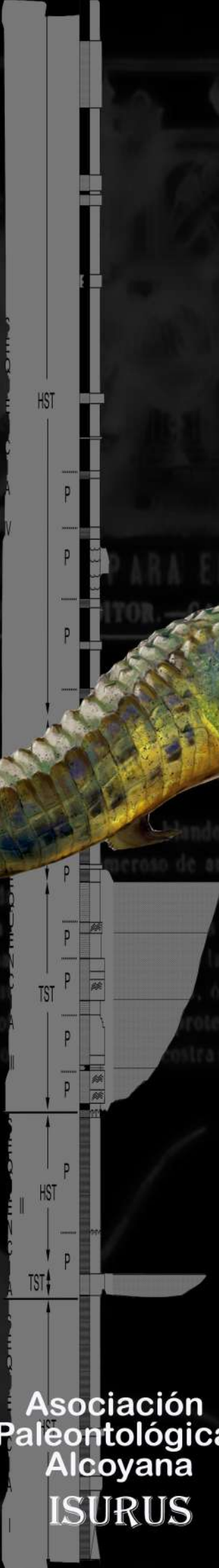
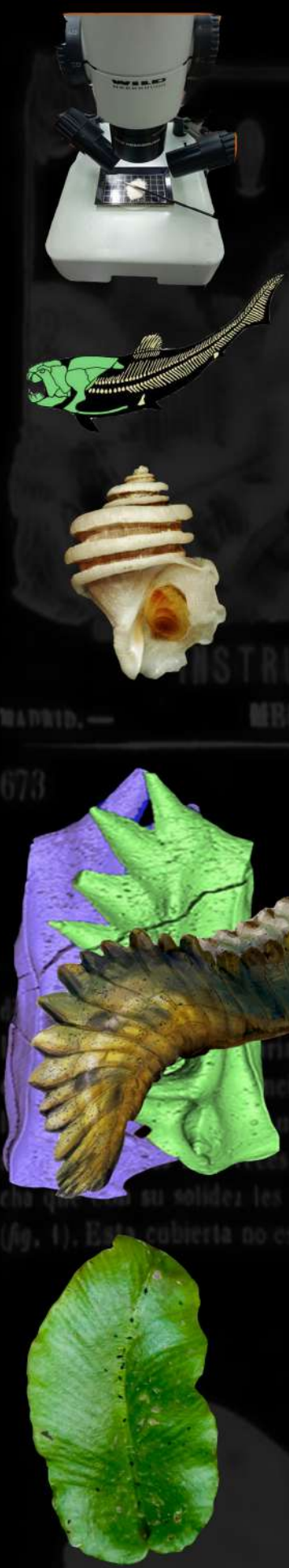




# ISURUS

Revista de divulgación paleontológica  
y de las ciencias asociadas



Año 14  
Núm. 14  
2022  
P.V.P. 6 €

Asociación  
Paleontológica  
Alcoyana  
ISURUS



ISURUS  
Col·lecció Museogràfica Paleontològica i de les Ciències ISURUS



xarxa museus  
i col·leccions paleontologia  
de la C.V.

Nuestra revista número 14, aunque llevamos dos años sufriendo esta pesadilla de pandemia, aunque no se han podido realizar actividades ni eventos, ni reunirnos más de 10 integrantes limitando la asistencia de otros compañeros y aunque el año pasado se tuviera que haber presentado la revista con limitaciones de aforo... Seguimos luchando para que esta revista salga a la luz.

Como todos los años quiero agradecer a tantos y tantos amigos los cuales con sus artículos hacen posible que año tras año se edite esta revista, también dar las gracias a todos los miembros de la asociación que de una manera u otra siguen trabajando por esta asociación y su revista.

Y por último y de todo corazón y con todas mis fuerzas, desear que esta pesadilla termine pronto y podamos juntarnos de nuevo, realizar salidas, realizar conferencias, poder tener nuestras actividades como antes, en una palabra: NORMALIDAD.

Ángel Carbonell  
Presidente Isurus

---

ISURUS es una publicación anual para la divulgación científica sobre paleontología y otras ciencias relacionadas.

ISURUS nº 14 año 14

Ángel Carbonell Zamora  
Vicente Mañes Llorens

Presidente de la Asociación Paleontológica de Alcoi  
Vicepresidente

Equipo editorial y de redacción: Francisco Javier Bellod Calabuig,  
Ángel Carbonell Zamora.

Maquetación y composición: Francisco Javier Bellod Calabuig

Portada: Ángel Carbonell Zamora

[www.paleoisurus.com](http://www.paleoisurus.com)

Edita: Asociación Paleontológica Alcoyana "ISURUS"

Imprime: Artes Gráficas Alcoy

ISSN: 1888-9441

Depósito legal: A-883-2008

Copyright © 2021 Asociación Paleontológica Alcoyana "ISURUS"

# SUMARIO

<b>EXPERIENCIA EDUCATIVA EN EL ESTUDIO DE MICROFÓSILES EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA: ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA TÉCNICA DEL LEVIGADO</b> de Antonio BELDA ANTOLÍ y Sara FENOLLAR PAVÓN.....	4
<b>ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS VÉRTEBRAS</b> de Roberto DÍAZ AROS.....	12
<b>SITUACIÓ ACTUAL DE <i>PHYLLITIS SCOLOPENDRIUM</i> AL PARC NATURAL DE LA SERRA DE MARIOLA</b> Lluís SERRA LALIGA, Roger CARCHANO JORDÀ, Aruca SEBASTIÁN y Carlos PEÑA.....	30
<b>BERTOMEU DARDER I PERICÀS</b> de Gabriel GARCÍA RIPOLL y Ángel CARBONELL ZAMORA.....	37
<b>ELS JACIMENTS PALEONTOLÒGICS DEL CRETACI SUPERIOR CONTINENTAL DELS PIRINEUS: NOVES ESPÈCIES DE DINOSAURES I VERTEBRATS DE L'ILLA IBEROARMORICANA</b> de Àngel GALOBART LORENTE.....	38
<b>PRIMEROS FÓSILES DE NODOSÁURIDOS (NODOSAURIDAE) DEL YACIMIENTO ANA, CRETÁCICO INFERIOR DE CINCTORRES (CASTELLÓN, ESPAÑA)</b> de Andrés SANTOS-CUBEDO, Carlos de SANTISTEBAN, Begoña POZA y Sergi MESEGUER.....	46
<b>FASCINACIÓN POR LA MALACOLOGÍA</b> de Joaquín VALENCIA ARRIBAS.....	56
<b>APORTACIONES DE LEANDRO SEQUEIROS A LA PALEONTOLOGÍA ...</b>	68
<b>GUÍA DE FÓSILES URBANOS DE ALCOI (3ª PARTE) “TREPEJANT EL PASSAT” (PISANDO EL PASADO) ARTICLE DE L'ASSOCIACIÓ ISURUS</b> de Angel CARBONELL ZAMORA, Ricard BAÑÓ i ARMIÑANA, José Francisco BAEZA CARRATALÁ, Montse BODÍ VERDÚ, Mª Carmen ALMAHANO DURÁN y Cristian CARBONELL ALMAHANO ...	70
<b>TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA APLICADA AL ESTUDIO DEL ESQUELETO DE LOS PRIMEROS VERTEBRADOS</b> de Carlos MARTÍNEZ-PÉREZ, Jinyuan HUANG, María Victoria PAREDES, José Luis HERRAIZ y Cástor ARMAÑANZAS-ALPUENTE .....	76
<b>NOTICIARIO DE ACTIVIDADES 2020 - 2021 ASOCIACIÓN PALEONTOLÓGICA ALCOYANA “ISURUS”</b> de Ángel CARBONELL ZAMORA.....	92

# EXPERIENCIA EDUCATIVA EN EL ESTUDIO DE MICROFÓSILES EN LA EDUCACIÓN SECUNDARIA: ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA TÉCNICA DEL LEVIGADO

Antonio BELDA ANTOLÍ  
Sara FENOLLAR PAVÓN

Dpto. Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. Universidad de Alicante. Ctra. San Vicente S/N (03690),  
e-mail: antonio.belda@ua.es

**RESUMEN:** los foraminíferos son organismos unicelulares con caparazón calcáreo y que resultan útiles en estudios de datación de rocas y permiten conocer características ambientales. Este trabajo proporciona información didáctica y divulgativa para que el alumnado de educación secundaria pueda comprender mejor el proceso de formación de algunas rocas y para ello, se detalla todo el proceso de la técnica conocida como el levigado. Dicha metodología se utiliza para obtener los microfósiles de una determinada muestra de roca.

**RESUM:** els foraminífers són organismes unicel·lulars amb closca calcària i que resulten útils en estudis de datació de roques i permeten conèixer característiques ambientals. Aquest treball proporciona informació didàctica i divulgativa perquè l'alumnat d'educació secundària pugua comprendre millor el procés de formació d'algunes roques i així, es detalla tot el procés de la tècnica coneguda com el levigat. Aquesta metodologia s'utilitza per obtindre els microfòssils d'una determinada mostra de roca.

**ABSTRACT:** foraminifera are unicellular organisms with a calcareous shell that are useful in rock dating studies and allow us to know environmental characteristics. This work provides didactic and informative information so that secondary school students can better understand the process of formation of some rocks and for this, the entire process of the technique known as levigating is detailed. This methodology is used to obtain the microfossils of a certain rock sample.

**Palabras clave:** bioindicadores, foraminíferos, materiales docentes, micropaleontología

**Paraules clau:** bioindicadors, foraminífers, materials docents, micropaleontologia

**Keywords:** bioindicators, foraminifera, micropaleontology, teaching materials

# 1. INTRODUCCIÓN

Aunque la paleontología es una ciencia ampliamente empleada en la educación universitaria, son escasos los trabajos que centran esta área de conocimiento en la educación primaria y secundaria. Así, la experiencia educativa en el yacimiento de Somosaguas es un claro ejemplo que se inicia en la educación universitaria reglada, para proyectarse después a un espacio educativo mucho más amplio, incluyendo la formación para niños, adultos y discapacitados. En el yacimiento denominado “júnior”, los más jóvenes emplean herramientas básicas en geología y buscan restos fósiles entre el sedimento (Castilla *et al.*, 2006). Por otro lado, existen algunas experiencias educativas en España e Inglaterra, basadas en actividades prácticas, que abordan el estudio de los fósiles en la Diplomatura de Magisterio con el fin de aplicar dichos conocimientos en las aulas de educación primaria (Calonge y López, 2005) y del mismo modo, existen experiencias similares en la formación del profesorado en Educación Secundaria (Giannetti *et al.*, 2012). Además, en España se realizan anualmente las Olimpiadas de Geología para el alumnado de Educación Secundaria, con el objetivo de poner en valor la Geología y la Paleontología y motivar a dicho alumnado a cursar estudios superiores relacionados con dichas materias (Mateo *et al.*, 2020). El Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante realiza diferentes talleres y experiencias educativas en las cuales se dan a conocer aspectos básicos de la geología y paleontología al alumnado de Educación Secundaria y al público en general. Así, podemos destacar la *Geoyincana*, una actividad dirigida al alumnado de educación secundaria, realizada al aire libre, basada en el juego y en la cual se pone en valor la geología local y el patrimonio geológico de la provincia de Alicante (Cuevas-González *et al.*, 2020). Por otro lado, el mismo Departamento organiza, desde 2008, en la provincia de Alicante, el *Geolodía*, que consiste en excursiones geológicas de campo guiadas por geólogas y geó-

logos, gratuitas y abiertas a todos los públicos (Aberasturi, 2021). Del mismo modo, participa entre otras en la organización de GeoAlicante: ¡geología en la ciudad! en la “noche Mediterránea de las investigadoras”, en la Olimpiada de Geología, el *Hidrogeodía*, la *Geología para tod@s* en la Noche Europea de la Investigación y jornadas de puertas abiertas para centros educativos de primaria y secundaria.

