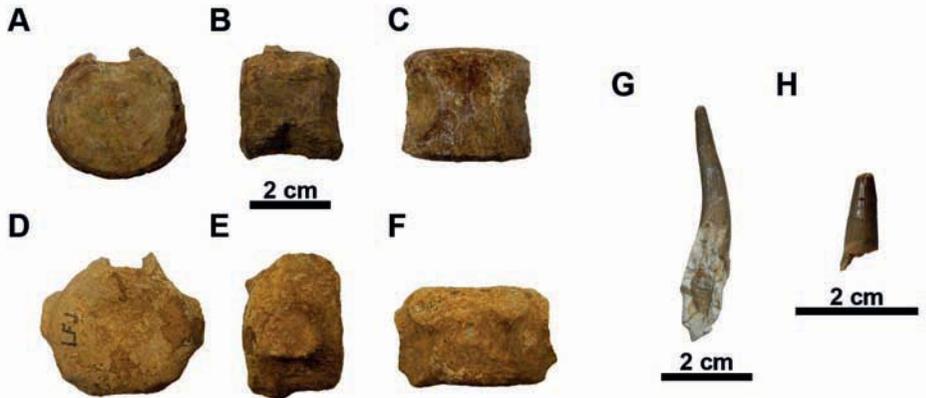


Figura 12. Restos de plesiosaurio provenientes de la Formación Blesa. A-C. vértebra cervical MPZ 2013/400 en vista anterior (A), lateral (B) y ventral (C). D-F. vértebra caudal MPZ 2013/399 en vista anterior (D), lateral (E) y ventral (F). G-H, dientes MPZ 2013/407 y MPZ 2013/404 respectivamente.

MALEDICTOSUCHUS RICLAENSIS

El “Cocodrilo de Ricla” es uno de los fósiles más emblemáticos del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza. Se trata de un cráneo de cocodrilomorfo (por simplificar utilizaré el término cocodrilo) prácticamente completo y con una preservación excepcional, conservando la morfología en tres dimensiones (Figura 13). Este tipo de fósiles, prácticamente desconocidos en España, son abundantes en otras regiones europeas, pero es habitual encontrarlos chafados o deformados.



Figura 13. *Maledictosuchus riclaensis* en la sala del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza dedicada al Jurásico marino de Aragón.

El hallazgo de este fósil tuvo lugar en 1994, con las obras de la línea del AVE Madrid-Zaragoza-Barcelona que iba a atravesar el municipio de Ricla, en la provincia de Zaragoza. Ricla es conocido por su abundancia en restos fósiles de invertebrados jurásicos, como ammonites, belemnites, braquiópodos, bivalvos, corales, crinoideos o esponjas (Meléndez *et al.*, 2014), pero no se había encontrado ningún resto de vertebrado hasta la fecha. Un equipo de paleontólogos de la Universidad de Zaragoza, dirigido por Eladio Liñán, con la colaboración de G. Meléndez, y formado por C. Laplana, C. Gonzalvo y M. Soria se encargaron de realizar una campaña de prospección por toda la zona para delimitar áreas de interés paleontológico, durante la cual recuperaron varios nódulos de caliza que contenían esquirlas de hueso. Tras el proceso de preparación se comprobó cómo el conjunto de esquirlas de los nódulos daba lugar a un cráneo prácticamente completo y perfectamente conservado. Esta buena conservación ha permitido realizar un estudio detallado externo e interno del fósil, definiéndose en 2013, casi 20 años después de su hallazgo, el nuevo género y especie *Maledictosuchus riclaensis* a partir de este cráneo (Parrilla-Bel *et al.*, 2013; Parrilla-Bel, 2016) (Figura 14). Posteriormente se estudiaron tres vértebras: una cervical, una dorsal y una caudal del mismo ejemplar (Parrilla-Bel y Canudo, 2015a).

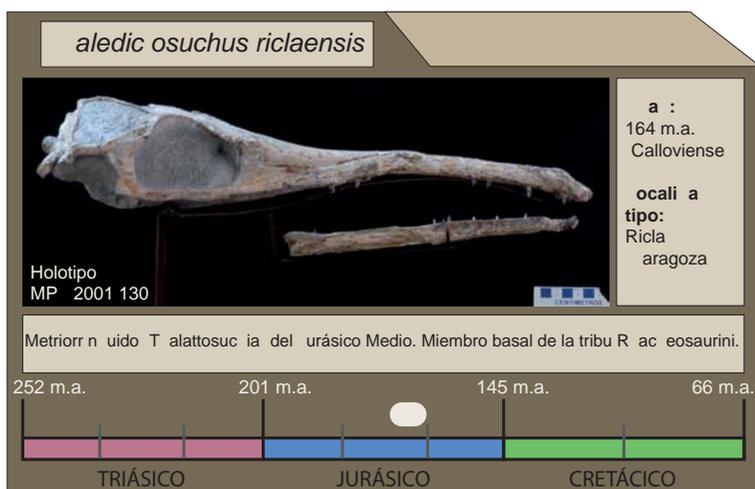


Figura 14. *Maledictosuchus riclaensis* (MPZ 2001/130). Vista lateral izquierda. Fotografía de Zarela Herrera.

Maledictosuchus habitó los mares hace unos 164 millones de años (Calloviense), durante el Jurásico Medio. Perteneció a una familia de cocodrilos denominados metriorrinquidos, dentro de los talatosuquios. *M. riclaensis*, conocido únicamente por el ejemplar hallado en Ricla, es el metriorrinquido más antiguo de la Península Ibérica conocido hasta el momento, lo cual aporta una importante información sobre cómo podían ser los mares jurásicos del oeste de Europa.

Este cocodrilo contaría con las adaptaciones acuáticas propias de su grupo nombradas anteriormente (cuerpos hidrodinámicos, extremidades en forma de aleta, cola heterocerca hipocerca...) (Figura 15), pero además poseía una serie de características que lo diferencian del resto de metriorrinquidos. El cráneo, al igual que el cuerpo, es hidrodinámico, con un rostro fino y largo con numerosos dientes de pequeño tamaño, típico de los animales piscívoros (aunque probablemente, además de peces, también podría comer otros invertebrados



Figura 15. Reconstrucción de *Maledictosuchus riclaensis*. Pintura al óleo de José Manuel Gasca.

marinos como cefalópodos). A ambos lados del cráneo posee grandes órbitas oculares, protegidas por unos huesos muy desarrollados denominados prefrontales, que sobresalen por encima de la parte anterior de las órbitas a modo de visera. Estos caracteres son comunes en todos los metriorrínquidos, sin embargo en el caso de *Maledictosuchus riclaensis* el tamaño de las órbitas es ligeramente mayor que en otras especies. Los cocodrilos terrestres poseen siempre una ornamentación muy característica en el cráneo. Sin embargo, en los cocodrilos marinos, la ornamentación es muy suave, o ha desaparecido. En *M. riclaensis* se observan unos suaves surcos dispuestos radialmente en el frontal (un hueso de la parte superior del cráneo). Además, las suturas o uniones entre los distintos huesos del cráneo son a menudo caracteres importantes que nos ayudan a diferenciar las distintas especies. En el caso de *Maledictosuchus*, una de las suturas que nos marca esa diferencia se encuentra en el paladar (Parrilla-Bel *et al.*, 2013).

La figura 16 muestra las relaciones filogenéticas o de “parentesco” de *Maledictosuchus* con el resto de talatósquios. Se puede ver que *M. riclaensis* es el miembro más basal de la tribu de los raqueosaurinos. Igual que los talatósquios se dividen en dos familias, teleosáuridos y metriorrínquidos, los metriorrínquidos se dividen en dos subfamilias, los metriorrínquinos y los geosaurinos. Ambas subfamilias evolucionaron hacia adaptaciones cada vez más especializadas dentro del medio marino, pero estas adaptaciones y especializaciones fueron diferentes entre los dos grupos, lo que les llevaría a convivir, ocupando nichos ecológicos diferentes. Los raqueosaurinos son unos metriorrínquidos muy especializados de tamaño pequeño-medio, con importantes adaptaciones marinas, cráneos alargados, de rostro fino y numerosos dientes con una dieta piscívora. Estaban preparados para atrapar presas muy rápidas, pero de pequeño tamaño, ya que el fino rostro no soportaría grandes torsiones, ni estaría preparado para morder con mucha fuerza, sino para moverse a gran velocidad y sujetar firmemente sus presas con sus numerosos dientes de pequeño tamaño.

Maledictosuchus, como miembro más basal de la tribu de los raqueosaurinos (Figura 16), comparte numerosos caracteres con los raqueosaurinos más especializados como *Rhacheosaurus*

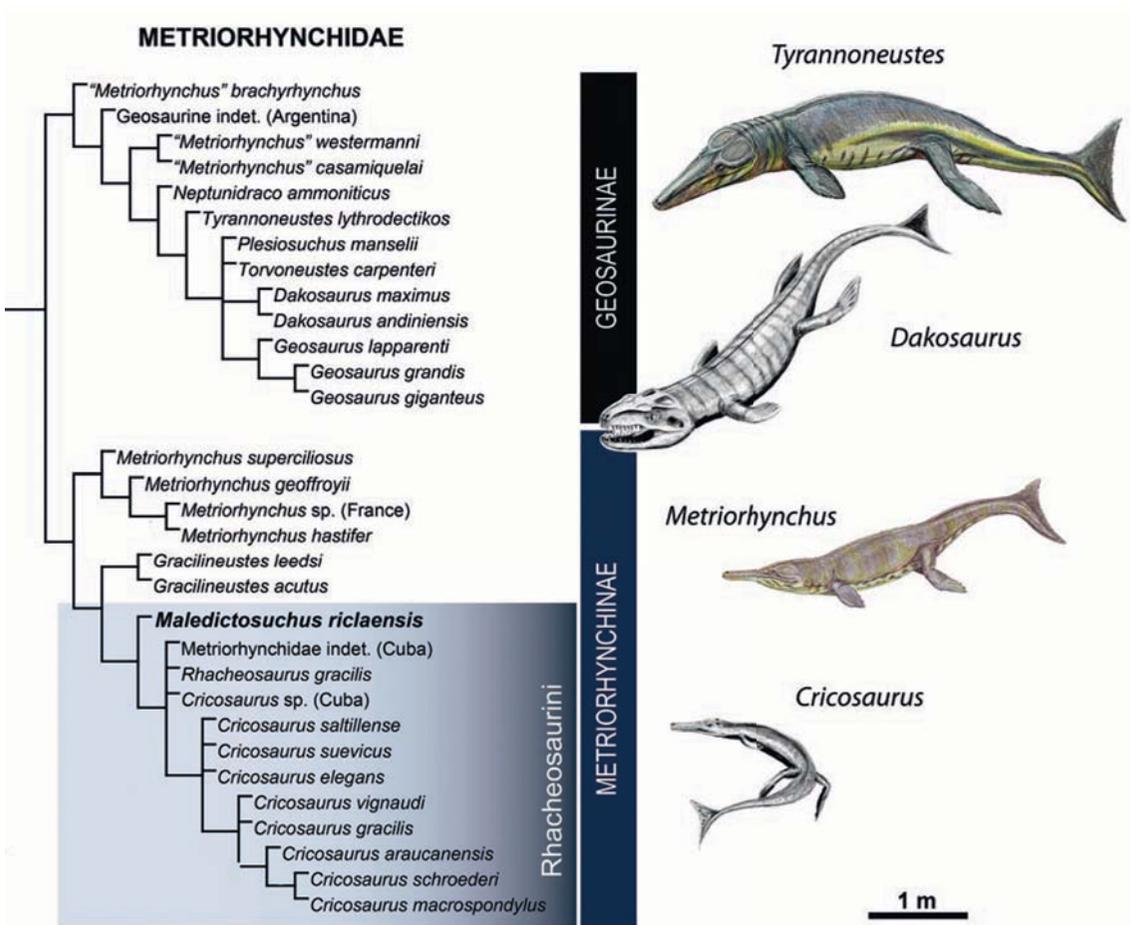


Figura 16. Cladograma de la familia Metriorhynchidae, donde se observa la posición de *Maledictosuchus* dentro del grupo, como miembro basal de la Tribu Rhacheosaurini (modificado de Parrilla-Bel, 2016).

y *Cricosaurus*, pero también conserva algunos caracteres propios de los metriorrínquidos más primitivos (*Metriorhynchus* y *Gracilineustes*) que poblaron los mares del oeste europeo durante el Jurásico Medio.

Por lo tanto, el estudio de este nuevo cocodrilo demuestra que durante el Jurásico Medio los metriorrínquidos fueron más diversos de lo que se creía y que su evolución hacia una dieta muy especializada y a la vida en mar abierto comenzó ya durante el Jurásico Medio, al menos 10 millones de años antes de lo que se creía, pero no fue hasta el Jurásico Superior cuando estas adaptaciones fueran ventajosas y este grupo de metriorrínquidos dominó los mares del oeste de Europa.

La investigación en paleontología, cada vez más, está empleando otras metodologías, además de la simple observación directa, para analizar en profundidad los fósiles y poder abordar aspectos que los métodos tradicionales no permiten. Una técnica ampliamente utilizada es la tomografía computarizada. La tomografía computarizada (es decir, los TACs realizados habitualmente en medicina), permite obtener modelos digitales en tres dimensiones de las

estructuras internas y externas del ejemplar escaneado sin que éste sufra ningún daño. Esta técnica consiste en irradiar la muestra con rayos X desde distintas direcciones. La pieza va rotando y desplazándose para obtener una secuencia de radiografías en las que se mapean las distintas densidades obtenidas con la transmisión de los rayos X a través de los distintos materiales (hueso, cavidad, relleno...). Posteriormente, se utilizan programas informáticos para obtener, a partir de la secuencia de imágenes o radiografías en 2D, una reconstrucción digital en 3D.

El cráneo de *Maledictosuchus riclaensis* fue escaneado en el Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, y para ello fueron necesarias 16 horas, obteniéndose 1206 secciones, con un espaciado de 0.5 mm. El trabajo posterior para lograr una reconstrucción en tres dimensiones de las estructuras internas se alargó durante meses. Finalmente se han podido reconocer elementos endocraneales de gran interés, como el cerebro, canales neurovasculares o cavidades relacionadas con la cavidad nasal (Parrilla-Bel *et al.*, 2015) o la región ótica. La comparación de estas estructuras observadas en *Maledictosuchus* con las de otros talatósquidos aportará nuevos datos sobre las adaptaciones al medio marino de estos cocodrilos.

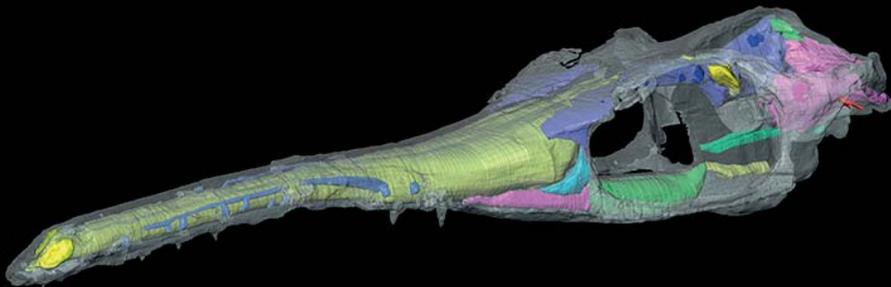


Figura 17. Reconstrucción 3D del endocráneo de *Maledictosuchus riclaensis* a partir de una tomografía computarizada (Parrilla-Bel, 2016).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aragón posee una gran riqueza paleontológica; sin embargo, el campo de los reptiles marinos es todavía un mundo por descubrir. En esta región, fundamentalmente en la provincia de Teruel, en la cordillera Ibérica, se pueden observar amplios afloramientos de sedimentos marinos mesozoicos, pero a pesar de ello, el registro fósil de vertebrados es por el momento escaso, y los restos son, en su mayoría, fragmentarios, aislados y poco diagnósticos.

En los últimos años, el conocimiento sobre este grupo ha ido aumentando, y se han recuperado y estudiado nuevos fósiles. Los trabajos publicados recientemente sobre reptiles marinos aragoneses tienen tres focos principales: por un lado, los reptiles marinos del Triásico, principalmente sauropterigios hallados en el municipio de Manzanera (Teruel). Por otro lado, plesiosaurios y crocodylomorfos del Cretácico Inferior provenientes de la Formación Blesa (en las localidades también turolenses de Josa, Obón, Cortes de Aragón...). Se trata de los primeros restos fósiles de plesiosaurio de edad Barremiense de la Península Ibérica, un periodo de tiempo en el que los restos son escasos a nivel mundial, lo cual aporta nuevos datos paleogeográficos sobre la distribución de este grupo.

Por último, *Maledictosuchus riclaensis*, cocodrilo marino (Thalattosuchia) del Jurásico Medio, hallado en Ricla (Zaragoza) y descrito en 2013, es un nuevo género y especie de metriorrínquido. Se trata del primer reptil marino definido en Aragón. El estudio de este fósil ha demostrado una mayor diversidad morfológica y ecológica de los metriorrínquidos en el Jurásico Medio. *M. riclaensis* posee caracteres cráneo-dentales intermedios entre los metriorrínquinos basales (contemporáneos con él) y los miembros de Rhacheosaurini, derivados, del Jurásico Superior. Durante el Jurásico Medio, los metriorrínquidos fueron muy diversos en el oeste de Europa, especialmente Inglaterra y Francia, pero no se había descubierto hasta el momento ningún raqueosaurino, siendo *Maledictosuchus* el más antiguo conocido hasta la fecha. Hay una tendencia temporal y filogenética entre los metriorrínquinos hacia una dieta piscívora muy especializada, alcanzando las mayores adaptaciones los miembros de la tribu de los raqueosaurinos. Pero también dentro de esta tribu se puede observar la tendencia hacia una especialización marina creciente. *Maledictosuchus riclaensis* se sitúa en la base de este clado, con adaptaciones propias de los raqueosaurinos más derivados, pero también con caracteres de metriorrínquinos más basales como *Metriorhynchus* y *Gracilineustes*.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del proyecto CGL2014-53548- P, del Ministerio de Economía y Competitividad. Fondo Europeo de Desarrollo, la Universidad de Zaragoza y el Gobierno de Aragón (“Grupos Consolidados” and “Dirección General de Patrimonio Cultural”). Agradecer a José Ignacio Canudo, director del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza, a Fernando Gracia, Jesús Sender Palomar y José María Abad porque sus donaciones han contribuido a aumentar la colección de reptiles marinos aragoneses. Agradecer también a Josep Fortuny y Sergio Llácer, del ICP (Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont) por su colaboración y trabajo en la realización y reconstrucción de la Tomografía Computarizada, y a los coautores de las publicaciones de *Maledictosuchus*, Miguel Moreno, Mark Young y José Ignacio Canudo. Finalmente agradecer a Samuel Zamora, editor de este volumen por su enorme trabajo.

REFERENCIAS

- Bakker, R.T. 1993. Plesiosaur extinction cycles- Events that mark the beginning, middle and end of the Cretaceous. In: Caldwell, W.G.E. y Kaufman, E.G. (eds.), *Evolution of the Western Interior Basin. Geological Association of Canada. Special Paper* 39, 641-664.
- Bardet, N., Corral, J. C., et Pereda Suberbiola, X. 1997. Les Mosasaures (Squamata) du Crétacé supérieur du Bassin Basco-Cantabrique. *Géobios*, 20, 19-26.
- Bardet, N., Falconnet, J., Fischer, V., Houssaye, A., Jouve, S., Pereda Suberbiola, X., Pérez-García, A., Rage, J.C. and Vincent, P. 2014. Mesozoic marine reptile palaeobiogeography in response to drifting plates. *Gondwana Research*, 26(3), 869-887.
- Bardet, N., Pereda Suberbiola, X. and Ruiz-Omeñaca, J.I. 2008. Mesozoic marine reptiles from the Iberian Peninsula. *Geo-Temas*, 10, 1245-1248.
- Benson, R.B., Butler, R.J., Lindgren, J. and Smith, A.S. 2010. Mesozoic marine tetrapod diversity: mass extinctions and temporal heterogeneity in geological megabiases affecting vertebrates. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277, 829-834.
- Boscá, E. 1903. Hallazgo de un Teleosáurido en Buñol (Valencia). *Boletín de la Sociedad Española de Historia Natural*, 3, 140-145.
- Buffetaut, E. 1976. Une nouvelle définition de la famille des Dyrosauridae de Stefano, 1903 (Crocodylia, Mesosuchia) et ses conséquences: inclusion des genres *Hyposaurus* et *Sokotosuchus* dans les Dyrosauridae. *Geobios*, 9(3), 333-336.
- Buffetaut, E. 1987. *A Short History of vertebrate Palaeontology*. London: Croom Helm. 223 pp.
- Buscalioni, A.D. 1986. Los cocodrilos fósiles del registro español. *Paleontología i Evolució*, 20, 93-98.
- Calderón, S. 1876. Enumeración de los vertebrados fósiles de España. *Anales de la Sociedad Española de Historia Natural*, 5, 413-420.
- Callaway, J. M., and Nicholls, E. L. 1997. *Ancient marine reptiles*. Academic Press. San Diego: Academic Press, 501 pp.
- Canudo, J.I. 2011. El Centro de Interpretación de Paleontología del Parque Cultural del Río Martín en Alacón. *Naturaleza aragonesa*, 26, 78-82.
- Canudo, J.I., Gasca, J.M., Aurell, M., Badiola, A., Blain, H.A., Cruzado-Caballero, P., Gómez-Fernández, D., Moreno-Azanza, M., Parrilla, J., Rabal-Garcés, R. and Ruiz-Omeñaca, J.I. 2010. La Cantalera: an exceptional window onto the vertebrate biodiversity of the Hauterivian-Barremian transition in the Iberian Peninsula. *Journal of Iberian Geology*, 36(2), 29-324.
- Carroll, R.L. 1969. A Middle Pennsylvanian captorhinomorph and the interrelationships of primitive reptiles. *Journal of Paleontology*, 43(1), 151-170.
- Carroll, R.L. 1997. *Patterns and processes of vertebrate evolution* (Vol. 2). Cambridge University Press, 464 pp.
- Casanovas-Cladellas, M.L. y Calzada, S. 1976. Un fragmento de Teleosáurido en el Dogger de Obón (Teruel). *Acta Geológica Hispánica*, 11(3), 71-72.

- Cau, A. and Fanti, F. 2011. The oldest known metriorhynchid crocodylian from the Middle Jurassic of North-eastern Italy: *Neptunidraco ammoniticus* gen. et sp. nov. *Gondwana Research*, 19, 550-565.
- Fernández M. and Gasparini, Z. 2000. Salt glands in a Tithonian metriorhynchid crocodyliform and their physiological significance. *Lethaia*, 33, 269-276.
- Fortuny, J., Bolet, A., Sellés, A.G., Cartanyà, J. and Galobart, À. 2011. New insights on the Permian and Triassic vertebrates from the Iberian Peninsula with emphasis on the Pyrenean and Catalanian basins. *Journal of Iberian Geology*, 37, 65-86.
- Fraas, E. 1902. Die Meer-Krocodilier (Thalattosuchia) des oberen Jura unter specieller berücksichtigung von *Dacosaurus* und *Geosaurus*. *Paleontographica*, 49, 1-72.
- Gasca, J. M., Moreno-Azanza, M., y Canudo, J. I. 2011. Dientes de dinosaurios en el Barremiense de Allepuz, Teruel. *Viajando a mundos pretéritos*, 145-155.
- Gea, G.A., Buscalioni, A.D., Aguado, R. y Ruiz-Ortiz, P.A. 2001. Restos fósiles de un cocodrilo marino en el Berriasiense inferior de la Unidad Intermedia del Cárceles-Carluco. Cordilleras Béticas. Sur de Bedmar (Jaén). *Geotemas*, 3(2), 201-203.
- Graham, J.B., Gee, J.H., Motta, J. and Rubinoff, I. 1987. Subsurface buoyancy regulation by the sea snake *Pelamis platurus*. *Physiological Zoology*, 251-261.
- Hastings, A. K., Bloch, J. I. and Jaramillo, C. A. 2011. A new longirostrine dyrosaurid (Crocodylomorpha, Mesoeucrocodylia) from the Paleocene of north-eastern Colombia: biogeographic and behavioural implications for New-World Dyrosauridae. *Palaeontology*, 54(5), 1095-1116.
- Jorquera Grau, A., Santos-Cubedo, A., Santisteban Bové, C. and Galobart Lorente, A. 2009. Plesiosaurs (Reptilia: Sauropterygia) from the Arcillas de Morella Formation (Aptian, Lower Cretaceous) of Castellón (Spain). *Paleolusitana*, 1, 229-235.
- Jouve, S. 2005. A new description of the skull of *Dyrosaurus phosphaticus* (Thomas, 1893) (Mesoeucrocodylia: Dyrosauridae) from the Lower Eocene of North Africa. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 42(3), 323-337.
- Ketchum, H.F. and Benson, R.B. 2010. Global interrelationships of Plesiosauria (Reptilia, Sauropterygia) and the pivotal role of taxon sampling in determining the outcome of phylogenetic analyses. *Biological Reviews*, 85(2), 361-392.
- Lapparent, A.D. 1966. Nouveaux gisements de reptiles mesozoïques en Espagne. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 84, 103-110.
- Latorre-Macarrón, P., Sanz-Pérez, E., Hernández Medrano, N. y Pascual-Arribas, C. 2005. Primer resto de reptil marino en el Jurásico del sector occidental de la rama aragonesa de la Cordillera Ibérica (Ólvega, Soria). *Celtiberia*, 55(99), 443-448.
- Marinho, T.S. and Carvalho, I.S. 2009. An armadillo-like sphagesaurid crocodyliform from the Late Cretaceous of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 27(1), 36-41.
- Martínez, R.D., García-Ramos, J.C. e Ibáñez Sarmiento, I. 1995. El primer Crocodylia (Mesosuchia: Teleosauridae) del Jurásico Superior de Asturias, España. *Naturalia patagónica. Ciencias de la Tierra*, 3, 93-95.
- Massare, J.A. 1987. Tooth morphology and prey preference of Mesozoic marine reptiles. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 7(2), 121-137.

- Meléndez, G., Ramajo, J. y Colás, J. 2014. El patrimonio paleontológico de Ricla (Zaragoza): inventario y descripción de lugares de especial interés. Propuesta de medidas de protección y gestión. *Geogaceta*, 55, 51-54.
- Miguel Chaves, C. de, García-Gil, S., Ortega, F., Sanz, J. L. and Pérez-García, A. 2016. First Triassic tetrapod (Sauropterygia, Nothosauridae) from Castilla y León: evidence of an unknown taxon for the Spanish record. *Journal of Iberian Geology*, 42(1), 29.
- Miguel Chaves, C. de, Pérez-García, A., Cobos, A., Royo-Torres, R., Ortega, F. and Alcalá, L. 2015. A diverse Late Triassic tetrapod fauna from Manzanera (Teruel, Spain). *Geobios*, 48(6), 479-490.
- Motani, R. 1999. On the evolution and homologies of Ichthyopterygian forefins. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 19, 28-41.
- Motani, R. 2009. The evolution of marine reptiles. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2), 224-235.
- Navarro-Lorbés, P., Alonso, A., Gil Imaz, A. and Canudo, J.I. 2016. First evidence of marine reptiles from the Upper Triassic (Keuper) of Alpartir (Zaragoza, Spain). En: Torcida Fernández-Baldor, F., Canudo, J.I., Huerta, P. y Pereda, X. (eds), *VII Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno. Salas de los Infantes*, Burgos, 105-106.
- O'Keefe, F.R. 2002. The evolution of plesiosaur and pliosaur morphotypes in the Plesiosauria (Reptilia: Sauropterygia). *Paleobiology*, 28, 101-112.
- Ogamba, E.N. and Abowei, J.F. 2012. Some issues in culture fisheries management and practices. *British Journal of Pharmacology and Toxicology*, 3(5), 205-217.
- Parrilla-Bel, J. 2016. El cocodrilo maldito de Ricla, *Maledictosuchus riclaensis*. *Naturaleza aragonesa*, 33, 15-20.
- Parrilla-Bel, J. and Canudo, J.I. 2015a. Postcranial elements of *Maledictosuchus riclaensis* (Thalattosuchia) from the Middle Jurassic of Spain. *Journal of Iberian Geology*, 41(1), 31-40.
- Parrilla-Bel, J. and Canudo, J.I. 2015b. On the presence of plesiosaurs in the Blesa Formation (Barremian) in Teruel (Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 278(2), 213-227.
- Parrilla-Bel, J., Young, M., Puértolas, E., Canudo, J.I., Cruzado-Caballero, P., Gasca, J.M. y Moreno-Azanza, M. 2012. Descripción de un resto craneal de reptil marino de la Formación Blesa (Barremiense inferior) de la localidad de Josa (Teruel). En: Liao, J.-C., Gámez Vintaned, J.A., Valenzuela-Ríos, J.I. y García-Forner, A. (eds), *XXVIII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. Homenaje a Guillem Colom Casasnovas (1900-1993)*, 241-243; Universitat de València
- Parrilla-Bel, J., Young, M.T., Moreno-Azanza, M. and Canudo, J.I. 2013. The First Metriorhynchid Crocodylomorph from the Middle Jurassic of Spain, with Implications for Evolution of the Subclade Rhacheosaurini. *PLoS ONE* 8(1), e54275. doi:10.1371/journal.pone.0054275
- Parrilla-Bel, J., Canudo, J.I., Fortuny, J. y Llácer, S. 2015. Glándulas de la sal en *Maledictosuchus riclaensis* (Metriorhynchidae, Thalattosuchia) del Calloviense de la Península Ibérica. *Geogaceta*, 59, 63-66.

- Pérez García, A., y Gascó, F. 2010. Preservación excepcional de un disco intervertebral atribuido a un reptil marino, descubierto en la Sierra de Albarracín (Cordillera Ibérica, España) en el siglo XIX. *Geogaceta*, 48, 75-78.
- Pinna, G. 1990. Notes on stratigraphy and geographical distribution of placodonts. *Atti della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano*, 145-156.
- Quesada, J., Pérez-García, A., Ortega, F., Escaso, F. and Sánchez - Chillón, B. 2009. *Simosaurus* (Nothosauria) fossil site: a new Spanish window to the Upper Triassic. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29 (3), 168A.
- Rieppel, O. and Hagdorn, H. 1998. Fossil reptiles from the Spanish Muschelkalk (Mont-ral and Alcover, province Tarragona). *Historical Biology*, 13, 77-97
- Ross, C.A. 1989. *Crocodiles and alligators*. New York, NY: Facts on File. 240 pp.
- Royo y Gómez, J. 1927. Sur le faciès wealdien d'Espagne. *Compte Rendu sommaire des Séances de la Société géologique de France*, 11, 125-128.
- Rubio, C., Díez Ferrer, J.B., Ferrer, J., Gámez Vintaned, J.A., Sender, L.M. y Zianni, H., 2003. La Comarca de Gúdar – Javalambre da a conocer su rico patrimonio geológico y paleontológico. *Naturaleza Aragonesa*, 11, 21-34.
- Ruiz-Omeñaca, J.I. 2006. *Restos directos de dinosaurios (Saurischia, Ornithischia) en el Barremiense (Cretácico Inferior) de la Cordillera Ibérica en Aragón (Teruel, España)*. PhD, Universidad de Zaragoza, Zaragoza. 440pp.
- Ruiz-Omeñaca, J.I., García-Ramos, J.C., Piñuela, L., Bardet, N., Bermúdez-Rochas, D.D., Canudo, J.I. y Pereda Suberbiola, X., 2006. Restos directos de vertebrados del Jurásico de Asturias. En: Fernández-Martínez, E. (ed.), *XXII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, 171-172.
- Ruiz-Omeñaca, J.I., Piñuela, L. y García-Ramos, J.C. 2010. *Dakosaurus* sp. (Thalattosuchia: Metriorhynchidae) en el Kimmeridgiense de Colunga (Asturias). En: Ruiz-Omeñaca, J.I., Piñuela, L y García-Ramos, J.L (eds.) *Comunicaciones del V Congreso del Jurásico de España. Museo del Jurásico de Asturias (MUJA), Colunga, 8-11 de septiembre de 2010*. Colunga: Museo del Jurásico de Asturias, 193-199.
- Ruiz-Omeñaca, J.I., Piñuela, L., García-Ramos, J.C., Bardet, N. y Pereda-Suberbiola, X. 2007. Dientes de reptiles marinos (Plesiosauroidea y Thalattosuchia) del Jurásico Superior de Asturias. En: Braga, J.C., Checa, A. y Company, M. (eds.), *XXIII Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología. Caravaca de la Cruz, 3-6 de octubre de 2007. Granada: Libro de resúmenes*. IGME y Universidad de Granada, 204-205.
- Sanz, J. L. 1976. *Lariosaurus balsami* (Sauropterygia, Reptilia) de Estada (Huesca). *Estudios Geológicos*, 32, 547-567.
- Sanz, J. L. 1983. Los Notosaurios (Reptilia, Sauropterygia) españoles. *Estudios Geológicos*, 39, 193-215.
- Sauvage, H.E. 1897-98. *Vertèbres fossiles du Portugal. Contribution à l'étude des poissons et des reptiles du Jurassique et du Crétacique*. Lisbonne: Direction des Travaux géologiques du Portugal, 46pp.
- Schulz, G. 1858. *Descripción geológica de Asturias (Descripción geológica de la Provincia de Oviedo)*. Imprenta y Librería de Don José González, Madrid, 1-138.

- Schwarz-Wings, D., Frey, E. and Martin, T. 2009. Reconstruction of the bracing system of the trunk and tail in hyposaurine dyrosaurids (Crocodylomorpha; Mesoeucrocodylia). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29(2), 453-472.
- Sereno, P.C., Larsson, H.C.E., Sidor, C.A. and Gado, B. 2001. The giant Crocodyliform *Sarcosuchus* from the Cretaceous of Africa. *Science*, 294, 1516-1519.
- Suárez Vega, L.C. 1974. Estratigrafía del Jurásico en Asturias. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 3, 1-369.
- Steel, R. 1973. Crocodylia. *Handbuch der Paläoherpetologie, Teil 16*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 116 pp.
- Vidal, I.M. 1915a. Nota Geológica y Paleontológica sobre Jurásico superior de la provincia de Lérida. I: Geología. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 36, 5-19.
- Vidal, I.M. 1915b. Nota Geológica y Paleontológica sobre Jurásico superior de la provincia de Lérida. II: Paleontología. *Boletín del Instituto Geológico de España*, 36, 33-55.
- Walker, A.D. 1990. A revision of *Sphenosuchus acutus* Haughton, a crocodylomorph reptile from the Elliot Formation (late Triassic or early Jurassic) of South Africa. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 330(1256), 1-120.
- Wilkinson, L.E., Young, M.T. and Benton, M.J. 2008. A new metriorhynchid crocodile (Mesoeucrocodylia: Thalattosuchia) from the Kimmeridgian (Upper Jurassic) of Wiltshire, UK. *Palaeontology*, 51, 1307-1333.
- Yagüe, P., Ortega, F., Noè, L., Gasulla, J.M. y García, M.D. 2003. Reptiles marinos (Plesiosauria) del Aptiense inferior de Morella (Castellón). *Ciencias de la Tierra*, 26, 399-404.
- Young, M.T., Steel, L., Foffa, D., Price, T., Naish, D. and Tennant, J.P. 2014a. Marine rethysuchian crocodyliform from the? Aptian-Albian (Lower Cretaceous) of the Isle of Wight, UK. *Biological Journal of the Linnean Society*, 113(3), 854-871.
- Young, M.T., Hua, S., Steel, L., Foffa, D., Brusatte, S. L., Thüring, S., Mateus, O., Ruiz-Omeñaca, J.I., Havlik, P., Lepage, Y. and De Andrade, M. B. 2014b. Revision of the Late Jurassic teleosaurid genus *Machimosaurus* (Crocodylomorpha, Thalattosuchia). *Royal Society Open Science*, 1(2), 140222.





ANTIGUOS LAGOS Y BOSQUES ARAGONESES COMO FUENTES DE PALEODIVERSIDAD

Enrique Peñalver¹

¹ Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España. C/Cirilo Amorós, 42
entreplanta. 46004 Valencia, España

e.penalver@igme.es

Resumen: Algunos tipos de yacimientos paleontológicos son muy ricos en fósiles, atesoran una gran paleodiversidad y sus fósiles muestran una conservación excepcional. Esta última característica define a los *Konservat-Lagerstätten*, que suelen combinar las otras dos características. Una gran parte de los que tienen un origen continental suelen ser yacimientos paleoentomológicos, aquellos con abundantes artrópodos fósiles, principalmente insectos y arañas. Son escasos en el registro fósil, ya que para su origen tuvieron que concurrir circunstancias poco comunes. Estos yacimientos pueden ser considerados “puntos calientes de paleobiodiversidad”. Aragón presenta dos de estos yacimientos, que tienen una importancia científica internacional, y que además corresponden con dos modalidades muy distintas: los yacimientos de ámbar y los yacimientos de compresión de origen lacustre. Son San Just, del Albiense superior (Cretácico Inferior), y Rubielos de Mora, del Aragoniense inferior (Mioceno Inferior), respectivamente, ambos localizados en la provincia de Teruel. Hasta el presente se han publicado numerosas especies nuevas de insectos y arácnidos (ácaros y una araña) a partir del registro fósil aragonés, principalmente de San Just y Rubielos de Mora. Además de la información taxonómica y filogenética que han aportado, una importante contribución de los mismos se refiere a los estudios paleobiológicos. En general, el patrimonio natural aragonés constituido por los yacimientos de San Just y Rubielos de Mora, y las colecciones de fósiles provenientes de ellos, tiene una protección y una gestión efectivas, pero seguramente los yacimientos deberían ser incluidos dentro de figuras de protección, como es la figura llamada *Bien de Interés Cultural*.

Palabras clave: Ámbar, Resina, Paleolago, Rocas laminadas, Conservación excepcional, Artrópodos.

Abstract: *Some palaeontological outcrops are very rich in fossils, containing a high palaeodiversity and their fossils are exceptionally preserved. This last feature defines the so called Konservat-Lagerstätten, which commonly combine the two other aforementioned features. A large part of them with a continental origin tend to be palaeoentomological outcrops, those that yield abundant fossil arthropods, mainly insects and spiders. They are scarce in the fossil record, because several uncommon circumstances were necessary in their origins, and can be considered “hotspots” of palaeobiodiversity. Aragon presents two of these outcrops, which are of international scientific relevance, of two very different nature: the amber outcrops and the compression outcrops of lacustrine origin. They are San Just, upper Albian (Early Cretaceous) in age, and Rubielos de Mora, Lower Aragonian (Lower*

Miocene) in age, respectively, both located in the Province of Teruel. Up to today, a lot of new species of insects and arachnids (mites and one spider) have been described based on the Aragonese fossil record, mainly from San Just and Rubielos de Mora. Apart of the abundant taxonomic and phylogenetic data they provided, other important contribution is referred to the palaeobiological cases that have been described. In general, the Aragonese natural heritage constituted by San Just and Rubielos de Mora outcrops, and the collections of fossils they provided, has effective protection and management, but most likely the outcrops need protection designations as, for example, the so called Bien de Interés Cultural.

Key words: Amber, Resin, Palaeolake, Laminated rocks, Exceptional preservation, Arthropods.

INTRODUCCIÓN

Se estima que actualmente existen entre 10 y 30 millones de especies de organismos, e incluso se ha llegado a plantear la cifra de 100 millones, por lo que hay mucha incertidumbre a este respecto. La biota actual no deja de ser como un último fotograma de una película larguísima. Cuando intentamos imaginar el número de especies de organismos que habrán existido desde el origen de la vida entendemos que nos enfrentamos a los mismos límites en la comprensión de grandes magnitudes como son las distancias en el espacio del Universo o el número de estrellas que contiene, o, por poner un ejemplo más cercano, el número de granos de arena en una playa. Nadie se ha atrevido a hacer una estimación de las especies que existieron en el pasado, por el calibre y grado tan alto de incertidumbre de un cálculo de ese tipo, y porque hay algo de arbitrario en los límites entre especies que derivan unas de otras por evolución cuando consideramos un lapso de tiempo muy extenso. Lo que sí es cierto es que la taxonomía paleontológica continúa describiendo nuevas especies del pasado sin parar, y cada vez de forma más acelerada. No obstante, mientras exista la Humanidad y su ciencia, el número de especies paleontológicas descritas siempre será minúsculo respecto a las que existieron, aunque ello no es impedimento para tener ya hoy día una idea adecuada de la paleodiversidad, de los principales cambios en los linajes de organismos a través del tiempo profundo, y de los grupos que han existido al más alto nivel de la jerarquía taxonómica. Con la descripción de más y más especies, y géneros, y familias y, muy de vez en cuando, órdenes... se va perfilando el cuadro de la diversidad de la vida del pasado.

Y aunque la taxonomía paleontológica tiene sus peculiaridades, y en general sus limitaciones, con respecto a la taxonomía de organismos actuales o taxonomía neontológica, muchas de las descripciones de especies fósiles de las últimas décadas se hacen con un detalle que no tiene mucho que envidiar a las descripciones neontológicas, gracias a nuevas técnicas y modos de estudio. A este respecto, las especies fósiles descritas a partir del registro de yacimientos de conservación excepcional, o *Konservat-Lagerstätten*, cada vez descubiertos con más frecuencia, pueden ser de un detalle impresionante. Estos yacimientos pueden ser marinos o continentales, pero aquí únicamente se tratarán los de origen continental, los cuales suelen presentar un abundante registro de artrópodos, principalmente insectos y arañas.

Aragón cuenta con dos *Konservat-Lagerstätten* de origen continental muy relevantes desde el punto de vista científico, uno de ámbar cretácico, con origen en bosques resiníferos de gimnospermas, y otro de ritmitas bituminosas miocenas, con origen en un lago meromíctico. A partir del registro fósil de ambos se han descrito muchas especies nuevas, tal y como ha quedado recogido en Moliner y Zamora (2017).

ÁMBAR Y RITMITAS BITUMINOSAS: PALEODIVERSIDAD

El ámbar, o resina fósil, es considerado una de las modalidades de fosilización que mejor conservan la anatomía de pequeños organismos del pasado. Sin duda los yacimientos de ámbar se pueden considerar *Konservat-Lagerstätten* o yacimientos de conservación excepcional. Por ejemplo, los insectos presentes en el ámbar suelen conservar su volumen y tridimensionalidad original, y cada uno de los detalles anatómicos externos, incluidos los más pequeños y frágiles (Grimaldi y Engel, 2005). El proceso que aconteció puede observarse actualmente en bosques de *Agathis* (gimnospermas), por ejemplo en Nueva Zelanda, y de *Hymenaea* (angiosperma), por ejemplo en Madagascar, pero en menor medida también en bosques de pinos resiníferos en nuestro país. La resina exudada desde el tronco o las ramas tiene la capacidad de atrapar y englobar diversos organismos del medio boscoso, generalmente de pequeño tamaño. Al quedar englobados y fijados en la masa de resina, no existe colapso del cadáver y la descomposición se ralentiza por las propiedades microbicidas de la resina y por el efecto deshidratante que ejerce. Posteriormente, la resina se desprende y se acumula en el suelo y en la hojarasca. Si se trata de una resina cuya polimerización es rápida, adquiere pronto una cierta consistencia y puede permanecer en el suelo y la hojarasca durante muchos años sin desintegrarse. El arrastre del suelo por avenidas de agua y procesos de erosión conducen al transporte de la resina con su contenido por los ríos hasta zonas de estuario en donde puede quedar enterrada definitivamente y transformarse en ámbar.

La resina atrapa principalmente pequeños artrópodos terrestres (Martínez-Delclòs *et al.*, 2004). Una misma masa de resina de pequeño tamaño puede atrapar muchas decenas de artrópodos. Los artrópodos son el grupo de organismos más diverso que existe y en cualquier bosque, actual o por ejemplo del Cretácico, se pueden contabilizar muchísimas especies. Estas pueden habitar el árbol resinífero, con microhábitats distintos donde viven diferentes especies, como puede ser la corteza, la madera, la base del árbol, la copa, etc. Todo ello conduce a que el ámbar sea además un medio idóneo para contener una gran cantidad de especies distintas del pasado o paleodiversidad. Los yacimientos de ámbar también presentan una gran paleodisparidad, ya que podemos encontrar conservados dentro del ámbar grupos tan diversos como protoctistas, hongos, restos de plantas, de dinosaurios, de mamíferos, artrópodos...

Por otro lado, muchos paleolagos son también *Konservat-Lagerstätten*. En este caso, la superficie del agua actuó como una gran trampa de insectos voladores que caían al agua. También atrapó de forma efectiva insectos no voladores y arañas arrastrados por el aire o los ríos, así como otros restos de la biota como hojas, semillas, flores, plumas, etc. Sin embargo, era una trampa mucho más efectiva para los cadáveres de los organismos acuáticos y anfibios (Peñalver, 2002). Esto explica que los paleolagos puedan presentar un registro fósil caracterizado por una abundante paleodiversidad y paleodisparidad. Si el fondo del lago era anóxico, todos los restos y cadáveres que se hundían quedaban finalmente enterrados en sedimento muy fino que favorecía la conservación y fosilización de estructuras anatómicas pequeñas. Si, además, actuaban velos o tapices microbianos cubriendo periódicamente el sedimento del fondo, entonces la conservación y fosilización era mucho más detallada y excepcional (Peñalver, 2002).

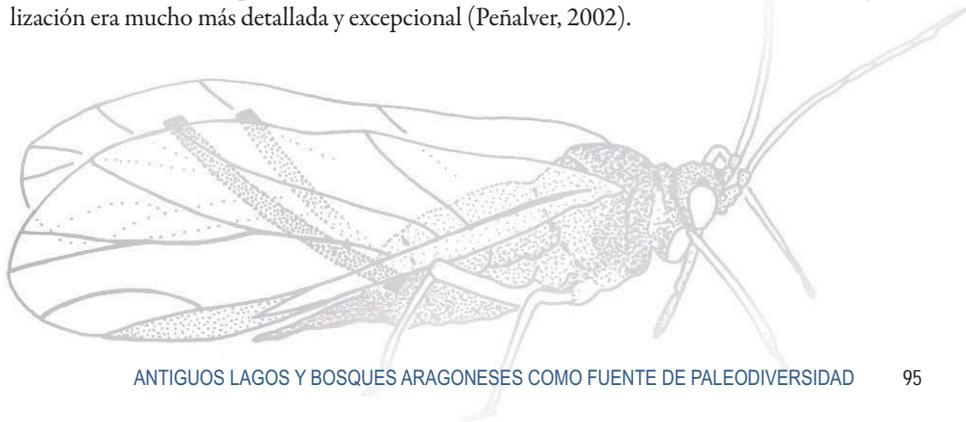




Figura 1. Yacimiento de ámbar cretácico de San Just, Utrillas, localidad tipo de numerosas especies de insectos, ácaros y de una araña.

EL YACIMIENTO DE ÁMBAR DE SAN JUST

La mejora de la carretera N-420 a su paso por el municipio de Utrillas, Teruel, a mediados de los 90, supuso el corte de un estrato de lutitas oscuras que en ese punto presentaba una concentración inusual de ámbar (Figura 1). El señor Marcial Marco, de Teruel, lo descubrió cuando, advertido por lo que allí había aflorado, visitó el lugar y se dio cuenta de que era ámbar cretácico (Peñalver, 2011).

El yacimiento de San Just está localizado en el margen Norte de la subcuenca de Aliaga, en la Cuenca del Maestrazgo. La sedimentación en la Cuenca del Maestrazgo, durante el Cretácico Inferior, se produjo principalmente en ambientes marinos y dulceacuícolas someros e implicó la formación de areniscas, calizas y margas, principalmente. Durante el Albiense, los sistemas de delta y estuario se desarrollaron y evolucionaron verticalmente a sistemas de delta dominados por un ambiente fluvial con sedimentación siliciclástica. Se ha indicado que el yacimiento de San Just se sitúa aparentemente en la transición entre los miembros Regachuelo y La Orden de la Formación Escucha.

Los estudios palinológicos realizados en el área Escucha-Utrillas muestran una predominancia de esporas de pteridófitos y de Schizaeaceae, lo cual indica un clima húmedo, de cálido a subtropical, con episodios más áridos en los que predominaron las Cheirolepidiaceae. La

asociación de polen de angiospermas del yacimiento de San Just indicó, según Villanueva-Amadoz *et al.* (2010), una edad Albiense medio a Albiense superior temprano. Otras evidencias inéditas indicarían una edad Albiense superior para el ámbar, hace alrededor de 105 millones de años, en el Cretácico Inferior. Para más información sobre el yacimiento y la preservación de las bioinclusiones consultar Peñalver *et al.* (2007) y Peñalver y Delclòs (2010).

Aparte de San Just, otra localidad de ámbar excavada y estudiada en Aragón es Arroyo de la Pascueta, en el municipio turolense de Rubielos de Mora, aunque en este caso el ámbar es escaso, está muy microfracturado y no ha proporcionado muchos ejemplares de bioinclusiones; únicamente se ha descrito hasta ahora una especie fósil de insecto. Otras localidades con ámbar cretácico son Linares de Mora, Mora de Rubielos, Portalrubio, Alpeñes, Pancrudo, Villel, Estercuel, Valle de Andorra, Foz-Calanda, mina “Leonor” (Utrillas), Valdeconejos y Palomar de Arroyos (Peñalver, 2011).

EL YACIMIENTO DE COMPRESIÓN DE RUBIELOS DE MORA

La cuenca terciaria de Rubielos de Mora está situada en el sector sureste de la cordillera Ibérica, en el dominio tectónico conocido como “Zona de Enlace”. Durante el Mioceno Inferior-Medio esta cuenca estuvo configurada como una fosa tectónica de tipo semigraben (Anadón *et al.*, 1988a y 1988b), controlada por la formación de una cubeta sinclinal en el substrato del Mesozoico, y condicionada por fallas normales de orientación ENE-WSW (Guimerà, 1990).

Entre los depósitos que constituyen el relleno de esta cuenca se han diferenciado dos conjuntos discordantes. El conjunto inferior, que aflora en los límites de la cubeta tectónica, ha sido datado como Mioceno Inferior-Medio (Moissenet y Gautier, 1971; Godoy y Anadón, 1986).



Figura 2. Vista parcial del yacimiento de Río Rubielos, del paleolago de Rubielos de Mora, que es localidad tipo de numerosas especies de insectos.

El conjunto superior se extiende fuera de los límites tectónicos de la cuenca y se ha atribuido al Mioceno Superior-Plioceno por Moissenet y Gautier (1971).

Anadón *et al.* (1988b) subdividieron los depósitos de edad Mioceno Inferior-Medio de la cuenca en tres unidades (Unidad Inferior, Media y Superior), que suponen un espesor en conjunto de 600-800 m. La Unidad Superior, que aflora solamente en la mitad meridional de la cuenca, está formada por un sistema de varias asociaciones de facies incluyendo carbonatos y margas lacustres. En esta Unidad se encuentran las ritmitas bituminosas lacustres con insectos y arañas fósiles (Figura 2), entre otros restos, junto a afloramientos con micro y macromamíferos que permiten una datación. La facies laminada se encuentra estratigráficamente algo por encima de los yacimientos con micromamíferos, por lo que su edad se puede estimar en Aragoniense inferior (para más detalles ver Peñalver, 2002).

Para un desarrollo extenso sobre la conservación excepcional de los artrópodos en la cuenca, sobre la lista paleofaunística, y sobre los estudios de la macroflora y el polen, consultar Peñalver (2002). Con posterioridad se realizó un estudio más completo del polen fósil por Barrón *et al.* (2006). Para conocer la fosilización de los anfibios en la cuenca consultar McNamara *et al.* (2012).

TAXONES DESCRITOS DEL BOSQUE RESINÍFERO

Se han identificado numerosas formas nuevas en el ámbar de San Just que esperan ser descritas y publicadas, y también algunas especies conocidas en otros ámbares. A continuación se comentarán únicamente los taxones descritos a partir de ejemplares de San Just, es decir, aquellos taxones cuyos holotipos provienen del yacimiento.

Los arácnidos en el ámbar de San Just están representados por arañas y ácaros. Aunque se han encontrado muchos ejemplares de arañas, hasta la fecha sólo se ha descrito un nuevo taxón a partir de su registro fósil. *Spinomegops aragonensis* es el nombre de la especie de araña de la familia Lagonomegopidae que fue descrita en 2013 (Pérez de la Fuente *et al.*, 2013). La familia no tiene representantes actuales, sólo se han encontrado ejemplares en ámbar cretácico que se caracterizan por tener dos grandes ojos en posición anterolateral. El ámbar de San Just ha proporcionado un ácaro oribátido, perfectamente conservado, de la rara familia actual Ametroproctidae, que sólo cuenta con dos géneros conocidos con distribución en Canadá, Estados Unidos, Suiza, Federación de Rusia y Japón. El ejemplar fósil se describió como *Ametroproctus valeriae* en 2008 (Ariño *et al.*, 2008b). Se sabe muy poco de la biología actual de los ácaros ametroproctidos, pero parece que la especie del Cretácico habitaba en la corteza de los árboles. Posteriormente se han descrito otras nuevas especies de ácaros oribátidos: *Cretaceobodes martinezae* de la familia Otocephidae, *Trhyhochtonius lopezvallei*, de la familia Trhyhochtoniidae, *Hypovortex hispanicus*, de la familia Scutoverticidae, y *Tenuelamellarea estefaniae* de la familia Lamellareidae (Ariño *et al.*, 2010, 2012, 2016, respectivamente). De estos taxones, *Cretaceobodes* es un género que se describió a partir de un ejemplar de San Just.

Las termitas son los principales recicladores de lignina y celulosa por lo que son imprescindibles en los ecosistemas boscosos actuales, ya que si no estuvieran presentes estos ecosistemas colapsarían por acumulación de madera sin metabolizar. Al igual que las mantis religiosas, estos insectos están estrechamente relacionados evolutivamente con las cucarachas. Del ámbar de San Just se ha descrito un ejemplar de ala anterior de una termita primitiva (Engel y Delclòs, 2010) que ha sido considerado nuevo género y especie: *Aragonitermes teruelensis*.

En San Just se han hallado varios ejemplares de diminutos insectos tisanópteros de la rara familia Stenurothripidae, ya extinta. En 2010, estos trips se describieron como un nuevo



Figura 3. Ejemplar holotipo de la diminuta avispa descrita como nuevo género y especie, *Mymaropsis turolensis*, perteneciente a una familia fósil descrita en la misma publicación del año 2013 y denominada Spathiopterygidae. Cortesía de Rafael López del Valle.

género y especie, dedicándose a la población de Utrillas (Peñalver y Nel, 2010): *Hispanothrips utrillensis*. Su característica más notable es poseer unas estructuras sensoriales con forma de cono bisegmentado en algunos segmentos antenales.

Los escarabajos son abundantes en San Just y hasta ahora se han descrito dos especies. De la familia actual Nemonychidae, del grupo comúnmente denominado gorgojos, se ha descrito un género y especie, *Arra legalovi*, que presenta un largo rostro (Peris *et al.*, 2014). Esta familia está considerada la más primitiva de los gorgojos, por el registro fósil conocido, por sus características morfológicas y por su biología. Se desconoce completamente la paleobiología para este taxón turolense, pero es posible que tuviese como hospedador al árbol productor de la resina. De la familia Ptinidae se ha descrito la especie *Actenobius magneoculus* que se corresponde con el registro más antiguo conocido de un adulto de esta familia (Peris *et al.*, 2015). La familia actualmente es cosmopolita y cuenta con unas 2200 especies; son escarabajos perforadores de la madera por lo que es probable que indujesen la producción de resina si atacaban a los árboles resiníferos del Cretácico.