Las Ciencias de la Tierra contribuyen substancialmente a la formación de los estudiantes de Educación Secundaria, del Bachillerato científico y en general a todos los ciudadanos ya que el conocimiento geológico es imprescindible para el desarrollo social, científico y tecnológico actual, con aplicación en muy diversos ámbitos industriales, sociales y familiares. Las Ciencias de la Tierra están incrementando día a día su papel en la investigación, tratamiento y resolución de problemas complejos de relevancia social y económica, como son la mayoría de desastres naturales, los recursos disponibles en el planeta y su sostenibilidad (GVA, 2021). Así, la asignatura de Biología y Geología debe contribuir a desarrollar en los futuros ciudadanos durante la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) una cultura científica, para que adquieran conocimientos y destrezas respecto a temas como la salud, medio ambiente, fuentes energéticas, residuos, etc., con repercusiones en su vida cotidiana y que sean capaces de participar de manera fundamentada y crítica en gestión y en la toma de decisiones de problemas relacionados con la ciencia y la tecnología, implementando los conocimientos ya adquiridos durante la educación primaria. Partiendo del marco de referencia obligado del currículo básico (R.D. 1105/2014) y de este modo, en este currículo de Biología y Geología de la Comunidad Valenciana, se ha optado por reformular en todos los cursos un bloque común de metodología científica, aunque con denominación, contenidos, y criterios de evaluación diferenciales, que recoge las habilidades, destrezas, estrategias y actitudes propias de la metodología científica que deben desarrollar los alumnos, y que deben guiar toda la materia. De esta forma, en cuarto curso de Educación Secundaria, se aborda el

estudio de las grandes teorías que han permitido el desarrollo más actual de las ciencias de la vida y de la tierra, como son: la tectónica de placas, la teoría celular y la teoría de la evolución, para finalizar con el estudio de los ecosistemas. En el tercer bloque de dicho curso, se estudia concretamente la dinámica terrestre, los principales acontecimientos geológicos, climáticos y biológicos ocurridos en su historia, los principios fundamentales de la geología y los fósiles guía. Finalmente, se analizan también los modelos geodinámico y geoquímico de la estructura y composición de la Tierra y se aborda el estudio de la tectónica de placas, paradigma actual de la geología, que articula de forma global su estudio (GVA, 2015).

Bloque 3. La dinámica de la Tierra. Curso 4º ESO		
Contenidos	Criterios de evaluación	CC
El tiempo geológico: ideas históricas sobre la edad de la Tierra. Métodos de datación absoluta y relativa. Principios fundamentales de la Geología: uniformismo y actualismo, horizontalidad y superposición de estratos. Los fósiles guía. Los eones, eras geológicas y periodos geológicos. Principales acontecimientos geológicos y biológicos.	<b>BL3.1</b> Describir los principales acontecimientos geológicos, climáticos y biológicos ocurridos en la historia de la Tierra, utilizando modelos temporales a escala y reconocer algunos fósiles guía característicos.	CMCT CSC

CMCT: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología

CSC: Competencia sociales y cívicas

Los microfósiles que se van a observar pertenecen fundamentalmente al grupo de los foraminíferos. Dichos organismos son seres unicelulares con caparazón calcáreo que aparecen en el período Cámbrico y que perduran hasta el momento actual. Así, se reconocen más de 10.000 especies, aunque la mayoría ya se encuentran extintas (Corbí, 2010). Dicha estructura refleja millones de años de funciones adaptadas al medio como son el intercambio de gases, el crecimiento, la biomineralización, la reproducción, la relación con otros seres vivos, etc. Estas funciones se pueden evidenciar a partir de su morfología, composición interna y desprenden información muy útil como la identificación taxonómica y el éxito de adaptación a determinados ambientes y su tendencia evolutiva (Calonge y Canales, 2008). De este modo, estos organismos tie-

nen multitud de aplicaciones, principalmente biostratigráficas y paleoecológicas, ya que se consideran como uno de los grupos de microfósiles más singulares, debido a su abundancia y distribución en los sedimentos marinos y a su gran biodiversidad. De esta manera, se pueden diferenciar organismos que viven en el fondo marino, denominados foraminíferos bentónicos; y por otro lado, otros que flotan en la columna de agua, conocidos como foraminíferos planctónicos (Corbí *et al.*, 2012).

A pesar de su reducido tamaño, estos microfósiles son una importante fuente de información en estudios paleontológicos, estratigráficos y sedimentológicos. En particular, los foraminíferos son especialmente útiles para determinar la edad de las rocas y conocer cuáles son las características principales de determinados ambientes como temperatura, concentración de oxígeno, salinidad, etc. El hecho de que puedan encontrarse miles de ejemplares en una pequeña muestra de sedimento, hace que los foraminíferos tengan muchas aplicaciones en las Ciencias de la Tierra (Corbí y Belda, 2018).

El propósito principal de este trabajo es poner de manifiesto la importancia que tienen los fósiles a nivel didáctico para comprender mejor el proceso de formación del planeta y las diferentes formas de vida que existen y han existido en la tierra. Además, los microfósiles registrados, obtenidos a partir de técnicas sencillas e inocuas como el levigado, pueden constituir también un elemento básico en la divulgación del patrimonio geológico y paleontológico de nuestro entorno. Así, el objetivo es dar a conocer los microfósiles en el campo de la enseñanza secundaria, de una forma sencilla como es la observación de pequeños restos de organismos que se pueden encontrar en los sedimentos actuales. Para llevar a término dicho objetivo se detalla el proceso metodológico para que pueda ser llevado a cabo en los centros educativos de secundaria y el alumnado pueda realizar la técnica completa.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología utilizada es una adaptación de la técnica propuesta por Corbí *et al.* (2014) para el alumnado de estudios superiores de la Universidad de Alicante. A continuación, se describen los diferentes procesos que se deben seguir para el estudio de los microfósiles en alumnado de educación secundaria. La dificultad y el nivel de detalle se adaptará en función del curso al cual vaya dirigido.

### 2.1 RECOGIDA DE MUESTRAS EN CAMPO

El alumnado empieza el proceso metodológico con la recogida del material en el campo en un determinado afloramiento. Hay que recordar que si la actividad se desarrolla fuera del centro educativo se debe contar con la autorización expresa de los tutores. De este modo, la cantidad de muestra y el número de muestras se recogerá en función del tipo de estudio y de los microfósiles a estudiar. Posteriormente, las muestras son analizadas en el laboratorio de diferente manera en función del estudio que se pretende hacer para separar y estudiar los microfósiles.

Así, las rocas sedimentarias, las margas y las arcillas son las rocas que más microfósiles pueden tener: radiolarios, granos de polen, foraminíferos, algas diatomeas, ostrácodos, etc. Las calizas también pueden tener microfósiles en abundancia, pero por su dureza, cuestan más de extraer, recurriéndose normalmente al método de la lámina delgada para estudiarlas. Para un estudio micropaleontológico, las muestras hay que recogerlas siguiendo la referencia de una columna estratigráfica y de esta manera controlar la posición de cada una de las muestras. Asimismo, cada muestra se introduce en una bolsa de plástico con cierre hermético, la cual se etiqueta con una sigla que hace referencia a dicha columna estratigráfica. Así, tras eliminar la capa superficial para evitar los restos orgánicos, se recoge un Kg de material aproximadamente, anotando las coordenadas UTM.



Fig.1: proceso de recogida muestras en campo

### 2.2 EXPLICACIÓN PREVIA

En el aula se realizará una introducción previa a la sedimentología y a la micropaleontología, y en concreto se detallará el grupo de los foraminíferos, explicando aspectos generales relacionados con su diversidad, importancia ecológica, formas de vida y sus aplicaciones en la actualidad. Posteriormente, se darán detalles de la metodología a emplear con el fin de obtener los microfósiles que se encuentran en el sedimento, mediante la técnica del levigado y se facilitarán guías de determinación.

## 2.3 LEVIGADO

Los levigados son un método clásico muy usado por los micropaleontólogos para separar microfósiles mayores de 63 micras (ostrácodos, foraminíferos, radiolarios, algas diatomeas, microfósiles de vertebrados, etc.). La técnica consiste en sumergir la muestra en una mezcla de agua del grifo con agua oxigenada y una sustancia dispersante. Transcurridas al menos 24 horas, la muestra se disgrega y está preparada para pasarla por los tamices de lavado. El proceso de lavado de muestra se realiza bajo el grifo del agua y termina cuando todo el residuo está completamente limpio (Corbí et al., 2014).

### a-) Material de trabajo

- Azul de metileno (5%) para detectar elementos de muestras anteriores en el tamiz
- Balanza de precisión para pesar la muestra
- Cápsulas de porcelana para secar la muestra
- Cepillo de dientes para limpiar tamices
- Cubeta de plástico para sumergir los tamices en el azul de metileno
- Dispersante (polifosfato sódico) para facilitar la disgregación de la muestra
- Estufa de desecación
- Lupa binocular para observar la muestra
- Peróxido de hidrógeno (110 vol.) para eliminar restos orgánicos
- Tamices metálicos de 200-250 mm de diámetro, de malla cuadrada y con luz de malla de 0,5; 0,125 y 0,063 mm
- Toma muestras de plástico para lavar la muestra en el ultrasonidos
- Ultrasonidos para limpieza
- Vasos de precipitados de plástico de 1.000 ml
- Viales de polietileno (20 ml) para almacenar las muestras levigadas

### b-) Preparación de la muestra

- Pesarse aproximadamente 200-300 g de la muestra en un vaso de precipitados
- Agregar agua para disolver la muestra y también agua oxigenada
- Poner una cucharada de dispersante y dejar reposar durante 24 horas
- Limpiar con agua del grifo y ayuda del cepillo de dientes los tamices para eliminar restos de otros estudios
- Introducir los tamices en la cubeta que contiene el azul de metileno al 5%. Así, se tintan los restos de otros estudios y se podrán discriminar. Posteriormente, lavar con bastante agua los tamices para eliminar dichos restos. Colocar la serie de tamices (ordenados de mayor a menor) dentro del fregadero y la muestra sobre el tamiz superior (0,5; 0,125 y 0,063 mm)
- Lavar la muestra con agua abundante
- Trasvasar el contenido de cada uno de los tamices a un toma muestras de plástico
- Hacer un lavado de cada una de las fracciones dentro del recipiente, eliminando el agua sobrenadante y reponiendo el agua. Hay que repetir este proceso hasta que el agua esté completamente limpia
- Sin eliminar el agua sobrenadante, se hace un lavado de ultrasonidos, para favorecer la disgregación de la fracción arcillosa
- Recoger las fracciones en las cápsulas de cerámica correspondientes y eliminar el agua sobrenadante
- Secar en la estufa a 70-80 °C para no dañar las muestras
- Guardar el residuo seco en los viales de polietileno, convenientemente rotulados y clasificados

## 2.4 TRABAJO DE GABINETE

Una vez las muestras de levigados han sido guardadas y correctamente etiquetadas, se procede al trabajo en el laboratorio. Para ello, se procede a mirar en la lupa binocular las muestras y anotar las observaciones. En este aspecto, es importante identificar los principales minerales, clasificar en tamaño y morfología de granos y por otra parte, analizar los



foraminíferos (identificación por especie o género, número de especies, cálculo de índices de biodiversidad, porcentaje de organismos planctónicos con respecto a los bentónicos). Para llevar a cabo la determinación pueden emplearse diferentes materiales, como los propuestos por Arenillas *et al.* (2000), Corbí

(2010) y Corbí y Soria (2012). A continuación, los resultados se exponen en grupos de trabajo con el fin de comparar diferentes muestras, analizar los resultados y establecer las conclusiones a las que llega el alumnado. Finalmente, se escribe una pequeña memoria indicando la metodología y los resultados.