Peñalver y Szwedo (2010) describieron un insecto homóptero de la familia extinta Perforissidae, muy poco común en el registro fósil mundial, la cual se caracteriza por poseer una serie de “hoyuelos” o “perforaciones” en varias partes de su cuerpo. El ejemplar resultó ser un nuevo género y especie, y fue descrito como *Iberofoveopsis miguelesi*. El ejemplar corresponde



Figura 4. Ejemplar hembra (holotipo) de díptero de la familia Dolichopodidae descrito como *Microphorites utrillensis*, hallado en el ámbar cretácico de San Just, Utrillas. Este ejemplar se encontraba capturado como presa en un fragmento de tela de araña junto a otros artrópodos, uno de ellos una avispa evánida que es el holotipo de la especie *Cretevania alcalai*.

a una hembra adulta que conserva un largo y grueso ovopositor con el que pondría sus huevos dentro de los tejidos de las plantas. Posiblemente, las “perforaciones” eran órganos sensitivos para detectar la humedad en un ambiente de mucha humedad o de humedad muy variable.

Los fósiles de la familia de avispas Evaniidae son muy poco comunes, y la mayoría corresponden al género *Cretevania* que únicamente se ha encontrado en el Cretácico, tanto en ámbar como en sedimentos laminados. En San Just se encontraron ejemplares que se describieron como dos especies nuevas (Peñalver *et al.*, 2010): *Cretevania montoyai* y *Cretevania alcalai*. El ámbar de España en su conjunto muestra la mayor paleodiversidad del género (5 especies), ya que se han descrito otras tres especies a añadir a las dos ya indicadas: una en el ámbar de El Soplao (Cantabria), otra en el de Álava, y otra en un yacimiento diferente de ámbar de Teruel.

Existen muchos grupos distintos de diminutas avispas. Un ejemplar de San Just pertenece a la extinta familia Gallorommatidae, y fue descrito como nueva especie, *Galloromma turolensis*, por Ortega-Blanco *et al.* (2011b); probablemente fueron avispas parasitoides de huevos de otros insectos. Otra familia extinta de diminutas avispas es Serphitidae, del grupo de los serfítoideos, de la que se conocen muy pocos fósiles: todos los fósiles provienen de los ámbares cretácicos de Siberia, Estados Unidos, Canadá, Myanmar y España. El ejemplar de San Just es inusualmente grande, con 3 milímetros de longitud corporal. Aunque le faltan las alas fue descrito como nueva especie, *Serphites silban*, por Ortega-Blanco *et al.* (2011a). Por último, se describió también (Engel *et al.*, 2013) un nuevo género y especie de avispas, *Mymaropsis turolensis*, taxón que ha servido, junto a otros, para el establecimiento de una nueva familia, Spathiopterygidae, la cual tiene afinidades con varias familias actuales de avispas parasitoides (Figura 3).

La familia Dolichopodidae está constituida por moscas depredadoras y es muy diversa, ya que se conocen unas 6000 especies actuales. De esta familia se describió una nueva especie dedicada a Utrillas, *Microphorites utrillensis*, a partir de un ejemplar perfectamente conservado (Ariño *et al.*, 2008a), pese a que fue presa de una araña. En efecto, el ejemplar se encontró enganchado en un fragmento de telaraña y mostraba evidencias de que su interior había sido digerido (Figura 4). Otra mosca perfectamente fosilizada se describió como *Litoleptis fossilis*, la cual pertenece a un género primitivo y muy poco común en la fauna actual, dentro de la familia Rhagionidae (Ariño *et al.*, 2009). Se trata de una hembra que presenta un aparato bucal muy largo, posiblemente para alimentarse de sangre, como ocurre con otros representantes de la familia en la biota actual. De los mosquitos ceratopogónidos se han descrito dos nuevas especies en un mismo género (Szadziwski *et al.*, 2016): *Protoculicoides hispanicus* y *Protoculicoides sanjusti*. La familia Ceratopogonidae cuenta con unas 6224 especies actuales y numerosas especies fósiles principalmente conservadas en ámbar. Las especies de San Just fueron hematófagas, por lo que seguramente tuvieron como hospedadores a dinosaurios y mamíferos, entre otros vertebrados.

El último taxón descrito hasta el momento (Delclòs *et al.*, 2016) corresponde a una ninfa casi completa de mantis religiosa, la primera encontrada fósil en España; se describió como nuevo género y especie, *Aragonimantis aenigma*, o “la enigmática mantis religiosa aragonesa” (Figura 5). Por su mayor interés científico se comentará con mayor extensión a continuación. Las mantis religiosas son muy escasas como fósiles, ya que corresponden a insectos depredadores, y por ello son pocas las que se encuentran en los ecosistemas terrestres en comparación con insectos que se alimentan de productos vegetales. Además, el ejemplar de Teruel se trata de una de las mantis más antiguas conocidas en el mundo; las más antiguas se han encontrado en Mongolia y son unos 35 millones de años anteriores. Es una mantis muy primitiva, por lo que recuerda mucho a las cucarachas, grupo del que surgieron las mantis probablemente al final del Jurásico; no pudo ser encasillada en una familia de mantis concreta, ni actual ni fósil, por

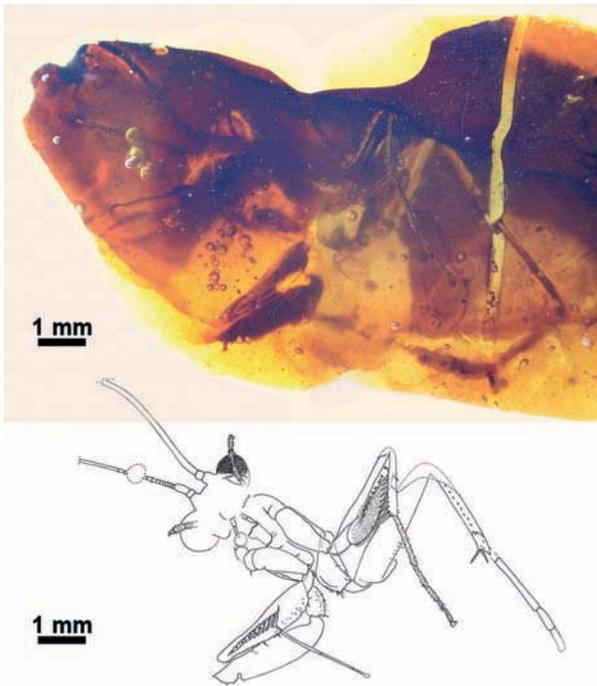


Figura 5. Mantis religiosa (holotipo) encontrada en ámbar cretácico de San Just y descrita en 2016 como nuevo género y especie: *Aragonimantis aenigma*.

mantis, un grupo de mantis hallado en el ámbar del Líbano y Myanmar (antigua Birmania). No es sorprendente si se tiene en cuenta que anteriormente se habían observado similitudes estrechas entre las faunas de insectos de los ámbares de España y los de Myanmar y Líbano.

Aparte de todos estos taxones de San Just, se describió una pequeña avispa evánida en el ámbar cretácico de Arroyo de la Pascueta, en el municipio de Rubielos de Mora, por Peñalver *et al.* (2010): *Cretevania rubusensis*.

Todos los ejemplares descritos del ámbar cretácico de Aragón se encuentran depositados en la colección de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis.

TAXONES DESCRITOS DEL PALEOLAGO

Todos los insectos fósiles descritos a partir del registro del paleolago de Rubielos de Mora corresponden a grupos muy escasos en el registro fósil. Algunos de los holotipos son los únicos ejemplares fósiles conocidos para la familia a la que pertenecen, como es el caso de una avispa de la familia Perilampidae o un hemíptero homóptero de la familia Phylloxeridae. El conjunto de nuevas especies descritas hasta ahora prácticamente se limita a los hemípteros y a los himenópteros.

La primera especie de insecto fósil que se describió en Aragón fue *Zygaena? turolensis* (Figura 6), una polilla de la familia Zygaenidae (Fernández-Rubio *et al.*, 1991). El ejemplar fue descubierto por un vecino de Rubielos de Mora, el Sr. Federico Górriz, y posteriormente se encontró un segundo ejemplar de esta especie. Se pudo distinguir parte del patrón de coloración alar que tan peculiar es en los zigénidos.

ello el nombre “*aenigma*” que se le asignó. La mantis fósil de Utrillas sólo conserva su parte anterior (la cabeza, las patas prensoras para cazar, las patas medias y otras partes del tórax), pero está perfectamente conservada. Precisamente lo que se ha conservado de ella es lo más importante para caracterizar estos insectos. Se ha podido distinguir del resto de mantis conocidas, tanto fósiles como actuales, principalmente por la dotación única de espinas en las patas prensoras para cazar. El cuerpo de esta ninfa es diminuto; la pata prensora completamente extendida sólo medía 7 milímetros y medio de longitud. Se pudo determinar que *Aragonimantis* estaba estrechamente emparentada con el género *Bur-*

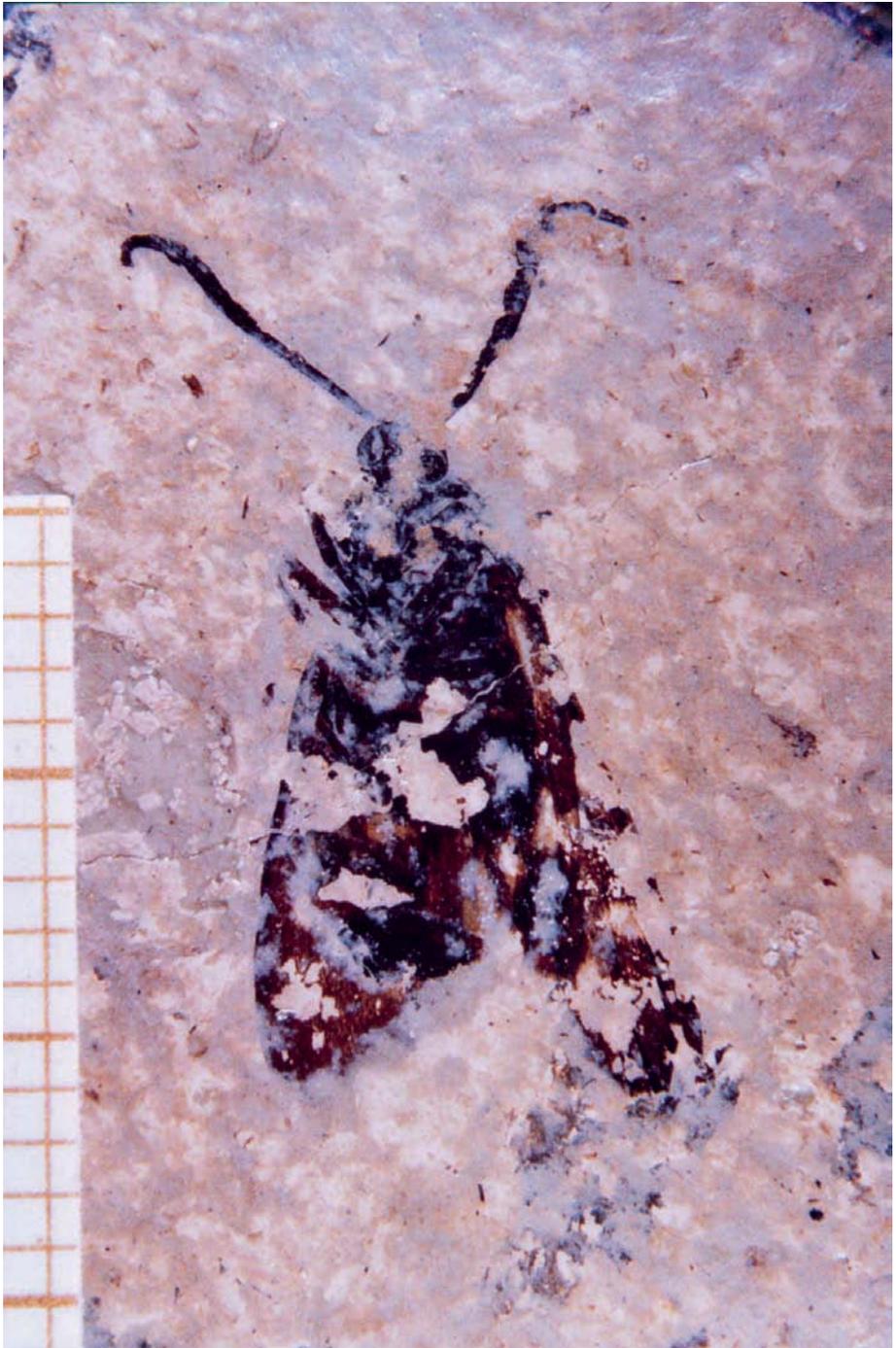


Figura 6. Lepidóptero de la familia Zygaenidae descrito como *Zygaena? turolensis* (holotipo), primer insecto fósil descrito en Aragón. Proviene de las ritmitas bituminosas lacustres de Rubielos de Mora, Teruel.

Los hemípteros en Rubielos de Mora están representados por numerosas formas nuevas no descritas y por 8 especies ya descritas. La especie de filoxera *Palaeophylloxera seilacheri* es el único representante fósil de la familia Phylloxeridae (Heie y Peñalver, 1999), aunque se habían encontrado en el registro fósil algunas marcas en hojas que se habían atribuido a este grupo. La filoxera de Rubielos de Mora se diferencia de los otros representantes del grupo por la aparente presencia de una vena oblicua en el ala posterior, la presencia de estrías transversas muy patentes en el tercer segmento de la antena y por la peculiar venación de las alas anteriores. Las filoxeras pueden suponer una plaga para los viñedos, como ocurrió durante el siglo XIX en España produciendo grandes pérdidas económicas. De la familia Miridae se describieron en el año 2000 dos especies: *Aragocylapus miocaenicus* y *Dicyphus rubusensis* (Figura 7.A). La primera supuso la descripción de un nuevo género dedicado a Aragón (Herzcek *et al.*, 2000). Pertenece a la subfamilia Cylapinae que actualmente se encuentra en todas las regiones zoogeográficas pero principalmente en ambientes tropicales y subtropicales. La segunda se describió a partir de cuatro ejemplares, por Peñalver y Baena (2000), y se observó una gran similitud con la especie actual *Dicyphus cerastii*, de la que se diferenciaba por ser de menor tamaño y por las proporciones anatómicas. Probablemente, la especie fósil se desarrollaba en plantas con superficies pilosas o glandulares. El mismo año se describió una especie

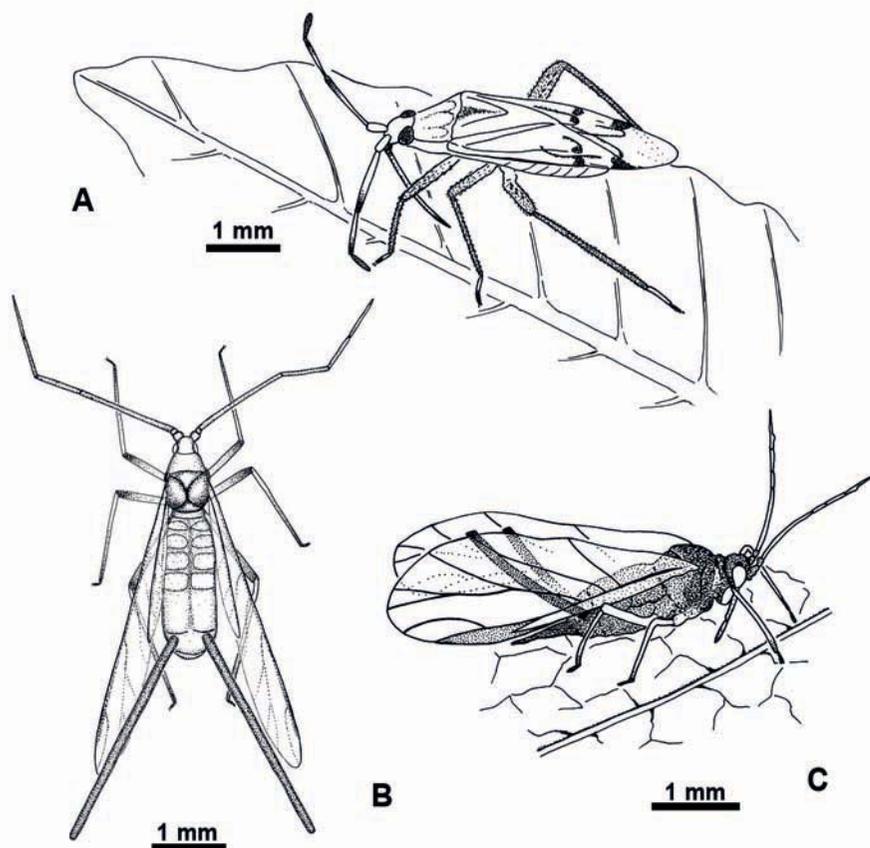


Figura 7. Reconstrucciones de varias especies de hemípteros descritas a partir del registro fósil de Rubielos de Mora. A. *Dicyphus rubusensis*, B. *Mollitrichosiphum rubusensis* y C. *Eutrichosiphum europaeum*.



Figura 8. Un ejemplar hembra de la familia Halictidae. Corresponde al holotipo de la especie *Halictus petrefactus*, proveniente del paleolago de Rubielos de Mora en Teruel.

de chinche de encaje o familia Tingidae (Golub y Popov, 2000). La especie fue denominada *Derephysia penalveri* y mostraba en gran parte la peculiar ornamentación de la cutícula que es única para cada especie y caracteriza a estas chinches. Una rara familia de pulgones, Greenideidae, cuenta con cuatro especies descritas por Wegierek y Peñalver (2002), todas ellas de la subfamilia Greenideinae: *Mollitrichosiphum rubusensis* (Figura 7.B), *Eutrichosiphum europaeum* (Figura 7.C), *Greenidea hispanica* y *Greenideoidea (Pentatrichosiphum) turolensis*. Se caracterizan por poseer unos cornículos en el abdomen de gran longitud, estructura por la que los pulgones excretan el exceso de azúcares de la savia de la que se alimentan. Se conocen otras especies fósiles del Mioceno en Europa, pero actualmente este grupo está restringido al sudeste de Asia, aunque el género *Greenidea* tiene una distribución mayor que engloba el sureste de la Federación de Rusia y Australia. Ello indica que los cambios en clima y flora posteriores al Mioceno restringieron esta subfamilia de pulgones, representada por más de 130 especies en siete géneros, a su distribución actual, que no incluye Europa Occidental.

De forma similar a los himenópteros, los himenópteros de Rubielos de Mora son muy diversos, pero hasta ahora sólo se ha descrito una pequeña fracción de las distintas formas halladas. Todas fueron descritas en 2006, en dos publicaciones, excepto una forma en 2013. Una de las publicaciones de 2006 indicaba en el título que se describían avispa parasitoides, tres especies nuevas, de dos “familias muy poco comunes en el registro fósil” (Peñalver y Engel, 2006). Un único ejemplar de hembra de la familia Perilampidae era el primer registro fósil establecido con seguridad para dicha familia: *Perilampus renzii*. Otros dos ejemplares de la familia Megaspilidae eran los únicos encontrados en rocas de compresión en todo el mundo y

se establecían como holotipos de las especies *Conostigmus lazarus* y *Conostigmus chthonios*. La otra publicación (Engel y Peñalver, 2006) presentaba un ejemplar de abeja de la familia Halictidae que se describía como *Halictus petrefactus* (Figura 8). El último ejemplar fósil descrito de himenóptero del paleolago de Rubielos de Mora, una hembra, corresponde a un nuevo género y especie, *Palaeogronotoma nordlanderi*, de la familia Figitidae, subfamilia Eucoilinae (Peñalver *et al.*, 2013). Se trata del primer ejemplar conocido de la subfamilia en depósitos del Cenozoico, pese a que en la fauna actual se han reconocido unas 1000 especies en 80 géneros. Esta nueva forma presenta una configuración antenal muy peculiar dentro del grupo. Si la especie fósil tenía una biología similar a las actuales, entonces sus inmaduros eran parasitoides de diversos grupos de moscas.

Todos los ejemplares de insectos listados se han hallado en las ritmitas bituminosas lacustres de la Cuenca de Rubielos de Mora. En depósitos no finamente laminados de esta cuenca se han descrito también varios micromamíferos que han permitido datarla mejor (ver las síntesis Montoya *et al.*, 1996 y Peñalver, 2007; y también Van den Hoek, 1997).

Los ejemplares de artrópodos descritos del paleolago de Rubielos de Mora se encuentran depositados en las colecciones del Museo de Ciencias Naturales de Valencia y Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza.

CONCLUSIONES

Los yacimientos de ámbar y de sedimentos lacustres de Aragón son fuentes de paleodiversidad, ya que las condiciones que se dieron en su formación permitieron la fosilización de muchos organismos distintos, sobre todo artrópodos, que por su conservación excepcional pueden ser descritos con mucho detalle. Precisamente, los artrópodos son los organismos más diversos que existen. Por las características de los yacimientos de San Just y Rubielos de Mora, se puede concluir que las futuras excavaciones paleontológicas que se hagan en ellos seguirán proporcionando más y más especies nuevas, por lo que la labor de descripción taxonómica continuará por mucho tiempo. Se trata de localidades tipo muy ricas. Aportan un gran conocimiento sobre las especies, y otros niveles taxonómicos, del pasado, y también muestran importantes datos sobre las relaciones filogenéticas entre los diferentes grupos y sobre su biología pasada. Todo ello implica que este patrimonio natural tiene una gran relevancia científica y su protección debe mantenerse en Aragón como una acción destacada, reforzándola con la calificación de ambos yacimientos paleontológicos con la figura de protección *Bien de Interés Cultural*.

AGRADECIMIENTOS

La investigación de las bioinclusiones del ámbar cretácico de Aragón ha sido financiada principalmente por el proyecto CGL2014-52163, y anteriores, del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, junto a ayudas de la DGA, Caja Rural de Teruel y del Instituto de Estudios Turolenses. Ha contado también con el apoyo de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis y el Ayuntamiento de Utrillas. La investigación de los fósiles de compresión del Mioceno aragonés fue financiada por el Instituto de Estudios Turolenses y se contó con el inestimable apoyo del Ayuntamiento de Rubielos de Mora y de sus vecinos Federico Górriz y Federico Alegre.

REFERENCIAS

- Anadón, P., Cabrera, L., Inglés, M., Julià, R. and Marzo, M. 1988a. The Miocene lacustrine basin of Rubielos de Mora. En: *Excursion Guidebook International workshop-field seminar on lacustrine facies models in rift systems and related natural resources*. Barcelona-Rubielos de Mora. Institut de Geologia "Jaume Almera", C.S.I.C., 32 pp.
- Anadón, P., Cabrera, L. and Julià, R. 1988b. Anoxic-oxic cyclical lacustrine sedimentation in the Miocene Rubielos de Mora Basin, Spain En: Fleet, A.J., Kelts, K. and Talbot, M.R. (eds.), *Lacustrine Petroleum Source Rocks*. Geological Society London Special Publication, 40, 353-367.
- Arillo, A., Peñalver, E. and Delclòs, X. 2008a. *Microphorites* (Diptera: Dolichopodidae) from the Lower Cretaceous amber of San Just (Spain), and the co-occurrence of two ceratopogonid species in Spanish amber deposits. *Zootaxa*, 1920, 29-40.
- Arillo, A., Peñalver, E. and García-Gimeno, V. 2009. First fossil *Litoleptis* (Diptera: Spaniidae) from the Lower Cretaceous amber of San Just (Teruel Province, Spain). *Zootaxa*, 2026, 33-39.
- Arillo, A., Subías, L.S. and Sánchez-García, A. 2016. New species of fossil oribatid mites (Acariformes, Oribatida), from the Lower Cretaceous amber of Spain. *Cretaceous Research*, 63, 68-76.
- Arillo, A., Subías, L.S. and Shtanchaeva, U. 2008b. A new fossil species of oribatid mite, *Ametroproctus valeriae* sp. nov. (Acariformes, Oribatida, Ametroproctidae), from the Lower Cretaceous amber of San Just, Teruel Province, Spain. *Cretaceous Research*, 30 (2), 322-324.
- Arillo, A., Subías, L.S. and Shtanchaeva, U. 2010. A New Genus and Species of Oribatid Mite, *Cretaceobodes martinezae* gen. et sp. nov., from the Lower Cretaceous Amber of San Just (Teruel Province, Spain) (Acariformes, Oribatida, Otocephelidae). *Paleontological Journal*, 44 (3), 287-290.
- Arillo, A., Subías, L.S. and Shtanchaeva, U. 2012. A new species of fossil oribatid mite (Acariformes, Oribatida, Trhypochthoniidae) from the Lower Cretaceous amber of San Just (Teruel Province, Spain). *Systematic & Applied Acarology*, 17 (1), 106-112.
- Barrón, E., Lassaletta, L. and Alcalde-Olivares, C. 2006. Changes in the Early Miocene palynoflora and vegetation in the east of the Rubielos de Mora Basin (SE Iberian Ranges, Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 242 (2/3), 171-204.
- Delclòs, X., Peñalver, E., Arillo, A., Engel, M.S., Nel, A., Azar, D. and Ross, A. 2016. New mantises (Insecta: Mantodea) in Cretaceous ambers from Lebanon, Spain and Myanmar. *Cretaceous Research*, 60, 91-108.
- Engel, M.S. and Peñalver, E. 2006. A Miocene Halictine Bee from Rubielos de Mora Basin, Spain (Hymenoptera: Halictidae). *American Museum Novitates*, 3503, 10 pp.
- Engel, M.S. and Delclòs, X. 2010. Primitive Termites in Cretaceous Amber from Spain and Canada (Isoptera). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 83 (2), 111-128.
- Engel, M.S., Ortega-Blanco, J., Soriano, C., Grimaldi, D.A. and Delclòs, X. 2013. A New Lineage of Enigmatic Diaprioid Wasps in Cretaceous Amber (Hymenoptera: Diaprioidea). *American Museum Novitates*, 3771, 23 pp.

- Fernández-Rubio, F., Peñalver, E. y Martínez-Delclòs, X. 1991. *Zygaena? turolensis*, una nueva especie de Lepidoptera Zygaenidae del Mioceno de Rubielos de Mora (Teruel). Descripción y filogenia. *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Álava*, 6, 77-93.
- Godoy, A. y Anadón, P. 1986. *Memoria explicativa del Mapa Geológico de España*, E. 1:50.000. Hoja nº 591 (Mora de Rubielos), IGME, 52 pp.
- Golub, V.B. and Popov, Yu.A. 2000. New Cenozoic Lace Bugs (Heteroptera: Tingidae). *Paleontological Journal*, 34 Suppl. 3, 290-297.
- Grimaldi, D.A. and Engel, M.S. 2005. *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press, New York, 755 pp.
- Guimerà, J. 1990. Formación de una cubeta sinclinal en un contexto extensivo: la cuenca miocena de Rubielos de Mora (Teruel). *Geogaceta*, 8, 33-35.
- Heie, O.E. and Peñalver, E. 1999. *Palaeophylloxera* nov. gen., the first fossil specimen of the family Phylloxeridae (Hemiptera: Phylloxeroidea); Lower Miocene of Spain. *Geobios*, 32 (4), 593-597.
- Herczek, A., Popov, Yu.A. and Peñalver, E. 2000. The first record of clypinous plant bugs from the Lower Miocene of Spain: *Aragocylapus miocaenicus* n. gen., n. sp. (Heteroptera: Miridae: Clypininae). *Acta Geológica Hispánica*, 35 (1-2), 183-188.
- Martínez-Delclòs, X., Briggs, D.E.G. and Peñalver, E. 2004. Taphonomy of insects in carbonates and amber. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 203, 19-64.
- McNamara, M., Orr, P.J., Manzocchi, T., Kearns, S.T., Alcalá, L., Anadón, P. and Peñalver, E. 2012. Biological controls upon the physical taphonomy of exceptionally preserved salamanders from the Miocene of Rubielos de Mora, Spain. *Lethaia*, 45 (2), 210-226.
- Moissenet, E. et Gautier, F. 1971. La région de Rubielos de Mora (Province de Teruel, Chaînes Ibériques orientales). Contribution à l'étude géologique et morphologique. *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 7, 5-28.
- Moliner, L. y Zamora, S. 2017. Paleotipos aragoneses: Catálogo de los géneros y especies de fósiles definidos en Aragón (1850-2016). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Cuadernos del Museo Geominero, 24, 103 pp.
- Montoya, P., Peñalver, E., Ruiz-Sánchez, F.J., Santisteban, C., Alcalá, L., Belinchón, M. y Lacomba, J.I. 1996. Los yacimientos paleontológicos de la cuenca terciaria continental de Rubielos de Mora (Aragón). *Revista Española de Paleontología*, nº extra., 215-224.
- Ortega-Blanco, J., Delclòs, X., Peñalver, E. and Engel, M.S. 2011a. Serphitid wasps in Early Cretaceous amber from Spain (Hymenoptera: Serphitidae). *Cretaceous Research*, 32, 143-154.
- Ortega-Blanco, J., Peñalver, E., Delclòs, X. and Engel, M.S. 2011b. False fairy wasps in Early Cretaceous amber from Spain (Hymenoptera: Mymarommatoidea). *Palaeontology*, 54 (3), 511-523.
- Peñalver, E. 2002. *Los insectos dípteros del Mioceno del Este de la Península Ibérica: Rubielos de Mora, Ribesalbes y Bicorp. Tafonomía y sistemática*. Servei de Publicacions, Universitat de València (CD format), Valencia, 550 pp.
- Peñalver, E. 2007. La variedad y relevancia de la riqueza paleontológica de Rubielos de Mora. *¡Fundamental!*, 2007, 93-103.

- Peñalver, E. 2011. Ámbar cretácico de San Just (Teruel): el estudio de los insectos que convivieron con los dinosaurios. *Isurus*, 4, 24-36.
- Peñalver, E. y Baena, M. 2000. Primer registro fósil del género *Dicyphus* (Insecta: Hemiptera: Miridae); Mioceno Inferior de Teruel (España). *Revista Española de Paleontología*, 15 (1), 49-56.
- Peñalver, E. and Delclòs, X. 2010. Spanish Amber. In: Penney, D. (ed.), *Biodiversity of fossils in amber from the major world deposits*. Siri Scientific Press, Manchester, 236-270.
- Peñalver, E. and Engel, M. 2006. Two Wasp Families Rare in the Fossil Record (Hymenoptera): Perilampidae and Megaspilidae from the Miocene of Spain. *American Museum Novitates*, 3540, 12 pp.
- Peñalver, E. and Nel, P. 2010. *Hispanothrips* from Early Cretaceous Spanish amber, a new genus of the resurrected family Stenurothripidae (Insecta: Thysanoptera). *Annales de la Société entomologique de France*, 46 (1-2), 138-147.
- Peñalver, E. and Szwedlo, J. 2010. Perforissidae (Hemiptera: Fulgoroidea) from the Lower Cretaceous San Just amber (Eastern Spain). *Alavesia*, 3, 97-103.
- Peñalver, E., Delclòs, X. and Soriano, C. 2007. A new rich amber outcrop with palaeobiological inclusions in the Lower Cretaceous of Spain. *Cretaceous Research*, 28, 791-802.
- Peñalver, E., Fontal-Cazalla, F.M. and Pujade-Villar, J. 2013. *Palaeogronotoma* nov. gen. from the Miocene of Spain, the first Tertiary fossil record of the subfamily Eucoilinae (Hymenoptera: Figitidae). *Geodiversitas*, 35 (3), 643-653.
- Peñalver, E., Ortega, J., Nel, A. and Delclòs, X. 2010. Mesozoic Evaniidae (Insecta: Hymenoptera) in Spanish Amber: Reanalysis of the Phylogeny of the Evanioidea. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), 84 (4), 809-827.
- Pérez-de la Fuente, R., Saupe, E.E. and Selden, P.A. 2013. New lagonomegopid spiders (Araneae: †Lagonomegopidae) from Early Cretaceous Spanish amber. *Journal of Systematic Palaeontology*, 11, 531-553.
- Peris, D., Davis, S.R., Engel, M.S. and Delclòs, X. 2014. An evolutionary history embedded in amber: reflection of the Mesozoic shift in weevil-dominated (Coleoptera: Curculionoidea) faunas. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 171, 534-553.
- Peris, D., Keith Phillips, T. and Delclòs, X. 2015. Ptinid beetles from the Cretaceous gymnosperm-dominated forests. *Cretaceous Research*, 52 (B), 440-452.
- Szadziewski, R., Arillo, A., Urbanek, A. and Sontag, E. 2016. Biting midges of the extinct genus *Protoculicoides* Boesel from Lower Cretaceous amber of San Just, Spain and new synonymy in recently described fossil genera (Diptera: Ceratopogonidae). *Cretaceous Research*, 58, 1-9.
- Van den Hoek L.W. 1997. Insectivore faunas from the Lower Miocene of Anatolia. Part 4: The genus *Desmanodon* (Talpidae) with the description of a new species from the Lower Miocene of Spain. *Proceedings van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen*, 100 (1-2), 27-65.
- Villanueva-Amadoz, U., Pons, D., Diez, J.B., Ferrer, J. and Sender, L.M. 2010. Angiosperm pollen grains of San Just site (Escucha Formation) from the Albian of the Iberian Range (north-eastern Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162 (3), 362-381.
- Wegierek, P. and Peñalver, E. 2002. Fossil representatives of the family Greenideidae (Hemiptera, Aphidoidea) from the Miocene of Europe. *Geobios*, 35, 745-757.



ARIÑO: LA MINA DE LOS DINOSAURIOS

Luis Alcalá¹, Eduardo Espílez¹ y Luis Mampel¹

¹ Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis/Museo Aragonés de Paleontología. Avda. Sagunto s/n. 44002 Teruel, España.

alcala@dinopolis.com, espilez@fundaciondinopolis.org, mampel@fundaciondinopolis.org

Resumen: En el año 2010 no había ningún indicio documental de la presencia de huesos de dinosaurios en Ariño (Teruel). Cinco años después se inauguró un nuevo satélite de Dinópolis, el séptimo, con dos nuevos géneros de dinosaurios: el iguanodontio *Proa* y el anquilosaurio *Europelta*, así como con muchos otros fósiles relevantes, principalmente de vertebrados, del Albiense (Cretácico Temprano). Actualmente se han descrito 4 nuevos géneros (los ya citados más la tortuga pleurostérnida *Toremys* y el cocodrilo goniofolídido *Hulkepholis*) y ocho nuevas especies en total entre los casi 10.000 fósiles correspondientes a 143 concentraciones localizadas en el interior de la mina de lignito a cielo abierto Santa María del Grupo SAMCA (datos de diciembre de 2017). La gran extensión del yacimiento, el hecho de que se encuentran esqueletos de vertebrados abundantes y bastante completos, y la escasez de yacimientos europeos con dinosaurios del Albiense lo convierten en un lugar excepcional, que no sólo aporta un notable progreso en el conocimiento de los vertebrados europeos –de alguno de los cuales representa el registro más moderno conocido– sino que sirve para promover el geoturismo de la zona a través de la instalación de Dinópolis en el Parque Cultural del Río Martín.

Palabras clave: Albiense, Dinosaurios, Geoturismo, Minería, Teruel.

Abstract: *In 2010 there was no documentary evidence of the presence of dinosaur bones in Ariño (Teruel). Five years later a new Dinópolis-satellite facility was opened, the seventh, with two new dinosaur genera: the iguanodontian Proa and the ankylosaur Europelta, as well as many other relevant fossils, mainly vertebrates, from the Albian (Early Cretaceous). Currently, 4 new genera have been described (the aforementioned plus the pleurosternid tortoise Toremys and the goniofoliidid crocodile Hulkepholis) and eight new species among the almost 10,000 fossils corresponding to 143 concentrations located inside the open-pit Santa María coal mine of the SAMCA Group (data from December 2017). The huge expanse of the site, the fact that there are abundant and fairly complete vertebrate skeletons and the scarcity of European dinosaur sites in the Albian, make it an exceptional place, which not only brings a remarkable progress in the knowledge of European vertebrates –some of which represents the most modern known records– but it serves to foster the geotourism of the area through the settlement of a Dinópolis facility in the Cultural Park of the River Martín.*

Key words: *Albian, Dinosaurs, Geotourism, Mining, Teruel.*

INTRODUCCIÓN

Si bien la abundancia y diversidad de los fósiles de la provincia de Teruel son argumentos tan conocidos y suficientes como para considerarla una verdadera provincia paleontológica, buena parte de su popularidad se debe a la peculiaridad de sus fósiles de dinosaurios. La fama de Teruel en el mundo de la dinosauriología tiene orígenes remotos pues cuando se publicaron los primeros restos de dinosaurios españoles en el siglo XIX, concretamente en 1872 y 1873, ya se incluyó la referencia a una localidad turolense –Utrillas–, citada por Juan Vilanova y Piera (Vilanova, 1872, 1873). Los restos procedían de los lignitos de la base de las “Facies Utrillas”, que incluye el límite Aptiense-Albiense, englobado dentro de la Formación Escucha.

También en Teruel se encontraron los restos que sirvieron para la definición del primer dinosaurio descrito en España, el saurópodo *Aragosaurus ischiaticus*, objeto de un

estudio preliminar por parte de Albert F. de Lapparent, que reconoció bastantes vértebras y huesos de la pelvis de un *Iguanodon bernissartensis* y diversos restos esqueléticos de un gran saurópodo (Lapparent, 1960). Lapparent intuyó que el saurópodo pertenecía a un género no descrito, destacando la presencia de un enorme y potente pubis; tiempo después este material sirvió para la definición, en 1987, del primer dinosaurio español (Sanz *et al.*, 1987).

Estos hitos constituyen una muestra de lo que muchos años después ha desembocado en el hallazgo de numerosísimos yacimientos con restos de dinosaurios y la descripción de nuevos géneros y especies de dinosaurios. La gran mayoría de estos hallazgos se ha centrado en los afloramientos correspondientes a dos intervalos temporales: el entorno del tránsito Jurásico-Cretácico, y el Barremiense (Cretácico Temprano). Precisamente en estos dos intervalos el equipo de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis ha desarrollado numerosas investigaciones que han dado lugar a un incremento de hallazgos en lugares ya conocidos o bien al registro de dinosaurios en municipios turolenses donde no habían sido previamente documentados.

En el más antiguo de estos intervalos se sitúa la Formación Villar del Arzobispo, en la que se consideraba que se situaba el límite entre el Jurásico y el Cretácico y que, según los últimos datos fiables, se depositó en su mayor parte durante el Jurásico Tardío. Los resultados más relevantes de las investigaciones de la Fundación en yacimientos de esta formación se resumen en la nueva caracterización del emblemático dinosaurio *Aragosaurus* de Galve, en la descripción del gran saurópodo *Turiasaurus* en Riodeva (el dinosaurio más grande de Europa descrito hasta el momento, Royo *et al.*, 2006) o el establecimiento de dos nuevos tipos de icnitas (huellas de pisadas) de dinosaurios en El Castellar: *Iberosauripus grandis* (atribuida a un gran carnívoro, Cobos *et al.*, 2014) y *Deltapodus ibericus* (atribuida al tireóforo *Dacentrurus armatus*, Cobos *et al.*, 2010). En cuanto a novedades del Barremiense, cabe destacar la descripción de la nueva especie *Iguanodon galvensis* (recuperada como consecuencia de



Figura 1. Explotación de los años cincuenta del siglo XX en Ariño.

las labores de seguimiento paleontológico semanal llevadas a cabo en la mina de arcillas de Galve, Verdú *et al.*, 2015), así como la propuesta de un lugar de crecimiento de crías de esta especie, tal vez mediante cuidado parental.

En cuanto al número de hallazgos, destacan los realizados en los términos municipales de Riodeva y El Castellar (Alcalá *et al.*, 2012b), con más de medio centenar de yacimientos con fósiles de dinosaurios registrados por el equipo de la Fundación en cada uno de ellos.

En este trabajo se presentan las novedades paleontológicas realizadas en un yacimiento excepcional, la Mina Santa María de Ariño, en el que la Fundación Dinópolis desarrolla investigaciones desde el año 2010. Este yacimiento se sitúa en el interior de una mina activa de lignito a cielo abierto y destaca por sus dimensiones (una superficie prospectada de aproximadamente 30 hectáreas), la abundancia de esqueletos parciales de vertebrados que contiene y su poco frecuente edad en lo referente al registro de dinosaurios europeos. El término municipal de Ariño pertenece a la Comarca Andorra-Sierra de Arcos y al Parque Cultural del Río Martín. Está situado en la zona norte de la provincia de Teruel, a 126 km de la ciudad de Teruel, y forma parte de la denominada Val de Ariño. La zona se caracteriza por una importante actividad minera basada en el carbón, que todavía es la principal actividad económica de la zona (Figuras 1, 2).

ANTECEDENTES

Paradójicamente, los niveles fosilíferos de la procedencia de los primeros dinosaurios citados en España cayeron en el olvido y sólo alguna nota puntual se había publicado acerca de algunos nuevos restos aislados encontrados en Utrillas (Canudo *et al.*, 2004, 2005).

El potencial que podrían tener las búsquedas en sedimentos de la Formación Escucha, el interés de completar los datos del registro paleontológico de dinosaurios turolenses, muy centrados como se ha señalado en intervalos temporales anteriores, y una vaga conversación



Figura 2. Minero empujando una vagoneta en Ariño.

en la que se comentó que podría haberse encontrado algún resto de hueso durante las tareas mineras llevadas a cabo en Ariño, dirigieron la atención del equipo de la Fundación hacia dicha localidad minera, conocida solamente, en lo que se refiere a los dinosaurios, por el yacimiento de icnitas de Puente del río Escuriza, situado muy próximo al núcleo urbano. Este yacimiento se citó por primera vez en una tesis doctoral de síntesis del Cretácico del Maestrazgo (Canérot, 1974). En él se han documentado 61 subimpresiones de huellas correspondientes a tres tipologías: huellas de miembros delanteros de saurópodos, huellas de miembros traseros de saurópodos y huellas tridáctilas, de tamaño intermedio entre las dos anteriores, producidas por ornitópodos, según Canudo *et al.* (2000), que atribuyen el yacimiento al Barremiense superior.

Geológicamente, Ariño se sitúa en la Rama Aragonesa de la cordillera Ibérica, en la Subcuenca de Oliete perteneciente a la Cuenca del Maestrazgo (Salas y Guimerá, 1996). Una parte importante del término municipal de Ariño presenta sedimentos continentales del Cretácico Inferior y se trata de una zona adecuada para llevar a cabo un estudio geológico-paleontológico sistemático por varias razones:

- Gran potencial para contener restos fósiles de vertebrados debido a la notable extensión de afloramientos de materiales del Cretácico Inferior continental. Las características que presentan los materiales cretácicos y continentales de la zona parecen ser muy favorables para contener restos directos e indirectos de dinosaurios, tal y como queda patente en muchas otras zonas de la provincia de Teruel.
- Sucesión estratigráfica del Cretácico Inferior (Hauteriviense-Albiense) muy continua, idónea para observar los cambios sedimentológicos, paleoambientales, florísticos y faunísticos a lo largo de ese intervalo de tiempo.
- Abundancia de sedimentos del Aptiense superior-Albiense, edades de las que no se tienen muchos fósiles de vertebrados turolenses, por lo que podrían aportarse nuevos datos, en su caso.
- Ubicación en el sector norte de la provincia de Teruel, que permite completar relaciones estratigráficas, geocronológicas y biocronológicas con afloramientos situados más al sur (Galve, El Castellar, Riodeva...).



En la columna estratigráfica de la figura 3 se pueden observar la sucesión vertical y las principales características de las unidades litoestratigráficas del Cretácico Inferior en el área de Ariño. En esta zona de la provincia de Teruel predominaron los ambientes sedimentarios continentales o marinos proximales durante el Cretácico Temprano.

Las primeras noticias bien documentadas acerca de la explotación del carbón de las cuencas mineras turolenses, el lignito, datan del siglo XVIII y corresponden a labores emprendidas en el entorno de Utrillas-Escucha. Según Alcaine (1998), a mediados del siglo XVIII familias de Alloza producían alambre y caparrosa de Val de Ariño y, para obtener

Figura 3. Sección estratigráfica simplificada de la Formación Escucha, modificada de Aurell *et al.* (2001).



Figura 4. Pedro Alcaine (SAMCA), cronista de la historia de Ariño y de su minería, junto a un minador ruso PK-3R en un frente de carbón.

estos productos, se aprovechaban las capas de lignito más piritosas –las más superficiales– y las arcillas que los acompañan. En 1862, Agustín Martínez Alcibar publicó su *Monografía Geognóstica De La Cuenca Carbonífera De Val-de-ariño De La Provincia De Teruel: Por El Ingeniero Jefe Del Distrito Minero De Zaragoza D. Agustín Martínez Alcibar...*, en la que era partidario de una explotación por pozo y no por el primitivo procedimiento de galerías y planos inclinados, según Alcaine (1998). En 1894, según Pizarro (2010), un nuevo vecino de Alloza denunció una mina de carbón en Val de Ariño. Las actividades mineras en Ariño quedaron prácticamente paralizadas a principios de 1906 debido al decaimiento del mercado de alumbres.

Según Alcaine (1998), durante la Primera Guerra Mundial, la industria del carbón en Teruel alcanzó su segundo periodo de prosperidad y los lignitos de la cuenca de Val de Ariño aparecieron en cantidades apreciables, por primera vez, en el mercado nacional. Las concesiones más ricas y mejor situadas fueron denunciadas en 1916 por una familia de navieros de Barcelona. Desde el año 1920 las concesiones fueron explotadas por la Sociedad General Azucarera de España y, después de terminar la Guerra Civil española, a finales de 1939, la actividad minera de la zona pasó a depender de la Sociedad Anónima Catalano-Aragonesa (SAMCA), cuyo objeto social era la explotación de los carbones de Teruel, empresa actualmente propietaria de la mina de Ariño cuyos fósiles son objeto de este artículo (Figura 4). La expansión de las labores desarrolladas por las empresas se contuvo cuando en 1942 el Estado se reservó la zona carbonífera y creó ENCASO (Empresa Nacional Calvo Sotelo S.A.) con la intención de aprovechar la riqueza minera de la cuenca, empezando su actividad mediante expropiaciones. En 1972, el complejo minero de Andorra-ENCASO se integró en ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad). En 1981 se inauguró la Central Térmica Teruel, situada en Andorra, una instalación clave para determinar el futuro de la minería de la Val de Ariño. Ese mismo año, SAMCA fue adquirida por el industrial Ángel Luengo Martínez, artífice de su actual esplendor. A principios de 1975, SAMCA puso en marcha su primera explotación a cielo abierto, en la concesión Santa María.

EL YACIMIENTO AR-1

El yacimiento paleontológico de Ariño denominado AR-1 (Alcalá *et al.*, 2012a, 2013, 2014) se sitúa en el interior de la mina a cielo abierto Santa María del Grupo SAMCA (Figura 5), en la base de las capas con carbón de la Formación Escucha; concretamente en la denominada Sucesión Sedimentaria Inferior (SSI) de Rodríguez-López *et al.* (2009), que en esta zona de la cordillera Ibérica abarca la parte inferior y media de la Formación Escucha de Pardo (1979) y contiene los tramos de carbón explotados actualmente en la zona. Los datos proporcionados por nanofósiles, foraminíferos planctónicos, dinoflagelados y polen atribuyen una edad Aptiense-Albiense inferior al intervalo de la SSI (Peyrot *et al.*, 2007; Gea *et al.*, 2008) y una edad Albiense inferior para el nivel del yacimiento (Tibert *et al.*, 2013, Villanueva-Amadoz, 2015). El ambiente sedimentario de AR-1 correspondería a una llanura cenagosa de agua dulce con aportes marinos esporádicos en el contexto de un sistema de estuario-delta en un clima tropical o subtropical.

El nivel estratigráfico fosilífero coincide con el muro de la explotación minera, es decir, el lugar donde se paralizan los trabajos de extracción de lignito y se sitúa inmediatamente por debajo de la última capa de carbón extraída. Según Alcaine (1998), los paquetes –o capas– productivos de la cuenca de Val de Ariño se denominan, de muro a techo: Capa “S” (muy localizada y sedimentada en las arcillas inferiores del Albiense), Capa “R” (muy productiva por su buena calidad y su potencia media de 3 metros), Capa “Q” (improductiva en un 80 % de la superficie de la cuenca), Capa “Paquete” (varias capas individuales separadas por pequeñas intercala-

Figura 5. Panorámica de la Mina Santa María de Ariño, con el talud del yacimiento AR-1 al fondo.



ciones arcillosas, con una potencia media del conjunto de 8 metros) y Capas “K” y “L” (muy irregulares y con lignito de baja calidad).

La posición del yacimiento determina que la superficie de exposición sea extraordinariamente amplia y esté libre de vegetación, hecho difícilmente observable en otro lugar en el que no exista una actividad minera de cierta importancia. En líneas generales, su litología se caracteriza por lutitas con una alta concentración de materia orgánica que le confiere un color oscuro muy característico (Figura 6).



Figura 6. Uno de los accesos a la capa fosilífera AR-1 (esquina superior izquierda de la imagen).

El contenido paleobotánico del entorno de los lignitos turolenses de la Formación Escucha se había estudiado con cierta intensidad (por ejemplo, por Querol y Solé de Porta, 1989; Solé de Porta *et al.*, 1994; Díez *et al.*, 2005; Sender *et al.*, 2008, 2013, 2015; Sender, 2012; Villanueva-Amadoz, 2009; Villanueva-Amadoz *et al.*, 2010, entre otros). Curiosamente, a pesar de la ingente cantidad de toneladas removidas históricamente en tantísimas explotaciones de las cuencas mineras turolenses, nunca se había documentado la presencia de restos de dinosaurios.



LAS CAMPAÑAS PALEONTOLÓGICAS

Conocidos los antecedentes relatados, se contactó con diversos representantes de la empresa minera para establecer un acuerdo que permitiera la mejor coordinación posible de las actividades paleontológicas previstas con las mineras existentes, anteponiendo siempre la seguridad de las personas en el interior de un recinto minero sujeto a diversos riesgos, y considerando especialmente los condicionantes que una actividad clave para el desarrollo socioeconómico de un territorio conlleva. En esta fase resultó crucial el apoyo del presidente de SAMCA, Sr. Luengo, a la solicitud planteada desde la Fundación. Consecuentemente, se inició un proyecto paleontológico que pronto dio grandes frutos; de hecho, los resultados fueron palpables desde el propio comienzo de las visitas a la mina.

El primer reconocimiento del terreno se llevó a cabo el 24 de mayo de 2010 en compañía de un geólogo de SAMCA. La zona explorada consistía en el talud de la mina abandonado tras la extracción del carbón. En aquel recorrido preliminar por el yacimiento ya se intuyó que la mina podría resultar un paraíso paleontológico, tanto por la enorme extensión del afloramiento (cuantificable en hectáreas cuando superficies ya respetables se limitaban a pocos centenares de metros cuadrados) como, sobre todo, por la gran cantidad de fósiles que se encontraban al alcance de la mano. Además, contrariamente a lo habitual, los restos no eran fragmentarios sino que se identificaban huesos completos, algunos de los cuales alcanzaban tamaños considerables. Dado que se trataba de un simple contacto con el afloramiento para valorar su potencial, no se consideró oportuno realizar un gran despliegue de medios –ni tampoco parecía pertinente documentar en una fase tan inicial las labores mineras de una empresa privada– por lo que de esa prospección pionera sólo se conservan tres imágenes y tres brevísimos fragmentos de vídeo obtenidos con un teléfono móvil (Figura 7). Desde aquel día se llevaron a cabo numerosas jornadas de prospección (Figuras 8, 9) y excavación (Figuras 10, 11) en el talud fosilífero que, afortunadamente, la explotación había respetado por su falta de interés para el aprovechamiento minero.



Figura 7. Concentración de huesos de anquilosaurio encontrada el primer día de reconocimiento de la mina (ver Figura 16)



Figura 8. Concentración AR-1/136 de huesos de cocodrilo encontrada durante una prospección en abril de 2016.



Figura 9. Concentración AR-1/118 de huesos de iguanodontio encontrada durante una prospección y fotografiada en noviembre de 2017.

La mina tiene un frente de explotación que avanza hacia el oeste, en dirección a la población de Ariño, mientras que la gigantesca escombrera donde se vierten los materiales estériles que rellenan el hueco de la zona excavada lo hace en el mismo sentido, de modo que una visión desde un satélite a lo largo del tiempo nos mostraría un enorme socavón, de contorno y dimensiones constantes, que se desplaza hacia el oeste.

Si bien el frente de explotación exhuma nuevas zonas anteriormente sepultadas y potencialmente fosilíferas –lo que aumenta la superficie a prospectar–, el avance de la escombrera sepulta inexorablemente superficies equivalentes en el flanco opuesto de la mina. Por tanto, resulta obvio que la planificación paleontológica exigía que las intervenciones más inmediatas se realizasen en el flanco oriental de la mina, antes de que el progreso de las escombreras sellase la capa que contiene los fósiles. Eventualmente, la urgencia podía surgir en otras zonas de la mina si se realizaban obras auxiliares en cualquier parte de la misma, como puede ser el caso de intervenciones relacionadas con evacuación de aguas o estabilización de taludes. Por otra parte, hay que señalar que la detección de concentraciones fosilíferas está sujeta a un determinado intervalo temporal, el que transcurre desde un cierto tiempo después del afloramiento de la capa fosilífera hasta el momento de quedar sepultada durante la restauración del relieve excavado o bien hasta que se produce la destrucción del fósil por efecto de la meteorización. Al respecto, hay que señalar que inmediatamente después de la exhumación de la capa fosilífera no se puede apreciar su contenido paleontológico entre el amasijo de rocas generado por la maquinaria y hay que esperar a que se limpie el frente de explotación; asimismo, se ha podido comprobar que los fósiles de vertebrados de Ariño experimentan rápidas alteraciones una vez expuestos a la insolación, a los efectos de los cambios de temperatura y humedad, a la oxidación de los sulfuros que contienen (pues el contenido en azufre de los carbones es muy elevado, Querol *et al.*, 1993), entre otros factores, de modo que su deterioro acontece rápidamente en condiciones de exposición subaérea.



Figura 10. Excavación de la concentración AR-1/19 en junio de 2010.



Figura 11. Excavación de una cola de anquilosaurio de la concentración AR-1/113 en mayo de 2014.

Metodología de las actuaciones paleontológicas

Las labores de prospección y excavación las realizó el equipo de paleontólogos de la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis. Para cada hallazgo relevante se registró la ubicación, la delimitación del área fosilífera (en aquellos casos que fue necesario) y la descripción de las principales características de las concentraciones paleontológicas detectadas, de acuerdo con las normas establecidas por el departamento con competencias en cultura del Gobierno de Aragón. Previamente a las actuaciones paleontológicas se realizaron las gestiones pertinentes para la obtención de las autorizaciones de acceso al recinto minero y de prospección y excavación, que corresponden a los siguientes expedientes de la Dirección General con competencias en materia de patrimonio paleontológico del Gobierno de Aragón: Prospección paleontológica en el Cretácico Inferior de los términos municipales de Ariño, Alloza y Andorra (Teruel), exp. 201/2010; Excavación paleontológica en la Mina Santa María, término municipal de Ariño (Teruel), exp. 201/2010bis; Excavación paleontológica en la Mina Santa María de Ariño y prospección paleontológica en el Cretácico Inferior de los términos municipales de Ariño, Alloza y Andorra (Teruel), exp. 201/10-2011; exp. 201/10-2012; exp. 201/10-2013; exp. 201/10-2014; exp. 201/10-2015; exp. 201/10-2016; y exp. 201/10-2017. Asimismo, la preparación de los fósiles recuperados en el Laboratorio de Paleontología de Dinópolis (Figura 12) contó con las siguientes autorizaciones: Manipulación con técnicas agresivas del material paleontológico procedente de la excavación en la Mina Santa María de Ariño (Teruel), exp. 078/2011; exp. 078/11-2012; exp. 078/11-2013; exp.

Figura 12. Restauración de una costilla de anquilosaurio en el Laboratorio de Paleontología de Dinópolis.



Figura 13. Camiones dumper de la Mina Santa María de 78 m³ de capacidad máxima y hasta 250 toneladas de desplazamiento a plena carga.



078/11-2014; exp. 078/11-2015; exp. 078/11-2016; y exp. 078/11-2017. Estas actuaciones se financiaron con fondos propios de la Fundación, de proyectos del Plan Nacional-Estatal de I+D+i dirigidos desde la Fundación y con aportaciones de la Fundación SAMCA.

Como el nivel fosilífero se encuentra dentro de una explotación minera con una intensa actividad, los trabajos paleontológicos están condicionados por varios factores:

- ✪ Explotación minera habitual. Los trabajos de extracción de mineral ponen al descubierto continuamente nueva superficie del nivel susceptible de contener registro paleontológico.
- ✪ Explotación minera extraordinaria. Según las necesidades mineras se realizan obras extraordinarias que pueden afectar a la capa fosilífera: acondicionamiento de taludes, de pistas mineras, conducciones de agua, etc.
- ✪ Criterios paleontológicos de intervención. Atendiendo a las características estrictamente paleontológicas se debe valorar la excepcionalidad de los hallazgos: determinación taxonómica, estado de conservación, aspectos tafonómicos, etc., para planificar el orden de recuperación.
- ✪ Erosión natural. Es un factor a tener en cuenta, ya que la superficie se encuentra desprovista de vegetación y está sujeta al efecto de la meteorización superficial convencional.
- ✪ Inestabilidad de taludes, debido a la fuerte pendiente del muro de la explotación y a la facilidad de su despegue de la sucesión estratigráfica en periodos de lluvias.
- ✪ Tiempo de exposición del afloramiento disponible para actuaciones paleontológicas, condicionado por la demanda del lignito.
- ✪ Recursos disponibles por parte del equipo de investigación.

Por todo lo anterior, se deben coordinar perfectamente las intervenciones paleontológicas con el ritmo de la actividad minera, que puede variar notablemente tanto por la incidencia de riesgos naturales (inestabilidad de las áreas donde se puede actuar) como por factores relacionados con los propios aspectos industriales. El emplazamiento del equipo de paleontología se establecía con precisión en cada momento por motivos de seguridad en el trabajo y para evitar interferencias con la explotación que pudieran entrañar riesgos. De hecho, la entrada y salida de nuestro vehículo del lugar de prospección o excavación nunca es autónoma sino escoltada por un vehículo de la empresa, cuyo contacto por radio evita posibles encuentros en las pistas con la enorme maquinaria pesada que circula por las mismas (Figura 13).



Figura 14. Ortofoto de la Mina Santa María con la disposición de las concentraciones fosilíferas (base cartográfica: Instituto Geográfico Nacional; datos de las concentraciones: Fundación Dinópolis).

De esta manera, los datos registrados en el transcurso de sucesivos años aportan una importante información acumulativa acerca de la distribución espacial, la génesis y otros aspectos del depósito, que de lo contrario podrían perderse.

Para identificar el yacimiento se ha utilizado la sigla o referencia AR-1 que relaciona todos los fósiles de este nivel, independientemente de que se hayan hallado *in situ* o no. Las concentraciones se han numerado por orden cronológico de descubrimiento desde que se comenzó la prospección sistemática del yacimiento, desde su límite oriental y en sentido este-oeste, dado que es el de progradación de la escombrera que sella la capa fosilífera. Los fósiles también siguen un orden correlativo y las identificaciones utilizadas en el yacimiento son las siguientes:

- **AR-1-#fósil:** identifica un determinado fósil del yacimiento (sigla escrita en cada uno de ellos);
- **AR-1/#concentración:** identifica un conjunto de fósiles recuperado en una determinada concentración;
- **AR-1-#fósil/#concentración:** identifica un determinado fósil del yacimiento y la concentración a la que pertenece.

El procedimiento seguido se inició mediante la prospección de la superficie expuesta y en la posterior selección de las concentraciones más próximas al frente de la escombrera para proceder a su excavación. Tanto los elementos encontrados durante las prospecciones como las concentraciones halladas se ubican espacialmente mediante sistemas de posicionamiento global que, mediante procesamiento de los datos, pueden alcanzar precisiones decimétricas. Las ubicaciones se ensamblan sobre una base cartográfica facilitada por SAMCA y sobre una ortofoto con un tamaño de pixel de 50 cm del año 2015 (Figura 14) de la Mina Santa María para determinar la posición de cada concentración y sus posibles relaciones con las demás. El software utilizado para el desarrollo de estos mapas es ArcGis 9.3 (*Environmental Research Systems Institute*) y Spectra Precision Survey Office. Asimismo, se han podido obtener datos para la generación de modelos 3D basados en técnicas fotogramétricas en algunas concentraciones, como es el caso de las número 48, 70, 74, 78, 116, 128, 132, 133 y 135 (Figura 15).

Desde el primer momento se pudo apreciar que los fósiles de vertebrados constituían mayoritariamente concentraciones que se sitúan en un mismo nivel estratigráfico y todo parece indicar que las concentraciones son coetáneas (en términos geológicos) y tienen una génesis similar. Además, dichas concentraciones corresponden, por lo general, a restos de cadáveres de individuos aislados de tortugas (35,1 %), cocodrilos (37,3%) y dinosaurios (27,6 %), aunque en algunas se encuentran restos de varios taxones. Por esta razón, es adecuado considerar todo el estrato como un único “megayacimiento”. De

En términos generales se llevó a cabo una toma de datos normalizada en todas las concentraciones de dinosaurios y en aquellas correspondientes a otros vertebrados que presentaban características singulares: esqueletos articulados, taxones raros, conservación excepcional, etc. Así pues, se distinguen dos tipos de actuación durante los trabajos paleontológicos: la recuperación preventiva y la excavación.

La recuperación preventiva es una actuación de urgencia con la que se pretende recuperar el máximo de fósiles en el menor tiempo posible.

La excavación es una actuación que se dilata durante el tiempo que sea necesario y en la que se toman los datos normalizados mediante la implantación de un sistema de referencia.

En ciertos casos se consideró oportuna la realización de esquemas cartográficos especialmente detallados, para lo que se implantaron cuadrículas de referencia que siempre tienen la siguiente orientación y cuyo origen de cuadrícula está georreferenciado: eje de ordenadas con dirección este-oeste y eje de abscisas con dirección norte-sur (Figura 16). De esta forma, en un futuro se podrán compatibilizar fácilmente todas las cartografías parciales del yacimiento para construir otra conjunta con la visión completa del mismo. Cuando no fue posible la utilización de un sistema de referencia o cuadrícula durante la excavación exhaustiva de los fósiles, se dibujó la disposición de los huesos de la forma más precisa posible complementándose, como en todos los demás casos, con un reportaje fotográfico.

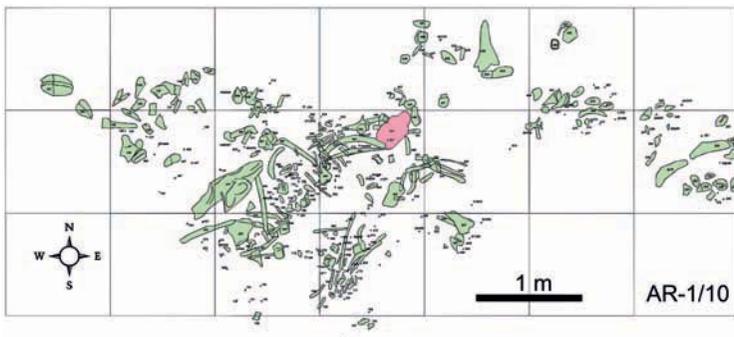
Además, se han llevado a cabo diversos muestreos para la obtención de microfósiles, generalmente polen y ostrácodos, tanto en sedimentos de las concentraciones fosilíferas como en el interior de coprolitos (excrementos fósiles).

La notable pendiente del talud, la distancia de las concentraciones al vehículo y las condiciones de trabajo en el interior de un socavón de estas características (concentración de calor, polvo en suspensión, efluvios gaseosos) dificultaron a menudo los trabajos paleontológicos. Por el contrario, la alta productividad fosilífera de las concentraciones, el buen estado de conservación de los huesos en muchos casos y la satisfacción de recuperar un patrimonio que de otra manera se perdería compensaban aquellos inconvenientes.

Figura 15. Reconstrucción tridimensional de la concentración AR-1/128 de un anquilosaurio del yacimiento Mina Santa María de Ariño (noviembre de 2015).



Figura 16. Cartografía de la concentración AR-1/10 de un anquilosaurio, el primer esqueleto parcial que se encontró en mayo de 2010. El cráneo –fotografiado en la figura 31 de este trabajo– está sombreado con un tono distinto.



LOS FÓSILES

En Ariño se han recuperado diversos tipos de fósiles: icnitas, ámbar, algas carófitas, polen, gasterópodos, bivalvos, peces condriictios, peces osteictios, tortugas, cocodrilos y dinosaurios. Hasta el momento de redactar este artículo –finales del año 2017– se han cartografiado 143 concentraciones de vertebrados de las que se han recuperado 9.562 fósiles (Figura 17), que se encuentran en diversas fases de estudio; a continuación se resumen los hallazgos más relevantes publicados.



Figura 17. Incremento del número de concentraciones (#) y del número de fósiles de la Mina Santa María a lo largo del tiempo.

Icnofósiles

Durante las tareas de levantamiento de una sección estratigráfica de la sucesión albiense de la mina, en 2016 se encontraron icnitas producidas por vertebrados. Se conocen pocos datos acerca de la presencia de icnitas de vertebrados en el Albiense de Teruel. Entre ellos destaca el afloramiento con icnitas de dinosaurios situado en el Miembro Superior de la Formación Escucha de una mina de arcillas en la localidad de Oliete. Aunque no se ha estudiado con detalle, en el yacimiento se ha diferenciado un morfotipo relacionado con dinosaurios terópodos y otro morfotipo relacionado con dinosaurios saurópodos o tireóforos (Royo-Torres *et al.*, 2013). En el caso del afloramiento denominado AR-2 se encontraron cinco moldes naturales de huellas de dinosaurios que se recuperaron en un nivel de lutitas masivas carbonosas perteneciente al Miembro Medio de la Formación Escucha de la mina de Ariño. El ambiente del Miembro Medio de esta formación geológica se ha interpretado como una zona pantanosa de agua dulce dentro de una llanura deltaica con secuencias de llanura de inundación, canales distributarios, *crevasse splays* y lóbulos distributarios (Querol *et al.*, 1992; Villanueva-Amadoz, 2009). Los cinco rellenos, descritos por Rey y Alcalá (2017), están formados por arenisca de color ocre y gris rojizo de tamaño de grano fino a muy fino.

Aunque estos rellenos se encontraron *ex situ* dentro de una pequeña cárcava, se pudo localizar fácilmente el estrato de procedencia (Figura 18), que aún contenía otras estructuras de carga *in situ* bien visibles debido al contraste producido por las diferencias de composición y coloración entre las lutitas y el relleno de la estructura de carga, así como por la apreciable deformación de los sedimentos que rodeaban a los rellenos. El estado de conservación de los rellenos no permite asignarlos a ningún grupo concreto de vertebrados pero, debido a la cercanía del megayacimiento de dinosaurios albienses situado en el mismo afloramiento (aunque en otro nivel inferior) y a diversos antecedentes equivalentes, las estructuras de carga debieron de ser producidas por el paso de dinosaurios. Las labores de minería removieron, posteriormente, el nivel de procedencia de las huellas, al encontrarse en el interior de la sección estratigráfica afectada por la explotación de lignito.

Otros icnofósiles son mucho más abundantes, pues el nivel AR-1 contiene abundantes coprolitos, compuestos normalmente por masas irregulares de material blando mineralizado. Están concentrados en ciertas áreas y contienen residuos que proporcionan evidencias directas de los organismos que los produjeron. Polen, esporas y otros microfósiles que se encuentran en su interior proporcionan una valiosa información acerca de los ecosistemas.



Figura 18. Icnita de dinosaurio *in situ* (yacimiento AR-2) en el Miembro Medio de la Formación Escucha de la Mina Santa María (modificado de Rey y Alcalá, 2017). Escala = 150 cm.

Paleobotánica

En un muestreo realizado en sedimentos de la concentración AR-1/10 se encontró la asociación de dos tipos de carofitas, *Clavator harrisii harrisii* (Figura 19) y *Clavator harrisii zavalensis*, que es semejante a la de asociaciones registradas en el Albiense de Túnez (Tibert *et al.*, 2013).

Los restos de macroflora recuperados consisten en madera carbonizada –posiblemente de coníferas–, pequeños fragmentos de cutículas, ramas de coníferas y restos del helecho *Weichselia reticulata*, entre otros. En cuanto a la asociación de polen de AR-1, determinada por Villanueva-Amadoz *et al.* (2013, 2015), está constituida principalmente por elementos que no han experimentado un gran transporte; está dominada por granos de polen de gimnospermas, principalmente del género *Classopollis* y de *Taxodiaceapollenites hiatus*. También son muy abundantes esporas de los géneros *Cyathidites*, *Deltoidospora* y *Osmundacites*. El polen y las esporas provienen de plantas que constituirían la fuente primordial de alimento de los dinosaurios fitófagos, como lo demuestran el contenido de los coprolitos y su tipo de dentición. Por otra parte, la abundancia de restos carbonizados de plantas indicaría la existencia de incendios regionales que afectarían a la vegetación de la zona en el Albiense.

En cuanto a los fósiles incluidos en los coprolitos, consisten en restos de plantas y evidencias de bacterias fosilizadas (Figura 20), así como en restos de huesos, por lo que pertenecen a carnívoros que ingerirían accidentalmente restos de plantas (Vajda *et al.*, 2016). El polen más característico encontrado en ellos tiene afinidades con las coníferas. Las plantas que lo produjeron ocuparían suelos bien drenados de colinas y llanuras próximas a zonas costeras de clima cálido.

Además, también se han encontrado granos de polen de angiospermas primitivas y esporas de helechos. Por otra parte, en el nivel fosilífero abundan las muestras de ámbar, algunas de gran tamaño, que posiblemente contengan restos de invertebrados en su interior, como sucede en el caso de otro yacimiento turolense de la Formación Escucha, el de San Just en Utrillas.

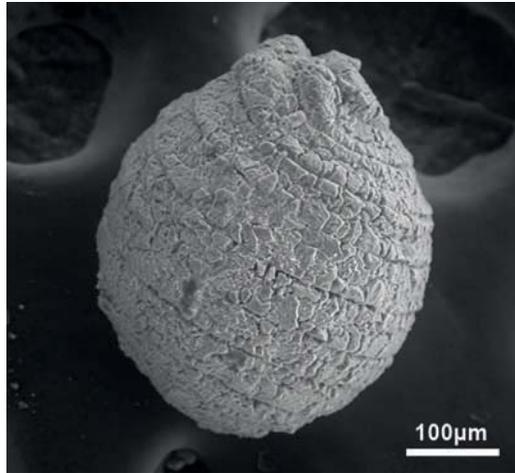


Figura 19. La carofita *Clavator harrisii harrisii* de AR-1/10 (Tibert *et al.*, 2013).

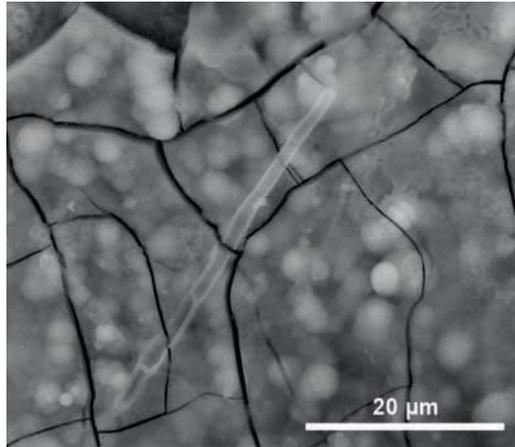


Figura 20. Imagen de microscopio electrónico de barrido de un coprolito de AR-1 que muestra restos de plantas y evidencias de bacterias fósiles en una matriz compuesta principalmente de hierro.

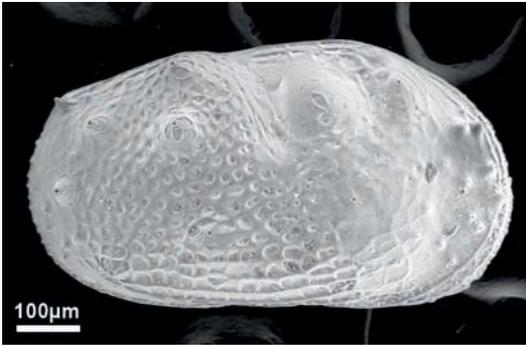


Figura 21. Ejemplar del ostrácodo *Theriosynoecum escuchaensis* cuya localidad tipo es AR-1/10 (Tibert *et al.*, 2013).

2013): *Rosacynthere denticulata*, cuyo nombre alude a los delicados denticulos que posee a lo largo de sus márgenes anterior y posterior; *Theriosynoecum escuchaensis* (Figura 21), hace referencia a la Formación Escucha de la que procede; y *Theriosynoecum arinnoensis*, que homenajea a la localidad de Ariño. Ninguno de los 14 ejemplares recuperados en AR-1 supera el milímetro de longitud. *Rosacynthere denticulata* tiene afinidades morfológicas con especies descritas en el Albiense de Hungría, mientras que las dos nuevas especies de *Theriosynoecum* extenderían el rango estratigráfico del género en Europa hasta el Albiense inferior.



Figura 22. Holotipo de la tortuga pleurostérnida *Toremys cassiopeia* (AR-1/95).

de sedimentos del Albiense que son casi treinta millones de años más modernos que los que contenían cualquier tortuga pleurostérnida conocida hasta el momento. Los fósiles de tortuga de Ariño han aportado información novedosa para poder descifrar la distribución y evolución de las tortugas de agua dulce de Europa, pues el registro de tortugas pleurostérnidas cretácicas está confinado a este continente. El nombre científico de la nueva tortuga homenajea tanto al toro que forma parte del escudo de la provincia de Teruel como a Cassiopeia (la tortuga de la obra literaria Momo que conocía cómo viajar hasta la morada del administrador del tiempo), aludiendo a la circunstancia del hallazgo de esta tortuga en una edad que se sitúa fuera del rango temporal esperado para cualquier representante de su grupo.

Invertebrados

Para la búsqueda de invertebrados se realizaron diversos muestreos de sedimentos, con el objetivo principal de completar la biodiversidad registrada en el yacimiento y también para precisar la edad del mismo. En un muestreo llevado a cabo en sedimentos procedentes de la concentración de dinosaurios AR-1/10 se encontraron ostrácodos (pequeños crustáceos con un caparazón de dos valvas) que se han descrito como pertenecientes a tres nuevas especies (Tibert *et al.*,

Tortugas

Los fragmentos de caparazones de tortugas constituyen un elemento cotidiano en la superficie de AR-1. Se han recuperado ejemplares muy completos entre las 79 concentraciones en las que hay registro de tortuga. En 2015, el estudio de tres ejemplares de tortuga de pequeño tamaño permitió definir una nueva tortuga: *Toremys cassiopeia* (Pérez-García *et al.*, 2015).

Toremys (Figura 22) es la tortuga pleurostérnida más moderna del registro mundial, dado que procede

Cocodrilos

Los cocodrilos también constituyen un fósil recurrente en la mina de Ariño y es común encontrar osteodermos (las placas óseas que cubren su cuerpo) aislados. También se registran esqueletos parciales de cocodrilos. Los casi 3.000 registros, correspondientes a 84 concentraciones de cocodrilos recuperados, muestran diversos grados de conservación de los esqueletos y, entre ellos, destaca la presencia de varios cráneos extraordinariamente conservados cuyo estudio ha permitido describir un nuevo género y dos nuevas especies de cocodrilos goniofolídidos (Buscalioni *et al.*, 2013). El mayor de ellos podría alcanzar hasta 3 metros de longitud y sería capaz de devorar pequeños dinosaurios; se trata de *Anteophthalmosuchus escucha*. A diferencia de este, el otro cocodrilo tendría hábitos acuáticos y mediría en torno a 2 metros de longitud; se alimentaría fundamentalmente de peces de un tamaño de unos 40-50 cm. Se le dio el nombre de *Hulkepholis plotos*, una nueva especie de Ariño (Figura 23), mientras que el género también es nuevo y agrupa una especie británica ya conocida desde el siglo XIX. Los dos cocodrilos de Ariño (que mantienen algunas diferencias en sus ojos y dientes) habitaron en un sistema costero de pantanal con islas barrera y lagoon (Figura 24); son especies emparentadas con los goniofolídidos de Wessex –sur de Inglaterra– y constituyen las formas más modernas del registro de su grupo en Europa.



Figura 23. Vistas superior e inferior del cráneo (holotipo) del cocodrilo goniofolídido *Hulkepholis plotos* (AR-1/56).

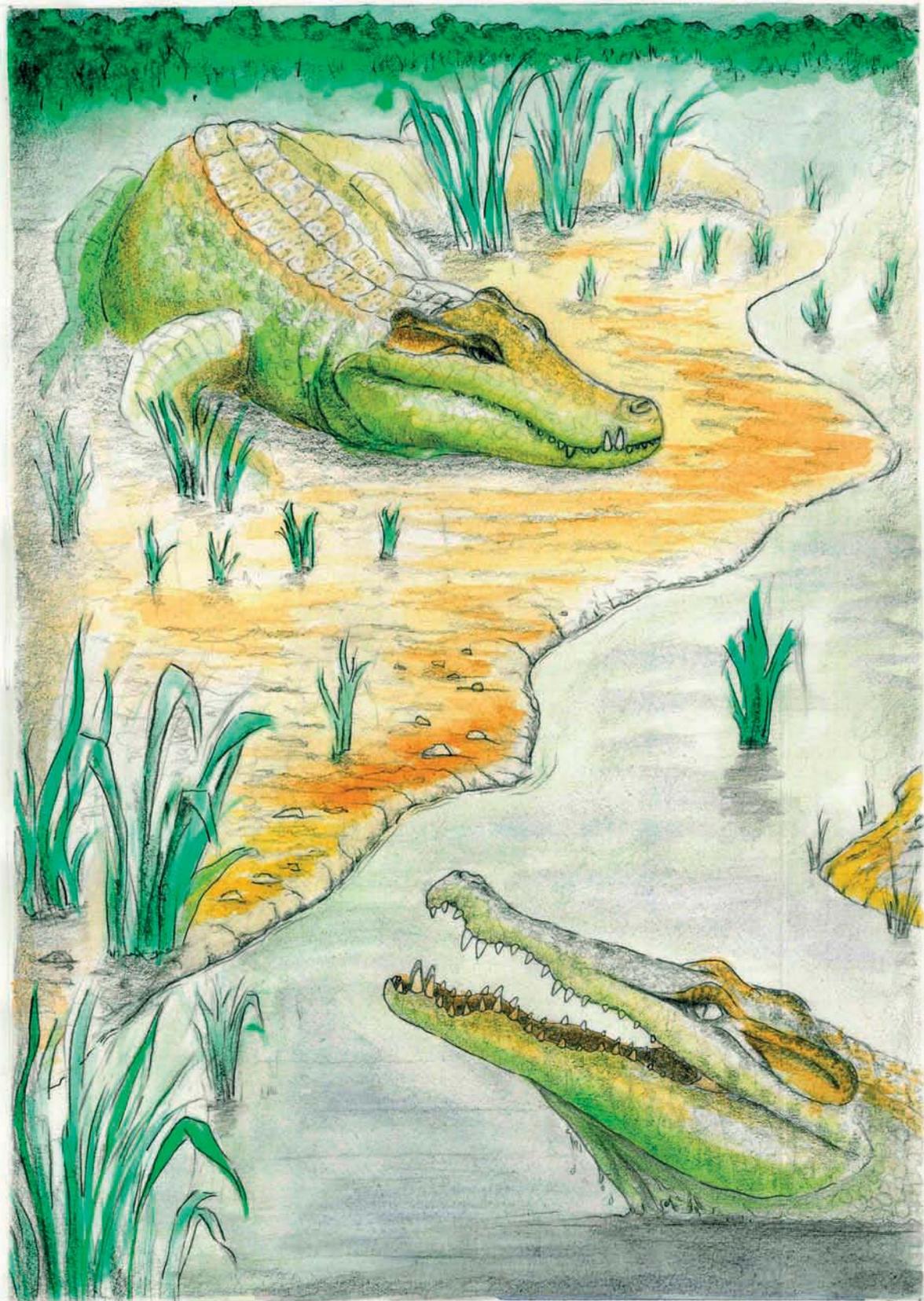


Figura 24. Reconstrucción de los dos goniolfolididos de Ariño: *Anteophthalmosuchus escuchae* (arriba) y *Hulkepholis plotos* (abajo).

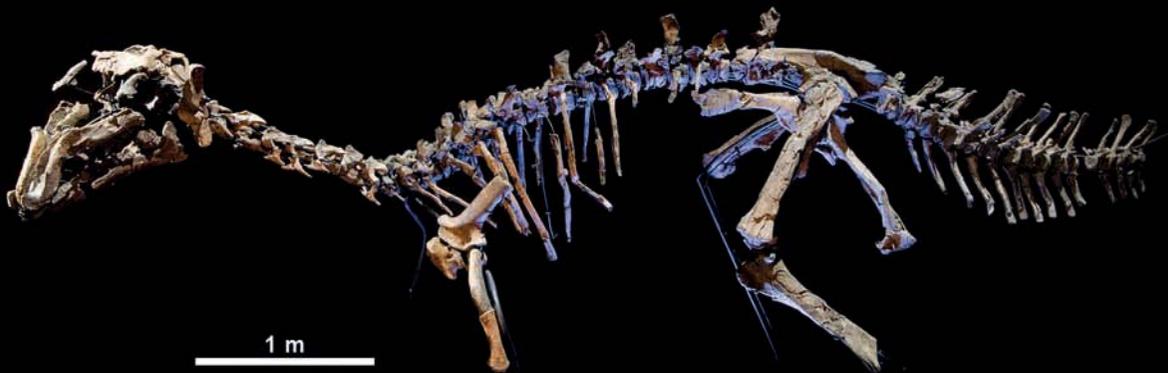


Figura 25. Esqueleto del iguanodontio *Proa valdearinnensis* montado con huesos originales y expuesto en el Museo Paleontológico de Dinópolis.

Dinosaurios

En 2012 se dio a conocer un nuevo género y especie de dinosaurio español: *Proa valdearinnensis* del yacimiento AR-1, un inusual iguanodontio basal cuyo rasgo más singular es su exclusivo predentario –o “pico”– (McDonald *et al.*, 2012). El material de la publicación original estaba compuesto por 348 huesos correspondientes al menos a 6 individuos diferentes, con variaciones en tamaño y, tal vez, en sexo. Entre el material destacaban 3 cráneos (2 de ellos bastante completos), dientes aislados, huesos de la cintura escapular y pélvica, huesos de las extremidades (principalmente de las patas traseras), vértebras, chevrones y costillas. Actualmente se han recuperado 907 elementos en 27 concentraciones, lo que convierte a *Proa* en uno de los dinosaurios mejor representados esqueléticamente de Europa. De hecho, se ha podido montar un esqueleto –compuesto por 137 huesos originales– en el Museo Paleontológico de Dinópolis (Figura 25), el primer esqueleto de un gran dinosaurio español montado únicamente con fósiles originales que se expone en un museo.



Figura 26. Detalle de la dentición inferior del holotipo de *Proa valdearinnensis* (AR-1/19).



Figura 27. Comparación del predentario –o pico– del holotipo de *Proa valdearinnensis* (AR-1/19) con la parte homónima de un ferri.

Proa fue fitófago (comedor de plantas, Figura 26) y su longitud se estima entre 7,5 y 8 metros. Su análisis filogenético (de parentesco) ha desvelado que su pariente más cercano sería *Iguanodon* y lo coloca en la base de los Hadrosauriformes, siendo más basal –evolutivamente hablando– que otros iguanodontios más antiguos. Los resultados obtenidos implican una diversidad de Hadrosauriformes basales inédita en Europa. Ahora este nuevo hallazgo completa parte del registro fósil de iguanodontios basales de Europa, aunque es el más moderno –en cuanto a antigüedad se refiere– de los identificados en España.

El nombre del género, *Proa*, remite a la semejanza del elemento esquelético más significativo del nuevo dinosaurio –el predentario– con la proa de una embarcación (Figura 27) y el de la especie homenajea a La Val de Ariño, denominación tradicional de la zona minera turo-lense a la que pertenece Ariño. Las reconstrucciones, mediante tomografías computarizadas, de las cavidades del endocráneo y del laberinto de dos cráneos de *Proa* (Figura 28) han contribuido al conocimiento del cerebro y del oído interno de los iguanodontios basales, un componente muy relevante de los ecosistemas terrestres del Cretácico Temprano de todo el mundo (Knoll *et al.*, 2016). *Proa* forma parte de una serie de sellos sobre dinosaurios españoles emitida en 2016 por Correos (Figura 29).

Un año después de la publicación de *Proa*, vio la luz científica el segundo nuevo dinosaurio de

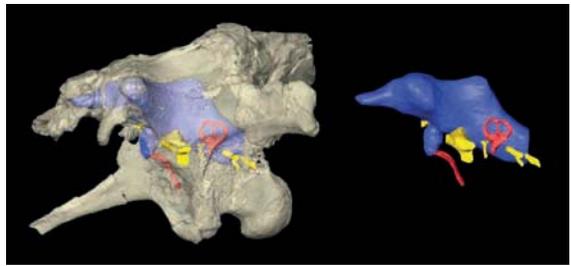


Figura 28. Caja craneal, molde endocraneal y estructuras asociadas del holotipo del ornitópodo *Proa valdearinnensis* (Knoll *et al.*, 2016).



Figura 29. Pliego Premium con efecto 3D de la serie de Correos sobre dinosaurios españoles emitida en 2016 en la que se representa a *Proa*.



Figura 30. Asociación de huesos de un esqueleto parcial de *Europelta carbonensis* (AR-1/92) durante su excavación en febrero de 2013.



Figura 31. Cráneo del holotipo de *Europelta carbonensis* (AR-1/10).

Ariño, si bien fue el primero que se encontró, ya en la primera visita a la mina realizada en mayo de 2010. El estudio de dos esqueletos parciales (Figura 30) permitió definir un nuevo tipo de dinosaurio anquilosaurio nodosáurido: *Europelta carbonensis* (Kirkland *et al.*, 2013a, 2013b), nombre que significa “el acorazado europeo del carbón”. Se trata del anquilosaurio más completo hallado en Europa, pues de él se ha recuperado abundante material, tanto craneal (Figura 31) como postcraneal (Figura 32), a partir del que se han podido reconstruir de forma precisa las características anatómicas y la apariencia del animal (Figura 33).

Los nodosáuridos eran dinosaurios de tamaño mediano, cuadrúpedos y fitófagos. Sus dientes tenían forma de hoja y sus costillas, ampliamente arqueadas, proporcionaban una gran amplitud a un cuerpo cubierto de placas dérmicas (osteodermos y osículos). Sus patas eran robustas y, a diferencia de los anquilosáuridos (*Ankylosauridae*), los nodosáuridos no tenían tendones osificados en la cola ni tampoco una maza en su extremo. Actualmente se conocen 3.469 elementos asociados a 18 concentraciones de *Europelta* en Ariño.

También se han encontrado numerosos dientes aislados atribuidos preliminarmente a dinosaurios terópodos del clado *Allosauroidea* (Alcalá *et al.*, 2012a).

Figura 32. Composición de un esqueleto de *Europelta carbonensis*.



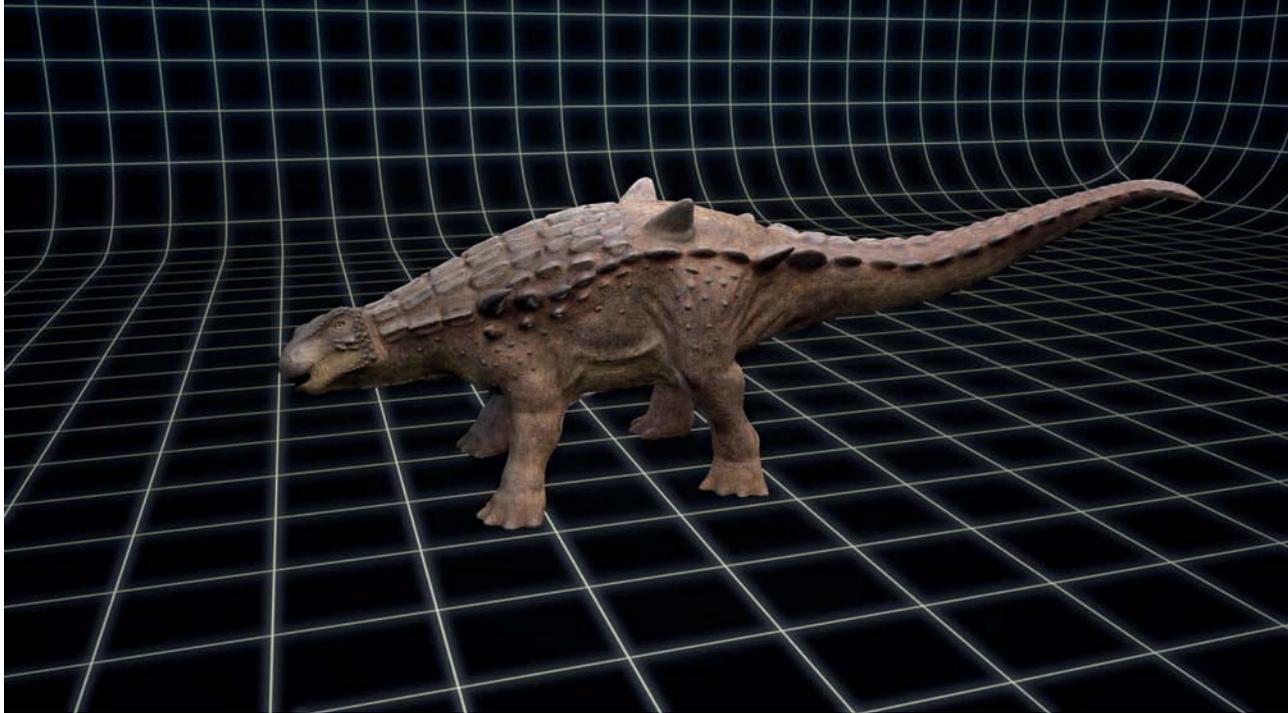


Figura 33. Reconstrucción de la apariencia en vida de *Europelta carbonensis*.

EL SATÉLITE DE DINÓPOLIS

Aunque allá por 2010 no había ninguna evidencia documentada acerca de la existencia de huesos de dinosaurios en Ariño, ni siquiera un lustro llegó a transcurrir hasta que el 13 de marzo de 2015 se inaugurase en Ariño una nueva sede, la séptima, de Dinópolis. Los diversos hallazgos de importancia mundial realizados por los paleontólogos de la Fundación Dinópolis fueron claves para que el Gobierno de Aragón considerase oportuno expandir el proyecto de Territorio Dinópolis a una localidad “imprevista”, como ya sucedió con Riodeva en 2012 tras el hallazgo del “gigante europeo”. Un objetivo de la Fundación es la interrelación de la investigación con el desarrollo socioeconómico de la provincia de Teruel a través de actuaciones de difusión que promuevan el geoturismo (Martini *et al.*, 2012; Alcalá *et al.*, 2017).

El satélite se diseñó para, bajo el concepto CARBONSAURIOS, mostrar los resultados científicos obtenidos por el equipo de la Fundación. Aparte de la lógica presentación de los principales fósiles recuperados, se pretendía reconocer el papel de la minería del carbón como motor de la economía local, introducir la geología de la zona y, asimismo, resaltar la importancia internacional de Ariño en el mundo de los dinosaurios cretácicos. Este último factor se inscribe en los objetivos incluidos en el proyecto DINOTUR “Dinosaurios del Jurásico Superior-Cretácico Inferior de Teruel, sus ecosistemas y sus implicaciones filogenéticas y paleobiogeográficas” del Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia (Ministerio de Economía y Competitividad). Este proyecto no sólo pretendía dar a conocer Teruel por sus peculiares dinosaurios de interés internacional sino también promover el interés hacia la provincia mediante el estudio de dinosaurios de América del Norte, como quedó patente con la definición de un nuevo saurópodo turiasaurio de Utah, *Mierasaurus*, dedicado al explorador español Bernardo de Miera y Pacheco (Royo *et al.*, 2017).

El visitante al satélite tiene ahora la oportunidad de conocer la vegetación y la fauna de hace unos 111 millones de años a través de reconstrucciones del ambiente cretácico a distintas escalas, acompañadas por espectaculares imágenes y recreaciones a través de maquetas, paneles



Figura 34. Diseño preliminar de contenidos del satélite de Dinópolis en Ariño.

y expositores interactivos que ilustran los singulares fósiles extraídos de la mina de carbón, con especial atención a las nuevas especies de dinosaurios. El centro también cuenta con un audiovisual que muestra el desarrollo de los trabajos paleontológicos llevados a cabo en el yacimiento de la Mina Santa María de Ariño gracias a la colaboración del Grupo SAMCA. Dicho audiovisual, producido por la Fundación con Madrid Scientific Films, se titula *La mina de los dinosaurios* y obtuvo el

Primer Premio en la modalidad de Cortos Científicos del Concurso Internacional Ciencia en Acción 2015. Ciencia en Acción es una iniciativa del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, el Instituto de Ciencias Matemáticas, la Real Sociedad Española de Física, la Real Sociedad Española de Química, la Sociedad Española de Astronomía, la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular, la Sociedad Geológica de España y la Universidad Nacional de Educación a Distancia. El principal objetivo de este programa es aproximar la ciencia y la tecnología al gran público de una manera dinámica, fácil y amena.

El diseño y producción del satélite lo realizó la Fundación, que adaptó los contenidos al edificio promovido por el Instituto Aragonés de Fomento. La exposición se dividió en 11 áreas (Figura 34), que se describen a continuación.

A1) Área de presentación de la exposición y homenaje a la minería de Ariño. Este espacio, que escenográficamente evoca el interior de una bocamina –si bien no se ha pretendido reproducirla–, contiene el audiovisual de bienvenida habitual de todos los satélites de Dinópolis donde la mascota del centro –un anquilosaurio– introduce la exposición.

A2) Área del yacimiento Mina Santa María (SAMCA) de Ariño (Teruel). En esta área se presentan las características geológicas del yacimiento, así como la historia del descubrimiento y el modelo de cooperación entre los trabajos mineros y la investigación paleontológica.

A3) Área de Paleobotánica. Aquí se revelan los principales grupos de fósiles de plantas del Albiense turolense y algunos aspectos singulares de la paleobotánica de Ariño.

A4) Área de Paleoambiente. Este espacio muestra algunos de los principales fósiles hallados en Ariño (cocodrilos, tortugas y microfósiles) y la reconstrucción ambiental de cómo era Ariño hace 111 millones de años, en la que destaca una escena cotidiana representada en un diorama.

A5) Área del Albiense. La riqueza paleontológica del yacimiento Santa María convierte a Ariño en un lugar privilegiado para caracterizar a los vertebrados de un intervalo de tiempo (113-100,5 millones de años) en el que anteriormente eran poco conocidos en toda Europa.

A6) Área de Proa valdearimmoensis. Espacio dedicado al nuevo dinosaurio iguanodontio hallado en Ariño.

A7) Área de *Europelta carbonensis*. En esta área el visitante puede conocer al dinosaurio acorazado más completo de Europa. Las principales características anatómicas y sus relaciones de parentesco acompañan a la reconstrucción de este nodosaurio (Figura 35).

A8) Área de proyección. La proyección del audiovisual *La mina de los dinosaurios* (Figura 36) muestra al visitante el desarrollo de los trabajos paleontológicos llevados a cabo en el yacimiento de la Mina Santa María de Ariño y en los laboratorios de Dinópolis. La magnitud del yacimiento y del proyecto paleontológico llevado a cabo se hacen patentes en este documental de trece minutos y medio para que el espectador realice una inmersión a la mina de lignito para ver de cerca las condiciones en las que trabajan los paleontólogos (dirección científica: Luis Alcalá, Eduardo Espílez y Luis Mampel; dirección y realización: Javier Trueba).

A9) Área del Atlántico. Comparación de las faunas de Ariño y las equivalentes al otro lado del Atlántico (Kirkland *et al.*, 2015) para presentar las relaciones entre los dinosaurios del Cretácico Inferior de la Formación Escucha de Teruel (España) y de la Formación Cedar Mountain de Utah-Colorado (EEUU).

A10) Área de la Formación Cedar Mountain de Utah. Panorama y pequeños audiovisuales para mostrar el aspecto de dicha formación, con afloramientos semejantes a los de Ariño.

A10) Área del Parque Cultural del Río Martín. Espacio que muestra los recursos turísticos –tanto de ámbito natural como cultural– que ofrecen el término municipal de Ariño y sus zonas colindantes, con el objeto de promover entre los visitantes una estancia más prolongada en el entorno de Parque Cultural de Río Martín.

Una descripción completa del satélite de Ariño con numerosos contenidos multimedia (fotografías, videos, documentación y artículos en formato digital) y material didáctico como recurso para preparar la visita (puzles, juegos de preguntas y respuestas, sopas de letras) está disponible en la página web www.bicnitas.com.

Figura 35. Área de *Europelta carbonensis* en el satélite de Dinópolis en Ariño.





Figura 36. Rodaje del documental *La mina de los dinosaurios*.

PRESENTE Y FUTURO

Ariño es un ejemplo singular para ilustrar cómo el descubrimiento y la gestión de un nuevo patrimonio paleontológico ha dado lugar a un proyecto coordinado entre la actividad industrial de una empresa minera y la investigación académica de un equipo comprometido con la recuperación y conservación de patrimonio paleontológico de un elevado valor científico, sociocultural, educativo y turístico. Las investigaciones en Ariño han supuesto un gran paso hacia la expansión del conocimiento de fósiles de una edad geológica pobremente representada en Europa: en pocos años, investigadores de centros extranjeros, como Chinese Academy of Sciences, Muséum national d'Histoire naturelle-Paris, Natural History Museum of Utah, Universidad de Lisboa, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), University of Bristol, University of Manchester, University of Mary Washington-Fredericksburg-Virginia, University of Pennsylvania, Utah Geological Survey (Figura 37), que ya han dado lugar a 7 publicaciones en revistas incluidas en la base de datos *Scientific Citation Index* y a 9 comunicaciones presentadas en congresos internacionales.

De hecho, la gran repercusión mediática de los estudios publicados (Figura 38) motivó al Gobierno de Aragón a promover la creación de una nueva instalación de difusión de la paleontología en la localidad, el séptimo satélite de Dinópolis, con el objetivo de promover la economía regional en una zona de futuro incierto debido a los avatares que experimenta la minería del carbón en Europa. El entorno de Ariño se desarrolló desde comienzos del siglo XX gracias al impulso de la industria del carbón, el principal motor económico de la zona. Actualmente, un patrimonio emergente, atractivo para todo tipo de públicos, puede contribuir a que el entorno encuentre vías de desarrollo alternativas en el geoturismo y en el turismo cultural.

El futuro paleontológico del yacimiento AR-1 es muy esperanzador y, a la vez, incierto. Se fundamenta lo primero en la abundancia de concentraciones, en el hecho de que permiten documentar individuos muy completos y en que no se conocen apenas otros dinosaurios europeos de la misma edad, como ya se ha señalado, lo que convierte casi cualquier hallazgo en una novedad. Además, dado que solamente se han identificado dos tipos de dinosaurio, cabe suponer que se podría encontrar material completo de otras especies que hasta el momento se han registrado únicamente mediante restos aislados (Figura 39). Por otra parte, las condiciones de mantenimiento del yacimiento, bajo el recurrente riesgo de deslizamientos y las dificultades de conservación de la capa fosilífera en algunas áreas de la excavación, suponen una amenaza para la realización de trabajos paleontológicos futuros que, por otra parte, no pueden ser todo lo intensos que un yacimiento de estas características requiere debido a la limitada disponibilidad de recursos para acometer dichos trabajos. Finalmente, sobre el horizonte de la explotación de carbones en Europa y, consiguientemente, de la recuperación de los “sensacionales huesos del carbón” (Alcalá *et al.*, 2013) planea desde hace años la amenaza del cierre de las centrales térmicas de carbón, con objeto de conseguir una reducción en las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Hasta que cualquiera de estos factores pueda dificultar o impedir las actuaciones paleontológicas, el equipo de la Fundación continuará su labor, con los recursos a su alcance, para incrementar el patrimonio paleontológico aragonés, la investigación del mismo y su utilización para el desarrollo del entorno de la Comarca de Andorra-Sierra de Arcos y del Parque Cultural del Río Martín.



Figura 37. James Kirkland, del Utah Geological Survey (Salt Lake City), durante el estudio del cráneo del holotipo de *Europelta*.

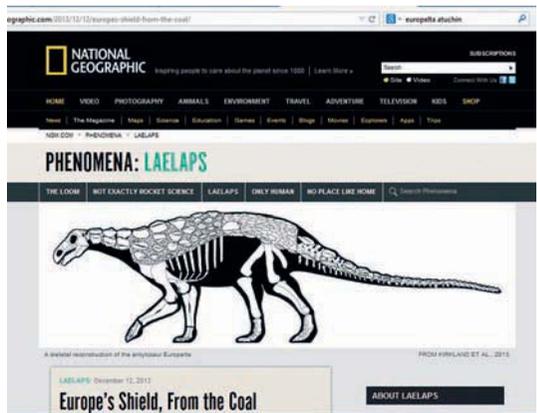


Figura 38. Una de las múltiples apariciones de los hallazgos de Ariño en medios de comunicación de ámbito internacional.



Figura 39. Diente de dinosaurio carnívoro de la Mina Santa María encontrado el primer día de reconocimiento de la mina (AR-1/3).

AGRADECIMIENTOS

Esta contribución tiene su origen en la invitación cursada a la Fundación por el Dr. Samuel Zamora para participar, por primera vez en su historia, con una conferencia en las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología celebradas en Ricla, por lo que le expresamos nuestra gratitud en nombre de todos los compañeros del equipo.

Con respecto a los contenidos de la conferencia y de este artículo, agradecemos la colaboración imprescindible y entusiasta de D. Ángel Luengo (presidente del Grupo SAMCA), así como la de D. Rubén Orera, D. Justo Martín, D. Pedro Alcaine y resto de personal de la Mina Santa María de Ariño (Grupo SAMCA), así como el apoyo de la Fundación SAMCA. Las investigaciones forman parte de los proyectos del Departamento de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Aragón y del Ministerio de Economía y Competitividad y Fondo Social Europeo (proyectos DINOSARAGÓN CGL2009-07792 y DINOTUR CGL2013-41295-P), FOCONTUR (Grupo de Investigación de Referencia E04_17R, Departamento de Innovación, Investigación y Universidad, Gobierno de Aragón y Fondo Social Europeo). Instituto Aragonés de Fomento y Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis. Las fotografías 1, 2 y 3 se publican por cortesía de Pedro Alcaine; las 22, 26 y 39 son de Javier Trueba; las 23 y 31 son de Jorge Escudero; y las restantes son del equipo de la Fundación. El dibujo de la Figura 24 es de Daniel Ayala. Agradecemos especialmente la colaboración también imprescindible de todos los compañeros de nuestra Fundación para el éxito del proyecto.

REFERENCIAS

- Alcaine, P. 1998. *Ariño y su carbón. Relato de un tiempo*. Edita Pedro Alcaine Burillo, Zaragoza, 283 pp.
- Alcalá, L., Espílez, E., Mampel, L., Kirkland, J.I., Ortega, M., Rubio, D., González, A., Ayala, D., Cobos, A., Royo-Torres, R. and Gascó, F. 2012a. New Lower Cretaceous vertebrate bonebed in Ariño (Teruel, Aragón, Spain) found and managed by joint collaboration between a mining company and a palaeontological park. *Geoheritage*, 4 (4), 275-286.
- Alcalá, L., Royo-Torres, R., Cobos, A., Espílez, E., Mampel, L., Gascó, F. and González, A. 2012b. A decade looking for dinosaurs in Teruel (Iberian Range, Aragón, Spain). En: *10th Annual Meeting of the European Association of Vertebrate Palaeontologists*. (Royo-Torres, R., Gascó, F. Alcalá, L. coord.) ;*Fundamental!* 20: 7-10.
- Alcalá, L., Espílez, E., Mampel, L., González, A., Rubio, D., Kirkland, J.I., McDonald, A.T., Buscalioni, A.D., Ayala, D., Cobos, A., Royo-Torres, R., Gascó, F. and Pesquero, M.D. 2013. Coal's Cool Bones: A new assemblage of dinosaurs and other vertebrates from the Lower Albian Escucha Formation in Ariño (Parque Cultural del Río Martín, Teruel, Spain). *11th Meeting of European Association of Vertebrate Palaeontologists*, Villers-sur-Mer, 14.
- Alcalá, L., Espílez, E., Mampel, L., González, A., Rubio, D., Kirkland, J.I., McDonald, A.T., Buscalioni, A.D., Cobos, A. and Royo-Torres, R. 2014. The Lower Albian vertebrate bonebed at Ariño (Teruel, Spain). *MID-MESOZOIC. The Age of Dinosaurs in Transition*. Fruita, Colorado & Green River, Utah, 46-47.
- Alcalá, L., Cobos, A., Ayala, D., Espílez, E., González, A., Mampel, L. and Royo-Torres, R. 2017. Disseminating Cretaceous palaeontology through a network of regional centres in Teruel (Spain). *10th International Symposium on the Cretaceous System. Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Wien*, 120, 6.

- Aurell, M., Bádenas, B., Casas, A.M. y Alberto, S. 2001. *La geología del Parque Cultural del río Martín*. Asociación del Parque Cultural del Río Martín, Zaragoza, 171 pp.
- Buscalioni, A.D., Alcalá, L., Espílez, E. and Mampel, L. 2013. European Goniopholididae from the Early Albian Escucha Formation in Ariño (Teruel, Aragón, Spain). *Spanish Journal of Palaeontology*, 28 (1), 103-122.
- Canérot, J. 1974. Recherches géologiques aux confins des Chaînes Ibérique et Catalane (Espagne). ENADIMSA, Madrid, 5, 4, 517 pp.
- Canudo, J.I., Alberto, S., Barbas, J.L., Royo-Torres, R. y Ruiz-Omeñaca, J.I. 2000. La dinoturbación de Ariño. *Cauce*, 4, 9-15.
- Canudo, J.I., Ruiz-Omeñaca, J.I. y Sender, L.M. 2004. Primera evidencia de un dinosaurio saurópodo en la Formación Escucha (Utrillas, Teruel), Albiense medio (Cretácico Inferior). *Geo-Temas*, 6, 27-30.
- Canudo, J.I., Cobos, A., Martín-Closas, C., Murelaga, X., Pereda-Suberbiola, X., Royo-Torres, R., Ruiz-Omeñaca, J.I. y Sender, L.M. 2005. Sobre la presencia de dinosaurios ornitópodos en la Formación Escucha (Cretácico Inferior, Albiense). Redescubierto "Iguanodon" en Utrillas (Teruel). *¡Fundamental!* 6, 51-56.
- Cobos, A., Lockley, M.G., Gascó, F., Royo-Torres, R. and Alcalá, L. 2014. Megatheropods as apex predators in the typically Jurassic ecosystems of the Villar del Arzobispo Formation (Iberian Range, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 399, 31-41.
- Cobos, A., Royo-Torres, R., Luque, L., Alcalá, L. and Mampel, L. 2010. An Iberian stegosaurs paradise: The Villar del Arzobispo Formation (Tithonian-Berriasian) in Teruel (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 293, 223-236.
- Diez, J.B., Sender, L.M., Villanueva-Amadoz, U., Ferrer, J. and Rubio, C. 2005. New data regarding *Weichselia reticulata*: Sorol clusters and the spore developmental process. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 135, 99-107.
- Gea, G.A., Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N. y Soria, A.R. 2008. Bioestratigrafía de la Fm. Escucha a partir del estudio de foraminíferos planctónicos y nanofósiles en el sector de Alcaine, Teruel. *Geogaceta*, 44, 115-118.
- Kirkland, J.I., Alcalá, L., Loewen, M., Espílez, E. and Mampel, L. 2013a. New nodosaurid ankylosaur (Dinosauria) from the Lower Albian Escucha Formation, Teruel, Spain reveals that since their Aptian origin, nodosaurid species in North America and Europe define paleobiogeographically separate Clades. *Society of Vertebrate Paleontology October/November 2013 Abstracts of Papers 73rd Annual Meeting. Journal of Vertebrate Paleontology, Supplement to the online Program and Abstracts*, 154-155.
- Kirkland, J.I., Alcalá, L., Loewen, M., Espílez, E., Mampel, L. and Wiersma, J. 2013b. The Basal Nodosaurid Ankylosaur *Europelta carbonensis* n. gen., n. sp. from the Lower Cretaceous (Lower Albian) Escucha Formation of Northeastern Spain. *PLoS ONE* 8(12), e80405. doi:10.1371/journal.pone.0080405
- Kirkland, J.I., You, H.L., Alcalá, L. and Loewen, M. 2015. A near-continuous, well-dated sequence of Cretaceous terrestrial faunas: mid-Cretaceous faunal change in the Northern Hemisphere as viewed from Utah. *Society of Vertebrate Paleontology October 2015 Abstracts of Papers 75th Annual Meeting, Journal of Vertebrate Paleontology*, v. 36, Supplement, Program with Abstracts, 121-122.
- Knoll, F., Lautenschlager, S., Rayfield, E.J., Espílez, E., Mampel, L. and Alcalá, L. 2016. Paleoneurology of the Spanish Iguanodont *Proa valdearinnensis*. 76th Annual Meeting Society Vertebrate Paleontology, Salt Lake City (EEUU), *Journal of Vertebrate Paleontology*, 168.
- Lapparent, A.F. 1960. Los dos Dinosaurios de Galve. *Teruel*, 24, 177-198.