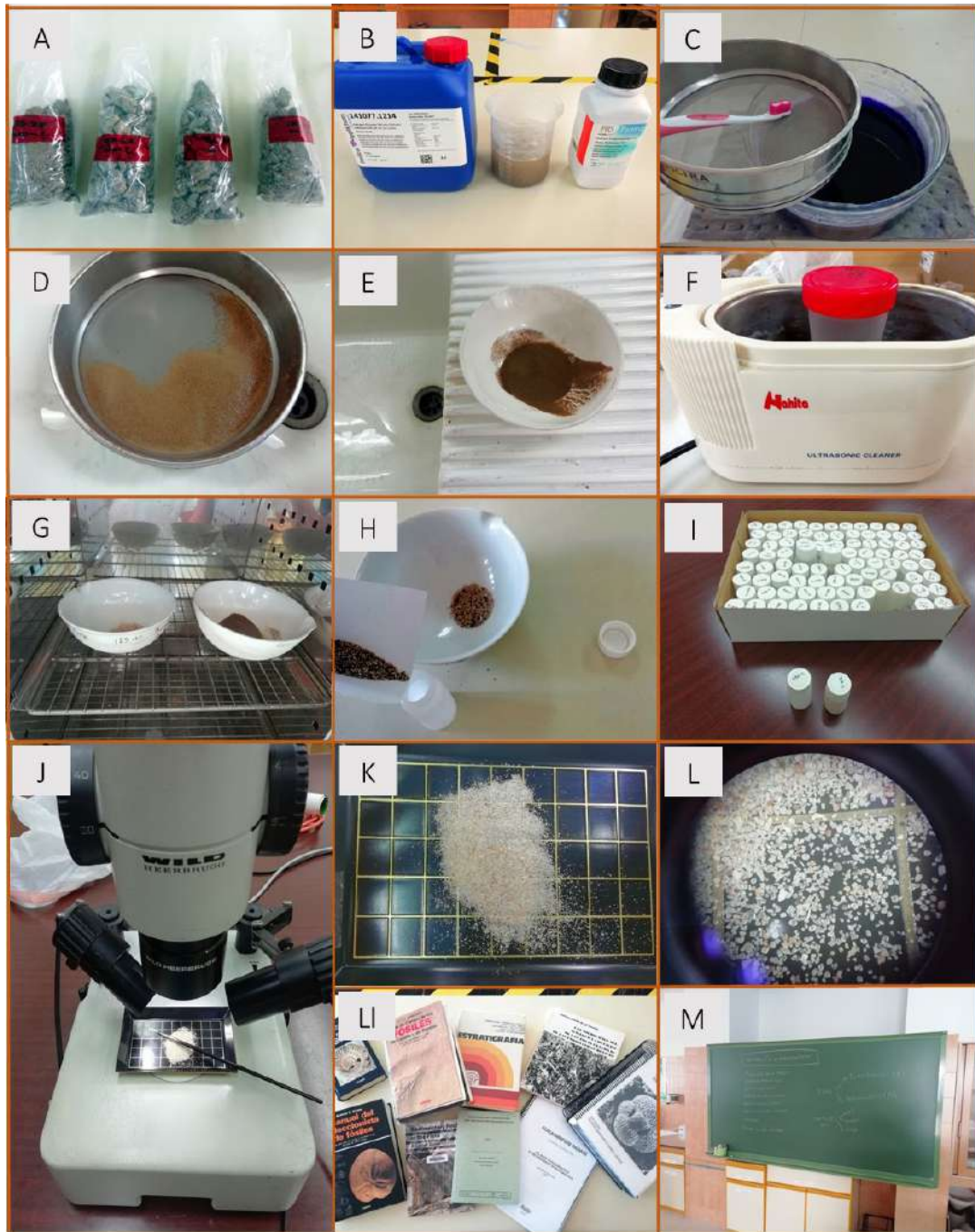


Fig. 2: diferentes fases de la técnica del levigado. A- Bolsas con las muestras recogidas en campo. B- Muestra en contacto con el dispersante y agua oxigenada. C- Limpieza previa de tamices. D- Lavado de las muestras en los tamices. E- Vertido de la muestra para ser lavada. F- Limpieza con ultrasonidos. G- Secado en estufa. H- Envasado de las muestras. I- Almacenaje de muestras. J- Observación en la lupa binocular. K- Clasificación en la gradilla de ejemplares. L- Determinación de individuos. LI- Libros de consulta bibliográfica. M. Explicación teórica y muestra de los resultados obtenidos.

### 3. RESULTADOS

La experiencia docente demuestra que este tipo de actividades resultan muy atractivas para el alumnado y tienen resultados muy satisfactorios, no únicamente en referencia al objetivo que se persigue, sino también en cuanto a la sorpresa que supone para los alumnos ver estos organismos inmersos en la matriz de sedimento y que no pueden ver a simple vista. Se trata de un método sencillo y que no supone ningún riesgo para el alumnado. Del mismo modo, el material necesario para llevar a término el proceso es relativamente económico y fácil de conseguir.

La manipulación y experimentación resultan instrumentos fundamentales para impulsar y posibilitar el aprendizaje para los seres humanos. Son muchos los pedagogos que han hecho hincapié en esta cuestión y en la necesidad de promover experiencias reales de aprendizaje en las cuales el alumnado entre en contacto con el objeto de estudio desde la manipulación del mismo, por lo tanto, las experiencias como los levigados acercan el objeto de conocimiento de los fósiles aproximándoles esta realidad en principio invisible a su contexto próximo. Este planteamiento docente a través de la experiencia manipulativa y observadora coincide con los principios establecidos por Loris Malaguzzi (2001) donde: “los educandos aprenden por medio de la observación para después desarrollar sus propios proyectos de creación”.

Además, este procedimiento permite poner en acción toda una serie de competencias del alumnado que requieren la activación de sus múltiples inteligencias, pues tal y como defiende Gardner (2003) el ser humano en el proceso de aprendizaje ejecuta y desarrolla diversas inteligencias que le ayudan a explorar, aproximarse, conocer e interiorizar un verdadero aprendizaje. Respecto a esto Gardner afirma (2003): “la inteligencia es la capacidad de encontrar y resolver problemas y crear productos de valor en nuestra propia cultura”.

### 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los autores pensamos que esta experiencia educativa es idónea para llevar a cabo en los diferentes niveles de educación obligatoria, debido a que en la mayoría de libros de texto no se incluyen contenidos paleontológicos y micropaleontológicos, a pesar del interés que tiene este tema entre los escolares de todas las edades. Así, este taller manipulativo ha demostrado su eficacia en el logro de habilidades tales como la destreza y funcionamiento en el laboratorio, el dominio de nomenclatura paleontológica básica, reconocimiento de los principales caracteres morfológicos, etc. Como se ha demostrado esta secuencia didáctica es un recurso fácilmente trasladable al aula, ya que los alumnos son capaces de recoger y analizar datos para construir explicaciones, a pesar de manejar contenidos no incluidos en el currículo, ya que solamente se hablaría de los foraminíferos teóricamente en 4º curso de ESO. La explicación metodológica permite que pueda ser realizada en otros espacios docentes.

El grupo de los foraminíferos constituye una herramienta privilegiada para estudiar el presente y futuro de la Tierra, gracias a su abundancia en el registro fósil a lo largo de la historia geológica, su complejidad, tamaño y evolución (Calonge y Canales, 2008).

### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos agradecer los consejos prestados por Hugo Corbí y Yolanda López del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante. Del mismo modo, queremos agradecer el interés prestado por la Asociación Paleontológica Isurus y la labor que realiza en las tareas de difusión y divulgación de la geología y paleontología.

### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERASTURI, A. *et al.* (2021). *El Penyal d'Ifac, Calp*. Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Universidad de Alicante. 40 pp.

- ARENILLAS, I., ALEGRET, L., ARZ. J.A. y MOLINA, E. (2000). El uso didáctico de los foraminíferos en la enseñanza de ciencias de la tierra: su distribución paleoceanográfica en el tránsito cretácico-terciario. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (8.2): 108-118.
- CALONGE, A. y CANALES, M.L. (2008). *El mundo de los microfósiles: una propuesta de aula*. En: CALONGE, A.; REBOLLO, L.; LÓPEZ-CARRILLO, M.D.; RODRIGO, A. y RÁBANO, I. (2008) *Actas del XV Simposio sobre Enseñanza de la Geología*. Cuadernos del Museo Geominero, nº 11, Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- CALONGE, M. y LÓPEZ, D. (2005). *Una propuesta práctica para acercarse a la noción de fósil y fosilización*. Alambique. [Versión electrónica]. *Revista Alambique* 44: 1,4.
- CASTILLA, G.; FESHARAKI, O.; HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M.; MONTESINOS, R.; CUEVAS, J. y LÓPEZ, N. (2006). *Experiencias educativas en el yacimiento paleontológico de Somosaguas (Pozuelo de Alarcón, Madrid)*. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14 (3): 265-270.
- CORBÍ, H. (2010). *Los foraminíferos de la cuenca Neógena del Bajo Segura (Sureste de España): biostratigrafía y cambios paleoambientales en relación con la crisis de salinidad del mediterráneo*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. 280 pp.
- CORBÍ, H. y BELDA, A. (2018). *Los foraminíferos del Mioceno de la Serra de Mariola (Alicante, SE España): un patrimonio paleontológico de interés científico y potencial divulgativo*. *Revista Isurus*, 11: 4-12.
- CORBÍ, H. y SORIA, J.M. (2012). *Guía ilustrada de los géneros de foraminíferos planctónicos del Mioceno Superior y Plioceno: Ejemplos de la Cuenca Del Bajo Segura (Sureste De España)*. *Cidaris*, 31: 31-38.
- CORBÍ, H., GIANNETTI, A., BAEZA, J.F. i BELDA, A. (2014). *Pràctiques de Micropaleontologia I. Materials de suport a la docència en valencià*. *Secretariat de Promoció del Valencià*. Universitat d'Alacant. 32 pp.
- CUEVAS-GONZÁLEZ, J., DÍEZ-CANSECO D., ALFARO, P., ANDREU, J.M., BAEZA-CARRATALÁ, J.F., BENAVENTE, D., BLANCO-QUINTERO, I.F., CAÑAVERAS, J.C., CORBÍ, H., DELGADO, J., GIANNETTI, A., MARTÍN-ROJAS, I., MEDINA, I., PERAL, J., PLA, C., ROSA-CINTAS, S. (2020). *Geogymkhana-Alicante (Spain): Geoheritage Through Education*. *Geoheritage* (2020) 12: 15. <https://doi.org/10.1007/s12371-020-00439-6>
- GARDNER, H. (2003). *Three distinct meanings of intelligence*. En R. J. STERNBERG, J. LAUTREY y T. I. LUBART (eds.), *Models of intelligence*. International perspectives. Washington, American Psychological Association.
- GIANNETTI, A., CORBÍ, H. Y BAEZA, J.F. (2012). *Diseño de un taller de Geología para alumnos del Master en Profesorado de Educación Secundaria*. En: X Jornades de Xarxes d'Investigació en Docència Universitària: la participació i el compromís de la comunitat universitària / coord. por José Daniel Álvarez Teruel Árbol académico, María Teresa Tortosa Ybáñez, Neus Pellín Buades, 2012, ISBN 978-84-695-2877-8, págs. 633-643.
- GVA. (2015). *Currículo de ESO y primer curso de Bachillerato*. [https://ceice.gva.es/va/web/ordenacion-academica/curriculo-eso-bachillerato-por-materias/-/documentos/eaWDKFNg2Dz/folder/162655319?p\\_auth=GNXbeVa5](https://ceice.gva.es/va/web/ordenacion-academica/curriculo-eso-bachillerato-por-materias/-/documentos/eaWDKFNg2Dz/folder/162655319?p_auth=GNXbeVa5) (Acceso: 16/07/2021)
- GVA. (2021). *Currículo de 2º de Bachillerato*. <https://ceice.gva.es/es/web/ordenacion-academica/secundaria/curriculo> (Acceso: 15/07/2021)
- MALAGUZZI, L. (2001). *La educación infantil en Reggio Emilia*, Barcelona, Rosa Sensat, Octaedro.
- MATEO, E., YUSTE, A., MAYAYO M.J., LUZÓN, A., SORIA, A.R., GIL, A. y CARRILLO, L. (2020). Gamificando la visión geológica sobre el cambio climático en las Olimpiadas de Geología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (28.1): 60-73.

# ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LAS VÉRTEBRAS

**Roberto DÍAZ AROS**

Centro de Estudios Paleontológicos de Chile  
E-Mail: cepchile@gmail.com

**RESUMEN:** el origen y evolución de las vértebras constituye un evento de interés filogenético y que permite rastrear un rasgo fundamental en la evolución de los vertebrados y que, de la mano de la anatomía comparada, define diferencias y semejanzas en el plan estructural de estos animales que pueden ser de utilidad para establecer relaciones de parentesco o plantear hipótesis de filogenia entre grupos asociados. El estudio de las vértebras y de la variabilidad morfológica que estos segmentos óseos evidencian a lo largo de la historia evolutiva de los vertebrados, permite un conocimiento más profundo y especializado del grupo, a la vez que constituye una eficaz herramienta al momento de identificar restos fósiles, trabajo fundamental del paleontólogo. ¿En qué momento aparecen los primeros vestigios de vértebras en el registro fósil? ¿Cómo a través de la evolución se van desarrollando estos segmentos óseos en los distintos grupos dentro de vertebrados? ¿Cómo se desarrolla una vértebra en el embrión? Estas son cuestiones de interés que la paleontología aborda a través del estudio de los fósiles y que, en conjunto con la biología del desarrollo, busca alcanzar un conocimiento más integral de los organismos que estudia, en este caso, los vertebrados, a través de una mejor comprensión de la relación entre evolución y desarrollo (evo – devo).

**ABSTRACT:** the origin and evolution of the vertebrae constitutes an event of phylogenetic interest and that allows to trace a fundamental trait in the evolution of vertebrates and that, hand in hand with comparative anatomy, defines differences and similarities in the structural plan of these animals that can be useful to establish kinship relationships or raise hypotheses of phylogeny between associated groups. The study of the vertebrae and the morphological variability that these bone segments show throughout the evolutionary history of vertebrates, allows a deeper and more specialized knowledge of the group, as well as being an effective tool when identifying fossil remains, fundamental work of the paleontologist. At what point do the first traces of vertebrae appear in the fossil record? How through evolution these bone segments develop in different groups within vertebrates? How does a vertebra develop in the embryo? These are questions of interest that paleontology addresses through the study of fossils and that, together with developmental biology, seeks to achieve a more comprehensive knowledge of the organisms studied, in this case, vertebrates, through a better understanding of the relationship between evolution and development (evo - devo).

**Palabras clave:** anatomía comparada, vértebras, evolución.

**Keywords:** comparative anatomy, vertebrae, evolution.

# 1. INTRODUCCIÓN

El origen y evolución de las vértebras constituye un evento de interés filogenético y que permite rastrear un rasgo fundamental en la evolución de los vertebrados y que, de la mano de la anatomía comparada, define diferencias y semejanzas en el plan estructural de estos animales que pueden ser de utilidad para establecer relaciones de parentesco o plantear hipótesis de filogenia entre grupos asociados. El estudio de las vértebras y de la variabilidad morfológica que estos segmentos óseos evidencian a lo largo de la historia evolutiva de los vertebrados, permite un conocimiento más profundo y especializado del grupo, a la vez que constituye una eficaz herramienta al momento de identificar restos fósiles, trabajo fundamental del paleontólogo.

¿En qué momento aparecen los primeros vestigios de vértebras en el registro fósil? ¿Cómo a través de la evolución se van desarrollando estos segmentos óseos en los distintos grupos dentro de vertebrados? ¿Cómo se desarrolla una vértebra en el embrión? Estas son cuestiones de interés que la paleontología aborda a través del estudio de los fósiles y que, en conjunto con la biología del desarrollo, busca alcanzar un conocimiento más integral de los organismos que estudia, en este caso, los vertebrados, a través de una mejor comprensión de la relación entre evolución y desarrollo (evo – devo).

Se hace presente, que sólo para efectos de una comprensión más general de este trabajo dividiremos a los vertebrados en peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, señalando que algunos de estos grupos hoy en día son considerados parafiléticos según la sistemática moderna.

## 2. GENERALIDADES EN LA ESTRUCTURA Y MORFOLOGÍA VERTEBRAL

Se denomina “vértebra” a cada uno de los huesos que conforman la columna vertebral. Las vértebras se alinean entre sí por los llamados cuerpos vertebrales y por sus apófisis articulares.

De manera general se pueden distinguir las siguientes secciones en una vértebra, aunque una vértebra cualquiera no necesariamente presenta todos estos elementos:

- Centro o cuerpo vertebral
- Arco neural (un arco óseo en la superficie dorsal del centro)
- Espina neural (proyección ósea de la superficie dorsal del arco neural)
- Canal neural (el forámen a través del cual pasa la médula espinal o cordón nervioso)
- Procesos transversos (proyecciones laterales)
- Arco hemal (un arco óseo en la superficie ventral del centro)
- Canal hemal (forámen a través del cual pasan vasos sanguíneos de la cola)
- Espina hemal (proyección ósea de la superficie ventral del arco hemal)
- Cigoapófisis (articulaciones óseas).

En los mamíferos, y entre una vértebra y otra, se ubica una estructura denominada “disco intervertebral”, término que ha sido ampliamente usado para denominar un tejido situado entre las superficies articulares de los cuerpos vertebrales. En sentido estricto y por mucho tiempo, los discos intervertebrales se han considerado exclusivos de los mamíferos, ya que, en otros linajes, como serpientes y reptiles, el tejido entre los centros se ha denominado cartílago intervertebral y se ha planteado una diferencia respecto del disco intervertebral fundamentada en el origen embrionario de cada estructura siendo éste, en la actualidad y desde un punto de vista evolutivo, un asunto pobremente entendido.

No obstante, Wintrich *et al.*, (2020) con base en una muestra que comprendió 17 clados en su mayoría extintos dentro de los amniotas y considerando, la distribución de los tejidos fosilizados permitió a estos investigadores encontrar sorprendente evidencia de discos intervertebrales en reptiles fósiles, incluidos dinosaurios no avianos, ictiosaurios, plesiosaurios y cocodrilos marinos. Basándose en este conjunto de datos fósiles, rastrearón la evolución de la articulación intervertebral en amniotas reconstruyendo el estado del carác-

ter ancestral en el grupo, determinando que el disco intervertebral evolucionó a lo menos dos veces, tanto en mamíferos como en reptiles diápsidos extintos.

### 3. DIFERENCIACIÓN DE LA COLUMNA VERTEBRAL

En la mayoría de los peces la columna vertebral se diferencia en dos regiones: una región troncal anterior y una región caudal posterior. Sin embargo, en los vertebrados amniotas posteriores a los peces, se puede diferenciar hasta cinco regiones: cervical, torácica, lumbar, sacra y caudal

De acuerdo a este plan estructural, los peces presentan sólo dos tipos de vértebras: las del tronco (torácicas) y las de la cola (caudales). Sin embargo, ya en los anfibios las vértebras comienzan a evidenciar diferenciaciones regionales adicionales y en este sentido, un aspecto importante con relación al desarrollo de las vértebras y bien documentado en el registro fósil, lo constituye la adaptación anatómica requerida por la transición agua - tierra y

que deja ver en los primeros organismos que adoptan una vida de tipo anfibia, la aparición en la columna vertebral de una región cervical diferenciada de la región torácica y caudal, así como vértebras más especializadas y adaptadas para enfrentar el esfuerzo mecánico que implica desplazarse sobre tierra firme.

En los urodelos todas las vértebras presentan una estructura básica similar, la primera vértebra situada inmediatamente detrás del cráneo carece de costillas y es considerada en consecuencia, la única vértebra cervical. En el caso de los anuros y que presentan menos vértebras que los urodelos, la rana, por ejemplo, la única vértebra cervical va seguida por siete vértebras troncales.

En los reptiles, como los cocodrilos, podemos distinguir una región cervical bien diferenciada y con las dos primeras vértebras modificadas en atlas y axis, observando, además, una región torácica, una región lumbar, una región sacra y finalmente una región caudal. En algunos dinosaurios, como *Tyrannosaurus*, si bien existen regiones vertebrales bien diferenciadas, no existe región lumbar (Fig. 1).

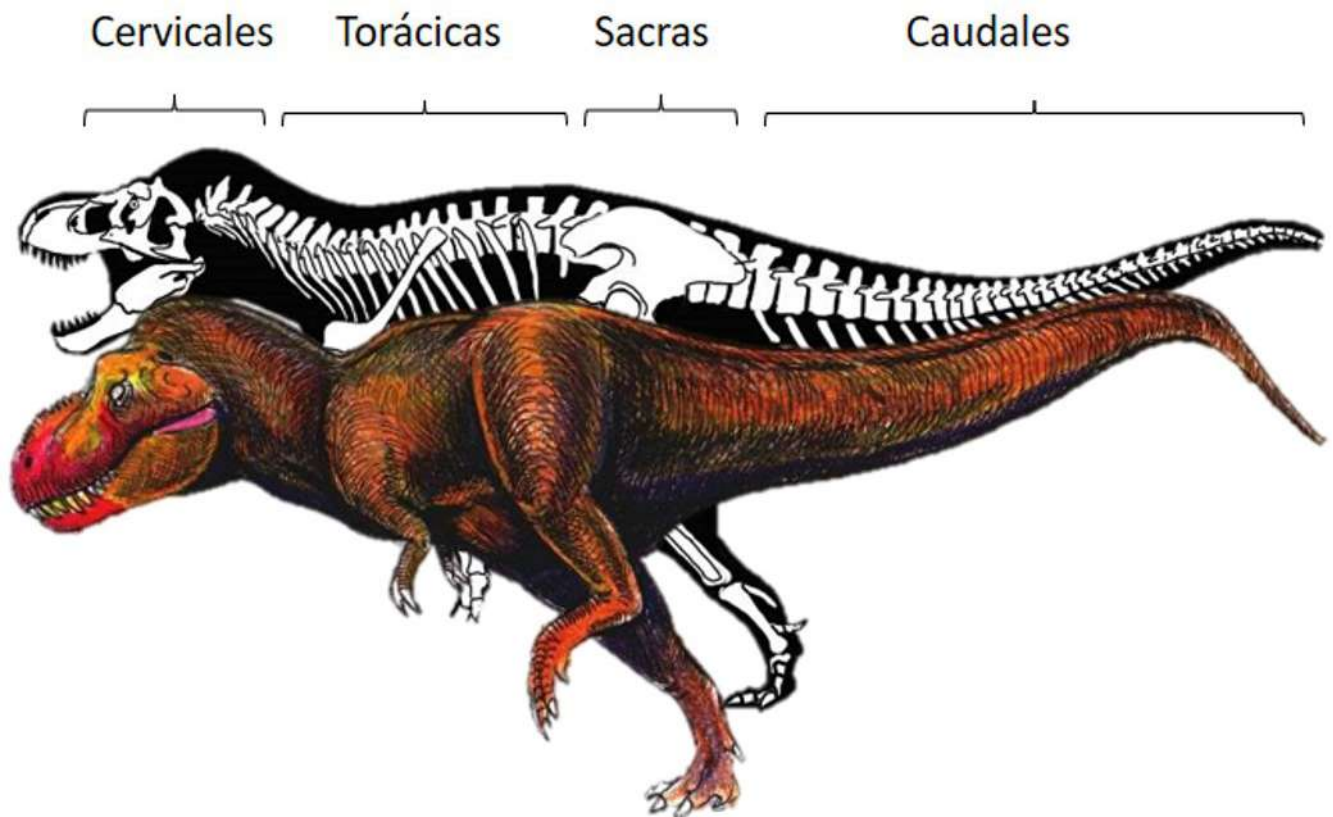


Fig. 1: en dinosaurios como *Tyrannosaurus* se puede apreciar una columna vertebral bien diferenciada con una región cervical, torácica, sacra y caudal. Copyright © Jorge Aragón Palacios.

En las aves en cambio, la columna vertebral deja ver notables especializaciones, muchas de ellas relacionadas con las exigencias mecánicas del vuelo, manifestándose una gran semejanza en todo el grupo. En este grupo se deja ver una región cervical bien desarrollada y con un número variable de vértebras en los diferentes órdenes, no obstante, y al igual que en los reptiles, de los cuales descienden, en las aves las primeras vértebras cervicales se presentan modificadas en atlas y axis.