- Martini, G., Alcalá, L., Brilha, J., Iantria, L., Sá, A. and Tourtellot, J. 2012. Reflections about the Geotourism concept. *11th European Geoparks Conference, 2012*. Arouca, Portugal, 187-188.
- McDonald, A.T., Espílez, E., Mampel, L., Kirkland, J.I. and Alcalá, L. 2012. An unusual new basal iguanodont (Dinosauria: Ornithopoda) from the Lower Cretaceous of Teruel, Spain. *Zootaxa*, 3595, 61-76.
- Pardo, G. 1979. *Estratigrafía y sedimentología de las formaciones detríticas del Cretácico inferior Terminal del Bajo Aragón Turolense*. Tesis Doctoral. Universidad of Zaragoza, Zaragoza, 473 pp.
- Peyrot, D., Rodríguez-López, J.P., Barrón, E. and Meléndez, N. 2007. Palynology and biostratigraphy of the Escucha Formation in the Early Cretaceous Oliete Sub-basin, Teruel, Spain. *Revista Española de Micropaleontología*, 39, 135-154.
- Pizarro Losilla, A. 2010. Patrimonio geológico y minero en Comarca Andorra-Sierra de Arcos (Teruel): caracterización y actuaciones. En Florido, P. y Rábano, I. (Eds.). *Una versión multidisciplinar del patrimonio geológico y minero*. Cuadernos del Museo Geominero, 12, 481-498.
- Pérez-García, A., Espílez, E., Mampel, L. and Alcalá, L. 2015. A new European Albian turtle that extends the known stratigraphic range of the Pleurosternidae (Paracryptodira). *Cretaceous Research*, 55, 74-83.
- Querol, X. y Solé de Porta, N. 1989. Precisiones cronoestratigráficas sobre la Formación Escucha en el sector noroeste de la Cuenca del Maestrazgo. Cordillera Ibérica Oriental. *Acta Geologica Hispanica*, 24, 73-82.
- Querol, X., Salas, R., Pardo, G. and Ardevol, L. 1992. Albian coal-bearing deposits of the Iberian Range in northeastern Spain. *Geological Society of America*, 297, 193-208.
- Querol, X., Fernandez Turiel, J.L., Lopez Soler, A., Juan, R. y Ruiz, C. 1993. Contenido, distribución y origen del azufre en los carbones albienses del distrito minero de Teruel. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 17, 137-151.
- Rey, G. y Alcalá, L. 2017. Moldes naturales de huellas de vertebrados en la Formación Escucha (Cretácico Inferior) de Ariño, Teruel, España. En: *A Glimpse of the Past* (Barrios de Pedro, S., Blanco Moreno, C., de Celis, A., Colmenar, J., Cuesta, E., García-Martínez, D., Gascó, F., Facinto, A., Malafaia, E., Martín Jiménez, M., de Miguel Chaves, C., Mocho, P., Pais, V., Páramo Blázquez, A., Pereira, S., Serrano Martínez, A. y Vidal, D., eds.). Pombal (Leiria, Portugal), 337-341.
- Rodríguez-López, J.P., Meléndez, N., Soria, A.R. y de Boer, P.L. 2009. Reinterpretación estratigráfica y sedimentológica de las formaciones Escucha y Utrillas de la Cordillera Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 22, 163-219.
- Royo-Torres, R., Cobos, A. and Alcalá, L. 2006. A Giant European Dinosaur and a New Sauropod Clade. *Science*, 314, 1925-1927.
- Royo-Torres, R., González, A., Mampel, L., Gascó, F., Ayala, D., Cobos, A., Espílez, E., Verdú, J. and Alcalá, L. 2013. Unusual dinosaur tracksite on Albian (Escucha Formation) soft sediments in Oliete (Teruel, Spain). *VI Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su entorno*. Salas de los Infantes, Burgos, 118-119.
- Royo-Torres, R., Upchurch, P., Kirkland, J.I., DeBlieux, D.D., Foster, J.R., Cobos, A. and Alcalá, L. 2017. Descendants of the Jurassic turiasaurs from Iberia found refuge in the Early Cretaceous of western USA. *Scientific Reports*, 7, 14311.
- Salas, R. y Guimerá, J. 1996. Rasgos estructurales principales de la cuenca cretácica inferior del Maestrazgo (Cordillera Ibérica oriental). *Geogaceta*, 20 (7), 1704-1706.

- Sanz, J.L., Buscalioni, A.D., Casanovas, M.L. y Santafé, J.V. 1987. Dinosaurios del Cretácico Inferior de Galve (Teruel, España). *Estudios Geológicos*, Volumen Extraordinario Galve-Tremp, 45-64.
- Sender, L.M. 2012. *Albian (uppermost Early Cretaceous) paleobotany and paleoenvironments from the continental deposits of Teruel province (northeastern of Spain)*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 714 pp.
- Sender, L.M., Diez, J.B., Pons, D., Villanueva-Amadoz, U. and Ferrer, J. 2008. Middle Albian gymnosperms from the Río Martín Valley (Teruel, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 7, 37-49.
- Sender, L.M., Villanueva-Amadoz, U., Pons, D., Diez, J.B. and Ferrer, J. 2015. Singular taphonomic record of a wildfire event from middle Albian deposits of Escucha Formation in northeastern of Spain. *Historical Biology*, 27 (3-4), 442-452.
- Sender, L.M., Villanueva-Amadoz, U., Ferrer, J., Royo-Torres, R., Rubio, C., Moreno-Domínguez, R., Sánchez-Pellicer, R., García-Ávila, M. and Diez, J.B. 2013. Field guide of the Albian paleobotanical localities from Teruel province (North-East Spain). *2nd International conference of Agora Paleobotanica. A congress in the countryside, Ariño. Agora Paleobotanica*, 71-90.
- Solé de Porta, N., Querol, X., Cabanes, R. y Salas, R. 1994. Nuevas aportaciones a la palinología y paleoclimatología de la Formación Escucha (Albiense inferior-medio) en las Cubetas de Utrillas y Oliete. Cordillera Ibérica Oriental. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 18, 203-215.
- Tibert, N.E., Colin, J.P., Kirkland, J.I., Alcalá, L. and Martín-Closas, C. 2013. Lower Cretaceous Ostracoda from an Escucha Formation Dinosaur Bonebed in Eastern Spain. *Micropaleontology*, 59 (1), 83-91.
- Vajda, V., Pesquero, M.D., Villanueva-Amadoz, U., Lehsten, V. and Alcalá, L. (2016). Dietary and environmental implications of Early Cretaceous predatory dinosaur coprolites from Teruel, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 464, 134-142.
- Verdú, F.J., Royo-Torres, R., Cobos, A. and Alcalá, L. 2015. Perinates of a new species of *Iguanodon* (Ornithischia: Ornithopoda) from the lower Barremian of Galve (Teruel, Spain). *Cretaceous Research*, 56, 250-264.
- Vilanova, J. 1872. *Compendio de Geología*, Imp. Alejandro Gómez Fuentetrebó. 588 pp., 15 lám.
- Vilanova, J. 1873. Sesión del 5 de febrero de 1873. *Actas Sociedad Española de Historia Natural*, 2: 8.
- Villanueva-Amadoz, U. 2009. *Nuevas aportaciones palinoestratigráficas para el intervalo Albiense-Cenomaniense en el Sector NE de la Península Ibérica. Implicaciones paleogeográficas y paleoclimáticas*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 632 pp.
- Villanueva-Amadoz, U., Pons, D., Diez, J.B., Ferrer, J. and Sender, L.M. 2010. Angiosperm pollen grains of San Just site (Escucha Formation) from the Albian of the Iberian Range (north-eastern Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 162, 362-381.
- Villanueva-Amadoz, U., Miguel Sender, L., Alcalá, L., Pons, D., Royo-Torres, R. and Diez, J.B. 2015. Palaeoenvironmental reconstruction of an Albian plant community from the Ariño bonebed layer (Iberian Chain, NE Spain). *Historical Biology*, 27 (3-4), 430-441.
- Villanueva-Amadoz, U., Sender, L.M., Alcalá, L., Pons, D., Royo-Torres, R. and Diez, J.B. (2013). Preliminary data of paleoflora remains from Escucha Formation (Albian) in Santa María Mine of Ariño (Spain). *2nd International conference of Agora Paleobotanica. A congress in the countryside, Ariño. Agora Paleobotanica*, 60-61.



INVESTIGACIÓN DEL GRUPO ARAGOSAURUS-IUCA SOBRE LOS VERTEBRADOS DEL MESOZOICO Y PALEÓGENO DE ARAGÓN

José Ignacio Canudo¹

¹ Grupo Aragosaurus-IUCA. Área de Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza, España

jicanudo@unizar.es

Resumen: El grupo de investigación Aragosaurus-IUCA toma el nombre del dinosaurio saurópodo dedicado a Aragón. El principal objetivo científico de nuestro grupo es la investigación de los vertebrados del Mesozoico y Paleógeno desde todos los puntos de vista, incluyendo su sistemática, tafonomía, paleoecología, paleobiogeografía etc. En esta publicación se hace un repaso de los logros conseguidos en Aragón y en áreas cercanas que han permitido generar los primeros conocimientos sobre vertebrados fósiles en algunas formaciones geológicas y en algunos intervalos temporales. Se puede citar el Maastrichtiense de los Pirineos de Huesca (Formaciones Arén y Tresp) y la Formación Blesa del Barremiense de Teruel. Los miembros del equipo han finalizado 11 tesis doctorales, hemos publicado más de 80 publicaciones en revistas del SCI, hemos descrito más de 20 taxones u ootaxones nuevos. Hemos encontrado e inventariado más de 150 yacimientos fosilíferos, una parte de los cuales se han excavado y otros están pendientes de hacerlo y donde esperamos encontrar los nuevos descubrimientos de los próximos años.

Palabras clave: Vertebrados fósiles, Mesozoico, Paleógeno, Aragón.

Abstract: *The research group Aragosaurus-IUCA takes its name from the sauropod dinosaur dedicated to Aragon. The main scientific aim of our group is to investigate the vertebrates of the Mesozoic and Palaeogene using a multidisciplinary approach, including systematics, taphonomy, palaeoecology and palaeobiogeography etc. This publication undertakes a review of what has been achieved in Aragon and nearby areas, which has provided the first information on the vertebrate fossil content in various geological formations and in various ages. The Maastrichtian of the Pyrenees of Huesca (the Arén and Tresp Formations) and the Blesa Formation from the Barremian of Teruel are two remarkable areas where we have made important discoveries. Members of the team have completed 11 PhD theses, published more than 80 publications in SCI journals, and described more than 20 new taxa and ootaxa. We have found and inventoried more than 150 fossil-bearing sites, some of which have already been excavated and others of which are due to be excavated in the near future. Here we expect to find the new discoveries of the coming years.*

Key words: *Fossil vertebrate, Mesozoic, Palaeogene, Aragón.*

pequeña localidad turolense era bien conocida por ser el lugar donde se describió el primer dinosaurio en España llamado *Aragosaurus ischiaticus*, que es de donde tomamos años más tarde el nombre de nuestro grupo de investigación. En estas Jornadas tuvimos la oportunidad de compartir experiencias con los paleontólogos que estaban trabajando sobre los vertebrados del Mesozoico. Fue precisamente José Luis Sanz, autor principal de *Aragosaurus*, quien nos animó a investigar en los sedimentos continentales del Mesozoico aragonés. Se puede decir que este fue el punto de partida de nuestra investigación en vertebrados mesozoicos, incluyendo los dinosaurios.

| CRONO-ESTRATIGRAFÍA | | IO ONACIONES | | NA ARRARRIO A | ARA ON | | |
|---------------------|----------------------|--------------|----|----------------------------------|---|----------------------|--|
| MIOCENO | PLIOCENO | 18 | | ILLARRO A | | | |
| | | 1 | | | | | |
| | SUPERIOR ALL. TUROL. | 14-16 | | | | | |
| | | 10-13 | | CELLORIO | | | |
| | | 9b | I | | | | |
| | | 9a | H | | | LA CIESMA 2b - 4 | |
| | | 8 | | | | LA CIESMA 1,2a | |
| | | 6 | | | | EL USTE 2,3 | |
| | MEDIOPLEISTOCENO | 5 | E | MARSA 3 | | PARIERA E PINOS | |
| | | 4b | C | MONTEAUO | | ILLANUEA E HUERA 1,2 | |
| | | 4a | | | | TARONA | |
| | | 3 | -A | ARAN 1,2 TUELA 1 MEIALLA 1 | | LA ALOCHA 5 | |
| | INFERIOR | RAM. L. | | | | MARSA 1 | |
| | | | | | | SANUAN | |
| | | A. ENIENSE | 2b | | CORRAL E CANCHOR MIRANA E AR 3A | | PARIERA EL CURA ARRANCO ELAS OAS |
| | | | 2a | | UENMAOR 2 ISLALLANA CARRETEL UEL 1 | | MAS E SANTIAUET AUOLO 1 |
| | | | | | | | CHALAMERA |
| | | | 1 | | AUTOL 1 ARNEO | | CLARA 1, ONTIENA 1 SANTA CILIA ALCARRETA 14 TORRENTE E CINCA 68 ALCARRETA 12 |

Figura 2. Ordenación bioestratigráfica de los yacimientos de mamíferos del Mioceno-Plioceno de la Cuenca del Ebro. Esta figura forma parte de una síntesis bioestratigráfica muy citada en los trabajos de esta cuenca que publicamos en Cuenca *et al.* (1992).

Comenzamos por un inventario exhaustivo de todos los yacimientos conocidos en Galve y dos pequeñas excavaciones en esta localidad sin grandes resultados (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2004). Habría que esperar hasta 1995 y 1996 cuando realizamos nuestras primeras campañas con resultados espectaculares en Peñarroya de Tastavins (Teruel) y Arén (Huesca). Desde entonces de manera ininterrumpida los miembros del equipo han realizado prospecciones y excavaciones por las tres provincias aragonesas y en comunidades cercanas donde se han recuperado un volumen de información fundamental para reconstruir la paleobiodiversidad de los vertebrados del Cretácico español. Los miembros del equipo han trabajado y trabajan en otras partes del mundo, destacando nuestras investigaciones en el norte de la Patagonia argentina en el marco del proyecto de la “Conexión ibero-patagónica con dinosaurios en el Mesozoico”. Desde el año 2004 se mantiene este proyecto de colaboración con miembros del CONICET, Museo Olsacher, Universidad de Comahue y Universidad de Río Negro (Salgado *et al.*, 2009; 2017; Carballido *et al.*, 2010). Prácticamente todos los años se ha realizado una campaña de prospección y excavación en las provincias de Río Negro y Neuquén lo que ha permitido recuperar material fundamentalmente de saurópodos.

Hemos entendido la investigación sobre los vertebrados del Mesozoico de Aragón como un conjunto, de manera que se han abordado trabajos de sistemática, bioestratigrafía, paleoecología, paleobiogeografía y tafonomía (Canudo *et al.*, 2006; 2009; Pereda-Suberbiola *et al.*, 2009b; Cruzado-Caballero *et al.*, 2015; Gasca *et al.*, 2017), usando las técni-

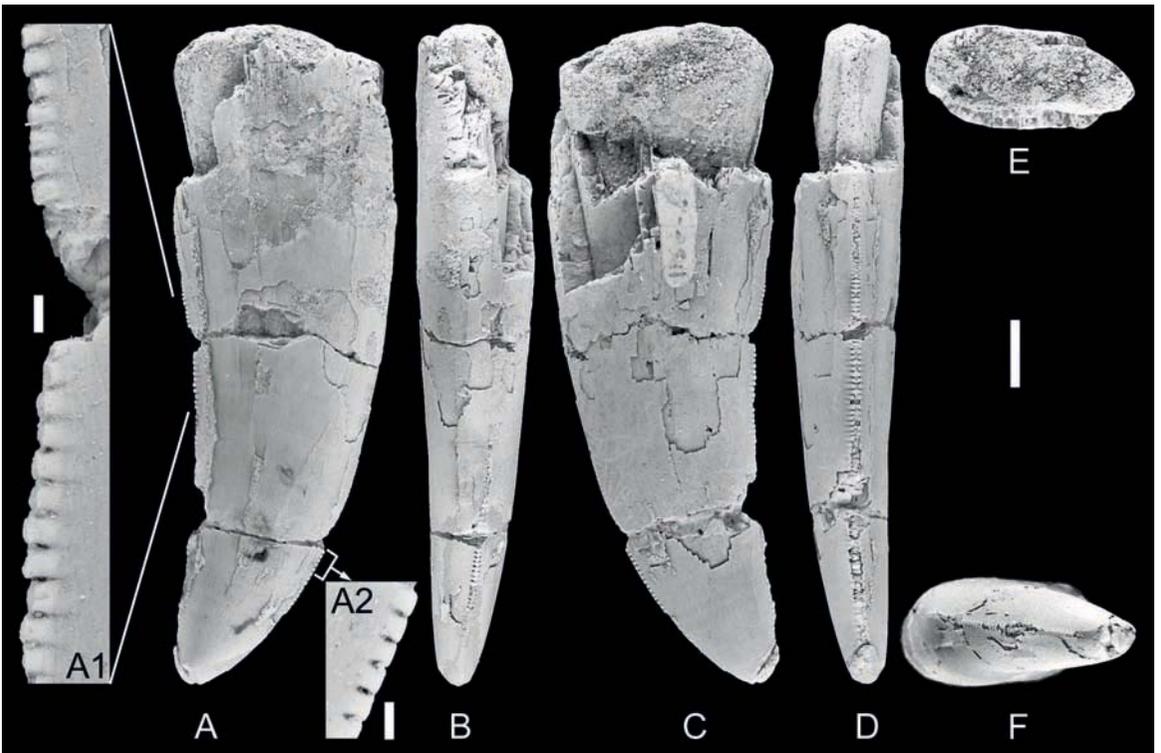


Figura 3. Fotografía del mayor diente de terópodo descrito en España. El fósil proviene de la Formación Villar del Arzobispo (Titoniense-Berriasiense) en Galve (Teruel). Su investigación forma parte de la publicación Canudo *et al.* (2006). Fotografía de Zarela Herrera.

cas tradicionales, así como las más modernas como *CT scan* (tomografía computerizada) o filogenias cladísticas. Además se ha abordado el estudio de huesos, icnitas, cáscaras de huevo y coprolitos, lo que nos ha permitido tener un visión general y multidisciplinar de los vertebrados del Mesozoico que se va a intentar resumir en es artículo. Los intervalos temporales más estudiados han sido el Titoniense (Jurásico Superior, Figura 3), Cretácico Inferior y el Maastrichtiense (Cretácico Superior), aunque también se han descrito restos aislados de otras edades como el Triásico Inferior (Díaz-Martínez *et al.*, 2015) o el Jurásico Medio (Parrilla-Bel *et al.* 2013). Los grupos de vertebrados más estudiados han sido los dinosaurios, mamíferos y crocodilomorfos, pero también se han hecho trabajos sobre quelonios, pterosaurios, anfibios, escamosos, osteíctios y condrictios (López-Martínez *et al.*, 2001; Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2004; Kriwet *et al.*, 2008; Canudo *et al.*, 2010; Blain *et al.*, 2010) En total se han defendido 11 tesis doctorales, se han publicado más de 80 publicaciones en revistas del SCI, describiendo más de 20 taxones u ootaxones nuevos; lo que ofrece una buena idea del ingente trabajo que se ha llevado a cabo en los últimos años. Se han encontrado más de 150 yacimientos fosilíferos, muchos de los cuales se han excavado. En este contexto, el objetivo de esta publicación es realizar una síntesis de los logros alcanzados por el grupo Aragosaurus-IUCA en la investigación de los vertebrados del Mesozoico y del Paleógeno en Aragón.

GEOLOGÍA DE LAS FORMACIONES CON FÓSILES DE VERTEBRADOS

La correcta datación de los restos de vertebrados es fundamental para poder hacer correlaciones, proponer hipótesis paleobiogeográficas y poder calibrar de manera adecuada las propuestas filogenéticas. Las formaciones continentales del Mesozoico con vertebrados de la cordillera Ibérica y de los Pirineos tenían dataciones imprecisas en algunos intervalos temporales como entre el límite Cretácico y Paleógeno (Canudo *et al.*, 2016) y en algunos casos polémicas como sucede en las que conforman el *Weald* de la Subcuenca de Galve (Canudo *et al.*, 2012; Royo-Torres *et al.*, 2009). Por esta razón, se ha hecho un especial esfuerzo en datar las formaciones con vertebrados más problemáticas con la colaboración fundamental de estratígrafos y sedimentólogos de la Universidad de Zaragoza y de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Se han usado diferentes grupos de organismos con interés bioestratigráfico, la magnetoestratigrafía y la correlación estratigráfica. Las formaciones con vertebrados que hemos estudiado carecen de niveles volcánicos por lo que no se han podido hacer dataciones radiométricas. En todos nuestros trabajos hemos incluido amplias descripciones geológicas con precisas situaciones estratigráficas e interpretaciones sedimentológicas de los yacimientos de vertebrados estudiados, para poder hacer correctos trabajos tafonómicos y paleoecológicos. Además hemos realizado investigaciones puntuales, como es el reconocimiento de un tsunami registrado en el Barremiense superior de Miravete (Teruel) cuya evidencia geológica es el deposito de un potente nivel de areniscas y conglomerados que fosilizó cientos de icnitas de dinosaurios (Navarrete *et al.*, 2014). También hemos reconocido una extraña mineralización en dientes de dinosaurios ornitópodos del Barremiense de Ladruñán, Teruel (Bauluz *et al.*, 2014a) o hemos desarrollado una técnica de identificación y medida de tierras raras con láser (Anzano *et al.*, 2017) y también hemos aportado información paleoclimática a partir de la composición arcillosa (Bauluz *et al.*, 2014b). Además de estas investigaciones puntuales, se puede decir que hemos centrado nuestro esfuerzo en tres áreas en cuanto al trabajo geológico-paleontológico.

La posición estratigráfica y la edad de *Aragosaurus*

El primer dinosaurio descrito en España se llama *Aragosaurus ischiaticus* y proviene del yacimiento Las Zabacheras en Galve (Teruel). Inicialmente se incluyó en las facies *Weald*, bien como una unidad sin nombrar, bien como incluido en la Formación Castellar (Díaz Molina y Yébenes, 1987 1987; Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2004). Los materiales del *Weald* en la cordillera Ibérica presentan diferentes edades, pero en su conjunto son los sedimentos depositados en medios continentales del Cretácico Inferior situados estratigráficamente por encima de los materiales del *Purbeck*, que engloban los sedimentos regresivos del final del Jurásico (Aurell *et al.*, 2016, Figura 4). El yacimiento de las Zabacheras se había situado tradicionalmente

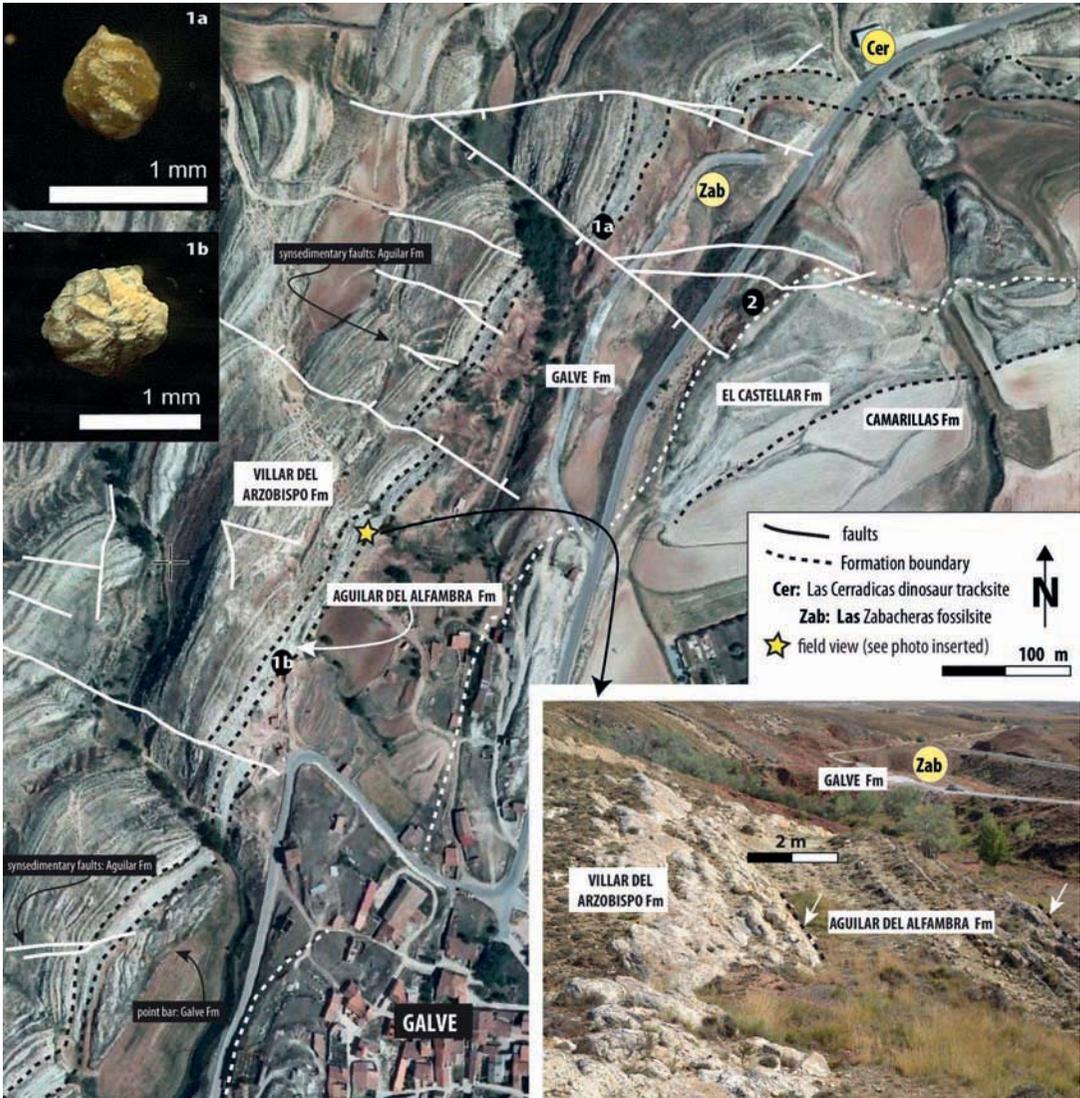


Figura 4. Vista aérea en los alrededores de Galve (Teruel) donde se muestran las relaciones entre las diferentes formaciones del tránsito Jurásico–Cretácico incluidas las dos nuevas descritas, Fm. Galve y Fm. Aguilar de Alfambra. A la izquierda hay dos fósiles de carofíceas que permiten realizar dataciones sobre estas formaciones. Es una investigación desarrollada en Aurell *et al.* (2016).

en la parte inferior del *Weald* en una edad imprecisa que podría ser desde el Berriasiense hasta el final del Hauteriviense. La parte superior del *Weald*, bien datada con carófitas como Barremiense, era la parte superior de la Formación Castellar de Canudo *et al.* (2012). Sin embargo, Royo-Torres *et al.* (2009) basándose en argumentos poco razonados considera que el yacimiento de las Zabacheras y el resto de la parte inferior del *Weald* en realidad deberían incluirse en la secuencia jurásica (*Purbeck*, Formación Villar del Arzobispo). Esto suponía envejecer la edad de *Aragosaurus* y hacerlo convivir en edad con los dinosaurios de la Formación Villar del Arzobispo como *Galvesaurus* y *Turiasaurus* (Royo-Torres *et al.*, 2009) produciendo una paleobiodiversidad sobreestimada en los saurópodos del final del Jurásico ibérico.

Para solucionar el problema realizamos una profunda revisión estratigráfica del tránsito Jurásico – Cretácico en la Subcuenca de Galve (Aurell *et al.*, 2016), lo que nos permitió describir dos formaciones nuevas denominadas Formación Galve y Aguilar de Alfambra para los sedimentos incluidos entre la Formación Villar del Arzobispo (Titoniense - Berriasiense superior) y Castellar (Barremiense inferior). La Formación Aguilar de Alfambra sería la parte superior de lo considerado anteriormente como Formación Villar del Arzobispo en el entorno de Aguilar de Alfambra. La Formación Galve sería la parte baja y media de la anteriormente considerada como Formación Castellar, restringiéndose a esta formación la parte carbonatada más moderna (Aurell *et al.*, 2016). Para hacer las dataciones se usó la escala bioestratigráfica con carófitas y la correlación con otras áreas de la Cuenca del Maestrazgo, en la que se encuentra la Subcuenca de Galve. La Formación Aguilar de Alfambra es muy rica en icnitas de dinosaurios y es donde se situarían la mayoría de los yacimientos atribuidos a la Formación Villar del Arzobispo (Andrés *et al.*, 2007), excepto el de las Cerradicas en Galve (Pérez-Lorente, *et al.*, 1997).

La Formación Blesa

La Formación Blesa es una de las unidades geológicas que más ha investigado nuestro grupo y de la que no se conocían previamente restos de vertebrados. Se encuentra depositada discordante con los depósitos del Jurásico y representa los sedimentos de tipo *Weald* en esta parte de la cordillera Ibérica (Soria de Miguel, 1997; Aurell *et al.*, 2004). La Formación Blesa fue definida a mediados de los años 70, en la Tesis Doctoral del geólogo francés Joseph Canérot. Veinte años después, a finales de los 90, la Tesis Doctoral de Ana Rosa Soria caracterizó sedimentológicamente la formación y la separó en diferentes miembros (Soria de Miguel, 1997), que posteriormente se ha visto es difícil de aplicar a otras zonas por sus numerosos cambios de facies. Por esa razón propusimos inicialmente una diferenciación en dos unidades informales llamadas Blesa inferior y Blesa superior y separadas por una clara discontinuidad identificable en diferentes partes de la cuenca (Aurell *et al.*, 2004). En la Blesa inferior es donde habíamos encontrado el yacimiento La Cantalera-1 con una extraordinaria abundancia de restos de vertebrados (Canudo *et al.*, 2010). Por encima de esa discontinuidad es donde se encuentran las facies marinas con vertebrados marinos (Parrilla-Bel *et al.*, 2015b).

Recientemente hemos realizado una profunda revisión de la geología de la formación (Figura 5), incluyendo su evolución vertical, sus relaciones con el substrato y hemos situado todos los yacimientos en su correcta posición estratigráfica (Aurell *et al.*, 2018). Esto nos ha dado una potente herramienta para continuar la investigación en esta formación. Se han caracterizado tres grandes unidades informales, inferior continental, media marina y superior continental con presencia en todas ellas de vertebrados fósiles (huesos, cáscaras de

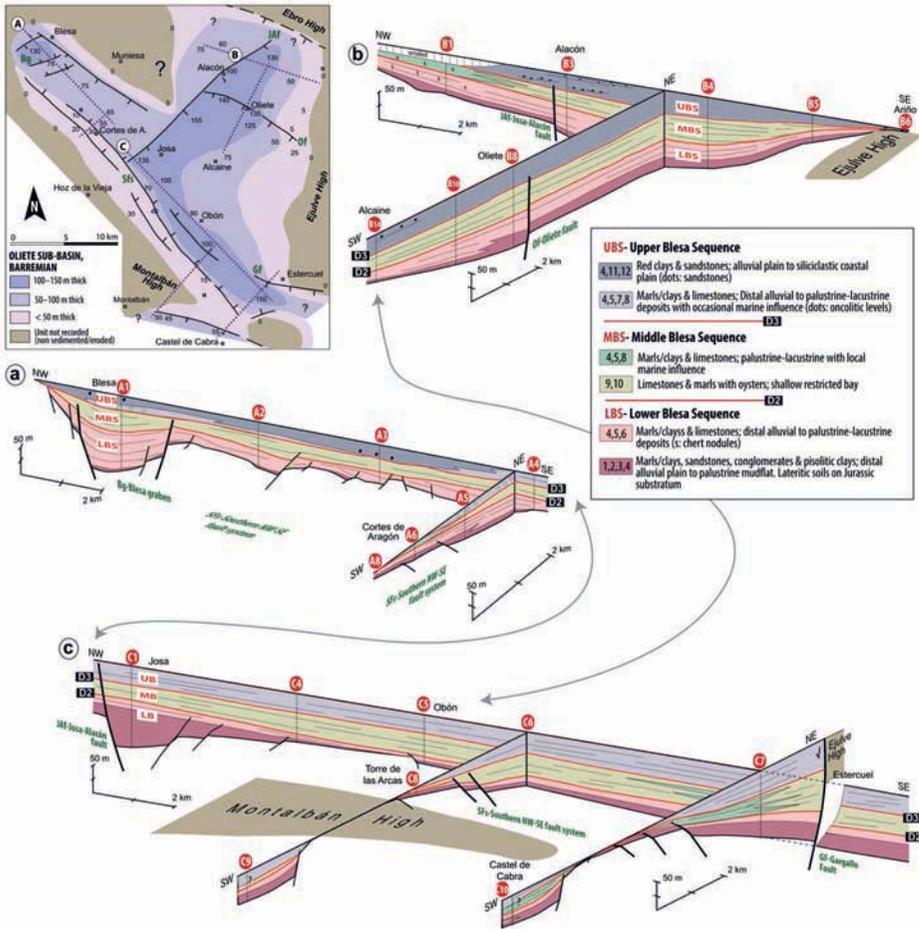


Figura 5. Un buen ejemplo de trabajo estratigráfico donde se muestran las relaciones laterales de la Formación Blesa y su potencia a lo largo de toda su cuenca. Este trabajo de investigación está desarrollado en Aurell *et al.* (2018).

huevos e icnitas). Con esta nueva propuesta estratigráfica hemos podido situar una serie de yacimientos con restos de dinosaurios encontrados recientemente en Estercuel (Teruel) en la unidad superior (Alonso *et al.*, 2018).

Buscando el límite entre Cretácico y el Paleógeno

La extinción de los dinosaurios coincidiendo con el límite Cretácico-Paleógeno y una serie de acontecimientos inusuales, incluyendo el impacto de un gran objeto extraterrestre y un volcanismo extraordinario al final del Cretácico es uno de los temas científicos más mediáticos. Nuestro grupo comenzó esta línea de trabajo al encontrar gran cantidad de restos de vertebrados en el Maastrichtiense del entorno de Arén (Huesca) en las formaciones Arén y Tremp (López-Martínez *et al.*, 2001). El límite entre el Cretácico y el Paleógeno se sitúa en una milimétrica capa de arcilla con un enriquecimiento de Iridio procedente de la desintegración de un gran meteorito al impactar en la Tierra en la zona de Yucatán, Méjico. La capa del límite se reconoce en muchos lugares del mundo, incluido el estratotipo situado en El Kef (Túnez), en facies marinas donde está relacionado con un evento de extinción de foraminí-

feros planctónicos (Canudo, 1997). Sin embargo su identificación en facies continentales es rara ya que los procesos erosivos y de alteración subaérea comienzan a actuar una vez que se depositará el polvo con el iridio. En los últimos años se ha identificado en facies continentales el enriquecimiento de iridio que marca el límite en algunos lugares del mundo como en el centro de EE.UU. (Clemens y Hartman, 2014), lo que es fundamental para poder establecer la relación causa-efecto entre el impacto y la extinción de los dinosaurios.

Desde el inicio de las investigaciones en el Maastrichtiense del Pirineo oscense nos planteamos poder situar el límite con evidencias diferentes que el propio registro de dinosaurios. En efecto, en diferentes perfiles (Arén, Iscles, Serraduy, etc.) se ha reconocido la última presencia de estos vertebrados, bien con huesos o con icnitas en la parte superior de la Formación Tremp roja inferior (Canudo *et al.*, 2016; Puértolas-Pascual *et al.*, 2018), estando ausentes en la Formación Tremp roja superior y en los niveles calcáreos que están en la base. Hemos realizado varios perfiles magnetoestratigráficos en el entorno de Arén y Serraduy (Oms y Canudo, 2004; Puértolas-Pascual *et al.*, 2018) lo que ha demostrado que yacimientos del Pirineo oscense tenían una edad Maastrichtiense superior y la mayoría de ellos se podían situar en el cron C29r, es decir el cron donde se encuentra el límite Cretácico-Paleógeno. Por tanto serían el conjunto de yacimientos más modernos de Europa junto a los del Pirineo catalán de posición estratigráfica similar.

DOCUMENTAR LA PALEOBIODIVERSIDAD DE LOS VERTEBRADOS DEL MESOZOICO

Uno de los aspectos que más hemos investigado y donde hemos realizado aportaciones significativas es la documentación de la paleobiodiversidad de los vertebrados mesozoicos ibéricos del Cretácico Inferior y del Maastrichtiense. El descubrimiento de ejemplares diagnósticos nos ha permitido describir nuevos taxones de dinosaurios, mamíferos, crocodylomorfos etc. En esta línea de trabajo hemos usado el material descubierto y excavado por nuestro equipo y ejemplares provenientes de museos. A continuación vamos a repasar algunas de nuestras aportaciones.



Figura 6. Equipo de excavación de los fósiles de *Tastavinsaurus sanzi*. Foto realizada al finalizar la campaña de excavación en el día de presentación en la misma localidad.

El primero en llegar: *Tastavinsaurus sanzi*

La primera investigación con trascendencia mediática que realizó nuestro grupo en el Mesozoico fue el dinosaurio de Peñarroya de Tastavins. En el yacimiento de Arsis excavamos un ejemplar parcialmente articulado de un saurópodo de un tamaño medio descrito formalmente con el nombre de *Tastavinsaurus sanzi*, dedicado a la localidad donde se encontró y al paleontólogo José Luis Sanz (Canudo *et al.*, 2008).

Los primeros fósiles de *Tastavinsaurus* fueron encontrados a comienzos de la década de los 90 por los aficionados Pedro y Andrés Ortiz en el entorno de la Masía de Arsis (Peñarroya de Tastavins, Teruel). Los restos provenían de la Formación Xert datada en ese momento como Aptiense inferior (Canudo *et al.*, 2008). Nuevas dataciones la sitúan en el Barremiense superior (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2015). Pedro y Andrés recuperaron en la parte superficial del yacimiento dos fémures, 4 cuerpos vertebrales y abundantes fragmentos que indicaban la presencia de un ejemplar único de saurópodo. Excavamos el yacimiento entre diciembre

Figura 7. Reconstrucción idealizada de *Tastavinsaurus sanzi*. Ilustración realizada por Gustavo Encina.



de 1996 y enero de 1997, llegando a participar más de 30 personas (Figura 6). El equipo estaba compuesto por profesores, doctorandos y estudiantes de la Universidad de Zaragoza e investigadores de la Universidad del País Vasco. Además tuvimos la imprescindible ayuda de los miembros de la Asociación Paleontológica Aragonesa (APA) y de los vecinos del pueblo de Peñarroya.

Fueron momentos emocionantes sobre todo cuando fueron desenterrándose las vértebras articuladas y la cadera, del que era el dinosaurio saurópodo más completo conocido en España en ese momento. Los fósiles fueron preparados en un laboratorio de Peñarroya durante más de 4000 horas distribuidas durante más de dos años de paciente y profesional trabajo. Algunos de los integrantes de esta preparación ahora trabajan en la Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel (Rafael Royo) y otros formaron parte de la empresa Paleomás (José Luis Barco) o terminaron su tesis doctoral (José Ignacio Ruiz Omeñaca), todos ellos en el germen de nuestro grupo de investigación Aragosaurus.

Los restos de *Tastavinsaurus* corresponden posiblemente a un único individuo de saurópodo (Figura 7), de los más completos que se conocen en el Barremiense superior de Europa. Es un



ejemplar adulto, como demuestra que las vértebras tienen los arcos neurales unidos al centro. Se recuperó toda la parte posterior del dinosaurio con excepción de las vértebras caudales posteriores (Canudo *et al.*, 2008; Royo-Torres, 2009). Formaron parte de la primera tesis doctoral que se defendió en la Universidad de Zaragoza en dinosaurios y una de las primeras de España en el año 2005. El holotipo de *Tastavinsaurus* presenta una gran cantidad de caracteres diagnósticos que permiten situarlo en la base de la radiación de los macronarios Titanosauriformes, un grupo de saurópodos cuyas formas basales están mal conocidas, sin embargo las formas derivadas como los titanosaurios tienen una amplia representación en el Cretácico Superior (D’Emic, 2012). Esta escasez de ejemplares completos de los Titanosauriformes más primitivos hace que la interpretación de la posición filogenética de *Tastavinsaurus* varíe entre diferentes estudios, así como aumenta el conocimiento de las formas más cercanas filogenéticamente (D’Emic, 2012; Royo-Torres *et al.*, 2012; Torcida Fernández-Baldor *et al.*, 2017). Un buen ejemplo de la importancia de este taxón es la gran cantidad de citas (casi 100) que ha obtenido en revistas indexadas y que sigue siendo una referencia obligada en los estudios de los Titanosauriformes de cualquier parte del mundo. Por último apuntar, que la repercusión de este descubrimiento fue enorme, por esa razón Peñarroya de Tastavins fue uno de los lugares elegidos para crear un Centro Satélite del proyecto Dinópolis (Inhospitak). En este centro se puede ver una reconstrucción a tamaño natural de *Tastavinsaurus*, así como los fósiles originales excavados y preparados por nuestro grupo.

Los vertebrados del Maastrichtiense superior de Huesca

Poco después de excavar los restos de *Tastavinsaurus* comenzamos la investigación en el Pirineo oscense donde no se conocían restos de dinosaurios, ni de vertebrados cretácicos hasta que Lluís Ardévol localizó los primeros en la década de los 90. Nuestro colega haciendo la cartografía geológica en los alrededores de Arén (Huesca) identificó algunos fósiles de dinosaurios en el entorno de la collada de Blasi. Ahí comenzó una serie de actuaciones lideradas por nuestro grupo en colaboración con el ICP, la Universidad Autónoma de Barcelona, la Universidad Complutense de Madrid y la del País Vasco entre otras, que ha permitido desarrollar una línea de investigación de importancia mundial en la provincia de Huesca.



Figura 8. Vértebra caudal de un dinosaurio hadrosaurio de pequeño tamaño encontrada en la Formación Tremp (Maastrichtiense superior) en el entorno de Serraduy (Huesca). Este fósil fue inicialmente estudiado por Puértolas-Pascual *et al.* (2018).

La extinción de los dinosaurios y todos los acontecimientos sucedidos alrededor de este evento en los ecosistemas terrestres es uno de los temas más fascinantes en la investigación moderna. Sin embargo, hay pocos lugares del mundo donde hay afloramientos con fósiles de dinosaurios en los sedimentos de los últimos miles de años del Cretácico, es decir poco antes de su extinción. Uno de esos lugares donde encontramos el registro geológico prácticamente continuo en facies continentales durante el tránsito entre el Cretácico y el Paleógeno son los Pirineos oscenses (Pereda Suberbiola *et al.*, 2009a; Vila *et al.*, 2013; Canudo *et al.*, 2016). En los sedimentos del Maastrichtiense superior hemos encontrado una insospechada paleobiodiversidad de vertebrados que seguimos estudiando y que ha dado lugar a una treintena de publicaciones del SCI y dos tesis doctorales, la de Penélope Cruzado Caballero en los dinosaurios hadrosaurios y la de Eduardo Puértolas en los crocodylomorfos, habiéndose comenzado una tercera recientemente (Manuel Pérez Pueyo en los vertebrados del final del Maastrichtiense).

La asociación de tetrápodos del Maastrichtiense superior de los Pirineos oscenses está compuesta por anfibios, lacértidos, quelonios, crocodylomorfos, hadrosaurios (Figura 8), terópodos (incluyendo Aves) y saurópodos representados por restos directos, cáscaras de huevos e icnitas (López-Martínez *et al.*, 2001; Pereda Suberbiola *et al.*, 2009a, b; Blain *et al.*, 2010; Vila *et al.*, 2012, 2013, 2015; Moreno-Azanza *et al.*, 2014; Canudo *et al.*, 2016). Es destacable la ausencia de mamíferos y pterosaurios. En el caso de los pterosaurios podría ser un sesgo tafonómico, sin embargo en cuanto a los mamíferos podría ser un sesgo paleoecológico, al no haberse encontrado en el Maastrichtiense superior del Pirineo. Al menos hay representados 17 taxones diferentes de tetrápodos. Este número es aproximado, ya que la biodiversidad de los dinosaurios terópodos a partir de dientes aislados es aproximada. Cabe destacar la descripción de dos nuevos hadrosaurios, se trata de *Arenysaurus ardevoli* procedente de Blasi 3 (Pereda-Suberbiola *et al.*, 2009; Cruzado-Caballero *et al.*, 2013; 2015) y *Blasisaurus canudo* recuperado en Blasi 1 (Cruzado-Caballero *et al.*, 2010a), además de la presencia de otros taxones de hadrosaurios representados por material fragmentario (Cruzado-Caballero *et al.*, 2010b; 2014; Company *et al.*, 2015). También se han descrito dos taxones de crocodylomorfos de gran interés filogenético por estar cerca de la base de la radiación de los cocodrilos modernos y haberse recuperado muy cerca del límite Cretácico - Paleógeno (Puértolas-Pascual *et al.*, 2016).

Se trata de dos cráneos bien conservados descritos como *Arenysuchus gascabadiolorum* del yacimiento Elías en Arén (Puértolas *et al.*, 2011) y *Allodapsuchus subjuniperus* de Beranuy (Puértolas-Pascual *et al.*, 2014). El resto de material de tetrápodos es fragmentario (Figura 9) y no ha podido ser clasificado a nivel específico (López-Martínez *et al.*, 2001; Murelaga y Canudo, 2005; Torices *et al.*, 2015; Puértolas-Pascual *et al.*, 2016).



Figura 9. Icnitas producidas durante la natación de crocodylomorfos al tocar el fondo. Proceden de la parte inferior de la Formación Tremp (Maastrichtiense) en Serraduy (Huesca). Fueron descritas por Vila *et al.* (2015).

En los sedimentos de la base del Terciario de Huesca no se conoce ningún resto fósil de tetrápodo (Canudo *et al.*, 2016). Esta ausencia no parece poder asignarse a un sesgo tafonómico ya que aparentemente no hay cambios paleoambientales en las facies del final del Cretácico y del comienzo del Paleógeno. La investigación continúa, pero en el estado del conocimiento actual parece que la diversa y abundante fauna de tetrápodos del Maastrichtiense superior en los Pirineos se extinguió de manera brusca cerca o coincidente con el límite entre el Cretácico y el Paleógeno.

El enigmático saurópodo de Galve: *Galvesaurus herreroi*

La historia de las actuaciones sobre *Galvesaurus* son singulares y polémicas, por esta razón parece conveniente hacer una reseña histórica que permita clarificar el estatus de esta especie. Los primeros restos de este saurópodo fueron encontrados por José María Herrero, un conocido aficionado de Galve (Teruel) en el yacimiento conocido como Cuesta Lonsal, geológicamente situado en la Formación Villar del Arzobispo, de edad Titoniense (Aurell *et al.*, 2016). La Dirección General de Patrimonio Cultural de la DGA encomendó a Eladio Liñán la valoración del yacimiento. Al visitarlo observó los húmeros y algunas vértebras, lo cual



Figura 10. Excavación de Cuesta Lonsal (Galve, Teruel) donde se puede ver el sacro de *Galvesaurus herreroi*. En la fotografía se puede ver al profesor Leonardo Salgado, investigador argentino con el que se ha colaborado de manera habitual.

confirmaba la importancia de Cuesta Lonsal. Se planteó un plan de acción incluyendo una excavación por parte de investigadores con el permiso de la DGA (Figura 10). El Sr. Herrero con la colaboración de sus hijos, fue excavándolo durante el resto de la década, entre 1987 y 1990, extrajeron una vértebra cervical (CL-2), una vértebra dorsal, los dos húmeros, algunas costillas, cinco vértebras caudales y un arco hemal. Posteriormente entre 1993 y 1998, mientras continuaban en su casa la preparación de los huesos extraídos siguieron excavando nuevos huesos entre los que destaca una escápula. Este material se encuentra depositado en el Museo de Galve de propiedad municipal.

Una de las prioridades de nuestro grupo de investigación desde el comienzo de su formación fue el estudio de este saurópodo. Al comienzo de la década de los 90, Josué Pérez-Oñate empezó su estudio a partir del material excavado dentro de un proyecto de Tesis de Licenciatura que no llegó a finalizar. En un estudio preliminar de una vértebra dorsal se incluyó en Camarasauridae (Pérez-Oñate *et al.*, 1994), por la ausencia de caracteres diagnósticos de otras familias. Paralelamente comenzamos los trabajos de excavación del yacimiento, así en Agosto de 1993 hicimos la primera actuación bajo la dirección de Gloria Cuenca. Durante esta intervención de urgencia se recuperaron dos fragmentos de vértebras cervicales bastante deterioradas por los anteriores intentos de extracción. Estas piezas se encuentran depositadas en el actual Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza (Canudo, 2018).

En 1998 comenzamos la preparación y el estudio de la vértebra cervical CL-2. Este momento fue el inicio de la Tesis Doctoral de José Luis Barco (basada en el material de Cuesta Lonsal-1 y codirigida por G. Cuenca y J.I. Canudo), quien pasó a liderar las actuaciones sobre el yacimiento. Las primeras investigaciones sobre el esqueleto axial cervical permitió desestimar la clasificación inicial dentro de Camarasauridae. La reactivación de las investigaciones motivó la realización de una nueva excavación por encargo y con la financiación del Gobierno de



Figura 11. Proceso de preparación del sacro de *Galvesaurus herreroi* realizado por Paleoymás. Se puede observar los cuerpos vertebrales del sacro de este dinosaurio saurópodo en vista ventral.

Aragón en el año 2000. Se recuperaron una veintena de restos, entre los que destacan una espina vertebral dorsal, una vértebra caudal deteriorada, un diente de dinosaurio terópodo y otro de cocodrilo. Además se elaboró un Plan Director de Actuaciones, también a instancias del Gobierno de Aragón, quien además financió en 2001 una nueva excavación, la preparación en el laboratorio de algunos materiales excavados en 2000 y la continuación de la preparación de la vértebra cervical CL-2. En la excavación de 2001 se recuperaron entre otras, una vértebra cervical (CL-48), fragmentos vertebrales indeterminados, varias costillas (dorsales y cervicales), fragmentos de dos iliones y un sacro (Figura 11).

Teniendo en cuenta la importancia social de estos restos, conforme se iban preparando se trasladaban al Museo Paleontológico de Galve. Sirva como ejemplo que en el mes de marzo del 2005 se depositó la vértebra cervical CL-2, a pesar de no haber sido publicada. Pero se consideraba que era importante que estos descubrimientos se pudiera rentabilizar turística-mente, tal y como nos habían solicitado desde el Ayuntamiento de Galve. Ese mismo año publicamos *Galvesaurus herreroi* como un nuevo taxón al presentar claras autapomorfias (Barco *et al.*, 2005). La publicación de este nuevo taxón no representaba el final de su estudio, sino un punto y aparte, al formar parte fundamental de la tesis (Barco, 2005; Barco *et al.*, 2006). De manera paralela, el mismo ejemplar del yacimiento de Cuesta Lonsal fue publicado (Sánchez-Hernández, 2005) con un nombre distinto “*Galveosaurus herreroi*”, aunque muy similar al utilizado en nuestra descripción original, el cual ya habíamos sugerido con anterioridad y era bien conocido por los guías del museo. Es un caso muy claro de mala praxis que debería haber despertado la unanimidad entre los investigadores y no haber sido usado el nombre de “*Galveosaurus*”. Sin embargo, desgraciadamente no ha sido así, y la utilización en algunas publicaciones de “*Galveosaurus*”, es difícil de justificar desde la misma mínima ética científica. Esperemos que con el tiempo termine imponiéndose la coherencia y el nombre que

se use para el taxón de Cuesta Lonsal sea *Galvesaurus* como aparece en muchas publicaciones científicas (D'Emic, 2012; Carballido *et al.*, 2015; Torcida Fernández-Baldor *et al.*, 2017; Filipini *et al.*, 2017).

Galvesaurus es un saurópodo que tiene un gran interés filogenético independientemente de los problemas con la definición del taxón. El material conservado es fragmentario y hay bastantes elementos no representados lo que dificulta una exhaustiva codificación de los caracteres de este saurópodo. Hay un cierto consenso entre los autores que han codificado sus caracteres en situarlo en los macronarios (D'Emic, 2012; Barco y Canudo, 2012; Carballido *et al.*, 2015), pero hay variaciones en posicionarlo como un miembro de Titanosauriformes o como un taxón más primitivo. La parte del cladograma donde se sitúa *Galvesaurus* es muy inestable debido a la ausencia de buenos ejemplares a nivel global si descontamos los conocidos de la Formación Morrison (Canudo, 2009). Futuros estudios permitirán clarificar la posición de *Galvesaurus*, sin destacar ninguna opción dentro de Macronaria.

Los arcosaurios del Barremiense

Los restos de arcosaurios, especialmente dinosaurios y crocodylomorfos, son abundantes en diferentes formaciones (Castellar, Blesa, Camarillas, Mirambel) del Barremiense de Teruel, por esa razón hemos hecho un especial esfuerzo en documentar su paleobiodiversidad tanto a partir de restos fragmentarios, como con carcasas de huevos fósiles más o menos completas (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2004; Canudo *et al.*, 2010; Gasca *et al.*, 2015). Varias tesis doctorales han trabajado en esta línea (José Ignacio Ruiz Omeñaca, José Manuel Gasca, Eduardo Puértolas y Antonio Alonso). El material más completo que hemos estudiado son dos ejemplares de ornitópodos de Galve (Teruel) recuperados en la Formación Camarillas y depositados en el Museo de Galve. *Gideonmantellia amosanjuanae* era un pequeño dinosaurio de menos de dos metros de largo, del que conocemos gran parte de su esqueleto axial, parte del apendicular (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2012). De mucho mayor tamaño es el iguanodóntido *Delapparentia turolensis*, descrito a partir de un ejemplar excavado en los años 60 (Ruiz-Omeñaca, 2011). Aunque algunos autores han considerado que es un taxón inválido (Verdú *et al.*, 2015), presenta suficientes autapomorfías para ser un taxón válido (Gasca *et al.*, 2015).

Los dientes aislados de dinosaurios han permitido reconocer una amplia biodiversidad como la que presentan los ornitópodos, con al menos cuatro taxones distintos en el Barremiense inferior (Canudo *et al.*, 2010), aunque por el momento no han podido ser relacionados con claridad con los taxones descritos. Los dientes aislados de saurópodos son escasos, pero nos documentan la presencia de Titanosauriformes en la base de la Formación Artoles (Ruiz-Omeñaca y Canudo, 2005), también reconocida con restos postcraneales en la Formación Mirambel (Gasca y Canudo, 2015). Tiene especial importancia la presencia de un posible euhélopido en la Formación Blesa, un enigmático grupo de saurópodos asiáticos cuya presencia en la Península Ibérica en el Barremiense implica una conexión terrestre entre Asia y Europa en el Cretácico Inferior (Canudo *et al.*, 2002). También son interesantes los dientes aislados de terópodos que son relativamente abundantes y que nos documentan una parte de la paleobiodiversidad poco conocida con elementos postcraneales (Figura 12), a excepción de un fragmento distal de un fémur de un gran Tetanurae y una falange terminal de un barioníquido (Gasca *et al.*, 2014; 2018). Hemos realizado diferentes trabajos con dientes aislados de terópodos que documentan la gran paleobiodiversidad de tetanuros, tanto de gran tamaño como los carcharodontosáuridos o espinosaurios, como de mediano-tamaño pequeño como coelurosaurios (Ruiz-Omeñaca y Canudo, 2003; Ruiz-Omeñaca *et al.*, 2004; Canudo *et al.*, 2010; Alonso y Canudo, 2016).

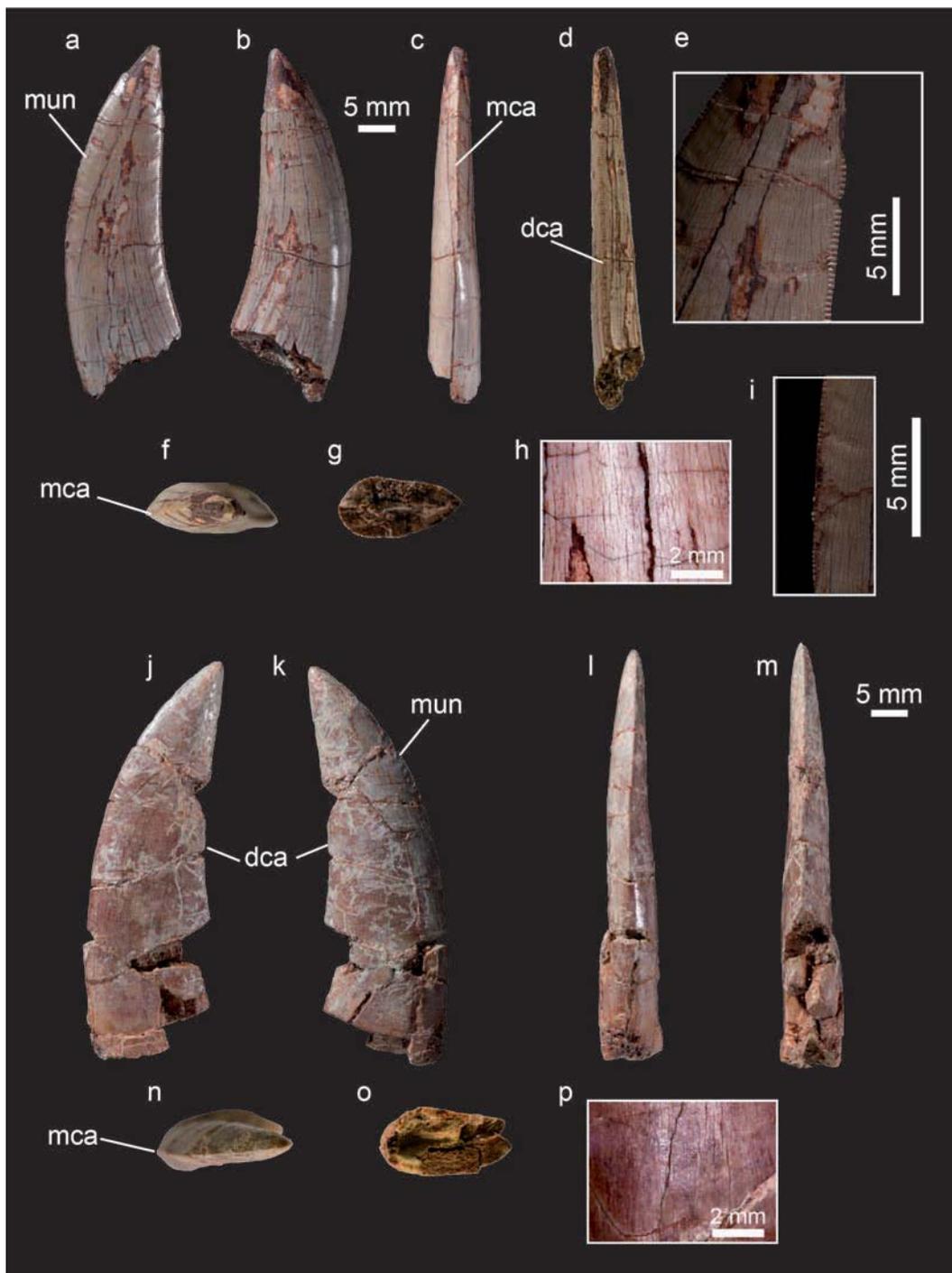


Figura 12. Dientes aislados de dinosaurios carnívoros procedentes del Barremiense inferior de Estercuel (Teruel). Se muestran diferentes detalles de los denticulos de los bordes de los dientes. El estudio de estos dientes forma parte de la publicación de Alonso *et al.* (2018)

Los crocodylomorfos continentales están representados por gran cantidad de dientes aislados obtenidos en el lavado-tamizado de los sedimentos. La variabilidad morfológica de los dientes es amplia, demostrando como los crocodylomorfos continentales del Barremiense ibérico estaban adaptados a diferentes dietas; carnívora, insectívora y durófaga (Canudo *et al.*, 2010; Puértolas-Pascual *et al.*, 2015b). El crocodylomorfo más completo que hemos estudiado es un gran ejemplar de *Anteophthalmosuchus* representado por material craneal y postcraneal excavado en la Formación Escucha (Albiense) en Andorra, Teruel (Puértolas-Pascual *et al.*, 2015a). Hasta el momento, los fósiles de pterosaurios que hemos encontrado son escasos y casi exclusivamente compuestos de dientes aislados con una gran variedad morfológica. (Ruiz-Omeñaca *et al.*, 1998; Canudo *et al.*, 2010).

Vertebrados marinos

Los restos de vertebrados marinos del Mesozoico son escasos en Aragón. En nuestro grupo únicamente hemos estudiado material del Jurásico Medio y del Cretácico Inferior. El estudio de los vertebrados marinos del Mesozoico ha sido liderado en nuestro grupo por Jara Parrilla. La mejor pieza estudiada es el cráneo de un crocodylomorfo procedente del Jurásico Medio de Ricla (Zaragoza) descrito como *Maledictosuchus riclaensis* por Parrilla-Bel *et al.* (2013). Es un ejemplar conocido popularmente como “el cocodrilo de Ricla” (Figura 13) y puede verse en la exposición permanente del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad. También

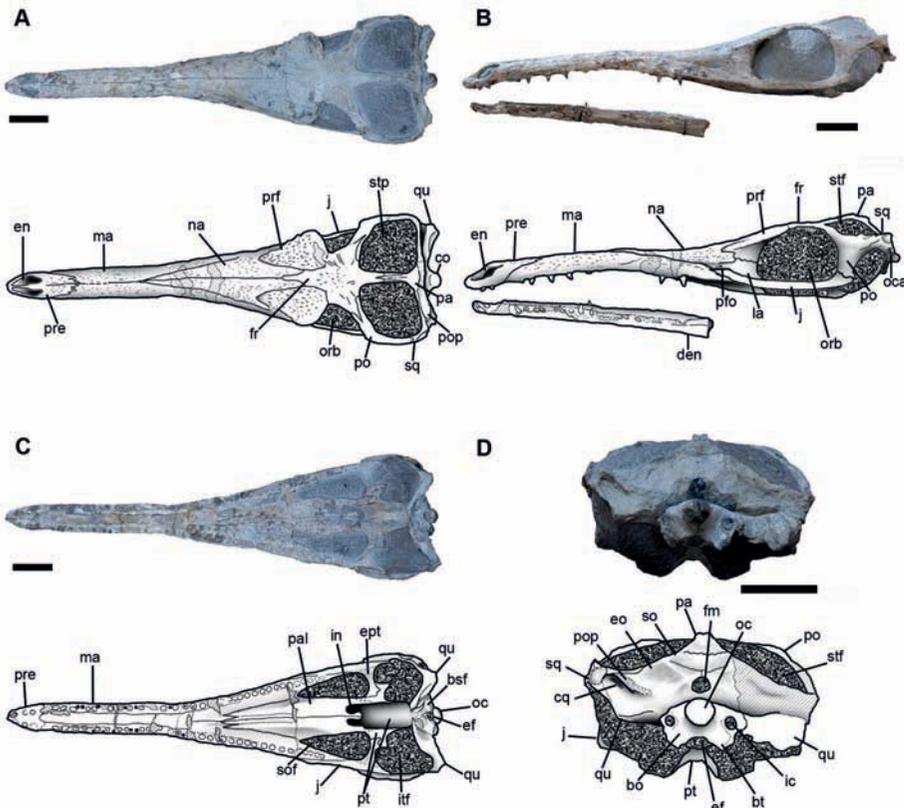


Figura 13. Diversas vistas y sus interpretaciones en dibujo del holotipo de *Maledictosuchus riclaensis*, el popularmente conocido como el “cocodrilo de Ricla”. Este ejemplar del Jurásico medio de Ricla (Zaragoza) fue estudiado en la publicación de Parrilla-Bel *et al.* (2013).

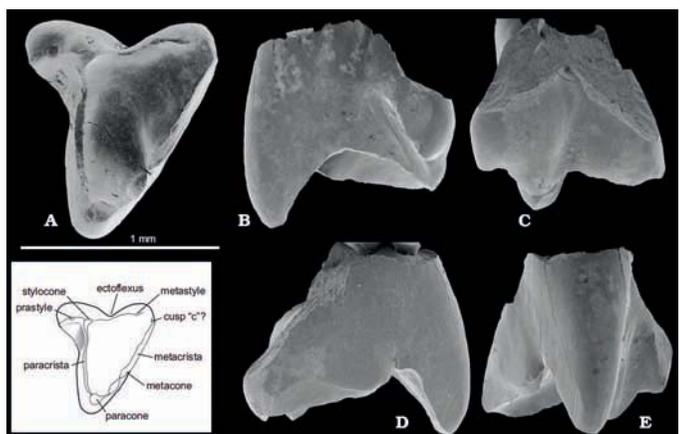
hemos descrito sus elementos postcraneales como son vértebras cervicales, dorsales y caudales (Parrilla-Bel y Canudo 2015a). También hemos estudiado el interior del cráneo con técnicas de *CT-Scan* que ha permitido reconocer glándulas de la sal en *Maledictosuchus* (Parrilla-Bel *et al.*, 2016), aunque el estudio más completo está en proceso de finalización. En cuanto al Cretácico Inferior, únicamente se han encontrado restos fragmentarios, dientes y centros vertebrales de Plesiosauria (Parrilla-Bel y Canudo, 2015b) del Barremiense de la Formación Blesa en varias localidades de Teruel. Se trata de restos fragmentarios, pero de gran interés por la escasez de plesiosaurios en el Cretácico Inferior a nivel mundial.

Mamíferos

Hemos hecho un especial esfuerzo en documentar la paleobiodiversidad de los mamíferos del Barremiense, que es el intervalo temporal en el que con las técnicas de lavado-tamizado hemos recuperado dientes aislados de multituberculados, “simmetrodontos”, eutriconodontos, “eupantotherios” que representan a especies exclusivas en la Península Ibérica y otras relacionadas paleobiogeográficamente con otras partes de Laurasia (Asia o Norteamérica) (Canudo y Cuenca, 1996; Cuenca-Bescós y Canudo, 2003; Badiola *et al.*, 2008, 2011; Cuenca-Bescós *et al.*, 2011, 2014). Hemos tamizado toneladas de sedimentos en otras edades como el Titoniense-Berriasiense o el Maastrichtiense, pero sin haber encontrado dientes de mamíferos, por el momento. El Barremiense es un intervalo temporal especialmente rico en restos de mamíferos en el Cretácico Inferior, que además presentan una gran diversidad.

Los multituberculados son los mamíferos más abundantes en el Cretácico Inferior de la Península Ibérica y en el Barremiense en particular. Hemos descrito tres especies de plagiulácidos, *Cantalera abadi* e *Iberica habni* cuyos holotipos provienen del Barremiense inferior de la Formación Blesa en Josa, aunque también están en la Formación Camarillas en Galve (Badiola *et al.*, 2008; 2011) y *Lavocatia alfambrensis* de la parte alta de la Formación Camarillas (Canudo y Cuenca-Bescós, 1996). En la parte basal de la Formación Artoles (Barremiense superior) se encuentra el yacimiento de Vallipón (Castellote, Teruel) donde describimos por primera vez un gobiconodóntido (Eutriconodonta) en Europa, un grupo previamente encontrado solo en Asia y Norteamérica (Cuenca-Bescós y Canudo, 2003). El spalacotérido *Aliaga molinensis* procedente en la Formación Castellar (Aliaga, Teruel) es un taxón relacionado con los Spalacolestinae norteamericanos (Cuenca-Bescós *et al.*, 2014). Entre los Cladotheria hemos descrito dos taxones, el peramúrido *Pocamus pepelui* de la Formación Camarillas en Galve (Canudo y Cuenca, 1996) y el Dryolestida *Crusafontia amoae* de la Formación Castellar también en Galve (Cuenca-Bescós *et al.*, 2011, Figura 14).

Figura 14. Holotipo de *Crusafontia amoae*, un pequeño mamífero driolestido del Barremiense inferior en Galve (Teruel). La fotografía muestra el mismo diente (M4 ó M5) en diferentes posiciones. Este fósil fue estudiado por Cuenca-Bescós *et al.* (2011).



ESTUDIO DE RESTOS INDIRECTOS

Icnitas

Las icnitas de tetrapodos, especialmente de dinosaurios, son abundantes en las facies continentales y de transición de la cordillera Ibérica y de los Pirineos (Castanera *et al.*, 2011; 2014; Vila *et al.*, 2013). Hemos estudiado icnitas desde el Titoniense hasta el Maastrichtiense, aunque hay intervalos con una mayor abundancia como es el Titoniense-Berriasiense de Teruel, (Castanera *et al.*, 2013; 2016), Berriasiense de Soria (Castanera *et al.*, 2012; 2015) el Barremiense de Teruel, el Berriasiense-Albiense de la Rioja (Díaz-Martínez *et al.*, 2015) y el Maastrichtiense de Huesca (Vila *et al.*, 2013). En nuestro equipo, Diego Castanera e Ignacio Díaz han realizado su tesis doctoral en las icnitas de dinosaurios, no solo de Aragón, sino también de la Rioja y la tierras altas de Soria (Castanera *et al.*, 2015; Díaz-Martínez *et al.*, 2015). El estudio de las icnitas del Maastrichtiense estuvo liderado por Bernat Vila (Vila *et al.*, 2013, Figura 15).

El yacimiento aragonés de icnitas de dinosaurios que más hemos estudiado es el de las Cerradicas situado en la parte alta de la Formación Villar del Arzobispo en Galve, de edad posiblemente Berriasiense (Pérez-Lorente *et al.*, 1997, Aurell *et al.*, 2016). Tiene la máxima protección (BIC) en la Ley de Patrimonio Cultural de Aragón y está protegido y accesible a su visita. Entre otras particularidades, en las Cerradicas se conservan evidencias del desplazamiento de una manada de pequeños saurópodos en la misma dirección (Castanera *et al.*, 2011). También ha sido clave para explicar la escasez de impresiones de manos en los rastros de grandes ornitópodos. A partir de un escaneo en detalle en el yacimiento se ha podido detectar que las impresiones de las manos son menos profundas que las de los pies. De esta manera si hay una pequeña erosión puede desaparecer la marca de la mano y conservarse solo la del pie, siendo por tanto la ausencia de la marca de la mano un artefacto tafonómico (Castanera *et al.*, 2013).



Figura 15. Contramolde de una icnita de dinosaurio hadrosaurio conservada *in situ* en el yacimiento. Se puede observar el relleno en arenisca de los dedos del hadrosaurio en su posición anatómica digitigrada. Estas icnitas fueron estudiadas en Vila *et al.*, 2013.

Cáscaras de huevo

Los fragmentos de cáscaras de huevo son abundantes en los sedimentos del Cretácico Inferior de la cordillera Ibérica. En general, se obtienen con el proceso de lavado-tamizado, aunque algunos fragmentos de gran tamaño se pueden recoger en la superficie de los afloramientos. Para la investigación en cáscaras se han usado técnicas tradicionales como láminas delgadas, MEB y catodoluminiscencia y técnicas más modernas como el EBSD o el microtac. Esto ha permitido abordar estudios novedosos como es la cuantificación de la estabilidad estructural de las cáscaras de algunos tipos de dinosaurios (Moreno-Azanza *et al.*, 2013).

En los primeros años del grupo, la investigadora Olga Amo comenzó con el estudio de algunos yacimientos del Barremiense de Galve, pero su prematuro fallecimiento hizo que se paralizara durante algunos años esta línea de trabajo. A finales de la década de los 2000 se incorporó Miguel Moreno para realizar su tesis doctoral y desde entonces ha liderado esta línea de investigación con excelentes resultados. Nuestros primeros estudios dieron conclusiones significativas con la descripción de la ooespecie *Megaloolithus turolensis* en la Formación Castellar en Galve asignada a un dinosaurio terópodo (Amo-Sanjuán *et al.*, 2000), posteriormente la hemos incluido en los ornitópodos al asignarla al nuevo oogénero *Guegoolithus* (Moreno-Azanza *et al.*, 2014a; 2017), solucionando el enigma que era la ausencia de cáscaras de huevo de ornitópodos en el Cretácico Inferior. Además hemos descrito otros ootaxones en el Barremiense de Teruel, como es *Trigonoolithus amoae* a partir de una abundante colección de cáscaras (Figura 16) de un dinosaurio terópodo indeterminado de la Formación Blesa (Moreno-Azanza, *et al.*, 2014b). También en esta formación hemos descrito una enigmática cáscara de un crocodylomorfo nombrada como *Mycormorphoolithus kobringi* y considerada anteriormente como de quelonio (Moreno-Azanza *et al.*, 2015).

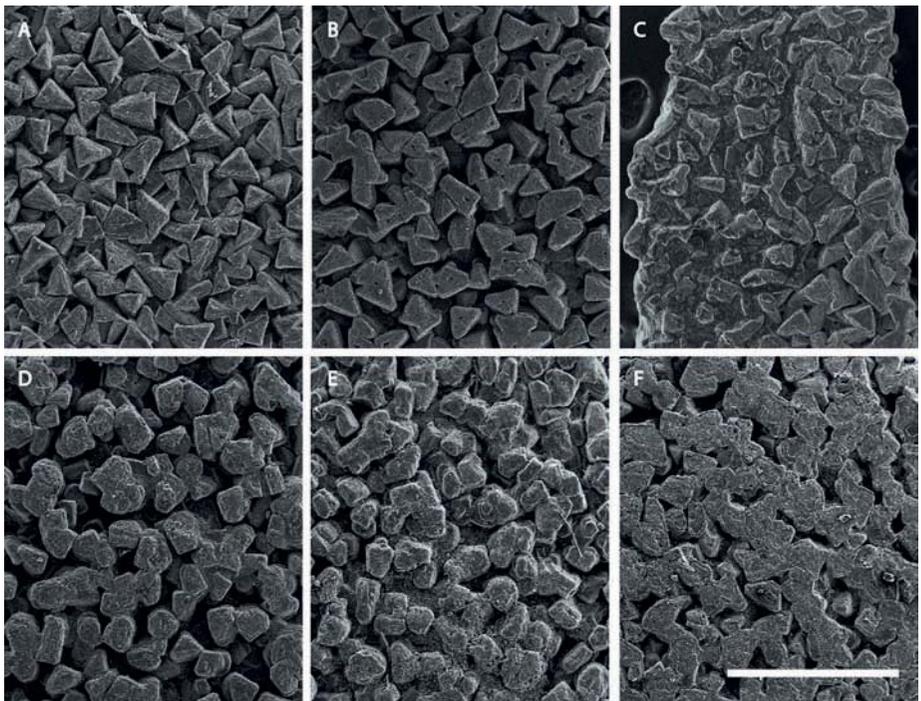


Figura 16. Variaciones en la ornamentación externa de la cáscara de huevo de terópodo *Trigonoolithus amoae* procedentes del Barremiense inferior de la Formación Blesa en Josa (Teruel). Fotografías de MEB que forman parte de la publicación de Moreno-Azanza *et al.* (2014).

INVESTIGANDO VERTEBRADOS DEL PALEÓGENO EN ARAGÓN

Nuestro grupo desde el inicio de su andadura tuvo interés en la investigación de los vertebrados del Paleógeno debido al gran potencial que tenía el intervalo temporal del Paleoceno-Eoceno en los Pirineos. Se puede destacar la descripción de un mamífero condilartro en el Paleoceno Superior de Campo, Huesca (Gheerbrant *et al.*, 1997), del Oligoceno de la Depresión del Ebro con la caracterización del tránsito Oligoceno-Mioceno en la zona de Fraga y Ballobar, Huesca (Cuenca y Canudo, 1990a) y en la cordillera Ibérica, con la descripción de los dientes asignados a los esciúridos más antiguos del registro fósil procedentes del Oligoceno de Montalbán, Teruel (Cuenca y Canudo, 1994b) o la caracterización de los roedores del Oligoceno superior de Hinojosa de Jarque (Teruel) con la descripción de la especie *Eomys alulghensis* (Cuenca y Canudo, 1994). Esta línea de trabajo se quedó estancada al darle prioridad a los estudios del Mesozoico, sin embargo en los últimos años se ha retomado en algunas formaciones del Pirineo de la Depresión del Ebro debido a nuevos descubrimientos de icnitas y huesos fósiles.

Icnitas de Huesca

La presencia de icnitas de aves y mamíferos del Eoceno y del Oligoceno se conoce desde hace tiempo en diferentes localidades de Huesca, de hecho hicimos un estudio en el tránsito Eoceno-Oligoceno de Fondota (Abiego, Figura 17) para poner en valor el yacimiento (Canudo *et al.*, 2007) o la descripción de un rastro de mamífero carnívoro en el Eoceno de Santa Cruz de Serós (Rabal-Garcés y Díaz-Martínez, 2010). Se trata de descubrimientos de gran interés

Figura 17. Aspecto general del yacimiento de icnitas de mamíferos de Fondota (Huesca). Es un yacimiento preparado para la visita en donde se observan numerosos rastros de mamíferos artiodáctilos de tamaño mediano. En el foto se pueden ver las depresiones que formaron las pisadas de estos animales.



científico debido a la escasez de icnitas de mamíferos del Paleógeno a nivel mundial. Además tienen un gran potencial turístico, al estar algunos preparados para su visita y haberse propuesto recientemente un recorrido para poderlos conocer (Rabal-Garcés *et al.*, 2018). Desde hace un par de años, Diego Castanera ha dirigido la toma de datos en el campo de estos yacimientos, incluyendo el uso de escáner y fotogrametría para realizar modelos en 3D de los diferentes morfotipos representados. Los trabajos preliminares han permitido diferenciar icnitas de mamíferos artiodáctilos, perisodáctilos y carnívoros, además de diferentes tipos de aves procedentes de varios yacimientos del Oligoceno Inferior del entorno de Peralta de la Sal (Castanera *et al.*, 2018). Acabamos de comenzar, pero esperamos grandes resultados en los próximos años.

Sirenios del Eoceno Medio

Los sirenios son un grupo de mamíferos exclusivamente acuáticos que viven en la actualidad en medios tropicales de aguas dulces o costeras. Su registro más antiguo proviene del Eoceno, siendo especialmente interesantes los taxones del Eoceno Medio por ser el momento de transición al medio acuático. El descubrimiento por parte del aficionado Jesús Cardiel del Museo de la Mata (Huesca) de varios yacimientos con vertebrados en el Eoceno Medio en el entorno de la localidad oscense de Aínsa hizo que Ainara Badiola comenzara una serie de campañas de excavación que demostraron la riqueza y la singularidad de los sirénidos de esta zona. El interés de los fósiles recuperados ha sido la base de la tesis de Ester Díaz Berenguer, actualmente en fase de finalización. El trabajo liderado por Ester ha permitido recuperar elementos anatómicos de prácticamente todo el esqueleto (incluyendo el cráneo) de la nueva y singular especie de sirenio llamada *Sobrarbesiren cardieli* Díaz-Berenguer *et al.*, (2018). Sus investigaciones van encaminadas a reconstruir la biomecánica de estos sirenios, incluyendo la posibilidad de que sus miembros pudieran ser funcionales en tierra firme. Además estos yacimientos del Eoceno Medio atesoran restos de otros vertebrados, como quelonios (Pérez-García *et al.*, 2013, Figura 18), crocodylomorfos, aves y otros mamíferos. Un ecosistema completo del pasado que vamos a describir en los próximos años.



Figura 18. Aspecto general de la excavación de un caparazón de tortuga del yacimiento de Castejón de Sobrarbe del Eoceno medio. Los fósiles de este yacimiento forma parte de la tesis doctoral de Ester Díaz.

DIVULGACIÓN

Este artículo no puede acabar sin destacar el enorme esfuerzo realizado en la divulgación por parte de los aragosaureros, tanto de la línea del Mesozoico, como por la parte del Pleistoceno. Nuestra web Aragosaurus (www.aragosaurus.com) lleva más de 10 años ofreciendo información del grupo accesible a aficionados y profesionales. Recibe una media de 180.000 visitas anuales y se ha convertido en un referente en la divulgación de la paleontología en español. En sus diferentes partes, se puede leer la actividad del grupo, descargar las publicaciones y cientos de fotografías de las campañas de excavación. La irrupción de las redes sociales hace unos años ha supuesto una manera distinta de divulgar y sobre todo la cercanía entre el investigador y el interesado en sus resultados. Desde el grupo mantenemos una página en Facebook (<https://www.facebook.com/Grupo-Aragosaurus-306263>) y un Twitter ([@Aragosaurus](https://twitter.com/Aragosaurus)). Sus contenidos son distintos, de manera que en el Facebook publicamos noticias y la actualidad del grupo de investigación, en el Twitter se divulga, además de los resultados del grupo, información interesante y novedosa publicada en la red. Además de este esfuerzo de divulgar en la red, también se han impartido más de 200 charlas entre todos los aragosaureros. Los foros han sido diversos, desde congresos especializados, universidad de la experiencia, asociaciones rurales y colegios de primaria y secundaria. La gran trascendencia mediática que tuvo los primeros descubrimientos de los dinosaurios de Arén impulsó una serie de actuaciones de puesta en valor de los yacimientos y del Museo de los últimos dinosaurios de Europa (Canudo, 2012).

ALGUNAS REFLEXIONES FINALES

El grupo Aragosaurus-IUCA es un equipo de investigadores en Paleontología de vertebrados con una base inicial en la Universidad de Zaragoza, pero que tiene miembros por diferentes países (Portugal, Alemania, Francia, Argentina) y en diferentes lugares de España. Desarrolla su investigación en proyectos tan mediáticos como Atapuerca o los dinosaurios ibéricos. El grupo ha realizado un gran esfuerzo en generar información donde antes no se conocía. Hay intervalos temporales y grupos que eran prácticamente desconocidos con anterioridad a nuestra investigación, se puede citar los dinosaurios y crocodylomorfos del Maastrichtense pirenaico, las cáscaras de huevo del Barremiense ibérico, los dinosaurios y mamíferos del Barremiense ibérico o los sirenios del Eoceno. A este proyecto común se siguen uniendo nuevos estudiantes con nuevo entusiasmo y con nuevos vertebrados que estudiar.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a la Asociación Cultural Bajo Jalón, en general y a Samuel Zamora, en particular, la invitación para participar en las Jornadas Aragonesas de Paleontología. Las actuaciones de nuestro grupo han recibido la ayuda de asociaciones como la APA, la SAM-PUZ, y de los vecinos y autoridades de las localidades donde hemos trabajado, Arén, Galve, Ariño, Obón, Josa, Serraduy, Peñarroya de Tastavins, Castellote, Ladruñán y muchas otras que nos dejaremos en el tintero. Esta publicación forma parte de los proyectos CGL2014-53548 y CGL2017-85038-P, subvencionados por el Ministerio español de Economía y Competitividad, el Fondo Europeo para el Desarrollo Regional y el Gobierno de Aragón (“Grupos Consolidados” and “Dirección General de Patrimonio Cultural”). Por supuesto a todos los aragosaureros que durante todos estos años han formado y siguen formando parte de este proyecto común.

REFERENCIAS

- Alonso, A. and Canudo, J.I. 2016. On the spinosaurid theropod of Blesa Formation from the Early Barremian (Early Cretaceous, Spain). *Historical Biology*, 28(6), 823-834.
- Alonso, A., Gasca, J.M., Navarro-Lorbés, P., Rubio, C. and Canudo, J.I. 2018. A new contribution to the knowledge to the large-bodied theropods from the Barremian of the Iberian Peninsula: "Barranco del Hocino" site (Estercuel, Teruel, Spain). *Journal of Iberian Geology*, 44(1), 7-23.
- Amo Sanjuán, O., Canudo, J.I. and Cuenca-Bescós, G. 2000. First record of elongatoolithid eggshells from the Lower Barremian (Lower Cretaceous) of Europe (Cuesta Corrales 2, Galve Basin, Teruel, Spain). *First International symposium on Dinosaur eggs and babies. Extendend abstracts*. Isona i Conca Dellà, 7-14.
- Andrés, J.A., Alcalá, L., Barco, J.L., Canudo, J.I., Cobos, A. y García Pimienta, J.C. 2007. *Un paseo con los dinosaurios por Aragón (Yacimientos de icnitas de dinosaurios)*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 110 pp.
- Anzano, J.M. Lasheras, R.M., Cajal, J., Paulés, D., Sánchez, T. Escudero, M. and Canudo, J.I. 2017. Determination of Lanthanides in fossil samples using laser induced breakdown spectroscopy. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 39(4), 516-523.
- Aurell, M., Bádenas, B., Canudo, J.I. y Ruiz-Omeñaca, J.I. 2004. Evolución tectosedimentaria de la Formación Blesa (Cretácico Inferior) en el entorno del yacimiento de vertebrados de La Cantalera (Josa, Teruel). *Geogaceta*, 35, 11-13.
- Aurell, M., Bádenas, B., Gasca, J.M., Canudo, J.I., Liesa, C., Soria, A.R., Moreno-Azanza, M. and Najes, L. 2016. Stratigraphy and evolution of the Galve sub-basin (Spain) in the middle Tithonian-early Barremian: implications for the setting and age of some dinosaur fossil sites. *Cretaceous Research*, 65, 138-162.
- Aurell, M., Soria, A.R., Bádenas, B., Liesa, C.L., Canudo, J.I., Gasca, J.M., Moreno-Azanza, M., Medrano-Aguado, E. and Meléndez, A. 2018. Barremian synrift depositional sequence evolution in continental to restricted bay environments with high diversity of vertebrates (Blesa Formation, Oliete sub-basin, NE Spain). *Journal of Iberian Geology*, doi.org/10.1007/s41513-018-0057-3
- Badiola, A., Canudo, J.I. and Cuenca-Bescós, G. 2008. New multituberculate mammals of the Hauterivian/Barremian transition of Europe (Iberian Peninsula). *Palaeontology*, 51(6), 1455-1469.
- Badiola, A., Canudo, J.I. and Cuenca-Bescós, G. 2011. A systematic reassessment of Early Cretaceous multituberculates from Galve (Teruel, Spain). *Cretaceous Research*, 32, 45-57.
- Barco, J.L. 2005. Estudio y comparación del esqueleto axial de un saurópodo (Dinosauria, Sauropodomorpha) procedente de la Formación Villar del Arzobispo (Titónico-Berriasiense) de Galve, Teruel. *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, 13, 15-59.
- Barco, J.L. and Canudo, J.I. 2012. On the phylogenetic position of the sauropod *Galvesaurus*, and other reflections. *Actas de las V Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su entorno*, Salas de los Infantes, 17-30.

- Barco, J.L., Canudo, J.I. y Cuenca-Bescós, G. 2006. Descripción de las vértebras cervicales de *Galvesaurus herreoi* Barco, Canudo, Cuenca-Bescós y Ruiz-Omeñaca, 2005 (Dinosauria, Sauropoda) del tránsito Jurásico-Cretácico en Galve (Teruel, Aragón, España). *Revista Española de Paleontología*, 21(2), 189-205.
- Barco, J.L., Canudo, J.I., Cuenca-Bescós, G. y Ruiz-Omeñaca, J.I. 2005. Un nuevo dinosaurio saurópodo *Galvesaurus herreoi* gen. nov., sp. nov. del tránsito Jurásico-Cretácico en Galve (Teruel, NE de España). *Naturaleza Aragonesa*, 15, 4-17.
- Bauluz, B., Gasca, J.M., Moreno-Azanza, M. and Canudo, J.I. 2014a. Unusual replacement of biogenic apatite by aluminium-phosphate phases in dinosaur teeth of Early Cretaceous of Spain. *Lethaia*, 47, 556-566.
- Bauluz, B., Yuste, A., Mayayo, M.J. and Canudo, J.I. 2014b. Early kaolinization of detrital Weald facies in the Galve sub-basin (Central Iberian Chain, north-east Spain) and its relation to palaeoclimate. *Cretaceous Research*, 50, 214-227.
- Blain H.A., Canudo J.I., Cuenca-Bescós G. and López-Martínez N. 2010. Amphibians and squamates from the latest Maastrichtian (Upper Cretaceous) of Blasi 2 (Huesca, Spain). *Cretaceous Research*, 31, 433-446.
- Canudo J.I. 1997. El Kef Blind Test I results. *Marine Micropaleontology*, 29(2), 73-77.
- Canudo, J.I. 2009. Dinosaurios ibéricos, final del Jurásico y la Formación Morrison. *Zubia*, 27, 53-80.
- Canudo, J.I. 2012. Research on fossil vertebrates and its application as cultural tourism in Aragón (Spain). *Virtual Archeology Review*, 3(5), 28-32.
- Canudo, J.I. 2018. The collection of type fossils of the Natural Science Museum of the University of Zaragoza (Spain). *Geoheritage*, 305, Doi: 10.1007/s12371-017-0228-1
- Canudo, J.I., Barco, J.L., Cuenca-Bescós, G. y Rubio, J. 2007. *Había una vez hace 35 millones de años en Abiego: el yacimiento paleoicnológico de Fondota, Huesca*. Ed. Prames y Departamento de Educación y Cultura de la DGA, Zaragoza, 28, 24 pp.
- Canudo J.I., Barco J.L., Pereda-Suberbiola X., Ruiz-Omeñaca J.I., Salgado, L., Torcida Fernández-Baldor F. and Gasulla J.M. 2009. What Iberian dinosaurs reveal about the bridge said to exist between Gondwana and Laurasia in the Early Cretaceous. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 180(1), 5-11.
- Canudo, J.I. y Cuenca, G. 1989. Nota preliminar de un nuevo yacimiento Vallesiense en la fosa de Calatayud-Teruel. *Actas del II Encuentro de estudios bilbilitanos*, 157-160.
- Canudo J.I. and Cuenca G. 1996. Two new mammalian teeth (Multituberculata and Peramura) from Lower Cretaceous (Barremian) of Spain. *Cretaceous Research*, 17, 215-228.
- Canudo, J.I., Gasca, J.M., Aurell, M., Badiola, A., Blain, H.-A., Gómez-Fernández, D., Moreno-Azanza, M., Parrilla, J., Rabal, R. and Ruiz-Omeñaca, J.I. 2010. La Cantalera: an exceptional window onto the vertebrate biodiversity of the Hauterivian-Barremian transition in the Iberian Peninsula. *Journal of Iberian Geology*, 36(2), 205-224.
- Canudo, J.I., Gasca, J.M., Moreno, M. and Aurell, M. 2012. New information about the stratigraphic position and age of the sauropod *Aragosaurus ischiaticus* from the Early Cretaceous of the Iberian Peninsula. *Geological Magazine*, 149(2), 252-263.

- Canudo, J.I., Oms, O., Vila, B., Galobart, A., Fondevilla, V., Puértolas-Pascual, E., Sellés, A.G., Cruzado-Caballero, P., Dinarès-Turrell, J., Vicens, E., Castanera, D., Company, J., Burrel, L., Estrada, R., Marmi, J. and Blanco, A. 2016. The late Maastrichtian dinosaur fossil record from the southern Pyrenees and its contribution to the topic of the Cretaceous–Palaeogene mass extinction event. *Cretaceous Research*, 57, 540-551.
- Canudo, J.I., Ona, J.L., Rey, J. y Turmo, A. 1989. Avance de los resultados de la prospección arqueológica y paleontológica en la concesión minera Mara II. *Actas del II Encuentro de estudios bilbilitanos*, 147-155.
- Canudo J.I., Royo-Torres R. and Cuenca-Bescós G. 2008. A new Titanosauriformes sauro-pod: *Tastavinsaurus sanzi* gen. et sp. nov. from the Early Cretaceous (Aptian) of Spain. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 28(3), 712-731.
- Canudo J.I., Ruiz-Omeñaca J.I., Barco J.L. y Royo-Torres R. 2002. ¿Saurópodos asiáticos en el Barremiense Inferior (Cretácico Inferior) de España? *Ameghiniana*, 39(4), 443-452.
- Canudo J.I., Ruiz-Omeñaca J.I., Aurell M., Barco J.L. and Cuenca-Bescós, G. 2006. A megatheropod tooth from the late Tithonian-lower Berriasian (Jurassic-Cretaceous transition) of Galve (Aragon, NE Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 239(1), 77-99.
- Carballido, J.L., Garrido, A.C., Canudo, J.I. and Salgado, L. 2010. Redescription of *Rayosaurus agrioensis* Bonaparte (Dinosauria, Diplodocoidea), a rebbachisaurid of the early Upper Cretaceous of Neuquén. *Geobios*, 43(5), 493-502.
- Castanera, D., Barco, J.L., Díaz-Martínez, I., Pérez-Lorente, F. and Canudo, J.I. 2011. New evidence of a herd of titanosauriform sauropods from the Lower Berriasian of the Iberian Range (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 310, 227-237.
- Castanera, J., Colmenar, J., Sauqué, V. and Canudo, J.I. 2015. Geometric morphometric analysis applied to theropod tracks from the Lower Cretaceous (Berriasian) of Spain. *Palaeontology*, 58(1), 183-200.
- Castanera, D., Martínez-Díaz, I., Moreno-Azanza, M. Canudo, J.I. and Gasca, J.M. 2016. An overview of the Lower Cretaceous dinosaur tracksites from the Mirambel Formation in the Iberian Range (NE Spain). *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin*, 71, 65-74.
- Castanera, D., Pascual, C., Canudo, J.I., Hernández, N. and Barco, J.L. 2012. Ethological trackway gauge variations in sauropod trackways from the Huérteles Alloformation (Berriasian) of the Cameros basin (Iberian Range, Spain). *Lethaia*, 45, 476-489.
- Castanera, D., Rabal-Garcés, R., Luzón, A., Díaz-Martínez, I. y Canudo, J.I. 2018 Nuevas evidencias de icnitas de aves y mamíferos en el Oligoceno inferior de la Cuenca del Ebro (La Sagarreta, Huesca). *V Jornadas del IUCA*, Zaragoza,
- Castanera, D., Vila, B., Razzolini, N.L., Falkingham, P.L., Canudo, J.I., Manning, P.L. and Galobart, A. 2013. Manus track preservation bias as a key factor for assessing trackmarker identity and quadrupedalisms in basal ornithopods. *PlosOne*, 8(1), e54177.
- Castanera, D., Vila, B., Razzolini, N.L., Santos, V.F., Pascual, C. and Canudo, J.I. 2014. Gregarious behaviour inferred from sauropod footprints in the Iberian Peninsula: taxono-

- mic, palaeoecological and palaeoenvironmental implications. *Journal of Iberian Geology*, 40(1), 49-59.
- Clemens, W.A. and Hartman, J.H. 2014. From *Tyrannosaurus rex* to asteroid impact: early studies (1901-1980) of the Hell Creek Formation in its type area. *The Geological Society of America Special Paper*, 503, 1-87.
- Company, J., Cruzado-Caballero, P. and Canudo, J.I. 2015. Presence of diminutive hadrosaurids (Dinosauria: Ornithopoda) from the Maastrichtian of the south-central Pyrenees (Spain). *Journal of Iberian Geology*, 41(1), 71-81.
- Cruzado-Caballero P., Ruiz-Omeñaca J.I. and Canudo J.I. 2010a. Evidencias de la coexistencia de hadrosaurinos y lambeosaurinos en el Maastrichtiano superior de la Península Ibérica (Arén, Huesca, España). *Ameghiniana*, 47(2), 153-164.
- Cruzado-Caballero, P., Canudo, J.I., Moreno-Azanza, M. and Ruiz-Omeñaca, J.I. 2013. New material and phylogenetic position *Arenysaurus ardevoli*, a lambeosaurine dinosaur from the Latest Maastrichtian of Arén (North Spain). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 33(6), 1367-1384.
- Cruzado-Caballero, P., Fortuny, J., Llacer, S. and Canudo, J.I. 2015. Paleoneuroanatomy of the European lambeosaurine dinosaur *Arenysaurus ardevoli*. *PeerJ*, 3, e802.
- Cruzado-Caballero, P., Pereda Suberbiola, X. and Ruiz-Omeñaca, J.I. 2010b. *Blasisaurus canudo* gen. et sp. nov., a new lambeosaurine dinosaur (Hadrosauridae) from the latest Cretaceous of Arén (Huesca, Spain). *Canadian Journal of Earth Sciences*, 47(12), 1507-1517.
- Cruzado-Caballero, P., Ruiz-Omeñaca, J.I., Gaete, R., Riera, V., Oms, O. and Canudo, J.I. 2014. A new hadrosaurid dentary from the latest Maastrichtian of the Pyrenees (north Spain) and the high diversity of the duck-billed dinosaurs of the Ibero-Armorican realm at the very end of the Cretaceous. *Historical Biology*, 26(5), 619-630.
- Cuenca, G. y Canudo, J.I. 1990. El límite Oligoceno-Mioceno con roedores fósiles en la cuenca del Ebro: Fraga y Ballobar, provincia de Huesca. *Azara*, 3, 35-51.
- Cuenca, G. y Canudo, J.I. 1992. Los Sciuridae (Rodentia, Mammalia) del Oligoceno inferior de Montalbán y Olalla (Teruel, España). Discusión sobre el origen de los esciúridos. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Sección Geológica)*, 87(1-4), 155-169.
- Cuenca G. and Canudo J.I. 1994. Les micromammifères de l'Oligocène supérieur des calcaires de Hinojosa de Jarque (Montalbán-Aliaga, Teruel, Espagne). *Geobios*, 27(3), 353-384.
- Cuenca-Bescós G. and Canudo J.I. 2003. A new gobiconodontid mammal from the Early Cretaceous at Spain and its paleogeographic implications. *Acta Palaeontologica Polonica*, 48(4), 575-582.
- Cuenca, G., Canudo, J.I., Andrés, J.A. y Laplana, C. 1992. Bio y Cronoestratigrafía con mamíferos en la Cuenca terciaria del Ebro. Ensayo de síntesis. *Acta Geológica Hispánica*, 27(1-2), 127-143.

- Cuenca-Bescós, G., Badiola, A., Canudo, J.I., Gasca, J.M. and Moreno-Azanza, M. 2011. New dryolestidan mammal from the Hauterivian-Barremian transition. *Acta Paleontologica Polonica*, 56(2), 257-267.
- Cuenca-Bescós, G., Canudo, J.I., Gasca, J.M., Moreno-Azanza, M. and Cifelli, R. 2014. Spalacotheriid symmetrodonts from the Early Cretaceous of Spain. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34(6), 1427-1436.
- Cuenca-Bescós G., Laplana-Conesa C. and Canudo J.I. 1999. Biochronological implications of the Arvicolidae and Cricetidae (Rodentia, Mammalia) from the Lower Pleistocene Hominid bearing level Trinchera Dolina (TD6, Atapuerca, Spain). *Journal of Human Evolution*, 37, 353-373.
- Cuenca-Bescós G., Laplana-Conesa C., Canudo J.I. and Arsuaga J.L. 1997. Small Mammals from Sima de los Huesos. *Journal of Human Evolution*, 33, 175-190.
- D'Emic, M.D. 2012. The early evolution of titanosauriform sauropod dinosaurs. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 166, 624-671.
- Díaz Molina, M. y Yébenes, A. 1987. La sedimentación litoral y continental durante el Cretácico Inferior. Sinclinal de Galve, Teruel. *Estudios geológicos, volumen extraordinario Galve-Tremp*, 3-21.
- Díaz-Berenguer, E., Badiola, A., Moreno-Azanza, M. and Canudo, J.I. 2018. First adequately-known quadrupedal sirenian from Eurasia (Eocene, Bay of Biscay, Huesca, northeastern Spain). *Scientific Reports*, 8, 5127.
- Díaz-Martínez, I., Castanera, D., Gasca, J.M. and Canudo, J.I. 2015. A reappraisal of the Middle Triassic chirotheriid *Chirotherium ibericus* Navás, 1906 (Iberian Range NE Spain), with comments on the Triassic tetrapod track biochronology of the Iberian Peninsula, *PeerJ*, 3, e1044.
- Díaz-Martínez, I., Pereda-Suberbiola, X., Pérez-Lorente, F. and Canudo, J.I. 2015. Ichnotaxonomic review of large ornithomimid dinosaur tracks: temporal and geographic implications. *PlosOne*, e0115477.
- Filippini, F.S., Otero, A. and Gasparini, Z. 2017. The phylogenetic relevance of the sacrum among macronarian sauropods: insights from a pelvis from the Upper Cretaceous of Patagonia, Argentina. *Alcheringa*, 41(1), 69-78.
- Gasca, J.M. y Canudo, J.I. 2015. Sobre la presencia de Sauropoda (Dinosauria) en la Formación Mirambel (Barremiense inferior, Teruel, España). *Geogaceta*, 57, 59-62.
- Gasca, J.M., Canudo, J.I. and Moreno-Azanza, M. 2014. On the Iberian iguanodont dinosaur diversity: new fossils from the lower Barremian, Teruel province, Spain. *Cretaceous Research*, 50, 264-272.
- Gasca, J.M., Canudo, J.I. and Moreno, M. 2014. A Large-Bodied Theropod (Tetanurae: Carnosauria) from the Mirambel Formation (Barremian) of Spain. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 273 (1), 13-23.

- Gasca, J.M., Díaz-Martínez, I., Moreno-Azanza M., Canudo, J.I. and Alonso, A. 2018. A hypertrophied ungual phalanx from the lower Barremian of Spain: Implications for the diversity and palaeoecology of Spinosauridae (Theropoda) in Iberia. *Cretaceous Research*, 84, 141-152.
- Gasca, J.M., Moreno-Azanza, M. Bádenas, B. Díaz-Martínez, I., Castanera, D., Canudo, J.I. and Aurell, M. 2017. Integrated overview of the vertebrate fossil record of the Ladruián anticline (Spain): evidence of a Barremian alluvial-lacustrine system in NE Iberia frequented by dinosaurs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 472, 192-202.
- Gasca, J.M., Moreno-Azanza, M., Ruiz-Omeñaca, J.I. and Canudo, J.I. 2015. New material and phylogenetic position of the basal iguanodont dinosaur *Delapparentia turolensis* from the Barremian (Early Cretaceous) of Spain. *Journal of Iberian Geology*, 41(1), 57-70.
- Gheerbrant, E., Abrial, C. and Cuenca, G. 1997. Nouveau mammifère condylarthre du Paléocène supérieur de Campo (Pyrénées aragonaises, Espagne). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Paris*, 324, série II a, 599-606.
- Kriwet J., Klug S., Canudo J.I. and Cuenca-Bescós G. 2008. A new lamniform shark *Eoptolamna eccentricolopha* gen. et sp. nov. (Chondrichthyes: Lamniformes) from the Lower Cretaceous of Iberia. *Zoological Journal of Linnean Society*, 154, 278-290.
- López-Martínez N., Canudo J.I., Ardévol L., Pereda-Suberbiola X., Orue-Etxebarria X., Cuenca-Bescós G., Ruiz-Omeñaca J.I., Murelaga X. and Feist M. 2001. New dinosaur localities near the Cretaceous/Tertiary boundary (Arén south central Pyrenees, Spain). *Cretaceous Research*, 22, 41-61.
- Moreno-Azanza, M., Bauluz, B., Canudo, J.I. and Mateus, O. 2017. Electron backscatter diffraction characterization of putative ornithomimid eggshells (*Spheroolithidae*, *Guegoolithus turolensis*) from the Early Cretaceous of Spain. *Journal of Iberian Geology*, 43(2), 235-243.
- Moreno-Azanza, M., Canudo, J.I. and Gasca, J.M. 2014. Unusual theropod eggshells from the Early Cretaceous Blesa Formation of the Iberian Range, Spain. *Acta Paleontologica Polonica*, 59 (4), 843-854.
- Moreno-Azanza, M., Canudo, J.I. and Gasca, J.M. 2014. Spheroolithid eggshells in the Lower Cretaceous of Europe. Implications for eggshell evolution in ornithomimid dinosaurs. *Cretaceous Research*, 51, 75-87.
- Moreno-Azanza, M., Canudo, J.I. and Gasca, J.M. 2014. Unusual theropod eggshells from the Early Cretaceous Blesa Formation of the Iberian Range, Spain. *Acta Paleontologica Polonica*, 59(4), 843-854.
- Moreno-Azanza, M., Canudo, J.I. and Gasca, J.M. 2015. Enigmatic Early Cretaceous ootaxa from Western Europe with signals of extrinsic eggshell degradation. *Cretaceous Research*, 56, 617-627.
- Moreno-Azanza, M., Mariani, E., Bauluz, B. and Canudo, J.I. 2013. Growth mechanisms in dinosaur eggshells: an insight from electron backscatter diffraction. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 33(1), 121-130.
- Murelaga, X. y Canudo, J.I. 2005. Descripción de los restos de quelonios del Maastrichtiense superior de Arén y Serraduy (Huesca). *Geogaceta*, 38, 51-54.

- Navarrete, R., Liesa, C.L., Castanera, D., Soria, A.R., Rodríguez-López, J.P. and Canudo, J.I. 2014. A thick Tethyan multi-bed tsunami deposit preserving a dinosaur megatracksite within a coastal lagoon (Barremian, eastern Spain). *Sedimentary Geology*, 313, 105-127.
- Oms, O. y Canudo, J.I. 2004. Datación magnetoestratigráfica de los dinosaurios del Cretácico terminal (Maastrichtiense superior) de Arén (Huesca, Unidad Surpirenaica Central). *Geo-Temas*, 6(5), 51-54
- Parrilla-Bel, J. and Canudo, J.I. 2015a. Postcranial elements of *Maledictosuchus riclaensis* (Thalattosuchia) from the Middle Jurassic of Spain. *Journal of Iberian Geology*, 41(1), 31-40.
- Parrilla-Bel, J. and Canudo, J.I. 2015b. On the presence of plesiosaurs in the Blesa Formation (Barremian) in Teruel (Spain). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 278(2), 213-227.
- Parrilla-Bel, J., Canudo, J.I., Fortuny, J. y Llacer, S. 2016. Glándulas de la sal en *Maledictosuchus riclaensis* (Metriorhynchidae, Thalattosuchia) del Calloviense de la Península Ibérica. *Geogaceta*, 59, 63-66.
- Parrilla-Bel, J., Young, M.T., Moreno-Azanza, M. and Canudo, J.I. 2013. The first metriorhynchid crocodyliform from the Middle Jurassic of Spain, with implications for evolution of the subclade Rhacheosaurini. *PlosOne*, 8(1), e54275.
- Pereda Suberbiola X., Canudo J.I., Cruzado-Caballero P., Barco J.L., López-Martínez N. and Ruiz-Omeñaca J.I. 2009. The last hadrosaurid dinosaurs of Europe: a new lambeosaurine from the uppermost Cretaceous of Arén (Huesca, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 8, 559-572.
- Pereda-Suberbiola X., Canudo J.I., Company J., Cruzado-Caballero P. and Ruiz-Omeñaca J.I. 2009. Hadrosauroids from the latest Cretaceous of the Iberian Peninsula: new interpretations. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 29(3), 946-951.
- Pérez-García, A., Murelaga, X., Cardiel Lalueza, J., Badiola, A. and Díaz-Berenguer, E. 2013. Presence of several clades of continental turtles in the Lutetian (Middle Eocene) of the Sobrarbe Formation (Ainsa Basin, South-Central Pyrenees, Northeast Spain). *Geologica Belgica*, 16(4), 311-319.
- Pérez-Lorente, F., Cuenca-Bescós, G., Aurell, M., Canudo, J.I., Soria, A.R. and Ruiz-Omeñaca, J.I. 1997. Las Cerradicas tracksite (Berriasian, Galve, Spain): Growing evidence for quadrupedal ornithopods. *Ichnos*, 5, 109-120.
- Pérez-Oñate, J., Cuenca-Bescós, G. y Sanz, J.L. 1994. Un nuevo saurópodo del Jurásico Superior de Galve (Teruel). *Comunicaciones de las X Jornadas de Paleontología*, Madrid, 159-162.
- Puértolas, E., Arenillas, I., Arz, J.A., Calvin, P., Ezquerro, L., García Vicente, C., Sánchez Moreno, E. M., Villalain, J. and Canudo, J.I. 2018. Chronostratigraphy and new vertebrate sites from the upper Maastrichtian of Huesca (Spain), and its relation with the K/Pg boundary. *Cretaceous Research*, doi.org/10.1016/j.cretres.2018.02.016
- Puértolas-Pascual, E., Blanco, A., Brochu, C. and Canudo, J.I. 2016. Review of the Late Cretaceous-Early Paleogene crocodylomorphs of Europe: Extinction patterns across the K-Pg boundary. *Cretaceous Research*, 57, 565-590.

- Puértolas-Pascual, E., Canudo, J.I. and Moreno-Azanza, M. 2014. The eusuchian crocodylomorph *Allodaposuchus subjuniiperus* sp. nov., a new species from the Latest Cretaceous (upper Maastrichtian) of Spain. *Historical Biology*, 26(1), 91-104.
- Puértolas-Pascual, E., Canudo, J.I. and Sender, L.M. 2015a. New material from a huge specimen of *Anteophthalmosuchus* (Goniopholididae) from the Albian of Andorra (Teruel, Spain): Phylogenetic implications. *Journal of Iberian Geology*, 41(1), 41-56.
- Puértolas-Pascual, E., Rabal-Garcés, R. and Canudo, J.I. 2015b. Exceptional crocodylomorph biodiversity of “La Cantalera” site (lower Barremian; Lower Cretaceous) in Teruel, Spain. *Paleontologica Electronica*, 18.2.28a, 1-16.
- Puértolas, E., Canudo, J.I. and Cruzado-Caballero, P. 2011. A New Crocodylian from the Late Maastrichtian of Spain: Implications for the Initial Radiation of Crocodyloids. *PloS One*, 6(6), e20011.
- Rabal-Garcés, R., Castanera, D., Luzón, A., Barco, J.L. and Canudo, J.I. 2018. A paleoichnological itinerary through the Cenozoic of the southern margin of the Pyrenees and the northern Ebro Basin (Aragón, northeast Spain). *Geoheritage*, doi: 10.1007/s12371-017-0246-z
- Rabal-Garcés, R., Cuenca-Bescós, G., Canudo, J.I. and Torres, T. 2012. Was the European cave bear an occasional scavenger? *Lethaia*, 45(1), 96-108.
- Rabal-Garcés, R. y Díaz-Martínez, I. 2010. Primeras icnitas de mamífero carnívoro en el Paleógeno de Aragón (España). *Cidaris*, 30, 259-264.
- Royo-Torres, R. 2009. El saurópodo de Peñarroya de Tastavins. *Monografías turolenses*, 6, 544 pp.
- Royo-Torres, R., Cobos, A., Luque, L., Aberasturi, A., Espílez, E., Fierro, I., González, A., Mampel, L. and Alcalá, L. 2009. High European sauropod dinosaur diversity during Jurassic-Cretaceous transition in Riodeva (Teruel, Spain). *Palaeontology*, 5(2), 1009-1027.
- Ruiz-Omeñaca, J.I. 2011. *Delapparentia turolensis* nov. gen et sp., un nuevo dinosaurio iguanodontoideo (Ornithischia: Ornithopoda) en el Cretácico Inferior de Galve. *Estudios Geológicos*, 67, 83-110.
- Ruiz-Omeñaca, J.I. y Canudo, J.I. 2003. Un nuevo dinosaurio terópodo (“*Prodeinodon*” sp.) en el Cretácico Inferior de La Cantalera (Teruel). *Geogaceta*, 34, 111-114.
- Ruiz-Omeñaca, J.I. y Canudo, J.I. 2005. “*Pleurocoelus*” *valdensis* Lydekker, 1889 (Saurischia, Sauropoda) en el Cretácico Inferior (Barremiense) de la Península Ibérica. *Geogaceta*, 38, 43-46.
- Ruiz-Omeñaca, J.I., Canudo, J.I., Aurell, M., Bádenas, B., Cuenca-Bescós, G. y Ipas, J. 2004. Estado de las investigaciones sobre los vertebrados del Jurásico superior y el Cretácico inferior de Galve (Teruel). *Estudios geológicos*, 60, 179-202.
- Ruiz-Omeñaca, J.I., Canudo, J.I. y Cuenca-Bescós, G. 1998. Primeros restos de reptiles voladores (Pterosauria: Pterodactyloidea) en el Barremiense Superior (Cretácico Inferior) de Vallipón (Castellote, Teruel). *Mas de las Matas*, 17, 225-249.