Si bien las aves presentan una región torácica bien diferenciada, a diferencia de otros vertebrados, evidencian una particular adaptación y que deja ver la unión de las dos últimas vértebras torácicas, las vértebras lumbares, las sacras y las primeras entre las escasas vértebras caudales que se fusionan para constituir el sinsacro, rodeado por los huesos de la cintura pélvica y fusionándose finalmente con ellos. Posterior al sinsacro, se encuentran unas pocas vértebras caudales libres y móviles, seguidas por el pigostilo, un hueso formado por la fusión de las últimas vértebras caudales y que se constituye en el hueso terminal de la cola.

En los mamíferos, la diferenciación regional de la columna es completa. Con la excepción de los xenartros y de los sirénidos, la región cervical de los mamíferos presenta siete vértebras, con las dos primeras modificadas en atlas y axis. Los mamíferos presentan una región torácica bien definida, seguida por una región lumbar, sacra y caudal.

## 4. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS VÉRTEBRAS

El estudio y clasificación de las vértebras comprende una de las áreas más interesantes de la anatomía comparada de vertebrados, pudiendo establecerse los siguientes criterios de clasificación:

- Ausencia o presencia de centro vertebrales
- Nivel de calcificación de los centros vertebrales
- Relación del centro vertebral con los

arcos (neural y hemal)

- Importancia de los centros en la estructura vertebral
- Estructura y morfología del centro vertebral

### 4.1.- Ausencia o presencia de centro vertebrales.

Algunos vertebrados carecen de centros vertebrales (aspondilia). Otros muestran uno (monospondilia) o dos centros vertebrales por segmento (diplospondilia). Hay casos en que se presentan más de dos centros vertebrales (polispondilia).

Algunos peces condrósteos, como el esturión, poseen vértebras aspondilas. Igualmente, algunos peces sarcopterigios actuales como *Latimeria* y *Neoceratodus*, evidencian sólo arcos neurales, sin presencia de centro vertebral.

En algunos peces holósteos, como *Amia*, las vértebras caudales pueden ser diplospóndilas y las del tronco monospóndilas. En los holocefalos y dipnoos el número de centros puede aumentar secundariamente hasta cinco o seis por segmento (polispondilia)

### 4.2.- Nivel de calcificación de los centros vertebrales.

En algunos vertebrados (peces condriactios), los cuerpos vertebrales son cilindros cortos formados por discos cartilaginosos concéntricos que pueden calcificarse y que envuelven al notocordio. El anillo cercano al notocordio recibe el nombre de cuerpo cordal, el más alejado de ella el de autocuerpo. Las bases de los arcos neurales (basidorsales) y ventrales (basiventrales) penetran en forma de cuña en el cuerpo de la vértebra. Los criterios para la división general de estas vértebras en tres tipos son la estrangulación más o menos intensa del notocordio, la relación entre el cuerpo y las bases de los arcos y el modo de calcificación; los tres tipos de vértebras son las siguientes:

1) Vértexbras ciclospóndilas: sólo está calcificada la zona del cuerpo cordal.

2) Vértexbras asterospóndilas: con calcificación en el cuerpo cordal y el autocuerpo.

3) Vértexbras tectospóndilas: con calcificación en el cuerpo cordal, el autocuerpo y las bases de los arcos

#### 4.3.- Relación del centro con los arcos (neural y hemal)

Se ha desarrollado una terminología descriptiva para caracterizar las dos relaciones anatómicas generales entre los centros vertebrales y sus arcos neurales llevando a que los taxónomos dividan en dos grupos a los primeros tetrápodos o anfibios primitivos. Esta división se basa en los dos tipos vertebrales que se encuentran en los anfibios fósiles del Paleozoico:

a) En una condición, denominada aspidospóndila, también llamada raquíto, que significa "espinas deshechas" (Fig. 2), todos los elementos están separados. Los tres elementos del arco (intercentro, pleurocentro y arco neural), permanecen como elementos osificados separados.

b) En la otra condición, denominada holospóndila también llamada lepospóndila, todos los elementos vertebrales de un segmento están fusionados en una pieza única.

#### 4.4.- Importancia de los centros en la estructura vertebral.

La vértebra raquíto, característica de los peces crossopterigios, probablemente evolucionó en dos líneas distintas:

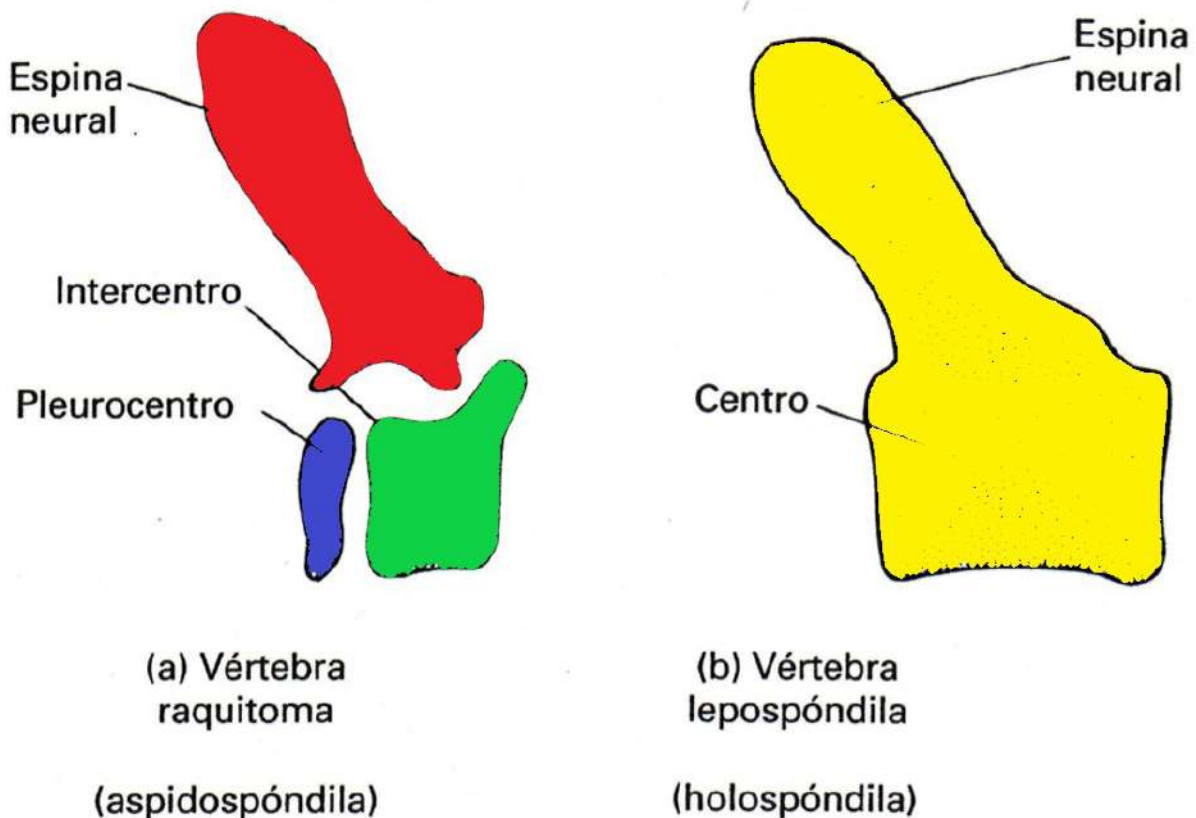


Fig. 2: tipo de vértebra aspidospóndila y holospóndila. [Tomado y adaptado del libro Vertebrados, Anatomía Comparada, Función, Evolución Kardong K. V. (2007). Cuarta Edición. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U. pág. 291]



**TEMNOSPONDILIA:** en que el intercentro se agranda a expensas del pleurocentro.

**ANTRACOSAURIA:** en que el pleurocentro es el segmento dominante.

La línea temnospóndila, en que prevalece el intercentro, da origen al tipo de vértebra esterospóndila. En este tipo de vértebra existe un único cuerpo derivado totalmente del intercentro.

La línea antracosauria, en que prevalece el pleurocentro, da origen al tipo de vértebra embolómera, en que existen dos centros separados (intercentro y pleurocentro) de igual tamaño. Cuando el pleurocentro predomina sobre el intercentro estamos en presencia de una vértebra del tipo seimouria.

Es probable, sin embargo, que los reptiles nunca pasaron por un estado embolómero, sino que tendieron a reducir el intercentro a

un estatus relativamente poco importante o sin importancia.

El intercentro no sólo estuvo universalmente presente y a menudo altamente desarrollado en los reptiles más antiguos, sino que tendió a ser reducido en tamaño y distribución durante el curso del período Pérmico. En muchos grupos desaparece temprano en el tronco y está presente hoy en día como una estructura libre sólo en animales como el *Gecko* y *Sphegnodon*.

El intercentro desaparece en la región cervical y persiste libre o fusionado en todos los reptiles sólo en la composición de las primeras dos vértebras cervicales. El intercentro es comúnmente encontrado en la región caudal en conexión con el chevón (que es universalmente retenido). En los Lepidosaurios las hipopófisis son modificadas y derivadas del intercentro (Fig. 3).

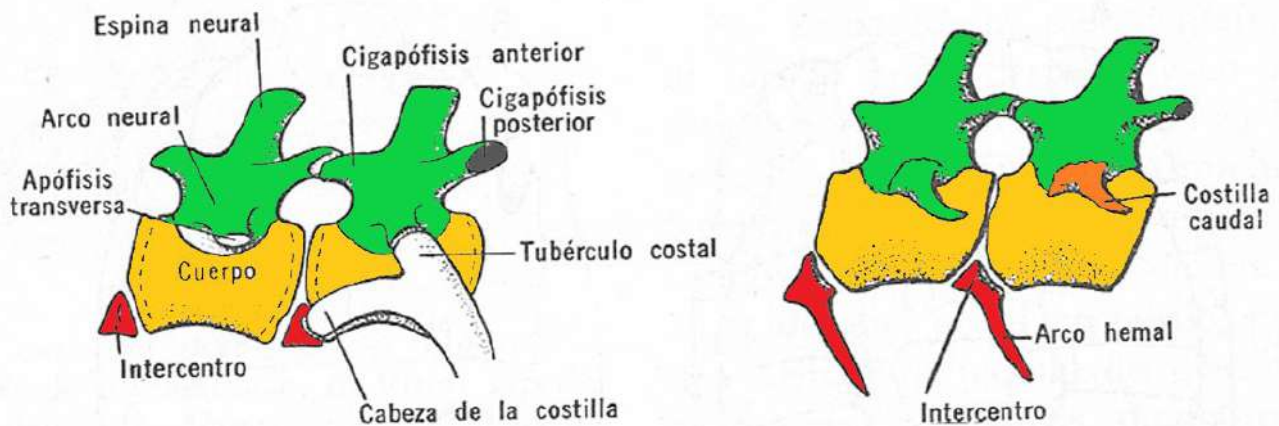


Fig. 3: vértebras dorsales y caudales de un reptil antiguo. [Tomado y adaptado del libro Anatomía Comparada de Vertebrados. Romer (1962), pág. 122]

#### 4.5.- Estructura y morfología del centro vertebral.

La forma de la superficie de los extremos articulares de los centros, afectan a las propiedades de la columna vertebral y a la manera en que se distribuyen las fuerzas entre las vértebras. Así, se utiliza frecuentemente un criterio anatómico tradicional que emplea la forma de articulación, admitiendo varios tipos de centros.