- Ruiz-Omeñaca, J.I., Canudo, J.I., Cuenca-Bescós, G., Cruzado-Caballero, P., Gasca, J.M. and Moreno-Azanza, M. 2012. A new basal ornithopod dinosaur from the Barremian of Galve, Spain. *Comptes Rendus Palevol*, 11(6), 435-444.
- Sánchez-Hernández, B. 2005. *Galvesaurus herreroi*, a new sauropod dinosaur from Villar del Arzobispo Formation (Tithonian-Berriasian) of Spain. *Zootaxa*, 1034, 1-20.
- Salgado L., Canudo J.I., Garrido A.C., Ruiz-Omeñaca J.I., García R.A., de la Fuente M.S., Barco J.L. and Bollati R. 2009. Upper Cretaceous vertebrates from “El Anfiteatro” (Río Negro, Patagonia, Argentina). *Cretaceous Research*, 30, 767-784.
- Salgado, L., Canudo, J.I., Garrido, A.M., Moreno-Azanza, M., Martínez, L.C.A., Coria, R.M. and Gasca J.M. 2017. A new primitive Neornithischian dinosaur from the Jurassic of Patagonia with gut contents. *Scientific Reports*, 7, 42778.
- Sanz, J.L., Buscalioni, A.D., Casanovas, M.L. y Santafé, J.V. 1987. Dinosaurios del Cretácico Inferior de Galve (Teruel, España). *Estudios geológicos, volumen extraordinario Galve - Tremp*, 45-64.
- Soria de Miguel, A.R. 1997. *La sedimentación en las cuencas marginales del Surco Ibérico durante el Cretácico Inferior y su control estructural*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza, 363pp.
- Torcida Fernández-Baldor, F., Canudo, J.I., Huerta, P., Moreno-Azanza, M. and Montero, D., 2017. *Europatitan eastwoodi*, a new sauropod from the Lower Cretaceous of Iberia in the initial radiation of somphospondylians in Laurasia. *PeerJ*, 5, e3409
- Torices, A., Currie, P., Canudo, J.I. and Pereda Suberbiola, X. 2015. Theropod dinosaurs from the Upper Cretaceous of the South Pyrenees Basin of Spain. *Acta Paleontologica Polonica*, 60(3), 611-626.
- Torres, T., Canudo, J.I., Cobo, R. y Cuenca, G. 1998. Cueva Coro Tracito (Tella-Sin, Huesca) el primer yacimiento de alta montaña español de *Ursus spelaeus* Ros.-Hein. Nota preliminar. *Geogaceta*, 24, 303-306.
- Verdú, Francisco J., Royo-Torres, R., Cobos, A. and Alcalá, L. 2015. Perinates of a new species of *Iguanodon* (Ornithischia: Ornithopoda) from the lower Barremian of Galve (Teruel, Spain). *Cretaceous Research*, 56, 250-264.
- Vila, B. Galobart, A., Canudo, J.I., Le Loeuff, J., Dinarés-Turell, J., Riera, V., Oms, O., Tortosa, T. and Gaete, R. 2012. The diversity of sauropod dinosaurs in the latest Cretaceous of Southwest of Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 350, 19-38.
- Vila, B., Castanera, D., Marmi, J., Canudo, J.I. and Galobart, A. 2015. Crocodile swim tracks from the latest Cretaceous of Europe. *Lethaia*, 48(2), 256-263.
- Vila, B., Oms, O., Fondevilla, V., Gaete, R., Galobart, A., Riera, V. and Canudo, J.I. 2013. The latest succession of dinosaur tracksites in Europe: Hadrosaur ichnology, track production and palaeoenvironments. *PlosOne*, 8(9), e72579.
- Villanueva-Amadoz, U., Santisteban, C. and Santos-Cubedo, A. 2015. Age determination of the Arcillas de Morella Formation (Maestrazgo Basin, Spain). *Historical Biology*, 27, 389-397.



NUEVOS DESCUBRIMIENTOS PALEONTOLÓGICOS EN CUEVAS ARAGONESAS

Raquel Rabal-Garcés^{1,3} y Víctor Sauqué^{2,3}

¹ Geopirene S.C. Sancho Ramírez 3. 22700 Jaca, Huesca, España

raquelrabal@hotmail.com

² Laboratorio de Zooarqueología y Tafonomía de Zonas Áridas (LaZTA) IDACOR CONICET-UNC. Av. H. Yrigoyen 174. (5000) Córdoba, Argentina

vsauque@gmail.com

³ Aragosaurus-IUCA, Área de Paleontología, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna 12. 50009 Zaragoza, España

Resumen: En este trabajo se presentan los descubrimientos llevados a cabo en las cavidades kársticas de Aragón por el Grupo Aragosaurus de la Universidad de Zaragoza en los últimos 10 años. Durante este tiempo, principalmente durante el desarrollo de las tesis doctorales de los autores, se han estudiado un gran número de yacimientos del Cuaternario, la mayor parte de los mismos descubiertos durante este lapso temporal gracias a la colaboración del Centro de Espeleología de Aragón. Estos yacimientos se enmarcan en dos áreas geográficas concretas: el Moncayo y el Pirineo oscense. La primera incluye los yacimientos de Los Rincones, definido como un cubil de leopardos, y Los Aprendices, donde se ha hallado la hiena de las cavernas más completa de la Península Ibérica. En la segunda se han recuperado principalmente restos de varias especies de oso y de cabra montés pirenaica, destacándose el yacimiento de Coro Tracito, un refugio de hibernación con miles de restos de osos de las cavernas, así como Los Batanes, una trampa natural con más de mil restos de cabra montés pirenaica y La Brecha del Rincón, el yacimiento hallado a mayor altitud de la Península Ibérica.

Palabras clave: Cuaternario, Paleontología, Moncayo, Pirineos, Tafonomía.

Abstract: *This paper presents the new discoveries carried out in the karstic cavities by the Aragosaurus Group of the University of Zaragoza in the last 10 years. During this time, mainly during the development of the authors' doctoral theses, a large number of Quaternary deposits have been studied, most of them discovered during this period thanks to the collaboration of the Speleology Center of Aragon. These sites are framed into two specific geographical areas: the Moncayo range (Zaragoza) and the Pyrenees of Huesca. The former includes the sites of Los Rincones, defined as a den of leopards, and Los Aprendices, where the most complete cave hyena of the Iberian Peninsula has been found. In the latter, remains of several species of bear and Pyrenean wild goat have been recovered. Among these sites, Coro Tracito stands out as a hibernation refuge with thousands of remains of cave bears, Los Batanes as a natural trap with more of a thousand remains of Pyrenean mountain goat and La Brecha del Rincón is the highest site of the Iberian Peninsula.*

Key words: *Quaternary, Palaeontology, Moncayo, Pyrenees, Taphonomy.*

INTRODUCCIÓN

Una de las características de los yacimientos del Cuaternario en Europa es que estos suelen presentarse en el interior de cavidades. A su vez la presencia de cavidades está estrechamente relacionada con los procesos kársticos. El karst se desarrolla en terrenos donde el modelado y la hidrología están condicionados por la disolución de las rocas carbonatadas (calizas y dolomías) y/o evaporíticas (sales y yesos) (Gutiérrez, 2009), la cual genera cavidades. Las cuevas actúan como recipientes que se van rellenando con materiales procedentes del exterior hasta que eventualmente quedan completamente colmatadas de sedimentos. En el sedimento que rellena las cavidades (arcillas, arena y cantos rodados) se pueden hallar los restos óseos de los animales que habitaron en las zonas aledañas a dichas cavidades, además también pueden aparecer excrementos (coprolitos) y egagrópilas de los animales que las habitaron, así como utensilios de piedra o hueso usados por los hombres que las usaron como refugio (Cuenca-Bescós, 2009, Rabal-Garcés *et al.*, 2014). Por tanto podemos hablar de las cavidades como verdaderos sumideros en los cuales se acumula el material circundante, generándose un valioso documento que nos permitirá reconstruir los paisajes del pasado: su fauna, flora, clima y las diferentes culturas de los humanos que vivieron en el pasado (Cuenca-Bescós, 2009, Rabal-Garcés *et al.*, 2014).

Las acumulaciones óseas que generan yacimientos paleontológicos son el principal objetivo de este trabajo. Estas acumulaciones se generan bien por factores geológicos o biológicos. En cuanto a los primeros estos son: el transporte gravitacional y el transporte en un flujo acuoso. En cuanto a los factores biológicos son varios los animales que han creado acumulaciones de huesos en el interior de las cavidades. Por un lado los animales con hábitos cavernícolas, los cuales al morir en el interior de las cavidades producen importantes acumulaciones óseas; el caso más conocido es el del oso cavernario (*Ursus spelaeus*). En otras ocasiones simplemente los animales se caen al interior de pozos que actúan como trampas naturales (Sauqué *et al.*, 2015; Sauqué *et al.*, 2017b). Por otro lado los carnívoros pueden transportar a las cavidades los restos de las presas que capturan o encuentran muertas. En cuanto a los grandes carnívoros, el principal generador de acumulaciones óseas es la hiena de las cavernas (Sauqué *et al.*, 2017a), si bien es cierto que en los últimos años se ha puesto de manifiesto el poder como agente acumulador de otros depredadores como es el caso del leopardo (Sauqué *et al.*, 2014b; Sauqué y Sanchis, 2017; Sauqué *et al.*, 2017c). En cuanto a las acumulaciones de microfauna en las cavidades, es importante resaltar el gran papel que juegan las aves en el mismo, las cuales mediante las egagrópilas introducen dentro de las cavidades cientos de restos de roedores e insectívoros (Rabal-Garcés *et al.*, 2014). Por último dentro del Cuaternario el principal agente biológico en cuanto a la creación de yacimientos fueron nuestros ancestros, los cuales utilizaron las cuevas como refugios y en ellas procesaban las presas que cazaban generando grandes acumulaciones de huesos e industria lítica (Rabal-Garcés *et al.*, 2014).

ANTECEDENTES

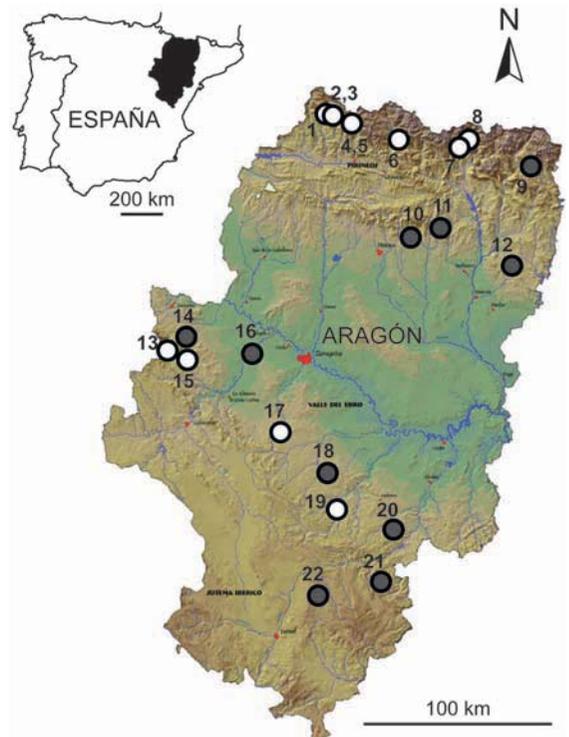
Históricamente el estudio de los restos faunísticos del Pleistoceno Superior ha estado ligado a las excavaciones arqueológicas, además en estos primeros momentos los estudios faunísticos tenían un rol secundario (Pérez-Ripoll, 2013; Sauqué, 2015). El estudio de estos restos por parte de los arqueólogos se debe a la gran cantidad de yacimientos en los cuales la fauna presenta modificaciones antrópicas. En Aragón los primeros estudios de fauna pleistocena comenzaron a finales de los años 60 bajo la dirección de Ignacio Barandiarán. En 1975 se publicó la memoria sobre las excavaciones del Covacho de Eudoviges (Utrilla, 2000). Posteriormente en los años 80 se produjo un gran auge de las excavaciones arqueológicas en Aragón donde se excavaron

los yacimientos de Gabasa, Fuente del Trucho, La Cueva de los Toros y Chaves, entre otros (Utrilla, 2000), y se llevó a cabo el estudio paleontológico de la Cueva de las Graderas (Liñán, 1988). En la década de los noventa se realizaron importantes trabajos arqueozoológicos en los yacimientos de Monteagudo del Castillo (Eisenmann *et al.*, 1990), Gabasa (Blasco-Sancho, 1995; Blasco-Sancho y Montes, 1997) y cueva de Chaves (Castaños, 1993). Por otro lado en estos años se realizó la excavación de la Cueva de los Osos de Tella (Torres *et al.*, 1998) y además se cita la presencia de osos de las cavernas en el Moncayo (Blasco-Sancho, 1996). En la primera década del siglo XXI fueron escasos los trabajos sobre la fauna pleistocena aragonesa y estos trabajos no se intensificaron hasta que en tiempos recientes el grupo Aragosaurus del Área de Paleontología de la Universidad de Zaragoza comenzara a investigar en las cuevas aragonesas. En concreto se realizó el estudio paleontológico de la Cueva de los Osos de Tella (Torres *et al.*, 2004; Rabal-Garcés y Cuenca-Bescós, 2009; Rabal-Garcés *et al.*, 2012; Rabal Garcés, 2013), la cueva de Aguilón P-7 (Cuenca-Bescós *et al.*, 2010; Sauqué *et al.*, 2014a; Galán *et al.*, 2016; Núñez-Lahuerta *et al.*, 2016) y la Cueva de los Huesos de Obón (Ramón del Río, 2010). A partir del 2010 el grupo comenzó sus labores de prospección en el área del Moncayo, la cual formaba parte de la tesis doctoral de Víctor Sauqué (Sauqué, 2015). Una vez finalizado el proyecto del Moncayo, en los últimos tres años se han realizado labores de prospección de las cavidades del Pirineo oscense dentro del proyecto de investigación del Instituto de Estudios Altoaragoneses, en colaboración con Ricardo García-González del Instituto Pirenaico de Ecología (IPE-CSIC) (Sauqué *et al.*, 2015).

RESULTADOS

En la Figura 1 y Tabla 1 se muestran los yacimientos descubiertos y estudiados a lo largo de los últimos 10 años por los autores, tanto en sus respectivas tesis doctorales como en los trabajos posteriores que siguen llevando a cabo en la actualidad, así como la situación previa respecto al conocimiento de yacimientos cuaternarios en Aragón.

Figura 1. Mapa con yacimientos del cuaternario en cuevas aragonesas. Círculos grises: yacimientos conocidos antes del comienzo de las tesis doctorales de los autores (<2007) (9 Coro Tracito, 10 Fuentes de San Cristóbal, 11 Chaves, 12 Fuente del Trucho, 13 Gabasa, 15 Cueva Lambor, 17 Cueva del Gato, 18 Aguilón P-7, 19 Covacho de Eudoviges, 20 Cueva de los Huesos de Obón, 21 Arenal de Fonseca, 22 Cueva de los Toros, 23 Las Callejuelas). Círculos blancos: yacimientos descubiertos en los últimos 10 años (1 Barranco Jardín J-1, 2 Barranco Jardín J-5, 3 Cueva B-8, 4 La Brecha del Rincón, 5 Cueva de los Osos de Lecherines, 6 Cueva de los Bucardos, 7 Los Batañes, 8 Forato de la Sierra, 14 Los Rincones, 16 Los Aprendices).



| Nombre del yacimiento (nº Figura 1) | Situación geográfica / Término municipal | Altitud (msnm) | Edad | Referencias |
|-------------------------------------|--|----------------|--|--|
| Barranco Jardín J-1 (1) | Sierra de Secús / Valle de Hecho | 1480 | ¿? | Sauqué <i>et al.</i> , 2015 |
| Barranco Jardín J-5 (2) | Sierra de Secús / Valle de Hecho | 1514 | Holoceno (J-5) | Sauqué <i>et al.</i> , 2015 |
| B-8 (Secús) (3) | Sierra de Secús / Valle de Hecho | 2130 | Holoceno | Sauqué <i>et al.</i> , 2015; García-Vázquez <i>et al.</i> , 2016 |
| La Brecha del Rincón (4) | Sierra de Secús / Valle de Hecho | 2160 | Pleistoceno Medio; Pleistoceno Superior | Rabal-Garcés y Sauqué, 2015; Sauqué <i>et al.</i> , 2015 |
| Cueva de los Osos de Lecherines (5) | Los Lecherines, Sierra de Aisa / Borau | 2243 | ¿? | Sauqué <i>et al.</i> , 2015 |
| La Cueva de los Bucardos (6) | Los Lecherines, Sierra de Aisa / Borau | 1851 | Pleistoceno Superior-Holoceno (3-4 ka BP; 44-45 ka BP) | Sauqué <i>et al.</i> , 2015 |
| Los Batanes (7) | Sierra de Tendeñera / Biescas (Huesca) | 1025 | Pleistoceno Superior final (15 ka cal) | Sauqué <i>et al.</i> , 2017b |
| Forato de la Sierra (8) | Serrato Gallisúe, Valle de Añisclo / Fanlo | 1220 | ¿? | Sauqué <i>et al.</i> , 2015 |
| Coro Tracito (9) | Sierra de las Sucas / Tella-Sin (Huesca) | 1580 | Pleistoceno Superior (41-47 ka cal; >47 ka cal) | Rabal-Garcés <i>et al.</i> , 2012; Rabal-Garcés, 2013; Rabal-Garcés <i>et al.</i> , 2014 |
| Los Rincones (14) | Sierra del Moncayo / Purujosa (Zaragoza) | 1010 | Pleistoceno Superior | Sauqué y Cuenca-Bescós, 2013; Sauqué <i>et al.</i> , 2014b; Sauqué, 2015 |
| Los Aprendices (16) | Sierra del Moncayo / Calcena (Zaragoza) | 910 | Pleistoceno Medio final – Pleistoceno Superior inicial | Sauqué <i>et al.</i> , 2015; Sauqué <i>et al.</i> , 2017a |

Tabla 1. Yacimientos descubiertos y/o estudiados en los últimos 10 años en cuevas aragonesas.

El área del Moncayo

En esta zona se han estudiado los restos fósiles provenientes de dos cavidades, Los Rincones y Los Aprendices. Ambas cavidades han sido conocidas por los habitantes del lugar desde hace siglos, utilizándose como refugio para el rebaño, aunque los primeros trabajos exploratorios que se realizaron en ellas fueron llevados a cabo por espeleólogos (Sauqué, 2015). A continuación se resume de manera breve la historia de los descubrimientos en estas dos cuevas y los estudios llevados a cabo sobre la fauna recuperada.

Los Rincones

La cavidad de Los Rincones está situada en la Sierra del Moncayo, en la zona central de la cordillera Ibérica. La cueva se abre a 1010 m.s.n.m. en la cabecera del barranco de los Rincones situado en el término municipal de Purujosa (Zaragoza) (Sauqué y Cuenca-Bescós, 2013; Sauqué *et al.*, 2014b; Sauqué, 2015).

En cuanto a la historia del descubrimiento y el estudio de la cueva, Los Rincones fue estudiada en los años setenta y fue descrita por primera vez en el año 1970 por el Grupo de Espeleología de Badalona (Barcelona). Desde un punto de vista paleontológico, la primera visita de prospección se realizó en 2005 cuando los miembros del Centro de Espeleología de Aragón (CEA) realizaron una desobstrucción de una pequeña galería, en la cual se encontraron huesos en superficie en la posición original en el momento antes de que esta se cegara (Sauqué, 2015). Entre estos huesos se encontraba un cráneo de oso prácticamente completo. Dicho hallazgo se le comunicó a la Dra. Gloria Cuenca de la Universidad de Zaragoza, la cual al año siguiente organizó una salida a la cavidad. Tras observar el gran potencial del yacimiento se realizaron dos campañas de campo en 2009 y 2010 para recoger los huesos, realizar la estratigrafía y estudiar la tafonomía del yacimiento. Para ello se solicitó la pertinente autorización al área de Patrimonio Cultural de la Diputación General de Aragón con los siguientes números de expediente: N° Exp. 132/2010 “Prospección de macrovertebrados del Pleistoceno del Moncayo (Zaragoza)”, N° Exp. 443/08/2009 “Labores de prospección paleontológica de las cavidades kársticas de la zona del Moncayo situadas dentro de los términos municipales de Purujosa, Trasobares y Calcena”.

La cueva está formada por un complejo sistema de galerías las cuales se abren a diferentes alturas. Los restos fósiles presentes en dicho yacimiento se han recuperado principalmente en dos galerías; Galería Ursus y Galería Leopardo. Ambas galerías quedaron selladas durante el Pleistoceno por un cono de detritos. El análisis tafonómico del yacimiento puso de manifiesto que

| Taxón | NMI por edades | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|------|-----|-----|----------|---------|---------|--------|-------|
| | NR | NISP | NME | NMI | neonatos | juvenil | sub ad. | adulto | senil |
| <i>Ursus arctos</i> | 173 | 173 | 141 | 8 | 1 | 1 | 3 | 3 | |
| <i>Canis lupus</i> | 4 | 4 | 4 | 1 | | | | 1 | |
| <i>Panthera pardus</i> | 110 | 110 | 97 | 4 | | | | 4 | |
| <i>Lynx sp</i> | 2 | 2 | 2 | 1 | | | | | |
| <i>Capra pyrenaica</i> | 528 | 528 | 437 | 20 | 1 | 3 | 7 | 5 | 4 |
| <i>Equus hydruntinus</i> | 6 | 6 | 5 | 1 | | | | 1 | |
| <i>Equus ferus</i> | 9 | 9 | 9 | 2 | | | | 2 | |
| <i>Cervus elaphus</i> | 13 | 13 | 13 | 2 | | | | 3 | |
| <i>Rupicapra pyrenaica</i> | 29 | 29 | 29 | 3 | | | | 3 | |
| <i>Capreolus capreolus</i> | 26 | 26 | 23 | 2 | | | | 2 | |
| <i>Bos primigenius</i> | 4 | 4 | 4 | 1 | | | | 1 | |
| <i>Testudo hermanni</i> | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| Talla media | 5 | | 4 | | | | | | |
| Talla pequeña | 298 | | 121 | | | | | | |
| Talla muy pequeña | 16 | | 15 | | | | | | |
| Inedintificado (> 4cm) | 219 | | | | | | | | |
| Total | 1443 | 905 | 905 | 46 | 2 | 4 | 10 | 25 | 4 |

Tabla 2. Restos fósiles de diferentes especies de mamíferos recuperados en Los Rincones (NR número de restos; NISP especímenes identificado por taxón; NME número mínimo de elementos; NMI número mínimo de individuos).

la acumulación ósea había sido generada por carnívoros, aunque de manera muy esporádica se observaron modificaciones de tipo antrópico (Sauqué *et al.* 2014b; Sauqué 2015).

En Los Rincones se ha recuperado una asociación faunística con una alta diversidad de taxones (Tabla 2), de los cuales la mayoría pertenecen a herbívoros de talla media y pequeña como es la cabra montés (*Capra pyrenaica*), el sarrio (*Rupicapra pyrenaica*), el corzo (*Capreolus capreolus*), y el ciervo (*Cervus elaphus*). Además se han recuperado algunos restos de herbívoros de gran tamaño como el caballo (*Equus ferus*), el zebro (*Equus hydruntinus*) y el uro (*Bos primigenius*). En cuanto a los carnívoros estos tienen una alta representación en el yacimiento, el mejor representado es el oso pardo (*Ursus arctos*) seguido por el leopardo (*Panthera pardus*) (Figura 2). Además, de manera muy puntual se ha recuperado algún resto de lobo (*Canis lupus*) y lince (*Lynx* sp.) (Sauqué *et al.*, 2014b; Sauqué *et al.*, 2016a, b).

En cuanto a la edad de los restos faunísticos la asociación anteriormente comentada sugiere una edad de Pleistoceno Superior. En un principio se mandaron a datar las muestras óseas mediante la técnica del carbono 14 pero los restos no conservaban colágeno por lo que no se pudo obtener una edad absoluta. Aparte de los grandes restos de mamíferos comentados anteriormente se han recuperado numerosos restos de mamíferos de pequeño tamaño, entre los que encontramos roedores (*Microtus* spp.), el topillo de Cabrera (*Iberomys cabreræ*) y el topillo (*Pliomys lenki*), la presencia de estos micromamíferos es coherente con la edad de Pleistoceno Superior que nos indicaban los grandes mamíferos (Sauqué y Cuenca-Bescós, 2013; Sauqué, 2015). Además en este yacimiento se ha recuperado una pieza de industria lítica musteriense, esta industria es característica de los neandertales, los cuales habitaron la Península Ibérica durante el Pleistoceno Superior.

El material fósil se recuperó en la superficie de las galerías Ursus y Leopardo, este material prácticamente se encontró en la posición en la cual se había depositado originariamente. El acceso a dichas galerías se realiza por una entrada muy distinta a la original, la cual fue tapada por un cono de sedimentos. Antes de que estas galerías quedaran selladas pudieron ser utilizadas como refugio por animales. La cueva tiene una compleja historia con diferentes periodos de ocupación. Por un lado los osos pardos ocuparon la cueva como refugio para la hibernación. Esto se pone de manifiesto en la presencia de individuos incluyendo neonatos (Figura 2). La cueva Los Rincones es uno de los yacimientos con mayor número de restos de osos pardos fósiles en la Península Ibérica (Sauqué *et al.* 2016b). Por otro lado la cueva fue ocupada por los leopardos, los cuales la utilizaron como refugio donde transportaban sus presas, principalmente las cabras monteses (Sauqué *et al.*, 2014b; Sauqué 2015; Sauqué *et al.*, 2016a, b). En los restos de las cabras se pueden observar marcas de dientes producidas por leopardos (Figura 3). El leopardo es un cazador solitario y por tanto cuando realiza una captura debe protegerla de otros carnívoros sociales como son las hienas de las cavernas o los lobos, para ello utiliza dos estrategias, o bien las encarama en lo alto de los árboles o, como es el caso de Los Rincones, las transporta al interior de cavidades (ver referencias en Sauqué *et al.*, 2014b; Sauqué y Sanchis, 2017). Esta característica de Los Rincones como refugio o cubil de leopardos es muy interesante ya que hasta ese momento no se conocía ningún caso más de este comportamiento en Europa. A raíz de la publicación del trabajo sobre el estudio tafonómico en 2014 y la posible acumulación por leopardos, han surgido nuevas interpretaciones y trabajos en otros yacimientos que han puesto de manifiesto al menos otros dos cubiles más de leopardos en la Península Ibérica como es el yacimiento de Racó del Duc en Valencia (Sauqué y Sanchis, 2017) y la cova de S'Espasa en Girona (Sauqué *et al.*, 2017c). Por tanto el yacimiento de Los Rincones tiene un valor enorme ya que puso de manifiesto este comportamiento de los leopardos que había sido ignorado por los científicos durante años (Sauqué *et al.*, 2014b).

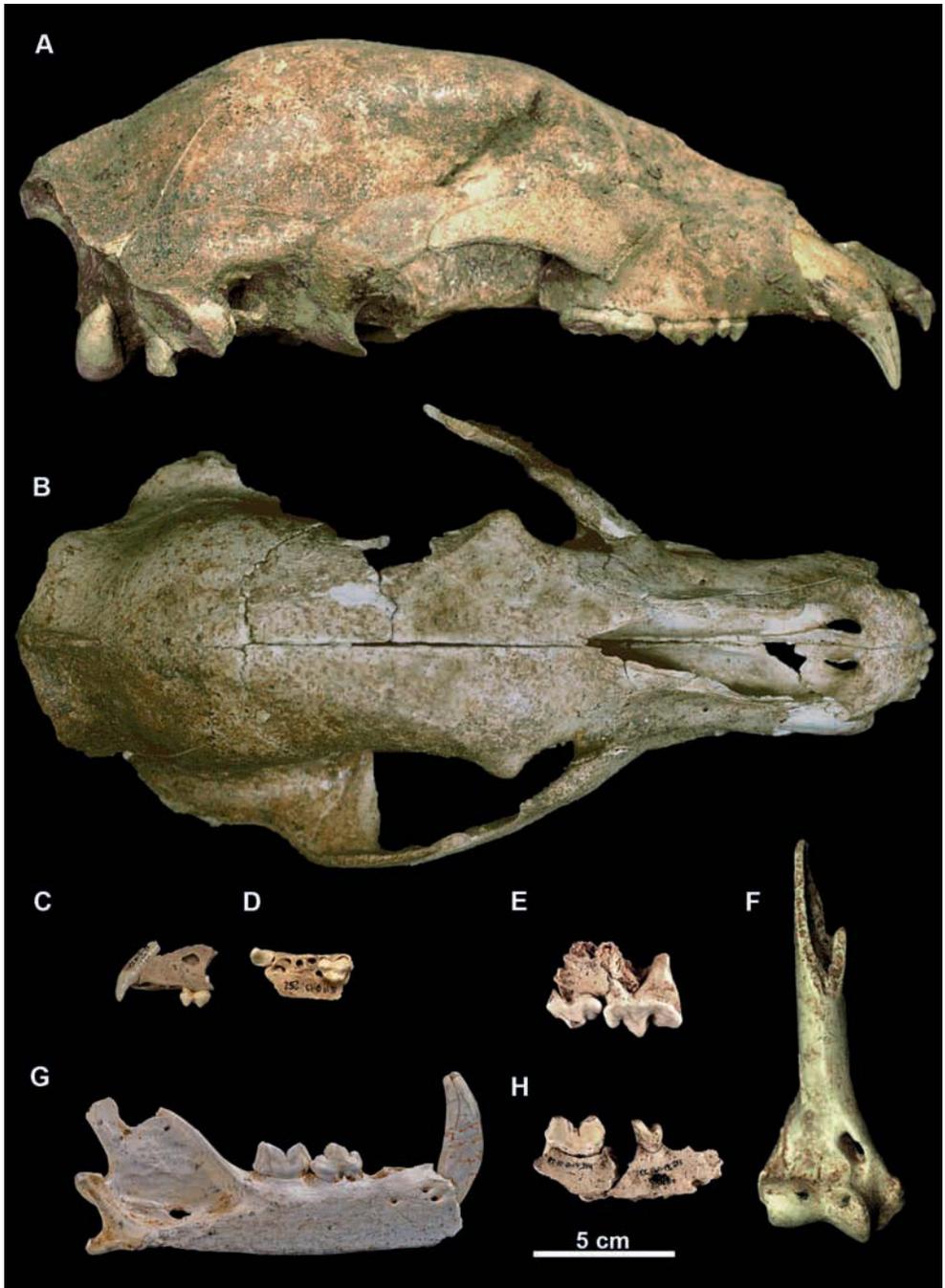


Figura 2. Restos óseos de carnívoros de Los Rincones. Restos de *Ursus arctos*: A, B. Cráneo en vista lateral y dorsal. C, D. Maxilar de neonato en vista lateral y ventral. Restos de *Panthera pardus*: E. Fragmento de maxilar izquierdo con P3 y P4 en vista distal. F. Húmero derecho en vista craneal. G. Mandíbula derecha con m1, p4 y c1 en vista lateral. H. Fragmento de mandíbula derecha con m1 y p4 en vista lateral. Tomada de Sauqué *et al.*, 2014b y Sauqué *et al.*, 2016b.

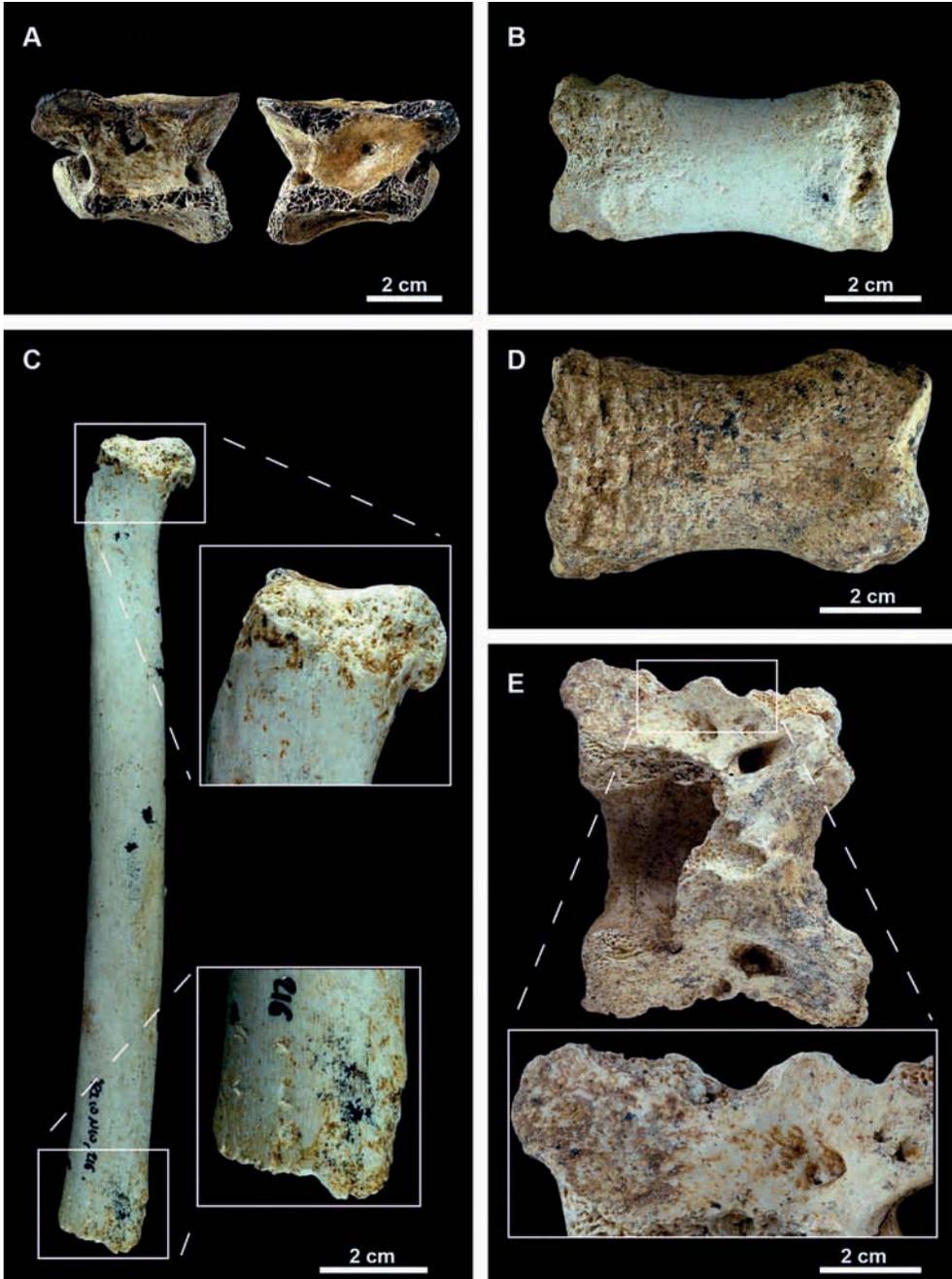


Figura 3. Restos óseos de mamíferos herbívoros modificados por la acción de carnívoros. A. Vértebra de *Capra pyrenaica* con perforaciones en ambos lados del cuerpo vertebral. B. Falange de *Equus ferus* mordisqueada. C. Radio de *Panthera pardus* con perforaciones y surcos en ambas epífisis. D. Falange de *Equus ferus* con surcos y perforaciones. E. Atlas de *Capra pyrenaica* con los bordes crenulados. Tomada de Sauqué *et al.*, 2014b.

Los Aprendices

La cueva de Los Aprendices está situada en la Sierra del Moncayo y se abre a 910 m.s.n.m. en los farallones occidentales de las Peñas del Cabo, a unos pocos kilómetros al sur del municipio de Calcena (Zaragoza). La cueva está formada por una gran galería inclinada con una gran sala, a la derecha de esta encontramos un laminador (paso estrecho de unos 50 cm de altura), el cual posteriormente se abre a una galería situada a una cota inferior a la sala principal, al final de esta sala hay un gran cono de sedimentos que probablemente está cegando la entrada original por la que accedían los animales a la cavidad. En dicho depósito sedimentario es donde se han recuperado los restos fósiles (Sauqué *et al.*, 2015; Sauqué *et al.*, 2017a).

La primera noticia que se tiene de la cavidad de Los Aprendices fue la cita que realizó el Grupo de Espeleología Martel (Zaragoza) en 1970. Posteriormente, este grupo realizó una topografía en el año 1972. En el 2006 el CEA descubrió una nueva galería en la cavidad para lo cual tuvieron que desobstruir un ramal de la misma. En el año 2009 durante las labores de prospección del Moncayo realizadas por el grupo Aragosaurus de la Universidad de Zaragoza y miembros del CEA (Nº Exp. 443/08/2009 “Labores de prospección paleontológica de las cavidades kársticas de la zona del Moncayo situadas dentro de los términos municipales de Purujosa, Trasobares y Calcena”) se visitó la cavidad de Los Aprendices; en dicha visita se hizo especial hincapié en el ramal recientemente descubierto, en el cual al final del mismo se encontró un cono de sedimentos que cegaba la antigua entrada. En dicho cono se observaron unos metápodos en semiconexión anatómica los cuales pertenecían a un gran carnívoro. Tras ser recogidos y analizados estos huesos en el laboratorio, se llegó a la conclusión de que pertenecían a una hiena de las cavernas y por lo tanto se puso en marcha una excavación con el objetivo de recuperar todos los restos de este animal. Durante el verano del mismo año se realizaron diferentes actuaciones en la cavidad en la que se colocó una cuadrícula de excavación con cuadros de 1 m². Así mismo se realizó una estratigrafía del corte, y se recogió sedimento para recuperar la microfauna (Sauqué, 2015; Sauqué *et al.*, 2017a).

En el yacimiento de Los Aprendices se han recuperado restos fósiles de hiena de las cavernas (*Crocuta spelaea*), cabra montés (*C. pyrenaica*) (Tabla 3), así como restos de pequeños mamíferos *Lagomorpha* indet, *Arvicolidae* indet y *Galemys pyrenaicus*. El resto más reseñable de este yacimiento es el esqueleto en semiconexión de la hiena de las cavernas, el cual está muy completo y del que se han recuperado 105 elementos anatómicos que se encontraban fragmentados en 192 restos (Figura 4). La hiena de Los Aprendices probablemente falleció en el cono sedimentario por el cual se accedía a la cavidad, además tras su muerte el esqueleto fue consumido por algún carroñero ya que hay varios huesos que presentan marcas de mordiscos.

| Taxón | NR | NSIP | NME | NMI | NMI por edades | |
|------------------------|-----|------|-----|-----|----------------|---------|
| | | | | | neonatos | adultos |
| <i>Capra pyrenaica</i> | 15 | 15 | 13 | 2 | 1 | 1 |
| <i>Crocuta spelaea</i> | 192 | 192 | 105 | 1 | | 1 |
| Identificable (>4cm) | 8 | | | | | |
| Total | 215 | 207 | 118 | 3 | 1 | 2 |

Tabla 3. Restos fósiles recuperados en Los Aprendices (NR número de restos; NISP especímenes identificado por taxón; NME número mínimo de elementos; NMI número mínimo de individuos).

La forma de estos mordiscos, el tamaño, así como la posición de los mismos nos lleva a pensar que este esqueleto fue consumido por un carnívoro de talla media, probablemente un lobo o un leopardo. Las características de este esqueleto de hiena, cuya muerte se produjo en las inmediaciones o en el cono sedimentario que daba acceso a la cavidad, lo convierten en uno de los esqueletos más completos del registro fósil de hienas de las cavernas de Europa y sin duda el más completo hasta el momento hallado en la Península Ibérica

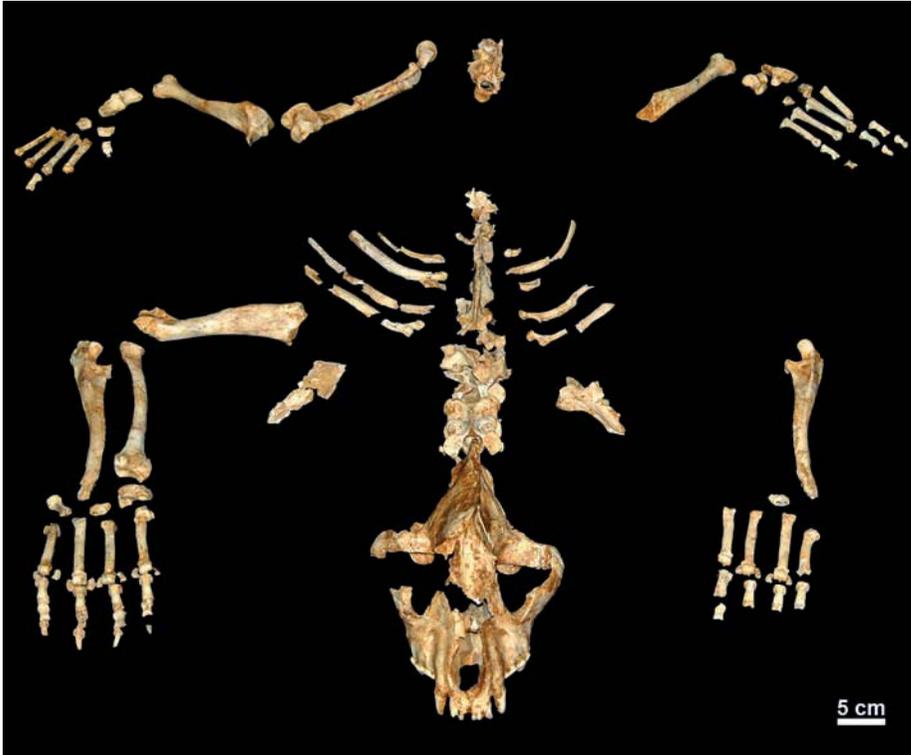


Figura 4. Foto panorámica del esqueleto de *Crocuta spelaea* recuperado en Los Aprendices. Tomada de Sauqué *et al.*, 2017a.

Para obtener una edad de los restos fósiles estos se enviaron a datar mediante la técnica de C14, pero desafortunadamente los huesos no contenían colágeno y no se pudo obtener una edad con esta técnica. Una vez recibida esta noticia se trató de utilizar otras técnicas, así que se enviaron muestras para su datación mediante racemización de aminoácidos. Con dicha técnica obtuvimos una edad de 143.800 ± 38.900 años antes del presente, esta edad situaría los restos fósiles de Los Aprendices en el Pleistoceno Medio final o el Pleistoceno Superior inicial. Lo cual indicaría que el esqueleto de Los Aprendices es uno de los registros más antiguos de la hiena de las cavernas en la Península Ibérica (Sauqué, 2015; Sauqué *et al.*, 2017a).

El área pirenaica

La región pirenaica muestra una clara asimetría en cuanto a la cantidad de yacimientos del Cuaternario conocidos. En la vertiente francesa existe un elevado número de yacimientos prospectados y estudiados desde comienzos del siglo XX (ver referencias en Sauqué *et al.*, 2015). Sin embargo, hasta el año 2013, en el Pirineo español únicamente se tenía constancia de unos pocos yacimientos: Coro Tracito, como yacimiento puramente paleontológico, y Gabasa, Chaves, Fuente del Trucho y Fuentes de San Cristóbal como yacimientos arqueológicos con restos faunísticos asociados. De estos, el yacimiento estudiado en profundidad por el grupo Aragosaurus es Coro Tracito, en Tella, siendo el objeto de tesis de Raquel Rabal Garcés (Rabal Garcés, 2013).

El CEA trabaja en las cavidades pirenaicas desde hace tres décadas cuando comenzaron sus trabajos de prospección espeleológica por diversas zonas del Pirineo aragonés. Aunque la mayor parte de estas cuevas ya habían sido exploradas hace décadas por otros grupos espeleológicos, en los pertinentes informes no se constataba la presencia de restos fósiles en las mismas. Esto se debe a que los primeros trabajos de exploración estaban centrados en el aspecto deportivo de la espeleología y posteriormente con el paso de los años el CEA colabora cada vez más con grupos de investigación de diversas especialidades: paleontología, arqueología, paleoclimatología y geología. En cuanto a la colaboración con los paleontólogos, ésta se hizo más intensa tras la estrecha colaboración que mantuvieron con nosotros durante el proyecto en el Moncayo. Por tanto, en los últimos años cuando realizan sus tareas de prospección en los Pirineos ponen especial atención a la presencia de fósiles, poniendo la información inmediatamente en conocimiento del grupo Aragosaurus. Una vez que los espeleólogos nos comentaron el gran potencial paleontológico de algunas cavidades pirenaicas se solicitó permiso a la Diputación General de Aragón para poder prospectarlas, además en el año 2015 obtuvimos una ayuda del Instituto de Estudios Altoaragoneses que nos proporcionó los medios económicos para llevar a cabo las prospecciones así como la datación de algunos yacimientos. De este modo, en tan solo unos pocos años, el conocimiento de nuevos yacimientos cuaternarios en las cavidades de la vertiente española del Pirineo ha aumentado significativamente con ocho nuevos yacimientos que están siendo estudiados actualmente: la Brecha del Rincón, B-8, Los Batanes, Cueva de los Bucardos, Barranco Jardín J-1 y J-5, Cueva de los Osos y Forato de la Sierra (Rabal-Garcés y Sauqué, 2015; Sauqué *et al.*, 2015). Las actuaciones en estos nuevos yacimientos han sido llevadas a cabo durante las campañas de los años 2014 y 2015 (la Brecha del Rincón-Nº Exp.: 123/2014 y 123/14-2015; resto de yacimientos-Nº Exp.: 144/2015).

✦ Coro Tracito

La cueva de Coro Tracito o Cueva de los Osos de Tella se localiza en el municipio de Tella-Sin, a una altitud de 1580 m.s.n.m. en la Sierra de las Sucas, cerca del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. El descubrimiento de la cueva y del yacimiento tuvo lugar en 1976 por parte del Grupo de Espeleología de Badalona. A partir de entonces se han llevado a cabo diversas actuaciones en la misma, dirigidas por miembros del grupo Aragosaurus desde el año 1995 (Nº Exp.: 99/95, 67/96, 233/2008, 233/08-2009, 233/08-09-2010 y 233/08-09-10-2011).

La cueva de Coro Tracito es una cavidad que abrigó un antiguo e importante curso subterráneo, del que queda como testimonio sólo un pequeño riachuelo esporádico, resultado de infiltraciones locales. Se divide en dos grandes galerías: una inferior y otra superior. El yacimiento se presenta al fondo de la galería superior, a unos 150 m de la entrada de la cueva,

| | Adultos | | | Juveniles | | | Identificados | Total |
|-----------------------------------|---------|-----|------|-----------|-----|------|---------------|-------|
| | MNE | MNI | sup | MNE | MNI | sup | | |
| Restos óseos identificados | 1922 | | | 1439 | | | 56 | 341 |
| | 1394 | 1 | 21,5 | 69 | 26 | 11,8 | | |
| Restos indeterminados | 82 | | | 130 | | | - | 212 |
| Metapodios indeterminados | 12 | | | 53 | | | - | 65 |
| Dientes aislados | - | | | - | | | - | 39 |
| Huesos sin identificar | - | | | - | | | - | 8 |
| Total Número de restos | | | | | | | | 4860 |

Tabla 4. Número de restos óseos de *Ursus spelaeus* recuperados en el "nivel de excavación" del yacimiento de Coro Tracito (MNE número mínimo de elementos, MNI número mínimo de individuos y % sup porcentaje de supervivencia).

donde el suelo está tapizado por un sedimento detrítico fino y muy húmedo de al menos 2 m de profundidad, procedente de la descalcificación de la roca caliza de la cueva. Los fósiles se encuentran en los primeros 80 cm de profundidad del depósito, pero la mayor parte del material recuperado proviene de los primeros 40 cm de sedimento. Además se han hallado restos aislados de osos a lo largo de toda la cueva (Rabal Garcés, 2013; Rabal-Garcés *et al.*, 2014).

Se han recuperado más de 5000 restos óseos, todos ellos pertenecientes a la especie *Ursus spelaeus* (Figura 6), correspondientes a 17 individuos adultos y 26 individuos juveniles (Tabla 4). La cueva fue utilizada como refugio de hibernación por esta especie de oso durante al menos 6000 años, desde unos 41 ka (calibrado) hasta más de 47 ka (calibrado) según datos obtenidos mediante dataciones de carbono 14 (Rabal Garcés, 2013; Rabal-Garcés *et al.*, 2014), por lo que gran parte de esta población habitó este lugar durante el estadio isotópico 3, que está caracterizado por un clima templado menos cálido que el actual (Johnsen *et al.*, 2001). Prácticamente la totalidad de los restos óseos se encuentran desarticulados y algo menos de la mitad de los huesos de osos de Coro Tracito están fragmentados. Únicamente se han encontrado dos casos en los que ciertos especímenes se hallaban en posición anatómica (Figura 5). Alrededor de un 13% de los restos presentan marcas de mordiscos (Figura 6); el análisis y comparación de estas alteraciones en los huesos largos señala a los propios osos como productores de los daños, debido a un comportamiento carroñero (Rabal-Garcés *et al.*, 2012; Rabal Garcés, 2013; Rabal-Garcés *et al.*, 2014), comportamiento apuntado en esta especie por otros autores como Pinto Llona *et al.* (2005) o Quiles *et al.* (2006).

La muerte y acumulación de los individuos en la cueva se produjo por causas naturales que afectan sobre todo a los individuos más débiles (juveniles y seniles) (Rabal Garcés, 2013), lo que se conoce como un perfil de mortalidad de tipo atricial (Klein, 1982). Alrededor de la mitad de los adultos corresponde a machos y la otra mitad a hembras, siendo el tamaño de los huesos de estas un 20% menor que el de los machos (Figura 6).

El estudio de la geoquímica isotópica del colágeno de los huesos de Coro Tracito, basado en trabajos previos (eg: DeNiro y Epstein 1977, 1978; Bocherens *et al.*, 1994, 1997) indica que esta población de osos de las cavernas seguía una dieta esencialmente herbívora, como señalan

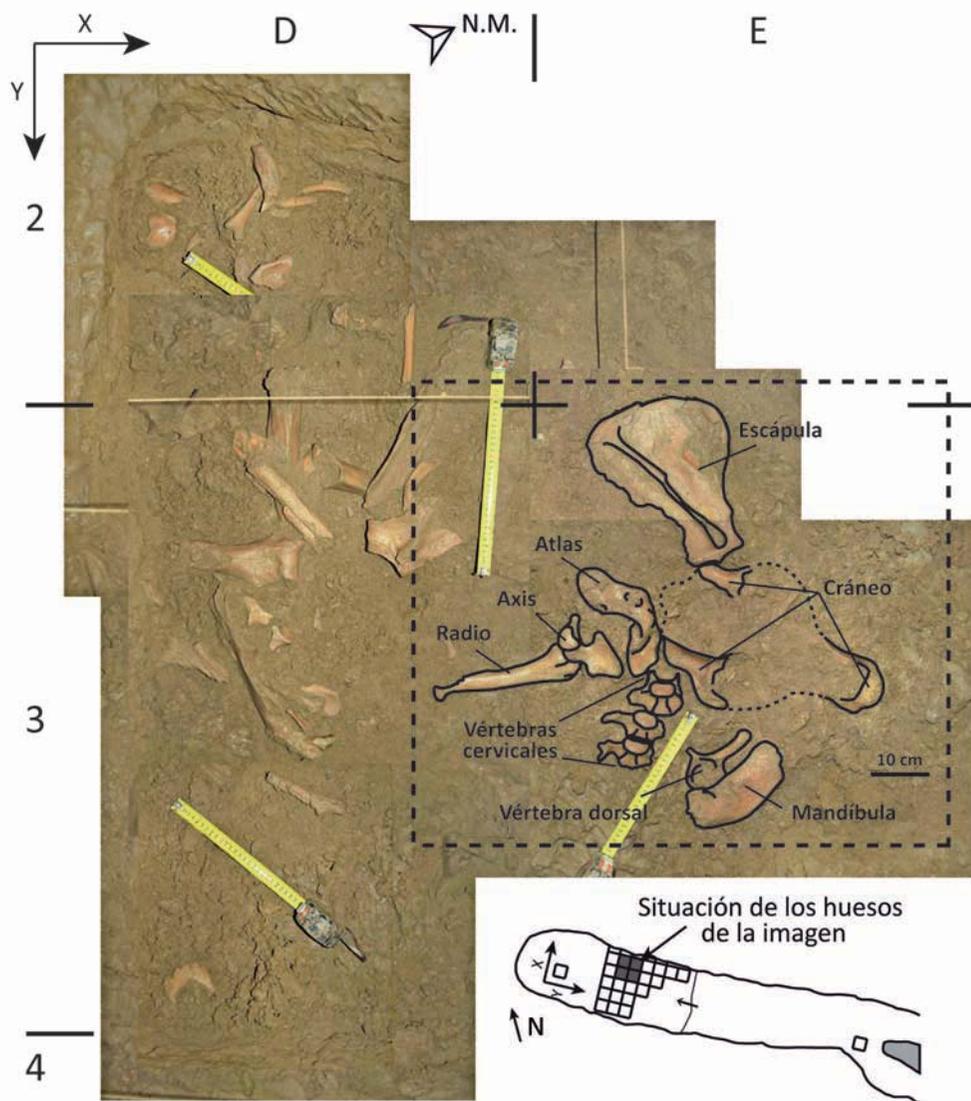


Figura 5. Fotografía y esquema de la zona de excavación de Coro Tracito con huesos de *Ursus spelaeus* en posición anatómica (señalado con un cuadro discontinuo), a unos 45-50 cm de profundidad. En el resto de la figura se observa la desarticulación y fracturación habitual que presentan los restos en Coro Tracito. Tomada de Rabal-Garcés, 2013.

los bajos valores del nitrógeno 15. Además, los bajos valores de carbono 13 señalan que se alimentarían de plantas adaptadas a climas templados y fríos que formarían un paisaje abierto, sin una densa cubierta arbórea (Rabal Garcés, 2013; Rabal-Garcés *et al.*, 2014).

El patrón de mortalidad, junto con la tafonomía y el análisis de la espeleogénesis de la cueva y la sedimentación del material detrítico, indican que existiría una zona de hibernación de los osos en la galería superior de la cueva de Coro Tracito y que la gran acumulación de restos allí se daría por la constante ocupación de la cueva por los osos durante miles de años (Rabal-Garcés, 2013).