Se conocen cinco morfologías vertebrales (Fig. 4) que se pueden encontrar indistintamente en diversos vertebrados, estos tipos o morfotipos son:

- a) Anficélico
- b) Procélico
- c) Opistocélico
- d) Acélico (también llamado anfiplático)
- e) Heterocélico

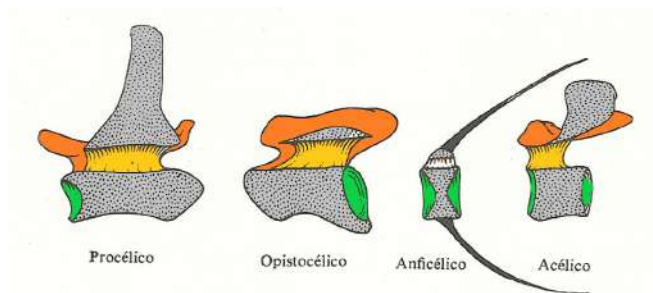


Fig. 4.- Morfología de los centros vertebrales. [Tomado y adaptado del libro Anatomía Comparada, de William Montagna (1964), pág. 82]

Los centros anficélicos, con ambos extremos cóncavos, mayormente presentes en los peces y en algunos reptiles primitivos, parecen adaptados para permitir un movimiento limitado en casi todas direcciones.

Los centros procélicos, con una zona anterior cóncava y la posterior convexa y opistocélicos con una zona anterior convexa y una posterior cóncava, presentes en anfibios y reptiles, aportan cierta rigidez a la columna, pero igualmente permiten libertad de movimiento. Tanto en los centros procélicos como en los opistó-

celicos, la superficie articular convexa de un centro se fija en la superficie cóncava del siguiente para formar un tipo de articulación esférica, que permite un movimiento extenso en la mayoría de las direcciones sin comprimir el cordón nervioso que protege sus arcos neurales. En los centros prócelicos y opistocélicos, con articulación esférica, el punto de articulación no está en el borde sino en el centro de la superficie convexa del centro. La flexión de la serie vertebral no abre un espacio entre ellas y no se comprime indebidamente el cordón nervioso central. En comparación, si la serie de vértebras acélicas o anficélicas se dobla, los centros adyacentes giran alrededor de sus bordes. Si la rotación es amplia, como si se abriera una puerta, el espacio entre los centros tenderá a ampliarse y el cordón nervioso central, que discurre por encima de ellos, a comprimirse.

Los centros acélicos o anfipláticos, mayormente presentes en los mamíferos, parecen especialmente adecuados para recibir y distribuir fuerzas en la columna vertebral.

Los centros heterocélicos, mayormente presentes en la región cervical de las aves, aunque también se encuentran en las tortugas que retraen el cuello, permiten una mayor flexión lateral y vertical, pero impiden el retorcimiento o rotación de la columna vertebral alrededor de su eje.

## 5. EVOLUCIÓN GENERAL DE LAS VÉRTEBRAS EN EL REGISTRO FÓSIL

### 5.1.- Los ancestros de los vertebrados.

Los vertebrados comprenden un grupo de animales que presenta dos elementos estructurales característicos, el notocordio y la columna vertebral, los cuales se combinan en el eje longitudinal del organismo, ofreciendo un lugar para la fijación de la musculatura y además como soporte de gran parte del peso corporal (Kardong, 2007). El notocordio es una estructura continua, formada por tejido

conjuntivo fibroso que envuelve a un núcleo de células y que recorre en los vertebrados todo el cuerpo.

Como estructura, el notocordio, se evidencia ya en organismos urocordados que aparecen en el registro fósil durante el período Cámbrico ( $\pm$  542 - 488 millones de años). Los urocordados o tunicados, como también se les conoce, son formas de vida marina y con distinto tipo de movilidad, ya sea bentónica, planctónica, solitaria o colonial y que comprenden un subfilo de animales encuadrado dentro del filo de los cordados (Chordata, Bateson 1885), el mismo del que forman parte los vertebrados.

Aún mucho más conspicuo que en los urocordados, el notocordio se evidencia mucho más desarrollado en los cefalocordados, un subfilo de cordados que habita generalmente en zonas costeras y nada libremente en los fondos arenosos. Los cefalocordados son un grupo actualmente reducido y caracterizado por poseer un notocordio que llega hasta la parte anterior del cuerpo, recorre dorsalmente el cuerpo de estos animales en sentido longitudinal, por encima de la cual se halla un cordón nervioso que finaliza en un abultamiento o vesícula cerebral. De ambos lados de ese cordón nervioso se distribuyen pares de nervios hacia los segmentos musculares del cuerpo.

Dentro de los cefalocordados, un organismo muy interesante es *Pikaia gracilens* (Walcott, 1911) un género extinto conocido a partir de fósiles asignados al Cámbrico Medio, encontrado cerca del monte Pika (de donde deriva su nombre) en un yacimiento llamado Burgess Shale en Canadá y que posee una antigüedad de  $\pm$  570 millones de años.

*Pikaia* fue descrito inicialmente como un gusano poliqueto, no obstante, su aspecto general se parece más bien a un cefalocordado actual cuyo nombre es *Branchiostoma lanceolatum* (Pallas, 1774) y conocido más popularmente como "Amphioxus". En una revisión posterior de la fauna encontrada en Burgess Shale se ubicó a *Pikaia* dentro de los Cordados (Con-

way Morris, 1979).

Organismos como *Pikaia*, permiten observar el desarrollo de un nivel estructural más complejo y que anticipa la aparición de los vertebrados en el registro fósil, en que el notocordio no sólo recorre longitudinalmente todo el cuerpo, sino que además y de manera conjunta se va evidenciando un mayor desarrollo muscular y un nivel estructural más complejo de la región cefálica.

## 5.2.- Los primeros vertebrados, peces sin mandíbula.

El siguiente paso en la historia evolutiva de los vertebrados es la aparición de los craneados, los primeros organismos con un cráneo diferenciado ya sea óseo o cartilaginoso y con ellos la aparición del subfilo Craniata (Lankester 1877), un clado del filo cordados, que históricamente se utilizó para incluir a los peces sin mandíbula llamados ciclóstomos (mixinos y lampreas) y los peces con mandíbula llamados gnatostomados. Sin embargo, la circunstancia de que sólo las lampreas y los gnatostomados poseían verdaderas vértebras llevó a excluir a los mixinos del grupo craneados, que pasó a llamarse Vertebrata (Cuvier, 1812) a lo cual se sumó que las lampreas se pensaron más cercanas a los gnatostomados que a los mixinos (Janvier, 1981, 1996; Helfman *et al.*, 1997). Posteriormente, estudios filogenéticos, moleculares y morfológicos aportaron fuerte evidencia de que mixinos y lampreas conformaban un grupo monofilético (Kuraku *et al.*, 1999; Delabre, 2002; Heimberg *et al.*, 2010) y además demostraron que los mixinos poseen rudimentos de vértebras en su estado larvario (Ota *et al.*, 2011), con lo cual este último grupo fue incluido entonces en el clado Vertebrata, reuniendo nuevamente a ciclóstomos y gnatostomados en un mismo grupo y pasando con el tiempo a ser un sinónimo de Craniata.

Por su parte, la Paleontología, informa sobre algunos organismos fósiles que dejan ver una estructura anatómica muy cercana a la de los primeros vertebrados con cabeza y tronco

diferenciados y presencia de un notocordio que recorre longitudinalmente todo el organismo. Algunos de estos hallazgos fósiles son *Myllokunmingia fengjiaoa* (Shu *et al.*, 1999), *Haikouichthys ercaicunensis* (Shu *et al.*, 1999) y *Haikouella lanceolata* (Chen, Huang & Li, 1999), todos los cuales corresponden a primitivos cordados del período Cámbrico de China y que son propuestos por algunos investigadores como los primeros vertebrados que se conocen, aunque en algunos casos esta propuesta es debatida Donoghue & Purnell (2005).

Todos estos animales descritos por la Paleontología para China se asemejan en mucho a los mixinos y lampreas actuales, al igual que los conodontos (Conodonta, Pander 1856), un grupo de cordados fósiles actualmente extintos que, a diferencia de los mixinos y lampreas, presentan pequeñas estructuras de fosfato cálcico semejantes a dientes denominadas elementos conodontales que formaban parte de un aparato atrapador de alimentos situado en la región cefálica. No obstante, al igual que los mixinos y lampreas los conodontos presentan un notocordio conspicuo y eran organismos marinos de pequeño tamaño y con forma de anguila que vivieron y evolucionaron a lo largo de la Era Paleozoica y se extinguieron en el período Triásico, a inicios de la Era Mesozoica.

Más allá de todos esos organismos extintos mencionados tímidamente como los primeros vertebrados, los primeros esbozos de elementos vertebrales (procesos neurales), se dejan ver en cordados del tipo agnatos (lampreas), que aparecen en el registro fósil ya en el Cámbrico Medio, hace  $\pm 510$  millones de años. Uno de estos ejemplos es *Jamoytius kerwoody* (White, 1946), un pez ancestral del tipo ostracodermo que corresponde a estratos del Silúrico de Inglaterra y que puede ser incluido dentro de los vertebrados más antiguos hasta hoy descubiertos.

En la actualidad, el grupo Vertebrata, incluye a todos los animales que como elementos estructurales poseen verdaderas vértebras o

elementos constituyentes de éstas, como los arcos neurales y que aparecen incipientemente en animales como las lampreas y en formas fósiles como los ostracodermos (del griego “ostracos” concha y “derma” piel), que ya evidencian el desarrollo de estructuras vertebrales hace  $\pm 500$  millones de años.

Los ostracodermos comprenden un antiguo linaje extinto de peces agnatos, considerados entre los vertebrados más antiguos que se conocen. Eran pequeños peces (aunque algunos alcanzaban los 60 cm. de largo), fundamentalmente de agua dulce, que habitaron la Tierra aproximadamente entre  $\pm 500$  y 350 millones de años. Estaban recubiertos de escamas y una pesada coraza o escudo óseo, motivo por el que se movían por los fondos marinos alimentándose de los detritos que allí se iban depositando. Los ostracodermos, son considerados hoy como un grupo parafilético y que generalmente comprende cinco linajes principales: heterostráceos, osteostráceos, galeáspidos, anáspidos, y telodontos.

Al examinar los fósiles de ostracodermos, se observa de manera general, un prominente notocordio que proporciona el eje longitudinal al cuerpo del organismo, mientras que sólo unos pocos ejemplares presentan un ligero indicio de columna vertebral y si bien se han observado huellas de impresiones de elementos vertebrales en ejemplares fósiles de heterostracos, osteostracos y galeáspidos, estos elementos corresponden a pequeñas piezas sin osificar que rodean al notocordio.

Frente al hallazgo poco frecuente de elementos vertebrales en los ostracodermos, se plantean dos posibilidades: 1) Es probable que los ostracodermos tuvieran vértebras sin osificar o de tipo cartilaginoso y que éstas se conservaron mal. 2) Es probable, que carecieran de vértebras o que su presencia fuera rara.

En animales actuales estrechamente relacionados con los ostracodermos fósiles como los mixinos y lampreas, se deja ver un notocordio conspicuo y en las últimas, se dejan ver indi-

cios de arcos neurales como pequeños elementos cartilaginosos que carecen de cuerpos vertebrales y que descansan dorsalmente sobre un notocordio muy patente que proporciona soporte axial al cuerpo. Por su parte, los mixinos actuales, poseen notocordio, pero carecen de vértebras en su forma adulta, aunque como se dijo anteriormente Ota *et al.*, 2011 demostraron que los mixinos poseen rudimentos de vértebras en su estado larvario.

En este sentido, las características de los mixinos y lampreas actuales, que evidencian desarrollo de rudimentos vertebrales en estado larvario o bien arcos neurales en estado adulto, se asemeja mucho a la evidencia fósil que se desprende del grupo de los ostracodermos en que la mayoría de estos peces no evidenciaban elementos vertebrales, tal como se observa hoy en los mixinos, o bien el desarrollo de estos elementos óseos era poco frecuente o se evidenciaba sólo en parte del linaje como se observa en las lampreas.

### 5.3.- Vestigios de elementos vertebrales en peces mandibulados extintos.

Ahora bien, a partir de vertebrados posteriores a los ostracodermos, como los placodermos y acantodios, peces gnatostomados (caracterizados por poseer mandíbulas articuladas) que aparecen durante el período Silúrico y Devónico, comienzan a evidenciarse de manera más frecuente restos vertebrales en los

materiales fósiles publicados, aunque en la mayoría de los casos, estos restos vertebrales corresponden solamente a arcos neurales en las vértebras dorsales y arcos hemales en las vértebras caudales (Fig. 5).