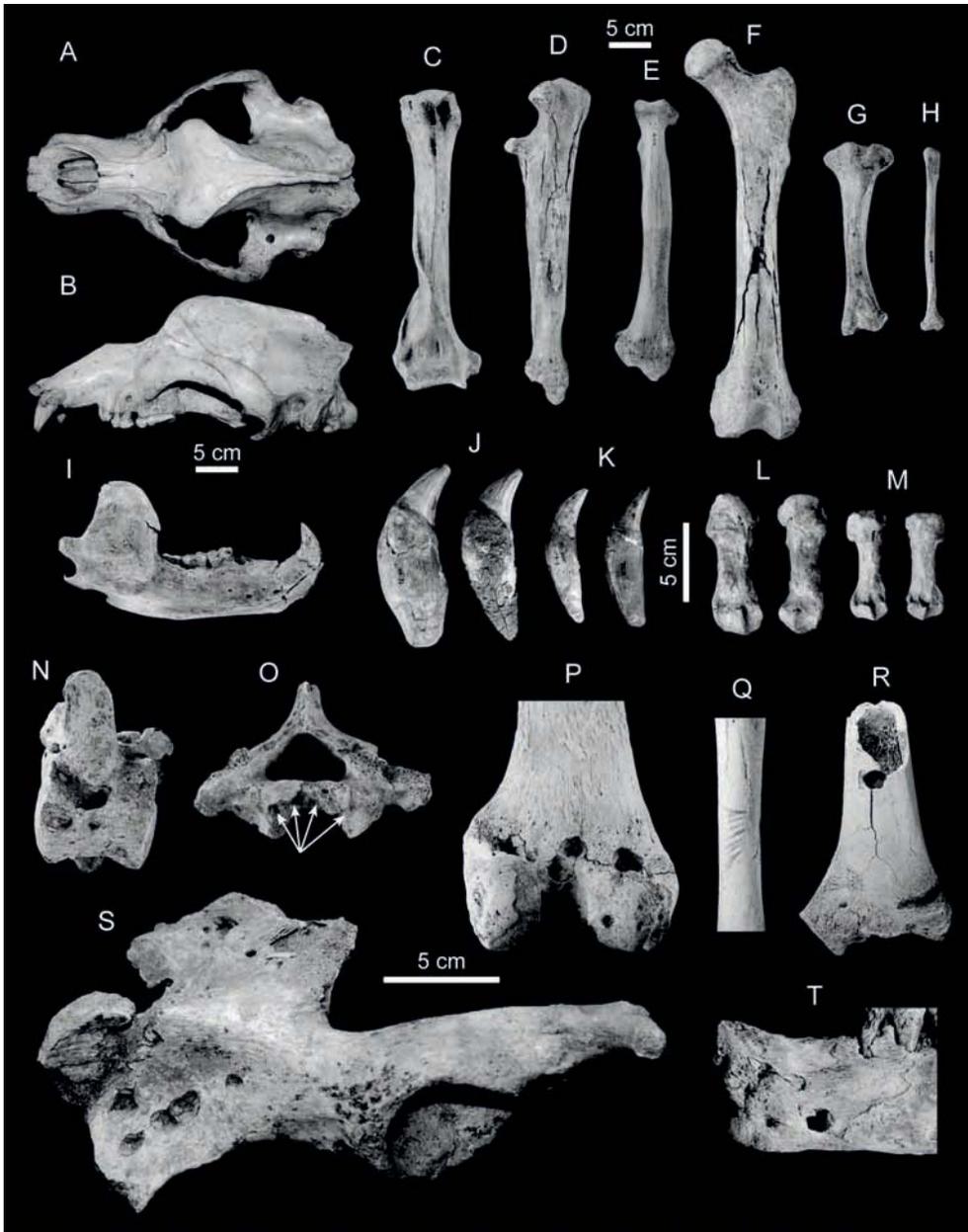


Figura 6. Restos de *Ursus spelaeus* de Coro Tracito. A-I. Restos del esqueleto de *U. spelaeus* (A, B. Cráneo en vista dorsal y lateral. C. Húmero derecho en vista anterior. D. Ulna izquierda en vista lateral. E. Radio derecho en vista lateral. F. Fémur izquierdo en vista anterior. G. Tibia izquierda en vista anterior. H. Fíbula derecha en vista anterior. I. Mandíbula derecha en vista lateral). J-M. Ejemplos de dimorfismo sexual (diferencia de tamaño) entre machos y hembras (J. Caninos superiores de machos. K. Caninos superiores de hembras. L. mtc5 de machos. M. mtc5 de hembras). N-T. Ejemplos de marcas de mordiscos en restos de osos (N. Vértebra lumbar con perforaciones. O. Vértebra torácica con muescas y extracción de tejido óseo. P. Fémur con perforaciones. Q. Fémur de juvenil con surcos. R. Tibia de juvenil con perforación. S. Pelvis con perforaciones, muescas y extracción de tejido óseo. T. Mandíbula con perforaciones).

La Brecha del Rincón

La cueva de la Brecha del Rincón se localiza en la Sierra de Secús a 2160 m.s.n.m., en el municipio de Valle de Hecho. Su descubrimiento como yacimiento se debe a miembros del CEA, que en el año 2013 encontraron restos óseos de osos en la superficie de una galería. Tras una primera prospección de la cueva por el grupo Aragosaurus se valoró positivamente la importancia paleontológica de la misma y durante los años 2014 y 2015 se llevaron a cabo excavaciones mediante la colaboración del grupo Aragosaurus con el CEA.

Se trata de una cavidad grande de más de 2,5 km de desarrollo y más de 250 m de desnivel, que comienza con dos laminadores estrechos ensanchándose tras los mismos. La mayor parte de huesos recuperados se concentran en una galería situada a unos 160 m desde la boca de la cueva, perteneciendo todos a la misma especie de oso, identificado como *Ursus* cf. *deningeri*, el antepasado del más conocido oso de las cavernas (*U. spelaeus*) (Rabal-Garcés y Sauqué, 2015). La presencia de esta especie de oso, así como el grado de alteración de los restos óseos, nos lleva a pensar en una edad para este yacimiento de Pleistoceno Medio. Además, en otra parte de la cueva, se han recuperado restos de microfauna y algún resto aislado de oso pardo (*U. arctos*) en una zona cercana a la entrada de la cavidad (Rabal-Garcés y Sauqué, 2015; Sauqué *et al.*, 2015).

Casi la totalidad de los restos de *U. cf. deningeri* pertenecen al esqueleto poscranial, la mayoría correspondientes al metapodio (Figura 7), el carpo, el tarso y las falanges. En general se trata de huesos de pequeño tamaño, más o menos completos o fragmentos pequeños de huesos grandes que se han encontrado en superficie o entre bloques y sedimento arcilloso. A falta de una catalogación exhaustiva de los restos, el número de restos identificables asciende a varios centenares, correspondientes al menos a cuatro individuos diferentes (Sauqué *et al.*, 2015).

La importancia de este hallazgo reside en que se trata del primer yacimiento de *U. deningeri* localizado en el Pirineo español, así como el yacimiento de osos de las cavernas situado a mayor altitud en la Península Ibérica (Rabal-Garcés y Sauqué, 2015).

La lista faunística de la cueva de la Brecha del Rincón incluye dos especies de osos (*U. cf. deningeri* y *U. arctos*) y varias especies de murciélagos (*Plecotus* sp., *Myotis myotis*, *Myotis blythii*, *Myotis* sp., Vespertilionidae indet., Chiroptera indet.) hallados tanto en una cata cerca de la entrada de la cueva como en superficie en el interior de la misma, así como dos camas de hibernación pertenecientes a osos (sin poder especificar a qué especie) (Sauqué *et al.*, 2015; Sauqué *et al.*, 2016c).



Figura 7. Metacarpianos de *Ursus* cf. *deningeri* de la Brecha del Rincón. De izquierda a derecha: mtc1, mtc2, mtc3, mtc4, mtc5.

Los Batanes

La cueva de Los Batanes se localiza en el margen izquierdo de la parte alta del Valle del Gállego, al norte de la localidad de Biescas (Huesca). Su entrada se abre a 1025 m.s.n.m. en la sierra de Tendeñera, en unas calizas de edad Maastrichtiense. Se trata de una pequeña cavidad formada por un sistema de estrechos tubos de presión. La zona de excavación se encuentra al final de uno de estos tubos, donde la cavidad se ensancha ligeramente y cuyo fondo está colmatado por un depósito de arcillas y bloques tapizado por una costra carbonatada. Los restos fósiles aparecieron en la parte superior de este depósito, en los primeros 0,5 m de profundidad (Sauqué *et al.*, 2015; Sauqué *et al.*, 2017b).

El yacimiento presenta una edad de $15,234 \pm 223$ cal BP, de acuerdo con la datación mediante carbono 14 de un fragmento óseo embebido en la costra carbonatada que sellaba el yacimiento (Sauqué *et al.*, 2017b). Corresponde al final del Pleistoceno Superior, cuando tuvo lugar la última deglaciación del Pleistoceno (ver referencias en Hugges *et al.*, 2013).

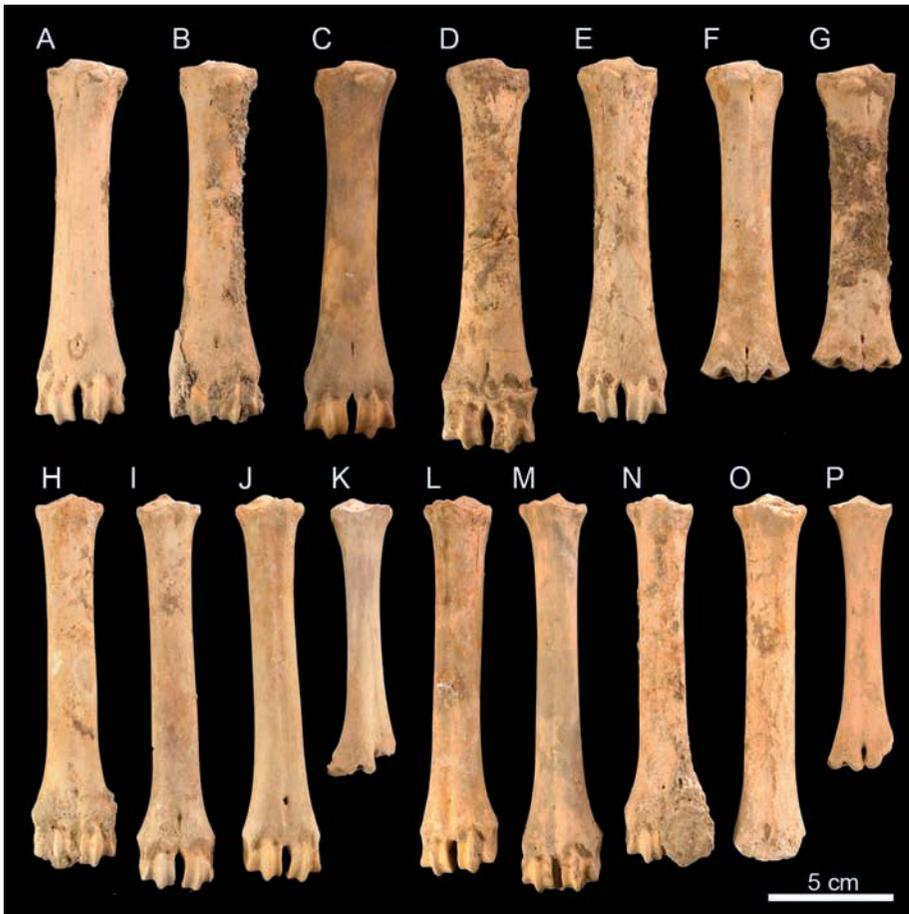


Figura 8. Restos de *Capra pyrenaica pyrenaica* de Los Batanes. A, B, C. Metacarpo derecho. D, E, F, G. Metacarpo izquierdo. H, I, J, K. Metatarso izquierdo. L, M, N, O, P. Metatarso derecho. Tomada de Sauqué *et al.*, 2017b.

Los restos fósiles de macrofauna recuperados en el yacimiento de Los Batanes corresponden únicamente a la cabra montés (*C. pyrenaica*), a la subespecie que habitó el Pirineo hasta hace unos pocos años (*Capra pyrenaica pyrenaica*), conocida comúnmente como bucardo. Se han recuperado más de 1000 restos óseos, pertenecientes a individuos juveniles, adultos y seniles. Los restos no presentan un grado de fracturación elevado, así como tampoco presentan marcas de acción antrópica ni de modificación por carnívoros (Figura 8). Por lo tanto, su acumulación debe haberse producido por caídas accidentales de los animales en el interior de la cavidad (Sauqué *et al.*, 2015; Sauqué *et al.*, 2017b).

La lista faunística del yacimiento se completa con la microfauna recuperada mediante el lavado del sedimento en el que estaban englobados los restos fósiles, incluyendo: varias especies de murciélagos (*Rhinolophus euryale*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis cf. nattereri*, *M. cf. Miniopterus*, Vespertilionidae indet.) y aves (Sauqué *et al.*, 2015).

La Cueva de los Bucardos

La cueva de los Bucardos forma parte del Sistema Lecherines, un complejo sistema kárstico desarrollado en las formaciones calizas del extremo este de la sierra de Aisa, en la margen derecha del Valle del Aragón. Este sistema kárstico, formado por varios kilómetros de galerías y con 1000 metros de desnivel, viene siendo explorado desde 1987 por el CEA. En 2013, miembros del CEA encontraron en una de las cavidades, situada a 1851 m.s.n.m., unos pocos restos óseos que pertenecían a un bucardo (Sauqué *et al.*, 2015). Tras las labores de prospección y excavación paleontológicas se recuperaron 447 restos óseos pertenecientes a bucardos (*C. p. pyrenaica*) y 10 restos pertenecientes a oso pardo (*U. arctos*).



Figura 9. Cráneos de dos ejemplares diferentes de *Capra pyrenaica pyrenaica* de la Cueva de los Bucardos. Izquierda: bucardo de 44-45 ka BP (sin calibrar); derecha: bucardo de 3-4 ka BP (sin calibrar).

La mayor parte de los restos de bucardo pertenecen a dos ejemplares que se han recuperado prácticamente completos (aunque desarticulados y distribuidos por distintas zonas de la cueva). Se trataría de dos individuos de macho adulto, uno de ellos de edad avanzada (con signos de artritis) y otro más joven; siendo los ejemplares fósiles de bucardo macho más completos y mejor conservados del registro mundial. El resto de huesos corresponden a tres individuos más (Sauqué *et al.*, 2015). Junto a varios de los restos de bucardo, y posiblemente relacionado con este animal, se halló una punta de flecha realizada en hueso, clasificada por los doctores Lourdes Montes y Rafael Domingo (del departamento de Historia de la Universidad de Zaragoza) como una punta bifacies pulida en sus dos caras, biseladas en ángulo muy abierto. La presencia de esta flecha podría indicar que los bucardos ya presentaban un importante interés cinegético en el sector central del Pirineo oscense durante la prehistoria antigua (Sauqué *et al.*, 2015).

La cronología de los restos óseos de la Cueva de los Bucardos incluye dos momentos diferenciados, teniendo dos bucardos datados con edades de 3-4 ka BP (sin calibrar) y 44-45 ka BP (sin calibrar) (Figura 9). La flecha ósea, según su clasificación, correspondería a la Edad del Bronce antiguo, en torno al 1500 a. C., relacionándose muy bien con la edad de uno de los bucardos recuperados (Sauqué *et al.*, 2015).

Además, la cueva incluye la presencia de dos camas de hibernación de osos (Sauqué *et al.*, 2016c), que por sus dimensiones pertenecen, probablemente, a un oso pardo.



Figura 10. Foto de excavación en la cueva de Barranco Jardín J-5.

• Otros yacimientos pirenaicos (Barranco Jardín J.1 y J.5, B8 (Secús), Cueva de los Osos, Forato de la Sierra)

El trabajo de campo llevado a cabo hasta el momento en el Pirineo, se completa con la prospección y el estudio preliminar de otros cuatro yacimientos kársticos que, si bien no presentan un registro muy abundante, aportan una información hasta el momento desconocida de la distribución de dos de las especies emblemáticas del Pirineo y actualmente desaparecidas: el bucardo y el oso pardo. La siguiente información puede ser ampliada en Sauqué *et al.*, 2015.

Las dos cavidades de Barranco Jardín J-1 y J-5 se localizan en el borde oeste de la sierra de Secús. En el año 2014 el CEA advierte a *Aragosaurus* de la existencia de restos óseos en la parte más profunda de las mismas (Figura 10). Posteriormente se llevan a cabo sendas prospecciones paleontológicas en las que se recuperan restos óseos pertenecientes a dos bucardos, así como varios restos aislados de oso pardo en la cavidad J-5. El estudio preliminar de los restos apunta a que se trata de dos individuos de macho adulto de bucardo (*C. p. pyrenaica*). La datación de los restos de la cavidad J-5 señala una edad holocena.

En la Sierra de Secús, frente a la cueva de la Brecha del Rincón, se halló otra cavidad, designada como B-8, de escaso recorrido horizontal y que termina en un pequeño pozo relleno de sedimento detrítico fino que contiene gran cantidad de restos fósiles (Figura 11). Se recuperaron más de cien restos fósiles de macrofauna, pertenecientes principalmente a la especie *U. arctos*, junto con varios restos de *C. p. pyrenaica*. Respecto a los osos, el conjunto incluye huesos de varios individuos, siendo el yacimiento con mayor número de individuos de oso pardo hallado hasta el momento en el Pirineo aragonés. Al encontrarse varios ejemplares juveniles se considera que la cueva fue utilizada por hembras con crías como refugio invernal.



Figura 11. Fondo del pozo de la cueva B-8 relleno de sedimento y detalle de fósiles de macrofauna incluidos en el mismo.

Su datación aporta una edad Holoceno. En relación a la microfauna encontrada, la lista faunística incluye: *Arvicola sapidus*, *Chionomys nivalis*, *Microtus arvalis*, ¿*Plecotus*?, Mammalia indet., Ophidia indet. y Gasteropoda indet.

La Cueva de los Osos se localiza en el sistema de Lecherines a una altitud de 2243 m.s.n.m. Desde la boca de la cueva, descendiendo por un canchal de unos 100 m de longitud y un desnivel de 60 m, se accede a una sala que presenta un excepcional registro de nueve camas de hibernación (Figura 12). Estas camas son únicas ya que están excavadas en un sustrato rocoso, siendo mucho más habitual encontrarlas en un lecho arcilloso. En una de estas camas se encontró un esqueleto de oso pardo juvenil parcialmente completo y en el contorno de alguna de estas camas se hallaron heces pertenecientes a oso pardo (Sauqué *et al.*, 2015; Sauqué *et al.*, 2016c). Tanto las heces como los restos óseos están siendo analizados para estudiar la dieta de estos osos del Pirineo (García-Vázquez *et al.*, 2016).



Figura 12. Cama de hibernación de oso pardo en la Cueva de los Osos de Lecherines; A. detalle de los excrementos hallados en los bordes de la cama.

El Forato de la Sierra es una pequeña cavidad localizada en el Valle de Añiscló a 1220 m.s.n.m. Se han recuperado alrededor de un centenar de fósiles pertenecientes a la especie *U. arctos* y escasos restos que podrían pertenecer a *C. pyrenaica* y *R. pyrenaica* (sarrío). Un estudio preliminar de los restos de oso indica que podrían pertenecer a un único individuo que, por el desarrollo de sus dientes y huesos, sería juvenil. Pero lo que destaca en esta cueva es el hallazgo de abundantes arañazos de oso en una de las paredes de la misma grabados sobre un tipo de espeleotema conocido como “moonmilk” (blando cuando se forma pero actualmente endurecido) (Figura 13). Además, a lo largo de las paredes de la cueva hay pinturas rupestres de tipo esquemático, que están actualmente en estudio por la arqueóloga Paloma Lanáu, de la Universidad de Zaragoza.

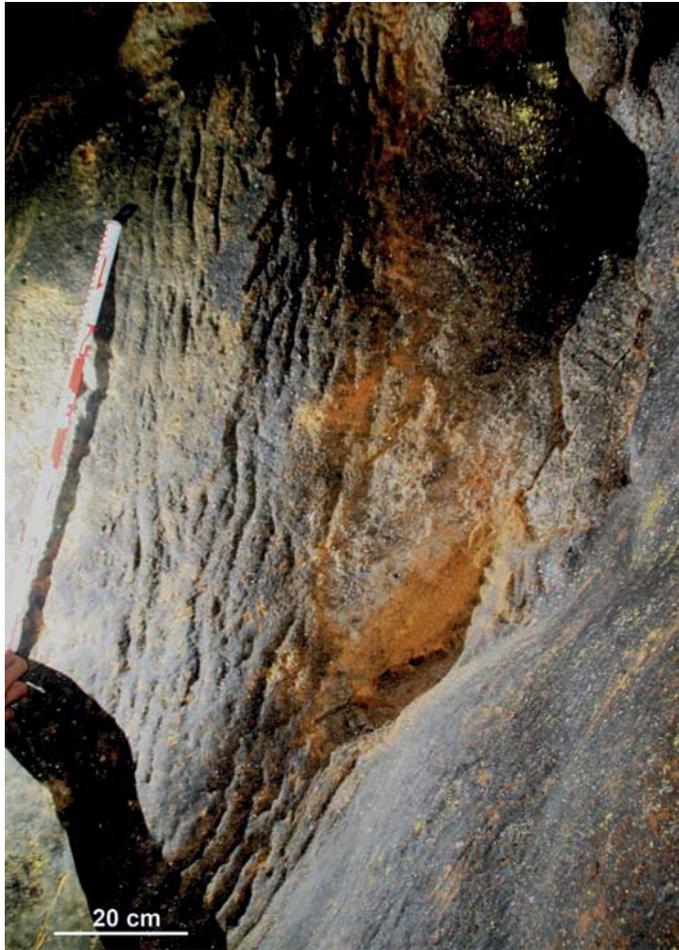


Figura 13. Zarpazos de oso hallados en el Forato de la Sierra.

CONCLUSIONES

En los últimos años se han encontrado numerosos yacimientos del Pleistoceno y Holoceno en las cavidades aragonesas. Los nuevos hallazgos se encuentran concentrados en dos áreas geográficas concretas: el Moncayo y el Pirineo oscense.

En el Moncayo se han descubierto yacimientos con la presencia de numerosos carnívoros como la hiena de las cavernas, el leopardo, el lobo y el oso pardo. La acumulación de huesos en Los Rincones fue producida en gran parte por la acción de los leopardos, los cuales cazaban principalmente cabras monteses en las inmediaciones y posteriormente las consumían en el interior de la cueva. El yacimiento de Los Rincones fue el primer yacimiento en Europa cuya génesis fue relacionada con la acción de los leopardos. Por su parte el yacimiento de Los Aprendices presenta el esqueleto más completo de hiena de las cavernas de la Península Ibérica, además es uno de los registros más antiguos de este taxón.

Las especies predominantes en los yacimientos de alta montaña del Pirineo son los osos y las cabras monteses. En cuanto a los primeros se han recuperado fósiles de tres taxones diferentes, *U. deningeri*, *U. spelaeus* y *U. arctos*. El yacimiento de Coro Tracito es el más importante en

cuanto a número de restos fósiles y su estudio ha permitido señalar la posible existencia de un comportamiento carroñero entre individuos de esta población de osos de las cavernas. Además aparte de restos óseos se han descubierto cavidades con signos de la actividad vital de los osos, como son las camas de hibernación, los arañazos en las paredes e incluso excrementos. Además, se ha hallado el yacimiento a mayor altitud de la Península Ibérica, La Brecha del Rincón, con restos de la especie *U. deningeri*. En cuanto a las cabras monteses, estas son abundantes en las cavidades del Pirineo y en algunos casos se han recuperado ejemplares muy completos, lo que nos indicaría que esas cabras murieron en las cuevas que actuaron como trampas naturales, como es el caso de Los Batanes.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar queremos agradecer a los organizadores de las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología de Riela por invitarnos a participar en ellas.

Al Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC) y a la Universidad de Zaragoza, por prestarnos sus instalaciones para la realización del lavado y procesado del material fósil. A los miembros del grupo Argosaurus, por ayudarnos en las tareas de campo y por prestarnos material de excavación, restauración y preparación de restos fósiles. A todos los miembros del Centro de Espeleología de Aragón, en especial a Mario Gisbert quien siempre ha colaborado con nosotros y al cual le debemos la mayor parte de los descubrimientos de yacimientos paleontológicos tanto en el Moncayo como en el Pirineo. A Ricardo García-González encargado del área de mamíferos pirenaicos del IPE que nos ha ayudado en el estudio de los restos pirenaicos. A Julia Galán que actualmente está estudiando los restos de murciélagos de estos yacimientos. A Carmen Núñez-Lahuerta que colabora con nosotros realizando el estudio de las aves fósiles de los yacimientos tratados en este trabajo. A Diego Castanera por su ayuda en el estudio de los restos icnológicos de las cavidades pirenaicas. A los arqueólogos de la Universidad de Zaragoza que nos han ayudado con el estudio de las marcas antrópicas así como en la prospección de yacimientos. Por supuesto, a todas aquellas personas que nos ayudado en las prospecciones y excavaciones.

Al Gobierno de Aragón, por concedernos los permisos pertinentes para las actuaciones paleontológicas en los diversos yacimientos y por financiar parte de las excavaciones llevadas a cabo a lo largo de estos años. Los autores fueron beneficiarios de una beca predoctoral del Gobierno de Aragón para el desarrollo de sus tesis doctorales que versaron sobre varios de los yacimientos mencionados.

El proyecto "Bucardos y osos fósiles del Pirineo; recuperación de restos paleontológicos, catalogación y datación de los yacimientos del Pleistoceno-Holoceno de las cavidades del Pirineo oscense" ha podido ser llevado a cabo gracias a una Ayuda a la Investigación concedida en la convocatoria del año 2014 por el Instituto de Estudios Altoaragoneses.

Victor Sauqué es becario del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) de Argentina (Beca postdoctoral resolución N°4256).

REFERENCIAS

Blasco-Sancho, M.F. 1995. Hombres, fieras y presas: estudio arqueozoológico y tafonómico del yacimiento del Paleolítico Medio de la Cueva de Gabasa 1 (Huesca). Universidad de Zaragoza. 205 pp.

- Blasco-Sancho, M.F. 1996. Primeros testimonios de oso de las cavernas (*Ursus spelaeus*) en el Somontano del Moncayo (Talamantes-Zaragoza). *Cuadernos de Estudios Borjanos*, 35, 27-48.
- Blasco-Sancho, M.F. y Montes-Ramírez, L. 1997. Los hiénidos del yacimiento musteriense de Gabasa 1 (Huesca, España). *Bolskan: Revista de arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses*, 4, 9-28.
- Bocherens, H., Fizet, M. and Mariotti, A. 1994. Diet, physiology and ecology of fossil mammals as inferred from stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry: implications for Pleistocene bears. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 107, 213-225.
- Bocherens, H., Billiou, D., Patou-Mathis, M., Bonjean, D., Otte, M. and Mariotti, A. 1997. Paleobiological implications of the isotopic signatures (^{13}C , ^{15}N) of fossil mammal collagen in Scladina Cave (Sclayn, Belgium). *Quaternary Research*, 48, 370-380.
- Castaños, P.M. 1993. Estudio de los macromamíferos de los niveles paleolíticos de Chaves (Huesca). *Bolskan: Revista de Arqueología del Instituto de Estudios Altoaragoneses*, 10, 9-30.
- Cuenca-Bescós, G. 2009. Introducción a la geología de la provincia de Zaragoza. En: Gisbert, M., y Pastor, M. (Eds.). *Cuevas y simas de la provincia de Zaragoza*. pp. 41-48.
- Cuenca-Bescós, G., Martínez, I., Mazo, C., Sauqué, V., Ramón del Río, D., Rabal Garcés, R. y Canudo, J.I. 2010. Nuevo yacimiento de vertebrados del Cuaternario del Sur del Ebro en Aguilón, Zaragoza, España. III Congreso Ibérico de Paleontología, Publicaciones del Seminario de Paleontología de Zaragoza (SEPAZ), 9, 107-108.
- DeNiro, M.J. and Epstein, S. 1977. Mechanism of carbon isotope fractionation associated with lipid synthesis. *Science*, 197, 261-263.
- DeNiro, M.J. and Epstein, S. 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 495-506.
- Eisenmann, V., Adrover, R., Moissenet, E. y Mourer-Chauviré, C. 1990. Le cheval de Monteagudo del Castillo (Province de Teruel, Espagne). *Paleontologia i Evolucio*, 23, 239-252.
- Galán, J., Cuenca-Bescós, G., López-García, J.M., Sauqué, V. and Núñez-Lahuerta, C. 2016. Fossil bats from the Late Pleistocene site of the Aguilón P7 cave (Zaragoza, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 15, 501-514.
- García-Vázquez, A., Sauqué, V., Rabal-Garcés, R., García-González, R., Cuenca-Bescós, G. and Grandal-d'Anglade, A. 2016. Influence of growth and trophic level in bone collagen stable isotopes of *Ursus arctos* from Pyrenees (Spain). 1st International Meeting of Early-stage Researchers in Palaeontology (XIV Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología), Alpuente, Valencia, 135.
- Gutiérrez, F. 2009. Introducción a la geología de la provincia de Zaragoza. En: Cuevas y simas de la provincia de Zaragoza, Gisbert y Pastor, pp. 19-24.
- Hughes, P.D., Gibbard, P.L. and Ehlers, J., 2013. Timing of glaciation during the last glacial cycle: evaluating the concept of a global 'Last Glacial Maximum' (LGM). *Earth-Science Reviews*, 125, 171-198.

- Johnsen, S.J., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J.P., Clausen, H.B., Miller, H., Masson-Delmotte, V., Sveinbjörnsdóttir, A.E. and White, J. 2001. Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations: Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and NorthGRIP. *Journal of Quaternary Science*, 16, 299-307.
- Klein, R.G. 1982. Age (mortality) profiles as a means of distinguishing hunted species from scavenged ones in Stone Age archeological sites. *Paleobiology*, 8, 151-158.
- Liñán Guijarro, E. 1988. Estudio Geológico y Paleontológico de la Cueva de las Graderas (Molinos, Teruel). Memorias del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza, 78 pp.
- Núñez-Lahuerta, C., Cuenca-Bescós, G., Sauqué, V. and Galán, J. 2016. Avian remains from the Upper Pleistocene (MIS3) site of Aguilón P-7, south of the Ebro River, Spain. *Historical Biology*, 28, 774-786.
- Pérez-Ripoll, M. 2013. Una visión de la arqueozoología valenciana a través del tiempo. En: Sanchis Serra A. i Pascual Benito J.L. (Eds.). *Animals i arqueologia hui: I Jornades d'Arqueozoologia del Museu de Prehistòria de València*, pp. 3-18.
- Pinto Llona, A.C., Andrews, P.J. y Etxebarria, F. 2005. Tafonomía y paleoecología de Úrsidos cuaternarios cantábricos. Fundación Oso de Asturias, Oviedo, 679 pp.
- Quilès, J., Petrea, C., Moldovan, O., Zilhão, J., Rodrigo, R., Rougier, H., Constantin, S., Milota, S., Gherase, M., Sarcină, L. and Trinkaus, E. 2006. Cave bears (*Ursus spelaeus*) from the Peștera cu Oase (Banat, Romania): Paleobiology and taphonomy. *Comptes Rendus Palevol*, 5, 927-934.
- Rabal Garcés, R. 2013. Estudio paleontológico de *Ursus spelaeus* Rosenmüller, 1794 del Pleistoceno Superior de Coro Tracito (Tella, Huesca, España). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 516 pp.
- Rabal-Garcés, R. y Cuenca-Bescós, G. 2009. Tafonomía del yacimiento de osos de las cavernas de Coro Tracito (Tella, Huesca, España). *Paleolusitana*, 1, 397-402.
- Rabal-Garcés, R., Cuenca-Bescós, G., Canudo, J.I. and Torres, T. 2012. Was the European cave bear an occasional scavenger? *Lethaia*, 45, 96-108.
- Rabal-Garcés, R., Sauqué, V. y Rasal, S. 2014. Yacimientos en cuevas del Pleistoceno Superior de Aragón. Coro Tracito: la cueva de los osos de Tella (Huesca, España), ciencia y divulgación. XII Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología, Boltaña, Huesca, 221-245.
- Rabal-Garcés, R. and Sauqué, V. 2015. A new Pleistocene cave bear site in the high mountains of the Spanish Pyrenees: la Brecha del Rincón (Huesca, Spain). *Comptes Rendus Palevol*, 14, 311-320.
- Ramón del Río, D. 2010. Estudio de los restos de mamíferos fósiles del Pleistoceno Medio de la Cueva de los Huesos de Obón (Teruel). *Teruel: Revista del Instituto de Estudios Turolenses*, 93(1), 55-94.
- Sauqué, V. 2015. Tafonomía, Sistemática y aproximación paleoambiental de los macromamíferos del Pleistoceno Superior del Moncayo (Zaragoza). Tesis doctoral inédita. Universidad de Zaragoza. 303 pp.
- Sauqué, V. and Cuenca-Bescós, G. 2013. The Iberian Peninsula, the last European refugium of *Panthera pardus* Linnaeus 1758 during the Upper Pleistocene. *Quaternaire*, 24, 35-48.

- Sauqué, V. and Sanchis, A. 2017 Leopards as taphonomic agents in the Iberian Pleistocene, the case of Racó del Duc (Valencia, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 472, 67–82.
- Sauqué V., Galán, J., Núñez-Lahuerta, C., Sola-Almagro, C., Rabal-Garcés, R., Martínez, I., Mazo, C. y Cuenca-Bescós., G. 2014a. Neandertales en el Pleistoceno Superior del valle del Ebro, paleoambiente y evidencias tafonómicas en Aguilón P-7. ¡Fundamental!, 24, 223-226.
- Sauqué, V., García-González, R. and Cuenca-Bescós, G. 2016a. A Late Pleistocene (MIS3) ungulate mammal assemblage (Los Rincones, Zaragoza, Spain) in the Eurosiberian–Mediterranean boundary. *Historical Biology*, 28, 358–389.
- Sauqué, V., Rabal-Garcés, R., Sola-Almagro, C. and Cuenca-Bescós, G. 2014b. Bone accumulation by leopards in the Late Pleistocene in the Moncayo massif (Zaragoza, NE Spain). *Plos One* 9 (3), e92144.
- Sauqué, V., Rabal-Garcés, R., García-González, R. y Gisbert, M. 2015. Bucardos y osos fósiles del Pirineo: recuperación de restos paleontológicos, catalogación y datación de los yacimientos del Pleistoceno-Holoceno de las cavidades el Pirineo oscense. *Lucas Mallada*, 17, 247-289.
- Sauqué, V., Rabal-Garcés, R. and Cuenca-Bescós, G. 2016b. Carnivores from Los Rincones, a leopard den in the highest mountain of the Iberian range (Moncayo, Zaragoza, Spain). *Historical Biology*, 28, 479-506.
- Sauqué, V., Rabal-Garcés, R., García-González, R., Castanera, D., García-Vázquez, A., Gisbert, M. and Cuenca-Bescós, G. 2016c. New ichnological record of ursids from the Spanish Pyrenees. 1st International Meeting of Early-stage Researchers in Palaeontology (XIV Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología), Alpuente, Valencia, 161.
- Sauqué, V., Rabal-Garcés, R., Madurell-Malaperia, J., Gisbert, M., Zamora, S., De Torres, T., Ortiz, J.E. and Cuenca-Bescós, G. 2017a. Pleistocene cave hyenas in the Iberian Peninsula: new insights from Los Aprendices cave (Moncayo, Zaragoza) *Palaeontologia electrónica*, 20.1.11A: 1-38.
- Sauqué, V., Rabal-Garcés, R., García-González, R., Galán, J., Núñez Lahuerta, C., Gisbert, M. and Cuenca-Bescós, G. 2017b. Los Batanes (Huesca, Spain), a trap for Pyrenean wild goat during the Late Pleistocene. *Quaternary International* (en prensa), <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.09.011>.
- Sauqué, V., Sanchis, A. and Madurell-Malapeira, J. 2017c. Late Pleistocene leopards as a bone accumulator: taphonomic results from S'Espasa cave and other Iberian key sites. *Historical Biology*, doi: 10.1080/08912963.2017.1343313.
- Torres, T., Canudo, J.I., Cobo, R. y Cuenca, G. 1998. Cueva Coro Tracito (Tella Sin, Huesca) el primer yacimiento de alta montaña español de *Ursus spelaeus* Ros.-Hein. Nota preliminar. *Geogaceta*, 24, 303-306.
- Torres, T. de, Ortiz, J.E., Cobo, R., Cuenca, G y Canudo, J.I. 2004. El oso de las cavernas de la Cueva de Coro Tracito (Tella-Sin, Huesca). *Revista del Centro de Estudios de Sobrarbe*, 10, 206-248.
- Utrilla, P. 2000. El Paleolítico en el Valle Medio del Ebro: una "Revista de Prensa" en el cambio de milenio. *Spal*, 9, 81-108.

PALEOTIPOS ARAGONESES:

CATÁLOGO DE LOS GÉNEROS Y ESPECIES DE FÓSILES DEFINIDOS EN ARAGÓN (1850-2016)



Luis Moliner
Samuel Zamora



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE ECONOMÍA, INDUSTRIA
Y COMPETITIVIDAD



Instituto Geológico
y Minero de España

PRESENTACIÓN DEL CATÁLOGO "PALEOTIPOS ARAGONESES"

Luis Moliner¹

¹ ENSAYA, Laboratorio de Ensayos Técnicos, S.A. Polígono Valdeconsejo, calle Aneto, nº 8-A. 50410 Cuarte de Huerva, Zaragoza, España

l.moliner@ensaya.es

Ficha bibliográfica:

Título: Paleotipos aragoneses: Catálogo de los géneros y especies de fósiles definidos en Aragón (1850-2016).
Autores: Luis Moliner y Samuel Zamora.
Año de edición: 2017.
Número de páginas: 106.
Serie: Cuadernos del Museo Geominero, 24.
Editor: Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid.
ISBN: 978-84-9138-046-7
Maquetación: Isabel Pérez-Urresti.
Imprenta: Gráficas Vela. Cuarte de Huerva (Zaragoza).

Resumen: El catálogo de los paleotipos aragoneses que se presentó dentro de la programación de las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología (Ricla, 2017), consiste en un extenso compendio de todos los taxones fósiles, de nivel no superior al género, cuya localidad tipo radica en territorio aragonés, lo que ha supuesto un importante esfuerzo de indagación y recopilación bibliográfica que se ha prolongado durante largo tiempo; se ha conseguido consultar todos los casi cuatrocientos textos originales en los que se establecieron los nuevos taxones: artículos científicos, monografías, tesis doctorales, boletines, revistas científicas y divulgativas... algunos de escasa difusión o difíciles de conseguir por su antigüedad. Se abarca desde la primera especie de fósil establecida en 1850 (*Chara aragonensis* Braun in Unger, 1850) hasta las definidas antes del fin de 2016. Son 985 nuevos tipos de nivel taxonómico especie o inferior y otros 145 del nivel género o subgénero que abarcan desde el Cámbrico hasta el Pleistoceno, y que se incluyen en la mayor parte de los *filos*. Se ha procurado mantener el significado que los diversos autores dieron a los géneros y las especies que establecieron y, en sintonía con ello, se respeta la denominación linneana binomial (o polinomial) original sin considerar interpretaciones ni sinonimias posteriores.

Palabras clave: Holotipo, Fósil, Género, Especie, Aragón.

Abstract: The book "Paleotipos Aragoneses" consists of an extensive list containing all fossil taxa, of a genus or lower taxonomic level, whose type localities lie in the territory of Aragón. The development of such research included a meticulous search of literature. It was possible to review four hundred original texts in which the new taxa were established, including among others; scientific articles, monographs, theses, newsletters, scientific and informative journals ... some of which are obscure or difficult to obtain. The catalogue includes all fossils described in Aragón, from the first

fossil species established in 1850 (*Chara aragonensis* Braun in Unger, 1850) to those defined by the end of 2016. There are 985 new species and subspecies, in addition to 145 new genera or subgenera that are recorded from the Cambrian to the Pleistocene, and belong to most of the biological groups. The original meaning established by the various authors to the genera and species that they described has been respected. The original binomial (or polynomial) denomination is also respected without considering subsequent synonyms.

Keywords: Holotype, Fossil, Genus, Species, Aragón.

INTRODUCCIÓN

Como ya se ha indicado en el resumen, el catálogo (Figura 1), cuyo título completo es “Paleotipos aragoneses: Catálogo de los géneros y especies de fósiles definidos en Aragón (1850-2016)”, consiste en una amplia recopilación de todos los taxones fósiles, de nivel taxonómico no superior al género, cuya localidad tipo radica en territorio aragonés, lo que ha supuesto un importante esfuerzo de indagación y recopilación bibliográfica que se ha prolongado durante largo tiempo; se ha conseguido consultar todos los casi cuatrocientos textos originales en los que se establecieron los nuevos taxones: artículos científicos, monografías, tesis doctorales, boletines, revistas científicas y divulgativas... algunos de escasa difusión o difíciles de conseguir por su antigüedad. También se deja constancia de que la consulta de algún texto ha precisado de una labor detectivesca a través de multitud de referencias bibliográficas y de la colaboración de colegas de numerosas instituciones.

El catálogo abarca desde la primera especie de fósil definida en Aragón en 1850, según los criterios seguidos (con otras pautas menos restrictivas nos remontaríamos a 1805), hasta finales de 2016. El total de nuevos fósiles aragoneses asciende a 985 tipos de nivel especie o inferior y a 145 más de nivel género o subgénero.

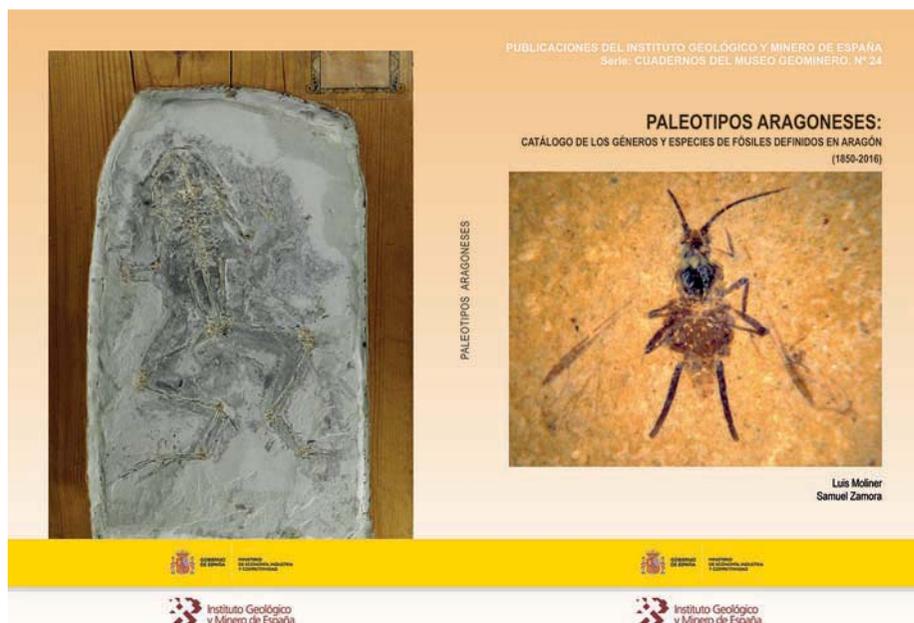


Figura 1. Portada y contraportada del Catálogo. Portada: *Eutrichosiphum europaeum*, del Mioceno lacustre de Rubielos de Mora. Cortesía de Enrique Peñalver. Contraportada: *Rana pueyoii*, del Mioceno Superior de Libros (Teruel). Cortesía del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza.

Este libro dista mucho de ser el primer catálogo de fósiles en Aragón puesto que hubo varios anteriores, como los debidos a Ezquerria del Bayo (1854), Lucas Mallada (1877-1887 y 1892), José Ramón Bataller (1937-1954), Eladio Liñán (1980), Enric Forner (2010), Luis Alcalá (2010) y el más completo que fue publicado en GEA (Gran Enciclopedia Aragonesa) a principios del presente siglo. Dado que unos no se habían actualizado y otros se habían centrado en grupos de organismos o en periodos geológicos concretos, se consideró interesante y necesario preparar un catálogo que incluyese todas las especies de fósiles descritas por primera vez en Aragón pertenecientes a todos los grupos biológicos y a todos los periodos geológicos.

Esa es la pretensión de esta obra, recopilar todos los taxones fósiles (géneros y especies) que se han definido en Aragón, reunidos por grupos taxonómicos y edades, y presentar un primer análisis de los resultados obtenidos.

UTILIDAD DEL CATÁLOGO

Este catálogo puede servir para: (i) cuantificar parcialmente la paleodiversidad de un territorio durante su historia geológica, (ii) entender mejor cómo ha evolucionado la vida en esta región, (iii) saber cuántas especies se han definido en cada área geográfica o comarca, (iv) saber dónde se depositaron los tipos de cada nueva especie o taxón (v) detectar vacíos en el conocimiento actual de la Paleontología aragonesa y (vi) planificar futuras líneas de trabajo. Consideramos las dos últimas como primordiales, aunque eso dependerá del interés que puedan mostrar los estamentos científicos e investigadores pertinentes.

BASE CONCEPTUAL Y ESTRUCTURA DEL CATÁLOGO

El catálogo se inicia con una breve introducción conceptual de la taxonomía y de la nomenclatura paleontológica; también se detallan los criterios seguidos para considerar aragoneses los diversos taxones fósiles, incluyendo nociones sobre los tipos considerados en los distintos Códigos Internacionales de Nomenclatura, en particular las referidas a holotipos, paratipos y sintipos. En este catálogo se han reunido todos bajo la denominación *paleotipos* dotada de un amplio significado; se ha considerado como *paleotipo* en sentido paleontológico *cualquier ejemplar tipo que soporte la definición de un nuevo taxón de fósil, sea éste un género, un subgénero, una especie, una subespecie...*

Se ha procurado mantener el significado que los diversos autores dieron a los géneros y las especies que establecieron y, en sintonía con ello, se respeta la denominación linneana binomial (o polinomial) original sin considerar interpretaciones ni sinonimias posteriores.

Los criterios que se han estipulado para considerar aragónés un paleotipo son simples:

El holotipo debe proceder de un yacimiento o afloramiento situado dentro del territorio de la Comunidad Autónoma de Aragón. En caso de no haber holotipo, entonces el primer sintipo indicado en el texto debe proceder del territorio aragónés, aunque los Códigos Internacionales de Nomenclatura indiquen que todos los sintipos tienen el mismo valor e importancia.

En lo que se refiere a géneros y subgéneros, la única condición es que la especie tipo debe considerarse aragonesa, según el criterio recién indicado.

El primer paleotipo aragónés data de 1850 y corresponde a un girogonito de carácea, alga de agua dulce, de la especie *Chara aragonensis* Braun *in* Unger, procedente de Libros (Teruel); si bien con criterios menos restrictivos, el primer paleotipo sería *Nummulites spira* De Roisi, 1805, procedente del Valle del Río Ésera (Huesca).

Debemos advertir que el catálogo incluye de forma implícita un hecho clave como es la modificación sustancial que ha sufrido la conceptualización de la Paleontología desde el establecimiento de los primeros nuevos taxones fósiles en territorio aragonés hasta nuestros días, cuyo máximo exponente es el cambio en las ideas dominantes que pasaron, no sin grandes controversias a nivel científico, religioso y social, del paradigma catastrofista-fijista al paradigma evolutivo a partir de la publicación en 1859 de la obra de Darwin *El origen de las especies*.... Este cambio paradigmático supuso también un cambio en la concepción de la especie que, desde Linneo (1758) es la categoría sistemática fundamental. El concepto de especie desde entonces ha estado sometido a continua revisión.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS DATOS

En la primera parte del Catálogo también se aportan datos gráficos sobre la proporción de nuevos taxones de los distintos grupos biológicos respecto del total (Figura 2), o sobre las décadas en las que se establecieron, así como por intervalos de tiempo geológico (Figura 3). También se analizan las causas, tanto de índole geológica-paleontológica como sociales, de la evolución concreta del establecimiento de nuevas especies de fósiles en Aragón desde mediados del s. XIX.

El análisis del gráfico de los paleotipos aragoneses de nivel taxonómico especie o inferior, acumulados por décadas, revela cuatro condiciones que impulsaron de sobremanera la descripción de nuevos taxones: el auge de la minería de carbón en la provincia de Teruel a comienzos de la segunda mitad del siglo XIX; a mediados del siglo XX, el estudio de grupos de organismos concretos por parte de pocos científicos y con incursiones de investigadores europeos; y desde el último cuarto de este siglo, destaca la irrupción de investigadores de universidades y museos españoles, así como el hecho de que la Universidad de Zaragoza añadiera a su programa de estudios la licenciatura en Ciencias Geológicas; finalmente, la creación por parte del Gobierno de Aragón a comienzos del s. XXI, de la Fundación Conjunto Paleontológico Teruel-Dinópolis.

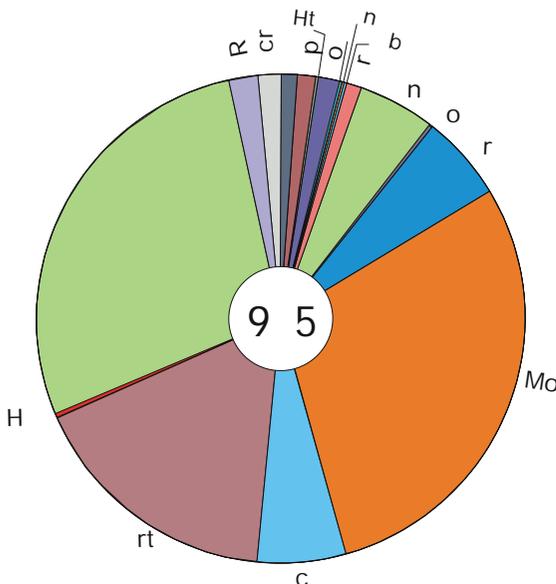


Figura 2. Gráfico circular que muestra la distribución por filos de los paleotipos aragoneses de nivel taxonómico especie o inferior. Acr, Acritarcha. Ch, Charophyta. Sp, Spermatophyta. Ht, Heterokontophyta. Fo, Foraminifera. IS, *Incertae sedis*. An, Annelida. Lb, Lobopodia. Br, Bryozoa. Cn, Cnidaria. Po, Porifera. Br, Brachiopoda. Mo, Mollusca. Ech, Echinodermata. Art, Arthropoda. HCh, Hemichordata. Ch, Chordata. PRT, Icno + ootaxones.

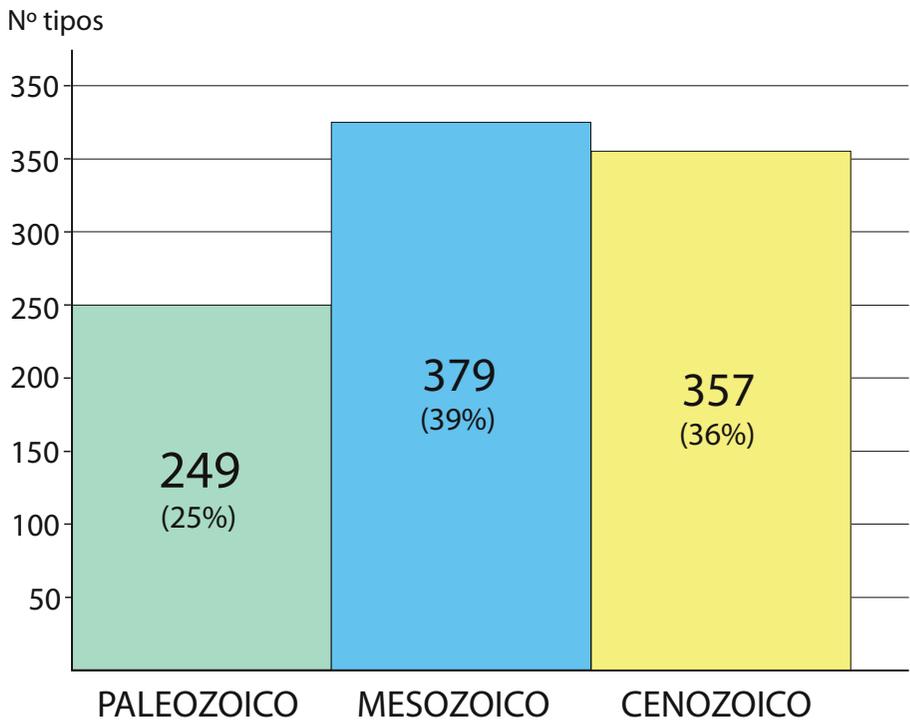


Figura 3. Distribución estratigráfica, por Eras, de los tipos de fósiles aragoneses (especies y subespecies).

El análisis de la distribución de los holotipos aragoneses por provincias nos revela que la provincia de Teruel aglutina más de la mitad de los holotipos, que en la de Zaragoza se definió la cuarta parte de los mismos y que el 17% restante procede de la provincia de Huesca.

En Teruel se han definido la mitad de los foraminíferos, braquiópodos y mamíferos; la mayoría de moluscos y dinosaurios y todos los vegetales e insectos.

En Zaragoza se han establecido la mitad de mamíferos y equinodermos, la mayoría de ostrácodos y trilobites, y todos los briozoos y acritarcos.

Finalmente, el gráfico de distribución estratigráfica de los tipos de fósiles aragoneses, por periodos geológicos indica algunos eventos relevantes como que (i) el Carbonífero es un periodo geológico con rocas muy pobres en restos fósiles y con escasa distribución en Aragón, (ii) el periodo Pérmico tiene un registro paleontológico muy pobre en toda Europa, y Aragón no es una excepción y (iii) el Cretácico destaca por la extraordinaria riqueza y diversidad de sus restos fósiles.

En resumen, la definición de nuevos taxones en Aragón está estrechamente relacionada con su historia geológica, resultando necesario combinar datos geológicos y biológicos para dar respuesta a la abundancia o a la escasez de fósiles en los diferentes periodos geológicos.

La primera parte del Catálogo finaliza con una referencia al depósito de los tipos aragoneses, aunque sin entrar a detallar las instituciones que custodian los restos; lo cual queda ilustrado en sendas figuras con la distribución de paleotipos aragoneses por países europeos y por comunidades autónomas españolas, resultando (a) que 337 de los 985 tipos de las nuevas especies fósiles aragonesas están perdidos o no localizados, (b) que 485 de los 985 paleotipos

se encuentran depositados en instituciones españolas, de los que sólo 236 están en Aragón y (c) que los 163 tipos restantes se depositaron en otras instituciones europeas de cinco países diferentes.

Estos datos constituyen en sí mismos un toque de atención al Gobierno de Aragón, como responsable de una Ley de Patrimonio que es incapaz de hacer cumplir, ni siquiera en lo que se refiere a lo más llamativo del patrimonio paleontológico: los holotipos. Existen muchos que se han establecido con posterioridad a 1985, es decir, después de la entrada en vigor de la ley de patrimonio aragonés que obliga a depositar todo el material paleontológico extraído en instituciones de nuestra comunidad.