Según Olivares & Rojas (2013), los primeros componentes estructurales de las vértebras fueron los arcos dorsales (neural e interneural) y ventrales (hemal e interhemal) que se apoyaban en el notocordio para luego, dar paso a la formación de dos centros (intercentro y pleurocentro), que ayudaron a fijar y dar soporte a los arcos, predominando el pleurocentro en los amniotas que se convierte en el cuerpo de cada segmento vertebral, mientras que el intercentro se convierte en el disco intervertebral.

Las primeras vértebras ya con una estructura completa, es decir la presencia de arcos neurales y hemales, así como la presencia de centros vertebrales bien definidos, se evidencia en los peces osteoictios, y mayormente en el grupo de los sarcopterigios, constituyendo a partir de entonces el rasgo predominante en la estructura corporal de los vertebrados, evidenciándose a partir de entonces distintos morfotipos vertebrales, especialmente con relación a la estructura, conformación y disposición del centro vertebral respecto de los demás elementos componentes de las vértebras (arcos neurales, procesos transversos, etc.)

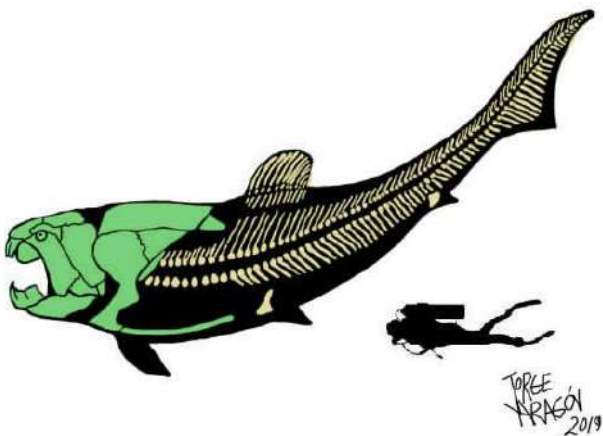


Fig. 5: pez placodermo que existió a fines del período Devónico y que ya evidenciaba estructuras de vértebras muy primitivas. Copyright © Jorge Aragón Palacios.

Dentro de los peces sarcopterigios, y específicamente en los crossopterigios (ripidistios), se deja ver la presencia de un tipo de vértebra raquítopa (aspidospóndila). Tanto el gran intercentro como el pequeño pleurocentro generalmente son pares, y con ellos está asociado un arco neural separado (Fig. 6).

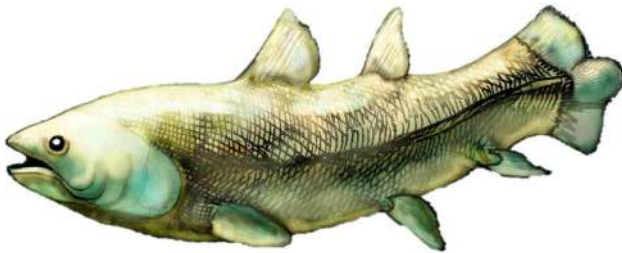


Fig. 6: dentro del grupo conocido como peces sarcopterigios y específicamente en los crossopterigios (ripidistios) aparecen en el registro fósil las primeras vértebras raquítopas o aspidospóndilas. Copyright © Jorge Aragón Palacios.

Este tipo de vértebra raquítopa permite ver un cuerpo vertebral formado por el intercentro articulado con el arco neural bien desarrollado y en que se observa otro elemento, el pleurocentro, con menor desarrollo y que se ubica en posición posterior al arco neural y superior al intercentro y que habrá de jugar un papel importante en el desarrollo de formas vertebrales posteriores.

Las vértebras del tipo raquítopa o aspidospóndila son encontradas en algunos peces crossopterigios (ripidistios) y también en algunos tetrápodos ancestrales y anfibios primitivos siendo un tipo especializado de vértebra aspidospóndila.

*Acanthostega* es un tetrápodo que presenta vértebras del tipo aspidospóndila (raquítopa). Presenta además vértebras cervicales y ocho dígitos en sus extremidades. No obstante, *Acanthostega* es un animal acuático y que probablemente no salía del agua sino tan sólo en forma incompleta. La articulación que presenta en sus extremidades no le permitía

desplazarse con facilidad en un medio terrestre. Es muy probable que sus extremidades las utilizara para desplazarse por el fondo de los lagos o charcos en los cuales vivía.

La vértebra aspidospóndila de los crossopterigios del Carbonífero, da lugar a un tipo de vértebra raquítopa en *Ichthyostega* (Säve-Söderbergh, 1932), un tetrápodo extinto.

Los huesos vertebrales de *Ichthyostega* eran también muy parecidos a los de los peces ripidistios. Si bien cada hueso vertebral poseía una proyección o “proceso” óseo, las vértebras mismas eran sueltas y no estaban ajustadas apretadamente unas a otras como ocurre en todos los vertebrados terrestres.

Ya que los animales terrestres requieren de una fuerte y sólida columna vertebral para poder sostener su propio peso en contra de la gravedad, ello sugiere, que *Ichthyostega* no poseía todavía suficiente locomoción terrestre y probablemente pasaba la mayor parte del tiempo en el agua, utilizando sus extremidades para empujarse a sí mismo alrededor del fondo del río. Ello es confirmado por la presencia en el esqueleto de *Ichthyostega* de los canales laterales que utilizan los peces para sentir las vibraciones en el agua.

El paso de un vertebrado sarcopterigio (crossopterigio, ripidistio) al de un vertebrado más derivado como *Ichthyostega*, implica que las vértebras aspidospóndilas del primero se desarrollaron en vértebras del tipo raquítopas, en que comienza un proceso de fusión de los distintos componentes vertebrales.

A partir de la vértebra raquítopa de los crossopterigios o ripidistios, el registro fósil informa de dos líneas evolutivas claramente observables en anfibios y reptiles, aunque igualmente aparece una tercera línea evolutiva dentro de los anfibios, cuyas verdaderas relaciones filogenéticas aún son objeto de estudio entre los vertebrados. Esta tercera línea evolutiva, es la línea de los lepospóndilos, que se observa en algunos anfibios urodelos, como las sala-

mandras, y que se manifiesta por medio de un cuerpo vertebral más bien elongado y con forma de carrete en que el centro macizo por lo general está perforado por un canal notocordal.

La condición lepospóndila parece ser la más primitiva y pudo haber dado lugar a los anfibios modernos, sin embargo, es probable igualmente que este tipo de vértebras estuviera restringido a los lepospóndilos, el grupo taxonómico que lleva el nombre de este tipo de vértebra, siendo incluso posible que la vértebra maciza de los anfibios modernos haya surgido independientemente.

Presumiblemente los lepospóndilos u holospóndilos se originaron a partir de antecesores con vértebras raquíomas o aspidospóndilas. Así, la única vértebra maciza, típica de los lepospóndilos, representa la fusión de elementos vertebrales que originalmente estuvieron separados. La línea holospóndila o lepospóndila, se evidencia en anfibios más derivados, siendo un tipo de vértebra especializada.

La mayoría de los lepospóndilos presentaban colas largas y pesadas; esto sugiere que, al igual que las salamandras modernas, eran nadadores. Los anfibios modernos también tienen una columna vertebral formada por vértebras macizas únicas en cada segmento, lo que sugiere que podrían haber evolucionado de lepospóndilos primitivos.

Una línea de evolución divergente se observa con relación a las diferencias en la importancia relativa de cada centro vertebral y que da lugar a la línea temnospóndila en que predomina el intercentro, y la línea antracosauria en que predomina el pleurocentro. En ambos casos, el notocordio se reduce a medida que aumentan los respectivos centros vertebrales para asumir el papel central en el soporte axial.

Las vértebras de los temnospóndilos primitivos eran raquíomas especializadas. Este tipo de vértebra estaba formado por un arco neural y un par de pleurocentros óseos sobre el notocordio. Sin embargo, en los temnospóndi-

los posteriores, los intercentros aumentan de tamaño, adquieren una forma cilíndrica y se osifican por completo.

La vértebra temnospóndila, en que predomina el intercentro y que se observa también en grupos de anfibios, constituye la línea clásica de evolución dentro de los anfibios, en que el intercentro evidencia un mayor desarrollo que el pleurocentro. Este tipo de vértebra, da origen a un morfotipo más derivado en que los elementos vertebrales aparecen más relacionados y que se conoce como la vértebra estereospóndila.

En el pasado se aplicó el término estereospóndilos a los anfibios temnospóndilos posteriores. Este criterio se basaba en que todos compartían un antecesor común porque todos compartían un diseño vertebral común (intercentro prominente). Sin embargo, ahora se considera más probable que estos últimos temnospóndilos hayan evolucionado independientemente a partir de grupos primitivos separados, y que los diseños vertebrales semejantes son consecuencia de una evolución convergente.

Por otra parte, en tetrápodos amniotas muy primitivos, y a partir de la vértebra raquíoma de los peces crossopterigios (ripidistios), se evidencia una vértebra de tipo antracosauria, en que tanto el intercentro como el pleurocentro, presentan un importante nivel de desarrollo dentro de la estructura vertebral. Este tipo de desarrollo da lugar a la vértebra de tipo embolómera, propia de amniotas muy basales.

Sin embargo, ya dentro de la línea antracosauria, se observa que el pleurocentro comienza a asumir un rol estructural predominante y a expensas del intercentro, dando lugar a que el cuerpo vertebral esté conformado mayormente por el pleurocentro tal como proponen Olivares & Rojas 2013 y que el intercentro vaya perdiendo desarrollo hasta conformar una estructura más bien de carácter vestigial en reptiles más derivados.

No obstante, existe un hiato morfológico o laguna en el registro fósil que abarca desde los últimos lepospóndilos (en el Pérmico) hasta las primeras ranas (a principios del Jurásico) o las primeras salamandras (al final del Jurásico); es decir, casi 40 millones de años sin fósiles que permitan conectar con seguridad los anfibios modernos y los últimos lepospóndilos. La semejanza en la conformación vertebral de los anfibios modernos y los últimos lepospóndilos puede reflejar una convergencia del diseño morfológico para una función natatoria paralela. Por consiguiente, las vértebras de configuración maciza han podido derivar independientemente en un grupo o en todos los grupos de anfibios modernos. Siendo así, el concepto lepospóndilo aplicado a la generalidad de organismos que presentan este rasgo podría eventualmente estar designando a un grupo polifilético.

En cuanto a la morfología del cuerpo vertebral se observa una vértebra del tipo anficélica especialmente en los peces, mientras que, en vertebrados continentales como anfibios o reptiles se dejan ver vértebras del tipo procélicas u opistocélicas, aunque vértebras opistocélicas se pueden ver también en algunos mamíferos especialmente en la región cervical. Vértebras de tipo acélicas son propias de los mamíferos, mientras que las del tipo heterocélicas son características de las aves, especialmente en la región cervical y que les dan la movilidad del cuello tan característica del grupo.

Por su parte, el proceso de regionalización de la columna vertebral ha adquirido diferentes grados en diferentes grupos de tetrápodos, dando lugar a una sorprendente disparidad fenotípica. De hecho, se observa que la evolución de la columna vertebral en los tetrápodos es un ejemplo clásico de compensación evolutiva en relación a la flexibilidad, dejando ver que el precio de la regionalización es una pérdida de flexibilidad en el proceso (Figueirido *et al.*, 2021).

Patrones de regionalización y disparidad (he-

terogeneidad) fenotípica a través de la evolución de los amniotas deja ver que ambos rasgos, aumentaron notablemente durante la evolución de los sinápsidos que son los ancestros de los actuales mamíferos en que se expresa de manera más notable esta característica, así como también en los saurópsidos precursores de diversos linajes de reptiles. Sin embargo, el inicio de la regionalización pareciera ser anterior a la divergencia entre sinápsidos y saurópsidos e incluso anterior al aumento de disparidad o heterogeneidad vertebral y habría evolucionado de manera independiente, dejando ver que la heterogeneidad y diversidad funcional no apareció sino hasta la aparición plena de los mamíferos como grupo corona de los sinápsidos y en última instancia, dicha variabilidad morfológica permitió que los mamíferos se especializaran en una notable diversidad de nichos ecológicos y patrones de comportamiento (Jones *et al.*, 2018), algo que se aprecia también en los reptiles, aunque en una medida distinta a los mamíferos.