LISTADO DE PALEOTIPOS ARAGONESES

La segunda parte del catálogo incluye el listado de todos los taxones fósiles definidos en Aragón del nivel género o inferior.

¿Cómo se presentan los datos correspondientes a los taxones incluidos en el listado?

Todos ellos quedan enmarcados en sus respectivas categorías taxonómicas de mayor nivel como son Dominio, Reino, Filo, Clase y Orden; para una mejor visualización se facilita el siguiente ejemplo:

Dominio Eukarya Margulis y Chapman 2009

Reino Animalia Linnaeus, 1866

Filo Echinodermata Klein, 1734

Clase Rhombifera Zittel, 1879

Orden Glyptocystitida Bather, 1899

Si el taxón definido es de nivel género o subgénero, sus datos se expresan en dos columnas; en la primera se indica con color rojo el nombre del nuevo taxón (género o subgénero) y el nombre del investigador o investigadores que lo establecieron y en la segunda, su especie tipo. Ejemplo:

Dibrachicystis Zamora y Smith, 2011

Dibrachicystis purujoensis

Si el taxón definido es de nivel especie o inferior, sus datos se expresan en tres columnas; en la primera el nombre binomial o polinomial con caracteres rojos y el nombre del investigador o investigadores que lo establecieron, en la segunda, el intervalo geológico en el que apareció; mientras que en la tercera, la localidad tipo. Ejemplo:

Dibrachicystis purujoensis Zamora y Smith, 2011

Cámbrico Medio Purujosa (Z)

En total existen 985 entradas para los taxones de nivel especie o inferior y 145 para los de nivel género o subgénero.

Intercaladas entre las diversas entradas del listado se han colocado fotografías de diversas especies de fósiles aragonesas facilitadas por los investigadores que las definieron (Figura 4).

Al final se añaden dos anejos. En el primero se enumeran algunos nuevos taxones de fósiles aragoneses no incluidos en el catálogo porque se controlaron cuando ya resultaba imposible incluirlos, y un segundo anejo, con los nuevos taxones de fósiles establecidos desde el inicio



Aragocystites belli
Zamora, 2013
Cámbrico Medio de Murero
Cortesía de Samuel Zamora

Figura 4. Reproducción de una de las ilustraciones insertadas en el Catálogo.

del año 2017 hasta la edición del catálogo. Todo ello supone 20 nuevos taxones de nivel especie o inferior y otros 8 de nivel género o subgénero.

Inmediatamente antes del apartado dedicado a la bibliografía consultada, se incluyen los agradecimientos: a todas las personas y entidades que han colaborado de muy diferentes formas en este proyecto: Instituto Geológico y Minero de España, a los lectores críticos y a todos los especialistas en los diferentes grupos taxonómicos, bibliotecarios y aficionados.

La tercera parte del catálogo destinada a las referencias bibliográficas de las 387 publicaciones en las que se han descritos nuevos taxones fósiles en Aragón, además de otras referencias citadas en los textos previos al listado.

AGRADECIMIENTOS

Hasta conseguir la impresión del catálogo, han sido muchos los paleontólogos especialistas de los diferentes grupos taxonómicos y/o conocedores de la paleontología aragonesa los que nos han prestado su ayuda con sugerencias, bibliografía, permitiendo la reproducción de fotografías...; todos ellos están referidos nominalmente en el catálogo y, desde estas líneas, se pretende mostrarles conjunta y anónimamente nuestro agradecimiento. Gracias a ellos la elaboración del listado ha mejorado considerablemente.

Los autores del catálogo expresan desde estas líneas su reconocimiento al Instituto Geológico y Minero de España, personalizado en la Dra. Isabel Rábano, por su interés en este proyecto y por publicarlo dentro de la serie Memorias del Museo Geominero.

Agradecen la financiación de los proyectos Ramón y Cajal (RYC2012-10576) y CGL2013-48877 del Ministerio de Economía y Competitividad de España.

Nos sentimos muy honrados porque la Asociación Cultural Bajo Jalón, y toda la organización de las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología, hayan reservado un hueco en su programación para presentar públicamente el Catálogo de Paleotipos Aragoneses; vaya hacia ellos nuestra gratitud.

REFERENCIAS

Moliner, L. & Zamora, S. 2017. Paleotipos aragoneses: Catálogo de los géneros y especies de fósiles definidos en Aragón (1850-2016). *Cuadernos del Museo Geominero*, 24. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 106 pp.



PROGRAMAS DE LAS JORNADAS ARAGONESAS DE PALEONTOLOGÍA

Organizadas por la Asociación Cultural "Bajo Jalón"

I JORNADAS

«Protección de los espacios naturales»

Ricla, del 10 al 12 de noviembre de 1989

Viernes, 10 de noviembre

La jornada estará dedicada especialmente a la divulgación en el sector infantil y juvenil.

- 11:00 h. Apertura de la Exposición Paleontológica dedicada a fósiles en general, y monográficamente a fósiles aragoneses. Con la colaboración del Museo de Paleontología de la Universidad de Zaragoza y la Asociación Paleontológica Aragonesa (APA).
- 12:00 h. Conferencia: «Aprendamos Paleontología». Prof. Dr. Eladio Liñán, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Zaragoza.
- 13:00 h. Visita programada de colegios a la Exposición.
- 17:00 h. Conferencia: «Fósiles de conservación excepcional». D.^a Beatriz Azanza, Becaria de la Universidad de Zaragoza.

Sábado, 11 de noviembre

Mañana: Continuación de la Exposición.

- 10:00 h. Inauguración oficial de las I Jornadas Aragonesas de Paleontología.
- 10:30 h. Conferencia: «Resultados extraordinarios de la fosilización y desarrollo de la Paleontología». Dr. Sixto Fernández, Profesor Titular de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid.
- 12:00 h. Visita a yacimientos de la comarca. Dirigida por el Dr. Guillermo Meléndez, Profesor Titular de Paleontología de la Universidad de Zaragoza.
- 17:00 h. Mesa Redonda sobre «Espacios protegidos de interés paleontológico». Moderador: D. Juan Antonio del Diego, Presidente de la Asociación Cultural «Bajo Jalón». Con intervención de: Prof. Dr. Antonio Goy, Presidente de la Sociedad Española de Paleontología y Catedrático de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid; Prof. Dr. Eladio Liñán, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Zaragoza; Dr. Agustín Moya, del Museo de Paleontología «Miguel Crusafont» de Sabadell; Dr. José Luis Sanz, director de excavaciones del yacimiento de «Las Hoyas»; D. Justo de Pedro, Jefe del Servicio del Medio Natural de la DGA; D. Ramiro Alloza, Jefe del Servicio de Patrimonio de la DGA; y D. José M.^a Abad, Presidente de la Asociación Paleontológica Aragonesa (APA).

Domingo, 12 de noviembre

Mañana: Continuación de la Exposición.

- 11:00 h. Conferencia: «Evolución y extinción de las especies biológicas». Prof. Dr. Bermudo Meléndez, Catedrático Emérito de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid.
- 12:00 h. Acto de clausura de las I Jornadas.

II JORNADAS

«El Precámbrico y los primeros fósiles»

Ricla, del 8 al 10 de noviembre de 1991

Viernes, 8 de noviembre

La jornada estará dedicada especialmente a la divulgación en el sector infantil y juvenil.

- 13:00 h. Apertura de la Exposición Paleontológica dedicada a fósiles en general, y monográficamente a fósiles de los tiempos precámbricos. Con la colaboración del Museo de Paleontología de la Universidad de Zaragoza y la Asociación Paleontológica Aragonesa (APA). Comisaria de la Muestra: D.^a M.^a José Blanco.
- 17:00 h. Conferencia: «El origen de la vida. Datos paleontológicos». Prof. Dr. Emiliano de Aguirre, Catedrático de Paleontología y Prof. de Investigación del C.S.I.C., Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid.
- 18:00 h. Visita de escolares a la Exposición.

Sábado, 9 de noviembre

- Mañana: Continuación de la Exposición.
- 10:00 h. Inauguración oficial de las II Jornadas.
- 10:30 h. Conferencia: «Las primeras células vegetales». Prof. Dr. Gonzalo Vidal, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Uppsala, Suecia.
- 12:00 h. Didáctica de la Paleontología. Excursión por los alrededores de Ricla. Prof. Dr. Leandro Sequeiros, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Córdoba.
- 17:00 h. Conferencia: «Los fósiles más primitivos de España». Dr. Teodoro Palacios, Profesor Titular de la Universidad de Extremadura.
- 18:00 h. Proyección de vídeos. Coloquio sobre la Paleontología y los primeros pasos de la evolución orgánica.
- 19:30 h. Mesa Redonda sobre «El futuro de las Asociaciones Culturales». Moderador: D. Joaquín de Guerrero, miembro de la Asociación Cultural «Bajo Jalón». Con intervención de ponentes de la Diputación General de Aragón, de la Universidad de Zaragoza y de diversas asociaciones culturales.

Domingo, 10 de noviembre

- Mañana: Continuación de la Exposición.
- 11:00 h. Conferencia: «La Icnología y la aparición de la vida animal». Prof. Dr. Bermudo Meléndez, Catedrático Emérito de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid.
- 12:00 h. Sesión de Clausura. Homenaje al Prof. Dr. Bermudo Meléndez.

Vino de honor.

- 19:00 h. Acto de Clausura de las II Jornadas.

III JORNADAS

«El origen de la humanidad moderna»

Zaragoza, del 20 de septiembre al 7 de noviembre de 1993

Exposición: «Los primeros aragoneses».

Lugar: Espacio Pignatelli.

Comisario: D. José Ignacio Lorenzo.

Ricla, del 12 al 14 de noviembre de 1993

Viernes, 12 de noviembre

La jornada tendrá una dedicación especial a la divulgación en el sector juvenil.

- 12:00 h. Conferencia: «Las raíces de la Humanidad». Dra. Gloria Cuenca, Profesora Titular de Paleontología de la Universidad de Zaragoza.
- 13:00 h. Apertura de la Exposición Paleontológica dedicada al Jurásico de Ricla, y monográficamente a la paleoantropología aragonesa bajo el lema «Los primeros Aragoneses». Comisario de la Muestra: D. José Ignacio Lorenzo, Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza.
- 17:00 h. Visita de escolares a las exposiciones.
- 18:00 h. Taller práctico de limpieza y restauración de fósiles.

Sábado, 13 de noviembre

- Mañana: Continuación de la Exposición.
- 10:00 h. Inauguración oficial de las III Jornadas.
- 10:30 h. Conferencia: «La evolución humana en Europa». Dr. Juan Luis Arsuaga, Prof. Titular de la Universidad Complutense de Madrid.
- 11:30 h. Didáctica de la Paleontología: excursión por los alrededores de Ricla. Prof. Dr. Leandro Sequeiros, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Córdoba.
- Tarde: Continuación de la Exposición.
- 17:00 h. Conferencia: «Los homínidos de Atapuerca y el desarrollo vital en las poblaciones del Pleistoceno Medio de Europa». Dr. José M.^a Bermúdez de Castro, Colaborador Científico del C.S.I.C., Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid.
- 18:00 h. Conferencia: «Las estrategias de supervivencia de los homínidos durante el Paleolítico». Prof. Dra. Pilar Utrilla, Catedrática de Prehistoria de la Universidad de Zaragoza.
- 19:00 h. Mesa redonda sobre «Antropología y Ecología. Perspectiva histórica». Moderador: D. Joaquín de Guerrero, miembro de la Asociación Cultural «Bajo Jalón». Con intervención de ponentes de la Diputación General de Aragón, de la Sociedad Española de Paleontología, de la Universidad de Zaragoza y de diversas asociaciones culturales.

Domingo, 14 de noviembre

- Mañana: Continuación de la Exposición.
- 10:00 h. Conferencia: «La última crisis de diversidad en la evolución humana». Prof. Dr. Emiliano de Aguirre, Catedrático de Paleontología y Prof. de Investigación del C.S.I.C., Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid.
- 12:00 h. Acto de clausura de las III Jornadas. Homenaje al Prof. Dr. Emiliano de Aguirre.
- Vino de honor.
- 19:00 h. Clausura de la Exposición.

IV JORNADAS

«La expansión de la vida en el Cámbrico»

Ricla, del 10 al 12 de noviembre de 1995

Viernes, 10 de noviembre

- 11:00 h. Conferencia: «Introducción al Cámbrico de Aragón». Dr. Rodolfo Gozalo, Profesor Titular de la Universidad de Valencia.
- 13:00 h. Apertura de la Exposición Paleontológica, dedicada al Jurásico de Ricla y al Cámbrico de Aragón. Comisario de la Muestra: Dr. José Ignacio Canudo, Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza.
- 16:30 h. Inauguración oficial de las IV Jornadas.
- 17:00 h. Conferencia: «Los ecosistemas marinos del Cámbrico». Prof. Dr. Eladio Liñán, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Zaragoza.

18:00 h. Conferencia: «El bioma arrecifal del Cámbrico». Dr. Antonio Perejón, Colaborador Científico del Instituto de Geología Económica (C.S.I.C. y Universidad Complutense de Madrid).

19:00 h. Conferencia: «El plancton marino». Dr. Teodoro Palacios, Profesor Titular de la Universidad de Extremadura.

Sábado, 11 de noviembre

08:30 h. Didáctica de la Paleontología: Excursión al Cámbrico de Murero. Prof. Dr. Leandro Sequeiros, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Córdoba; Prof. Dr. Eladio Liñán, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Zaragoza; Dr. Rodolfo Gozalo, Profesor Titular de la Universidad de Valencia.

17:00 h. Conferencias: «El significado de la escasez de fósiles arcaicos». Prof. Dr. Bermudo Meléndez, Catedrático Emérito de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid. «Épocas glaciares en la historia de la Tierra: eventos biológicos y factores geodinámicos relacionados». Prof. Dr. Emiliano de Aguirre, Catedrático de Paleontología y Prof. de Investigación del C.S.I.C., Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. «Eventos de extinción en el Jurásico». Prof. Dr. Antonio Goy, Catedrático de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid.

19:30 h. Mesa redonda: «Cambios paleogeográficos y paleontológicos a través del tiempo». Moderador: D. Joaquín de Guerrero, miembro de la Asociación Cultural «Bajo Jalón». Con la intervención de los profesores Bermudo Meléndez, Emiliano de Aguirre y Antonio Goy.

Domingo, 12 de noviembre

11:00 h. Conferencia: «Acerca del conocimiento actual del Sistema Cámbrico». Prof. Dr. Klaus Sdzuy, Catedrático de la Universidad de Würzburg, Alemania.

12:00 h. Acto de Clausura de las IV Jornadas. Homenaje al Prof. Dr. Klaus Sdzuy.

Vino de honor.

19:00 h. Clausura de la Exposición.

V JORNADAS

«Vida y ambientes del Jurásico»

Ricla, del 7 al 9 de noviembre de 1997

Pre-Jornadas, del 3 al 6 de noviembre

Diversos actos académicos y culturales en la comarca del Bajo Jalón, especialmente orientados a los escolares.

Incluyen la Exposición Paleontológica titulada «Fósiles jurásicos». Comisario de la Muestra: Dr. José Ignacio Canudo, Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza.

Jornadas

Viernes, 7 de noviembre

10:30 h. Conferencia: «Ambientes sedimentarios y ecosistemas del Jurásico de la Cordillera Ibérica». Dr. Guillermo Meléndez, Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza.

11:30 h. Conferencia: «Dinosaurios del tránsito Jurásico-Cretácico en Aragón». Dra. Gloria Cuenca, Profesora Titular de la Universidad de Zaragoza.

13:00 h. Inauguración oficial de las V Jornadas.

16:30 h. Conferencia: «Ammonites del Jurásico Inferior de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica». Prof. Dr. Antonio Goy, Catedrático de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid.

17:30 h. Mesa redonda: «Procesos de formación de los fósiles jurásicos». Ponentes: Prof. Dr. Bermudo Meléndez, Catedrático Emérito de Paleontología de la Universidad Complutense

de Madrid, y Dr. Sixto Fernández, Profesor Titular de la Universidad Complutense de Madrid.

- 19:30 h. Conferencia: «La superficie del planeta y el clima en los tiempos jurásicos». Prof. Dr. Emiliano de Aguirre, Catedrático de Paleontología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Universidad Complutense de Madrid.

Sábado, 8 de noviembre

- 08:00 h. Didáctica de la Paleontología. Excursión al Jurásico de la provincia de Zaragoza. Dr. Guillermo Meléndez, Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza; Dra. Gemma Martínez, Profesora Titular de la Universidad Complutense de Madrid; y Prof. Dr. Leandro Sequeros, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Córdoba.
- 17:00 h. Conferencia: «Interpretaciones ecostratigráficas. Aplicaciones a los materiales del Jurásico Superior». Dr. Federico Olóriz, Profesor Titular de la Universidad de Granada.
- 18:00 h. Mesa redonda: «Yacimientos paleontológicos y desarrollo rural». Moderador: D. Joaquín Lahoz, Vicepresidente de la Asociación Cultural «Bajo Jalón». Con representantes del Gobierno de Aragón, municipios, asociaciones culturales y universidad.
- 19:30 h. Conferencia: «Yacimientos de bivalvos jurásicos en facies pelágicas». Prof. Dr. Pascual Rivas, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Granada.

Domingo, 9 de noviembre

- 11:00 h. Conferencia: «Las grandes extinciones en la historia de la vida». Prof. Dra. Asunción Linares, Catedrática Emérita de Paleontología de la Universidad de Granada.
- 12:00 h. Sesión de Clausura de las V Jornadas. Homenajes a la Prof. Dra. Asunción Linares, Catedrática Emérita de Paleontología de Paleontología de la Universidad de Granada, y a don Juan Alfaro, Académico de la Real Academia de BB. AA. de San Luis, ex Director General Adjunto de Ibercaja.
- 19:00 h. Clausura de la Exposición.

VI JORNADAS

«25 años de Paleontología Aragonesa»

Ricla, del 12 al 14 de noviembre de 1999

Pre-Jornadas

Diversos actos académicos y culturales en la comarca del Bajo Jalón.

Reunión científica de la Sociedad Paleobotánica de Francia en Zaragoza y Ricla (del 12 al 14 de noviembre de 1999).

Exposición Paleontológica: «Fósiles de Aragón». Comisaría de la Muestra: Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza. Inauguración: jueves, 11 de noviembre.

Jornadas

Viernes, 12 de noviembre

Mañana: Continuación de la Exposición «Fósiles de Aragón».

09:00 h. Entrega de la documentación a los participantes.

10:00 h. Conferencia: «El Cámbrico y sus fósiles». Dr. Klaus Szduy, Catedrático de la Universidad de Würzburg, Alemania.

11:00 h. Mesa Redonda: «La enseñanza de la Paleontología». Ponencia: Dra. Asunción Linares (Catedrática Emérita de Paleontología de la Universidad de Granada). Con la participación de los doctores Enrique Villas (Prof. Titular, Universidad de Zaragoza), Teodoro Palacios (Prof. Titular, Universidad de Extremadura) y José Ignacio Valenzuela (Prof. Ayudante, Universidad de Valencia), y un representante de alumnos.

12:00 h. Conferencia: «El Devónico y sus fósiles». Prof. Dr. Peter Carls, Catedrático de la Universidad de Braunschweig, Alemania.

13:00 h. Inauguración oficial de las VI Jornadas. Entrega de distinciones a los Hnos. de La Salle Rafael Adrover y Emilio Castro.

- 16:00 h. Conferencia: «El Jurásico Inferior y sus fósiles». Prof. Dr. Antonio Goy, Catedrático de la Universidad Complutense de Madrid.
- 16:45 h. Conferencia: «Los microfósiles del Cretácico-Terciario». Dr. Eustoquio Molina, Prof. Titular de la Universidad de Zaragoza.
- 17:30 h. Conferencia: «Las pistas fósiles». Dr. Eduardo Mayoral, Prof. Titular de la Universidad de Huelva.
- 18:15 h. Pausa.
- 18:30 h. Mesa redonda: «La investigación paleontológica en Aragón». Ponencia: Prof. Dr. Emiliano Aguirre (Catedrático y Premio Príncipe de Asturias). Con la participación de los doctores Gloria Cuenca (Prof. Titular de la Universidad de Zaragoza), Javier Ferrer (Prof. Titular de la Universidad de Zaragoza), Beatriz Azanza (Prof. Ayudante de la Universidad de Zaragoza) y José Antonio Gámez (Prof. Ayudante de la Universidad de Extremadura).
- 20:00 h. Actos sociales.
- Sábado, 13 de noviembre
- Mañana: Continuación de la Exposición «Fósiles de Aragón».
- 08:30 h. Excursión didáctica a Belchite. Dirigida por los doctores Guillermo Meléndez (Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza), Sixto Fernández y Gemma Martínez (Profesores Titulares de la Universidad Complutense).
- 17:00 h. Conferencia: «La paleontología en España. El caso de Aragón». Prof. Dr. Pascual Rivas, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Granada.
- 18:00 h. Conferencia: «Los primeros paleontólogos aragoneses». Dr. Rodolfo Gozalo, Prof. Titular de la Universidad de Valencia.
- 18:30 h. Conferencia: «Aragoneses en la Real Sociedad Española de Historia Natural». Dr. Antonio Perejón, Universidad Complutense y Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Secretario General de la Real Sociedad Española de Historia Natural.
- 19:00 h. Mesa redonda: «El Patrimonio Paleontológico y el desarrollo rural». Moderador: D. Joaquín Lahoz (Pte. del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Delegación en Aragón). Intervenirán representantes de la Diputación General de Aragón, Ayuntamientos, Asociaciones Culturales e Instituto Aragonés de Fomento.
- 20:00 h. Actos sociales.
- Domingo, 14 de noviembre
- Mañana: Continuación de la Exposición «Fósiles de Aragón».
- 11:00 h. Conferencia: «Los comienzos de la Paleontología en la Universidad de Zaragoza». Prof. Dr. Leandro Sequeiros, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Granada.
- 12:00 h. Sesión de Clausura de las VI Jornadas. Homenaje al Prof. Leandro Sequeiros.
- 13:00 h. Vino de honor.
- 19:00 h. Clausura de la Exposición.

VII JORNADAS

«La Era Paleozoica. El desarrollo de la vida marina»

Ricla, del 9 al 11 de noviembre de 2001

Pre-Jornadas

Diversos actos académicos y culturales en la comarca del Bajo Jalón.

Exposición Paleontológica: «Fósiles paleozoicos de Aragón». Comisaria de la muestra: D.^a María Eugenia Dies Álvarez (Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza). Lugar: Casa de Cultura de Ricla. Inauguración: jueves, 8 de noviembre.

Jornadas

Viernes, 9 de noviembre

- Mañana: Continuación de la Exposición «Fósiles paleozoicos de Aragón».
- 09:00 h. Entrega de la documentación a los participantes.
- 10:00 h. Conferencia: «Las sucesiones de arqueociatos del Cámbrico de España». Dr. Antonio Perejón Rincón, Científico Titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)-Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- 11:00 h. Conferencia: «Fósiles y Paleogeografía del Ordovício». Dr. Enrique Villas Pedruelo, Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza.
- 12:00 h. Conferencia: «Fósiles del Silúrico español». Dr. Juan Carlos Gutiérrez Marco, Científico Titular del CSIC-UCM.
- 13:00 h. Inauguración oficial de las VII Jornadas.
- 17:00 h. Conferencia: «Extinciones masivas en el Devónico». Prof. Dr. Jenaro Luis García-Alcalde Fernández, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Oviedo; Dr. Miguel Arbizu Senosiain y Dra. Montserrat Truyols Massoni, Profesores Titulares de La Universidad de Oviedo.
- 18:00 h. Conferencia: «Evidencias de bioerosión en fósiles marinos del Paleozoico». Dr. Eduardo Jesús Mayoral Alfaro, Profesor Titular de la Universidad de Huelva.
- 19:00 h. Conferencia: «Los arrecifes devónicos de la Cordillera Cantábrica (Noroeste de España)». Dra. Isabel Méndez Bedia y Dr. Francisco Manuel Soto Fernández, Profesores Titulares de la Universidad de Oviedo, y Dra. Esperanza Macarena Fernández Martínez, Profesora Titular de la Universidad de León.

Sábado, 10 de noviembre

- 08:30 h. Excursión: «El Devónico Superior de Tabuenca». Dirigida por Dr. Rodolfo Gozalo Gutiérrez, Profesor Titular de la Universidad de Valencia, Prof. Dr. Peter Carls, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Braunschweig (Alemania), Dr. José Ignacio Valenzuela Ríos, Profesor Titular de la Universidad de Valencia, y Dr. Miguel Vicente Pardo Alonso, Profesor Asociado de la Universidad de Valencia.
- 17:00 h. Conferencia y coloquio-sesión de vídeos paleontológicos: Los fósiles «hablan»: ¿Qué aporta la Paleontología al conocimiento del planeta Tierra? Prof. Dr. Leandro Sequeiros San Román, Catedrático de la Universidad de Granada.
- 18:00 h. Conferencia: «Introducción a la Paleontología del Carbonífero marino de la Cordillera Cantábrica». Prof. Dr. Luis Carlos Sánchez de Posada, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Oviedo; Dra. María Luisa Martínez Chacón, Dra. Elisa Villa Otero y Dr. Carlos Méndez Fernández, Profesores Titulares de la Universidad de Oviedo.
- 19:00 h. Mesa redonda: «Los Museos de Ciencias Naturales y las colecciones universitarias». Participantes: Prof. Dr. Emiliano de Aguirre Enríquez, Académico y Premio Príncipe de Asturias, Prof. Dr. Pascual Rivas Carrera, Catedrático de Paleontología de la Universidad de Granada y Presidente de la Sociedad Española de Paleontología, Prof. Dr. Antonio Goy Goy, Catedrático de Paleontología de la UCM; Directores de museos, representantes de las administraciones y coleccionistas.
- 20:00 h. Actos sociales. Distinciones a los alcaldes de Épila, La Almunia de Doña Godina, Calatorao, Morata de Jalón, Riela y a D. Pablo Muñoz, geólogo y miembro de la APN.

Domingo, 11 de noviembre

- 11:00 h. Conferencia: «De Cataluña a Asturias pasando por Aragón. Vivencias de un paleontólogo». Prof. Dr. Jaime Truyols Santonja, Catedrático Emérito honorífico de la Universidad de Oviedo.
- 12:00 h. Sesión de clausura de las VII Jornadas. Homenaje al Prof. Jaime Truyols Santonja.
- 13:00 h. Vino de honor.
- 19:00 h. Clausura de la muestra.

VIII JORNADAS

«La cooperación internacional en la Paleontología española»

Ricla, del 7 al 9 de noviembre de 2003

Pre-Jornadas Escolares

Diversos actos académicos y culturales en la Comarca de Valdejalón.

Exposición Paleontológica: «El Jurásico de Ricla». Comisaria de la muestra: D.^a Isabel Pérez Urresti.
Lugar: Casa de Cultura de Ricla. Inauguración: miércoles, 5 de noviembre.

Jornadas

Viernes, 7 de noviembre

La contribución científica internacional en el Paleozoico español.

Mañana: Continuación de la Exposición «El Jurásico de Ricla».

09:00 h. Entrega de la documentación a los participantes.

10:00 h. Conferencia: «La cooperación en el Paleozoico del norte de España y los nuevos hallazgos en el Carbonífero». Prof. Dr. Luis Carlos Sánchez de Posada, Catedrático de la Universidad de Oviedo.

10:45 h. Conferencia: «El marco de la cooperación y los nuevos hallazgos en el Ordovícico de Aragón». Dr. Enrique Villas Pedruelo, Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza.

11:30 h. Conferencia: «El marco de la cooperación y los nuevos hallazgos de braquiópodos en el Carbonífero marino de España». Dra. María Luisa Martínez Chacón, Profesora Titular de la Universidad de Oviedo, y Dr. Cornelis Winkler Prins, Jefe del Departamento de Paleontología del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Holanda, Leiden.

13:00 h. Inauguración oficial de las VIII Jornadas.

16:00 h. Conferencia: «¿Qué podemos saber del pasado geológico de Ricla? Nicolás Steno y los principios metodológicos de la geología». Prof. Dr. Leandro Sequeiros San Román, Catedrático de la Universidad de Granada y Academia de Ciencias de Zaragoza.

16:30 h. Conferencia: «Los naturalistas extranjeros en la Real Sociedad Española de Historia Natural y las actuaciones de ésta en la cooperación científica internacional». Dr. Antonio Perejón Rincón, Científico Titular del C.S.I.C.-Universidad Complutense y Secretario de la Real Sociedad Española de Historia Natural.

17:00 h. Conferencia: «El marco de la cooperación y los nuevos hallazgos en el Carbonífero continental de España». Dr. Roberto Wagner, Director del Museo Paleobotánico del Jardín Botánico de la Universidad de Córdoba-Excmo. Ayuntamiento.

17:45 h. Pausa.

18:15 h. Conferencia: «El marco de la cooperación y los nuevos hallazgos en el Mesozoico de Aragón». Prof. Dr. Antonio Goy Goy, Catedrático de la Universidad Complutense de Madrid y Director del Departamento de Paleontología.

19:00 h. Conferencia: «Evolución de la Paleontología en los centros universitarios del sur de España y su integración en el marco internacional». Prof. Dr. Pascual Rivas Carrera, Catedrático de la Universidad de Granada.

20:00 h. Actos sociales.

Sábado, 8 de noviembre

08:30 h. Excursión: «El Jurásico de Ricla-La Almunia de D.^a Godina». Prof. Dr. Leandro Sequeiros San Román, Catedrático de la Universidad de Granada. Prof. Dr. Sixto Fernández López, Catedrático de la Universidad Complutense de Madrid. Dr. Guillermo Meléndez Hevia, Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza. Dra. Gemma Martínez Gutiérrez, Profesora Titular de la Universidad Complutense de Madrid.

17:00 h. Conferencia: «El marco de la cooperación internacional y los nuevos hallazgos en el Terciario continental de Aragón». Dr. Matthijs Freudenthal, Profesor Titular de la Universidad de Granada.

- 17:45 h. Conferencia: «Marcos de cooperación internacional y nuevos hallazgos en el Cuaternario español». Prof. Emiliano de Aguirre Enríquez, Académico y Premio Príncipe de Asturias 1997 a la Investigación Científica y Técnica.
- 18:30 h. Glosa in memoriam de los doctores Remmert Daams, Otto F. Geyer y Wolfgang Hammann, investigadores de la Paleontología en Aragón.
- 19:00 h. Mesa redonda: «La Paleontología aragonesa». Moderador: Dr. José Ignacio Valenzuela Ríos, Profesor Titular de la Universidad de Valencia. Participantes: un representante de la Administración autonómica; Dr. Enrique Gil Bazán, Profesor de Educación Secundaria del I.E.S. «María Moliner» de Zaragoza; D. Santiago Narimán Sanz, miembro de la Asociación Paleontológica Aragonesa (APA); y D. Jorge Ferrer García, estudiante de Ciencias Geológicas de la Universidad de Zaragoza.
- 20:00 h. Actos sociales. Distinciones a D. Eladio Alfonso López García (ex Alcalde del Excmo. Ayuntamiento de Ricla), al periódico «La Crónica de Valdejalón», a la Asociación Paleontológica Aragonesa (APA) y a la Sociedad de Amigos del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza (SAMPUZ).
- Domingo, 9 de noviembre
- 11:00 h. Conferencia: «Vivencias de un geólogo en el Aragón del siglo XX». Prof. Dr. Peter Carls, Catedrático de la Universidad de Braunschweig (Alemania).
- 12:00 h. Sesión de Clausura de las VIII Jornadas. Homenaje al Prof. Dr. Peter Carls.
- 13:00 h. Vino de honor.
- 19:00 h. Clausura de la muestra.

IX JORNADAS

«La vida y los ambientes sedimentarios en el Periodo Cretácico»

Ricla, del 11 al 13 de noviembre de 2005

Pre-Jornadas Escolares

Diversos actos académicos y culturales en la Comarca de Valdejalón. Coordinadoras: D.^a Diana Ramón del Río, D.^a María Ángeles Galindo Pellicena y D.^a Penélope Cruzado-Caballero, Área de Paleontología, Universidad de Zaragoza.

Exposición Paleontológica: «Lo que nos cuentan los fósiles». Comisarios de la muestra: D. Samuel Zamora Iranzo y D. Luis Miguel Sender, Área de Paleontología, Universidad de Zaragoza. Colabora: Jorge Colás Gracia. Lugar: Casa de Cultura de Ricla. Inauguración: jueves, 9 de noviembre.

Jornadas

Viernes, 11 de noviembre

- Mañana: Continuación de la Exposición «Lo que nos cuentan los fósiles».
- 09:00 h. Entrega de la documentación a los asistentes. Secretaría: Casa de la Cultura.
- 10:00 h. Conferencia inaugural: «Cretácico: tiempo de órdagos evolutivos». Prof. Dr. Emiliano de Aguirre Enríquez. Catedrático de Paleontología; Profesor de Investigación del CSIC.
- 11:00 h. Conferencia: «El yacimiento cretácico de Las Hoyas y los restos fósiles de aves». Prof. Dr. José Luis Sanz García. Catedrático de Paleontología, Universidad Autónoma de Madrid.
- 12:00 h. Conferencia: «El paisaje vegetal del Cretácico Inferior de la Cordillera Ibérica». Dr. Carles Martín i Closas. Profesor Titular de Paleontología, Universidad de Barcelona.
- 13:00 h. Inauguración oficial de las IX Jornadas.
- 16:30 h. Conferencia: «Los ambientes marinos del Cretácico del Pirineo». Dr. José María Pons. Profesor Titular de Paleontología, Universidad Autónoma de Barcelona.
- 17:15 h. Conferencia: «Ambientes cretácicos en la Cordillera Ibérica: el Parque Geológico de Aliaga». Dr. José Luis Simón Gómez, Profesor Titular de Geodinámica Interna, Universidad de Zaragoza.

- 18:00 h. Conferencia: «Yacimientos de ámbar en el Cretácico Inferior de la Cuenca Vasco-Cantábrica (Álava)». Dr. Jesús Alonso Ramírez, Director del Museo de Historia Natural de Álava, y Jacek Wierzchos, Jefe del Servicio de Microscopía Electrónica, Universidad de Lérica.
- 19:00 h. Conferencia: «El cráter de Chicxulub: anatomía de un asesinato en el último día del Cretácico». Dr. José Antonio Arz Sola, Profesor Titular de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 19:45 h. Mesa Redonda: «La Protección, Divulgación y Gestión del Patrimonio Geológico y Paleontológico: Algunos enfoques posibles». Moderador: Joaquín Guerrero, Asociación Cultural «Bajo Jalón». Participantes: D. Jesús Isla, Presidente de la Comarca de Valdejalón; D. José Antonio Andrés Moreno, Técnico de Patrimonio (Paleontología), Dirección General de Cultura (Gobierno de Aragón); D. Joaquín Lahoz Gimeno, Presidente del Colegio de Geólogos en Aragón y de la Asociación Cultural «Bajo Jalón»; Dr. José María Mata Porelló, Presidente de la Sociedad para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero (SEDP-GYM); Dr. Alfonso Meléndez Hevia, Presidente de la Sociedad Geológica de España; y D. Matthias Geyer, Presidente de la Asociación de la Casa de la Geología, Sentheim, Francia.

Sábado, 12 de noviembre

- 07:30 h. Excursión: «La "Ruta de las Icnitas" de dinosaurio de Soria. Una excursión a los comienzos del Cretácico». Directores: D. José Luis Barco, Paleoymás, y Área de Paleontología, Universidad de Zaragoza. D. José Ignacio Ruiz-Omeñaca, Área de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 17:30 h. Conferencia: «El final del Cretácico y la extinción de los dinosaurios: los yacimientos de Arén (Huesca)». Dr. José Ignacio Canudo. Profesor Titular de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 18:15 h. Conferencia: «El límite K-T y la Extinción de los Ammonites». Dr. Guillermo Meléndez Hevia. Profesor Titular de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 19:15 h. Mesa redonda: «La Enseñanza de la Paleontología en los Planes de Estudio (¿Qué Paleontología conviene enseñar?)». Moderador: Dr. Alfonso Meléndez Hevia, Profesor Titular de Estratigrafía y Director del Depto. de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza. Participantes: Dr. Antonio Perejón Rincón, Investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Geología Económica-UCM; Prof. Dr. Antonio Goy Goy, Catedrático de Paleontología, Universidad Complutense, Madrid; Dra. Amelia Calonge García, Vicepresidenta de la Asociación para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT); D.^a Leonor Carrillo Vigil, Catedrática de Enseñanza Secundaria (Ciencias Naturales) de I.E.S., Zaragoza; y Dr. Guillermo Meléndez Hevia, Profesor Titular de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 20:30 h. Actos sociales y entrega de distinciones.

Domingo, 13 de noviembre

- 10:00 h. Visita guiada a la exposición: «Lo que nos dicen los fósiles». Lugar: Casa de la Cultura de Ricla. Directores: D. Samuel Zamora Iranzo, D. Luis Miguel Sender Palomar, D.^a Diana Ramón del Río, D.^a María Ángeles Galindo Pellicena, D.^a Penélope Cruzado-Caballero y D. Jorge Colás Gracia; Área de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 11:00 h. Conferencia de clausura: «Nuevas tecnologías aplicadas al estudio de los fósiles: la interpretación paleobiológica de los organismos». Dr. Patricio Domínguez Alonso. Depto. de Paleontología, Universidad Complutense, Madrid.
- 12:00 h. Sesión de Clausura de las IX Jornadas. Homenaje al Prof. Emiliano Jiménez.
- 13:00 h. Vino de honor. Entrega de distinciones.
- 19:00 h. Clausura de la muestra.

X JORNADAS

«La vida en el Terciario: del impacto del meteorito al origen del hombre»

Ricla, del 11 al 13 de abril de 2008

Viernes, 11 de abril

- 9.00 h. Entrega de la documentación a los participantes. Secretaría: Casa de la Cultura.

- 10.30 h. Conferencia Inaugural: «Patrimonio paleontológico de las cuencas terciarias de Aragón». Dr. Guillermo Meléndez Hevia, Prof. Titular de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 12.00 h. Conferencia: «Astrobiocronología, ciclos astronómicos y clima de la península ibérica durante el Neógeno superior». Dr. Francisco Sierro Sánchez, Catedrático de la Universidad de Salamanca.
- 13.00 h. Inauguración oficial de las X Jornadas.
- 17.00 h. Conferencia: «El Terciario de la Cuenca del Tajo». Dr. Jorge Morales Romero, Científico Titular del CSIC.
- 18.00 h. Conferencia: «El Terciario continental de Aragón». Dr. Matías Freudenthal, Profesor Titular de la Universidad de Granada.
- 19.00 h. Mesa Redonda: «Patrimonio Geológico y Paleontológico». Moderador: D. José Antonio Andrés, Técnico Superior de Patrimonio (Paleontología), Gobierno de Aragón. Participantes: Dr. Guillermo Meléndez, Profesor Titular de Paleontología de la Universidad de Zaragoza; Prof. José Luis Simón, Catedrático de Geodinámica Interna de la Universidad de Zaragoza; D. Francisco Alonso, geólogo; y D. Pablo Muñoz, geólogo.

Sábado, 12 de abril

- 7.30 h. Excursión: «Visita al yacimiento de Ambrona (Soria)». Directores: Dr. Alfredo Pérez González, Catedrático, Univ. Complutense de Madrid, y Dr. Manuel Santonja Gómez, arqueólogo, Museo Arqueológico Regional de la Comunidad de Madrid, Alcalá de Henares.
- 18.00 h. Conferencia: «Etapas y causas de la sexta extinción en masa». Prof. Dr. Eustoquio Molina Martínez, Catedrático de Paleontología, Universidad de Zaragoza.
- 19.00 h. Conferencia: «La Paleontología en Aragón: Los fósiles como valor patrimonial e instrumento didáctico». Dr. Enrique Gil Bazán, Catedrático de I.E.S. de Zaragoza.
- 20.00 h. Actos Sociales. Entrega de distinciones: D. Jesús Isla, Presidente de la Comarca de Valdejalón; Dr. Heinz Hufnagel, Doctor en Geología; Dr. Javier Callizo Soneiro, Viceconsejero de Turismo del Gobierno de Aragón; D. José M.ª Maza Maza, responsable de las Pre-Jornadas; y Fedivalca.
- 21.00 h. Actuación de la coral de Ricla.

Domingo, 13 de abril

- 10.00 h. Visita guiada a la exposición: «Una visión sobre la evolución humana». Lugar: Casa de la Cultura de Ricla. Dirección: Área de Paleontología de la Universidad de Zaragoza.
- 11.00 h. Conferencia de Clausura: «Glosa de Emiliano Aguirre». Prof. Dr. Leandro Sequeiros. Depto. de Teología, Universidad de Granada.
- 12.00 h. Sesión de Clausura de las X Jornadas. Homenaje a Emiliano Aguirre. Entrega de distinciones: Prof. Dr. José María Bermúdez de Castro, Profesor de Investigación del CSIC, Museo Nacional de Ciencias Naturales; Prof. Dr. Eudald Carbonell, Catedrático de la Universidad Rovira i Virgili; Dr. Robert Salá, Prof. de Prehistoria, Universidad Rovira i Virgili; y Dr. Matías Freudenthal, Profesor Titular de la Universidad de Granada.
- 14.00 h. Vino Aragonés. Jotas.
- 19.00 h. Cierre de la muestra.

XI JORNADAS

«La Paleontología en los museos»

Ricla, del 1 al 3 de octubre de 2010

Pre-Jornadas Escolares, el 29 y 30 de septiembre

Diversos actos académicos y culturales en la Comarca de Valdejalón.

Jornadas

Viernes, 1 de octubre

Inauguración de la exposición: «Fósiles de conservación excepcional». Comisario de la muestra: D. Jorge Colás Gracia. Lugar: Nuevo Ambulatorio de Ricla.

- 09:00 h. Entrega de la documentación a los participantes. Secretaría: Nuevo ambulatorio de Ricla.
- 09:45 h. Presentación de las Jornadas. Prof. Dr. Pascual Rivas Carrera, Catedrático de la Universidad de Granada. Lugar: Hogar del Jubilado de Ricla.
- 10:00 h. Conferencia: «La Paleontología en los museos universitarios». Dr. José Ignacio Valenzuela Ríos, Director del Departamento y del Museo de Geología de la Universitat de València.
- 11:00 h. Mesa redonda: «Los museos de Paleontología». Moderador: Prof. Emiliano de Aguirre Enríquez, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid. Participantes: Dirección General de Patrimonio Cultural del Gobierno de Aragón; Dr. Roberto Wagner, Director del Museo de Paleobotánica del Jardín Botánico de Córdoba; Dr. Félix Pérez Lorente, Director Científico del Centro de Interpretación de Paleontología de Enciso, La Rioja; y Dr. Angel Galobart Lorente, Jefe del Grupo de Investigación del Mesozoico, Institut Català de Paleontologia, Sabadell.
- 13:00 h. Inauguración oficial de las XI Jornadas Aragonesas de Paleontología.
- 17:00 h. Conferencia: «La Paleontología en los museos históricos». Dra. Isabel Rábano Gutiérrez del Arroyo, Directora del Museo Geominero, Madrid.
- 18:00 h. Conferencia: «La Paleontología en los museos de ciencias naturales». Dr. Jesús Alonso Ramírez, Director del Museo de Ciencias Naturales de Álava.
- 19:00 h. Conferencia: «La Paleontología en los museos gestionados por entidades privadas». Prof. Paul Palmqvist Barrena, Catedrático de la Universidad de Málaga y Asesor Científico de Art Natura Málaga.

Sábado, 2 de octubre

- 08:00 h. Excursión: «El Cámbrico de Murero (prov. de Zaragoza)». Prof. Eladio Liñán Guijarro, Catedrático de la Universidad de Zaragoza; Dr. Rodolfo Gozalo Gutiérrez, Profesor Titular de la Universitat de València; Dr. José Antonio Gámez Vintaned, Investigador «Juan de la Cierva» de la Universitat de València.
- 17:00 h. Conferencia: «Las asociaciones de amigos de los museos de ciencias naturales». Sociedad de Amigos del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza (SAMPUZ).
- 18:00 h. Mesa Redonda: «Museos paleontológicos gestionados por entidades locales». Moderador: Dr. Antonio Perejón Rincón, Investigador del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, UCM, Madrid. Participantes: Prof. Pascual Rivas Carrera, Catedrático de la Universidad de Granada; Dra. Ángela Delgado Buscalioni, Profesora Titular de la Universidad Autónoma de Madrid; Dr. Fernando Muñiz Guinea, Coordinador Científico del Centro Provincial de Interpretación Paleontológica Ciudad de Lepe, Lepe (Huelva); y D. Fidel Torcida Fernández-Baldor, Director del Museo de Dinosaurios de Salas de los Infantes (Burgos).
- 19:30 h. Actos sociales y entrega de distinciones a: Prof. Manuel José López Pérez, Excmo. Rector Magnífico de la Universidad de Zaragoza; D.^a María Victoria Broto Cosculluela, Consejera de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno de Aragón; Prof. Leandro Sequeiros San Román, Catedrático de Paleontología en excedencia; y D.^a Trinidad Navarro Ayarza, vecina decana de Ricla.
- 20:30 h. Actuación de la coral de Ricla.

Domingo, 3 de octubre

- 10:00 h. Visita guiada a la Exposición.
- 11:00 h. «Glosa científica del Prof. Eladio Liñán Guijarro». Dr. Rodolfo Gozalo Gutiérrez, Profesor Titular de la Universitat de València.
- 11:15 h. Conferencia: «25 años del Museo Paleontológico de la Universidad de Zaragoza». Prof. Eladio Liñán Guijarro, Catedrático de la Universidad de Zaragoza.
- 12:00 h. Homenaje al Prof. Eladio Liñán Guijarro. Sesión de clausura de las XI Jornadas.
- 14:00 h. Vino de honor.
- 19:00 h. Clausura de la exposición.

XII JORNADAS

«Yacimientos excepcionales»

Ricla, del 19 al 21 de abril de 2013

Pre-Jornadas Escolares, el 17 y 18 de abril

Diversos actos académicos y culturales en la Comarca de Valdejalón.

Jornadas

Viernes, 19 de abril

Inauguración de la exposición «Trilobites del mundo». Comisario de la muestra: Dr. José Antonio Gámez Vintaned. Lugar: Nuevo Ambulatorio de Ricla.

09:00 h. Entrega de la documentación a los participantes. Secretaría: Dra. Davinia Moreno García. Nuevo Ambulatorio de Ricla.

10:45 h. Presentación de las Jornadas. Dr. José Antonio Gámez Vintaned, investigador de la Universidad de Zaragoza. Lugar: Hogar del Jubilado de Ricla.

11:00 h. Conferencia: «La biota cámbrica de Murero». Dr. Eladio Liñán Guijarro, Catedrático Emérito de la Universidad de Zaragoza, y Dr. Rodolfo Gozalo Gutiérrez, Profesor Titular de la Universitat de València.

12:00 h. Conferencia: «Graptolitos con preservación tridimensional en el Silúrico centroibérico». Dr. Juan Carlos Gutiérrez Marco, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Madrid.

13:00 h. Inauguración oficial de las XII Jornadas Aragonesas de Paleontología.

17:00 h. Conferencia: «Yacimientos excepcionales de trilobites del Ordovícico ibérico». Dra. Isabel Rábano Gutiérrez del Arroyo, Directora del Museo Geominero (IGME), Madrid.

18:00 h. Conferencia: «Registro excepcional de arqueociatos en los mares de Iberia». Dra. Elena Moreno-Eiris, Profesora Titular de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), y Dra. Silvia Menéndez Carrasco, Conservadora del Museo Geominero (IGME), Madrid.

19:00 h. Conferencia: «Preservación de actividad biológica en condiciones extremas como modelo para la búsqueda de vida en el Sistema Solar». Dr. David Carlos Fernández Remolar, Centro de Astrobiología, Torrejón de Ardoz (Madrid).

Sábado, 20 de abril

08:00 h. Excursión: «El Cámbrico de Murero (prov. de Zaragoza)». Dr. Rodolfo Gozalo Gutiérrez, Profesor Titular de la Universitat de València; Dr. José Antonio Gámez Vintaned, investigador de la Universidad de Zaragoza; y Dr. Eladio Liñán Guijarro, Catedrático Emérito de la Universidad de Zaragoza.

17:00 h. Conferencia: «Los Santos de Maimona: un arrecife del Carbonífero». Dr. Sergio Rodríguez García, Catedrático de la Universidad Complutense de Madrid (UCM).

18:00 h. Mesa Redonda: «Investigación y gestión de yacimientos excepcionales». Moderador: Dr. Leandro Sequeiros San Román, Catedrático de Paleontología. Participantes: Dr. Emiliano de Aguirre Enríquez, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (Madrid); Dr. Ignacio Canudo Sanagustín, Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza; y D. José Antonio Andrés Moreno, Diputación General de Aragón.

19:30 h. Actos sociales y entrega de distinciones a: D. Santiago Mingote García, Excmo. Alcalde de Murero; D. Francisco Blas Romeo Cañas, Excmo. Alcalde de Ricla; D. Pedro Sancristóbal y Murúa, ex Director General de Acción Cultural del Gobierno de Aragón; Asociación 29-J; y Consejo Regulador de la Denominación de Origen «Cariñena».

20:30 h. Actuación de la coral de Ricla.

Domingo, 21 de abril

10:00 h. Visita guiada a la Exposición.

11:00 h. «Glosa científica del Dr. Antonio Perejón Rincón». Dra. Elena Moreno-Eiris, Profesora Titular de la Universidad Complutense de Madrid.

- 11:15 h. Conferencia: «Las Ermitas de Córdoba, localidad centenaria excepcional del Cámbrico: paleontología, historias, recuerdos y leyendas». Dr. Antonio Perejón Rincón, Instituto de Geociencias (CSIC-UCM), Madrid.
- 12:00 h. Homenaje al Dr. Antonio Perejón Rincón. Sesión de clausura de las XII Jornadas Aragonesas de Paleontología.
- 14:00 h. Vino de honor.
- 19:00 h. Clausura de la exposición.

XIII JORNADAS
«Nuevos hallazgos paleontológicos en Aragón»

Riela, del 10 al 12 de noviembre de 2017

Viernes, 10 de Noviembre

- 9: 00 Inauguración de la Exposición «Crustáceos fósiles». Comisario de la muestra: Fernando Ari Ferratges, Universidad de Zaragoza.
- 9: 00 Entrega de la documentación a los participantes. Secretaria: Dra. Davinia Moreno.
- 10:45 Presentación de las Jornadas. Dr. Samuel Zamora.
- 11:00 Conferencia: «Nuevos fósiles descubiertos en el Paleozoico aragonés». Dr. Samuel Zamora, IGME.
- 12:00 Presentación del libro «Paleotipos Aragoneses». Dr. Luis Moliner, Geoparque del Maestrazgo.
- 12:30 Inauguración oficial de las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología.
- 16:00 Conferencia: «Peces sin mandíbula, tiburones basales, placodermos gigantes y otros vertebrados paleozoicos de Aragón». Dr. Héctor Botella, Universidad de Valencia.
- 17:00 Conferencia: «Antiguos lagos y bosques aragoneses como fuentes de paleodiversidad». Dr. Enrique Peñalver, IGME.



18: 00 Cine-Fórum: «El cocodrilo de Ricla» visualización del documental y charla-coloquio. Dra. Jara Parrilla, Universidad de Zaragoza.

Sábado 11 de Noviembre

8:00 Excursión al Cretácico de Josa (Teruel).

17:30 Conferencia: «Ariño, la mina de los dinosaurios». Dr. Luis Alcalá, Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel-Dinópolis.

18:30 Conferencia: «Nuevos descubrimientos en cuevas aragonesas». Dra. Raquel Rabal, Universidad de Zaragoza.

19:30 Actos Sociales y entrega de distinciones: entrega del plato a las personas y entidades que han colaborado activamente con la Asociación.

20:30 Actuación de la Coral de Ricla.

Domingo, 12 de Noviembre

10:00 Visita guiada a la exposición.

11:00 Conferencia: Investigación del Grupo Aragosaurus sobre los mamíferos, dinosaurios y cocodrilos del Mesozoico y Paleógeno de Aragón». Prof. Dr. José Ignacio Canudo, Universidad de Zaragoza.

12:00 Glosa científica del Prof. Dr. José Luis Sanz. Dr. Francisco Ortega, UNED.

12:30 Conferencia: «Breve histórico del concepto de macroevolución: una perspectiva paleobiológica». Prof. Dr. José Luis Sanz, Universidad Autónoma de Madrid.

13:30 Homenaje al Prof. Dr. José Luis Sanz. Sesión de clausura de las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología.

14:15 Vino de Honor.

19:00 Clausura de la exposición.



Créditos de las imágenes:

Página 8: Logotipo de la Asociación Cultural “Bajo Jalón” realizado por el pintor zaragozano Mariano Viejo.

Páginas 10 y 176: Reconstrucción del ambiente del Pleistoceno en la cueva de los Rincones. Autor: Oscar Sanisidro. Cortesía de Medio Natural.

Página 12: *Lariosaurus balsami* del Landiniense de Estada (Huesca). Ejemplar del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid. Cortesía de José Luis Sanz.

Páginas 14, 16, 17, 18 y 21: Imágenes del Profesor José Luis Sanz. Cortesía de Francisco Ortega.

Página 22: Crinoideo pedunculado *Cenocrinus astenius* fotografiado en Roatán (Honduras). Cortesía de Charles Messing y Tomasz Baumiller.

Página 48: Reconstrucción del Devónico realizada por Hugo Salais. Cortesía de Héctor Botella.

Página 142: Icnita de un pequeño ornitópodo procedente del yacimiento de Cerradicas (Galve). Cortesía de José Ignacio Canudo.

Página 210: Homenaje al Profesor José Luis Sanz durante las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología.

Salida de campo al Cretácico de Josa y su museo durante las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología.

Páginas 224-225: Sala de celebración de las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología durante la conferencia del Dr. Alcalá.



CECEL (CSIC)

Este libro es el resultado de las conferencias impartidas durante las XIII Jornadas Aragonesas de Paleontología celebradas en la localidad zaragozana de Ricla durante los días 10 a 12 de noviembre de 2017. A lo largo de estas páginas el lector, amante de la naturaleza y de la paleontología, encontrará temas diversos relacionados con Aragón y sus fósiles. Con el título “Nuevos hallazgos paleontológicos en Aragón” estas jornadas trataron de poner a la orden del día los nuevos descubrimientos paleontológicos realizados en la última década, y que normalmente aparecen publicados en revistas especializadas de difícil acceso para el gran público.

Este libro recoge las investigaciones sobre algunos grupos de animales importantes que poblaron Aragón en el pasado, desde los grandes dinosaurios, antiguos habitantes de tierras turolenses y del pirineo, hasta pequeños invertebrados marinos que un día ocuparon los mares de Aragón. Cada capítulo está escrito por científicos y paleontólogos que trabajan en nuestro territorio y que su investigación les ha llevado a amar esta tierra dura, pero poblada por gente amable, hospitalaria, y sobre todo con una geología única que abarca prácticamente todos los periodos geológicos.

Los fósiles de Aragón ayudan a escribir algunas páginas de la historia de la vida en nuestro planeta; muchos de ellos son la única fuente de información que permite conocerlos. Cada uno de los autores de los trabajos aquí presentados, ha tratado de contar de forma amena y sencilla sus investigaciones en Aragón y la importancia que tienen los fósiles que estudian.