## 6. ORIGEN EMBRIONARIO DEL NOTOCORDIO Y LAS VÉRTEBRAS

Las relaciones entre la filogenia y la ontogenia hoy en día están siendo objeto de estudio por parte de la biología evolutiva del desarrollo (evo-devo).

Si bien hoy en día se establece que el desarrollo embrionario de cada especie (ontogenia) no repite literalmente la historia evolutiva de dicha especie (filogenia) es claro, sin embargo, que dicho desarrollo embrionario viene determinado por su filogenia o grupo filogenético al que pertenece, característica que se encuentra particularmente demostrada en el desarrollo ontogénico de las vértebras.

Sabemos que los vertebrados presentan tres hojas embrionarias o capas celulares que posibilitan el desarrollo del embrión. Estas hojas embrionarias se conocen como endodermo, mesodermo y ectodermo.

El notocordio, se origina a partir del meso-



dermo, el cual a su vez se diferencia en tres regiones principales bien delimitadas: una dorsal (epímero o mesodermo paraxial), una medial (mesómero o mesodermo intermedio) y una ventral (hipómero o mesodermo de la placa neural) Fig. 7.

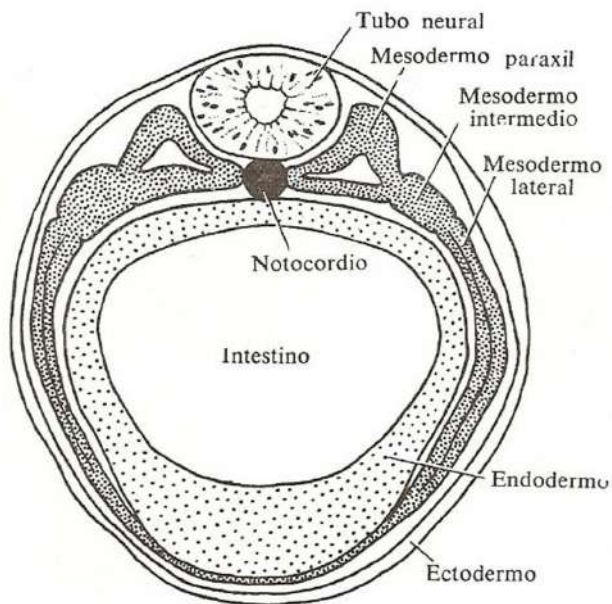


Fig. 7: sección transversal de un embrión de vertebrado que muestra la organización de su plan corporal. [Tomado del libro Anatomía Comparada, de William Montagna (1964), pág. 75]

El mesodermo dorsal o paraxial se agrupa a cada lado del notocordio y del cordón neural, desplegándose en bloques o somitos, que a su vez se distribuyen en torno a estas dos estructuras separados por vasos sanguíneos intersegmentarios.

Una vez formados los somitos, cada uno pasa a formar parte de tres segmentos bien definidos: a) Dermatomo: dará lugar a la dermis; b) Miotomo: dará lugar a la musculatura; c) Esclerótomo: dará lugar a las vértebras. El esclerótomo se despliega en sentido cefalocaudal, emigrando alrededor del notocordio

Los vasos sanguíneos intersegmentarios se utilizan como puntos de referencia para la descripción de los movimientos de segmentación de los somitos que darán origen a los

elementos vertebrales, mientras que la parte anterior de cada somito se separa de la parte posterior y se desplaza anteriormente hacia los vasos sanguíneos intersegmentarios; la masa posterior se desplaza posteriormente, creando un espacio entre ellos y obliterando el espacio originariamente existente entre los somitos.

El desarrollo embrionario de las vértebras se produce entonces como parte de un proceso de segmentación de los somitos, que dan origen al miotomo y al esclerótomo. El esclerótomo envuelve al cordón nervioso y al notocordio y sus somitos se reordenan para alternar con los del miotomo. Dos somitos adyacentes del esclerótomo, se dividen transversalmente, de manera que la mitad posterior de uno de ellos se une con la mitad anterior del siguiente en orden para formar un nuevo esclerótomo compacto que finalmente dará origen a una vértebra. Este proceso de división de los somitos y su fusión posterior a dicha segmentación, da como resultado una alternancia de los esclerótomos con los miotomos en forma tal que no hay en adelante desintegración completa entre dos segmentos

El lugar que finalmente ocupa cada vértebra está señalado por ocho placas cartilaginosa denominadas arcualia, cuatro en cada lado y que se forman a partir de la segmentación de los somitos del esclerótomo. El par dorsal anterior son los *basidorsales*; el par ventral anterior, los *basiventrales*; el par dorsal posterior, los *interdorsales*, y el par ventral, los *intervenrales*.

Los basidorsales se desarrollan por encima del tubo neural y se fusionan por encima de él para formar el arco neural. En la región caudal, los basiventrales se fusionan por debajo del notocordio, encierran los vasos sanguíneos caudales y forman el arco *hemal*. Los interdorsales e intervenrales raras veces forman arcos. Estos elementos son menores que los arcualias anteriores, y crecen alrededor del notocordio contribuyendo a la formación del cuerpo vertebral o centro.

En la mayoría de los vertebrados, aparte de los arcos neurales y hemales, se forman otros dos elementos vertebrales llamados intermedialia. Uno de estos elementos es el intercentro, en posición anterior y que se ubica en el mismo lugar que el basiventral. El otro elemento es el pleurocentro, en posición posterior, que se superpone a los interdorsales, elementos que se incorporan a los intermedialia.

En algunos peces como los condricios, los elementos interdorsales forman los arcos intercalares. En peces condrósteos, como el esturión, los interventrales por su parte, forman placas separadas por detrás de los basiventrales.

Por otra parte, en los condricios, las células que dan origen a los arcualias, invaden el centro notocordal y forman un anillo cartilaginoso único o centro vertebral, que por esta característica invasiva llega a llamarse centro intracordal, debido a que se forma dentro de la estructura del notocordio. En la mayoría de los vertebrados en cambio, el mesénquima o tejido que forma los arcualias se ubica fuera de la estructura del notocordio, rodeando al notocordio, y en consecuencia este tipo de centro es llamado centro pericordal.

En la región caudal de algunos peces y también en algunos reptiles, el intercentro y el pleurocentro forman cada uno de ellos un centro separado, fenómeno conocido como “diplospóndilia”. Este fenómeno se observa con frecuencia en anfibios fósiles. Fuera de la región caudal, el centro está formado por uno u otro elemento de los intermedialia, ya sea el intercentro o el pleurocentro.

En los anfibios, el cuerpo vertebral generalmente está formado por el intercentro, mientras el pleurocentro desaparece casi completamente. En los tetrápodos amniotas en cambio, el intercentro forma el disco intervertebral y el pleurocentro forma el centro vertebral.

Por su parte, el notocordio desaparece en los

segmentos del esclerótomo (cuerpo vertebral), pero persiste como el núcleo pulposo, resto gelatinoso del notocordio y que junto a las fibras del llamado anillo fibroso conforman los discos intervertebrales, los cuales según Wintrich *et al.*, 2020 también pueden ser pesquisados en reptiles.

## CONCLUSIÓN

En la historia evolutiva de los vertebrados, se distinguen dos elementos estructurales que cumplen un rol importante en el desarrollo de la columna vertebral, rasgo que distingue a este grupo. Estos dos elementos, notocordio y el cordón nervioso, constituyen el eje sobre el cual se desarrollan las vértebras y que, en adelante, en conjunto, constituyen un eje longitudinal en este linaje de organismos definiéndolo como grupo.

Desde el punto de vista filogenético, el notocordio es el elemento de base sobre el cual se va desarrollando la columna vertebral y que en la mayoría de los vertebrados va asumiendo progresivamente el papel de soporte del cuerpo y reemplazando al notocordio inicial. En los vertebrados los segmentos vertebrales se van desarrollando alrededor del notocordio y finalmente lo reemplazan.

El registro fósil, nos deja ver fundamentalmente, que los primeros esbozos de elementos vertebrales se evidencian ya a partir de peces del tipo agnatos, muy parecidos a los actuales mixinos y lampreas y que, en su estructura corporal, ya sea larvaria o adulta, dejan ver la presencia de arcos neurales en torno al cordón nervioso. De ahí en adelante, el registro fósil, deja ver organismos con un nivel de desarrollo mayor en la estructura de la columna vertebral.

Por otro lado, la biología del desarrollo permite distinguir cómo es que se forma una vértebra, y los intrincados procesos de segmentación a través de los cuales el esclerótomo, una región del mesodermo embrionario, va dando origen a estructuras llamadas “somitos”, los que finalmente serán responsables

de dar lugar al desarrollo de elementos como el arco neural y hemal, así como al desarrollo del cuerpo vertebral.

Siendo así, con la importante ayuda que brinda la paleontología y los datos aportados por la biología del desarrollo, se puede establecer con cierta claridad cómo es que se ha ido desarrollando el proceso evolutivo que va dando origen a los distintos morfotipos vertebrales y consecuentemente a los distintos tipos de vertebrados, distinguiéndose tempranamente y a partir de vértebras del tipo aspidospóndilas (raquídomas) presentes en los peces crossopterigios (ripidistios), dos morfotipos bien definidos, las vértebras de tipo temnospóndilas (tetrápodos anamniotas) y las vértebras de tipo antracosauria (tetrápodos amniotas).

El estudio de las vértebras a través de los fósiles y de su desarrollo ontogénico por medio de la biología del desarrollo permite pesquisar las diferencias morfológicas que éstas evidencian a lo largo de la historia evolutiva (evo-devo) aportando un conocimiento más profundo y definido sobre la anatomía comparada de estos elementos constituyentes del esqueleto axial de los vertebrados reforzando su utilidad al momento de identificar restos fósiles, trabajo fundamental del paleontólogo.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, J.-Y.; HUANG, D.-Y.; LI, C.-W. (1999). An early Cambrian craniate-like chordate. *Nature*. 402 (6761): 518–522.

CONWAY MORRIS, S. (1979). Middle Cambrian polychaetes from the Burgess Shale of British Columbia. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*. B. 285, pp. 227-274.

DELABRE, CHRISTIANE (2002). «Complete Mitochondrial DNA of the Hagfish, *Eptatretus burgeri*: The Comparative Analysis of Mitochondrial DNA Sequences Strongly Supports the Cyclostome Monophyly». *Molecular Phylogenetics and Evolution* 22 (2): 184-192.

DONOGHUE, P.C.J.; PURNELL, M.A. (2005) Genome duplication, extinction and vertebrate evolution, *Trends in Ecology & Evolution* 20 (6): 312-319.

FIGUEIRIDO, B.; MARTÍN-SERRA, A.; PÉREZ-RAMOS, A.; VELASCO, D.; PASTOR, F. J.; BENSON, R. J. (2021) Serial disparity in the carnivoran backbone unveils a complex adaptive role in metameric evolution. *Communications Biology* (2021) 4:863.

HEIMBERG, A. M.; COWPER-SALLARI, R.; SÉMON, M.; DONOGHUE, P. C. J.; PETERSON, K. J. (2010). MicroRNAs reveal the interrelationships of hagfish, lampreys, and gnathostomes and the nature of the ancestral vertebrate. *PNAS* 107 (45): 19379-19383.

HELFMAN GS, COLLETTE BB, FACEY DE (1997) *The diversity of fishes*. Blackwell Science Press, Malden, MA.

JANVIER, P. (1981). The phylogeny of the Craniata, with particular reference to the significance of fossil “agnathans”. *Journal of Vertebrate Paleontology* 1 (2): 121-159.

JANVIER, P. (1996) *Early vertebrates*. Oxford University Press, Oxford.

JONES, K. E.; ANGIELCZYK, K. D.; POLLY, P. D.; HEAD, J. J.; FERNANDEZ, V.; LUNG MUS, J. K.; TULGA, S.; PIERCE, S. E. (2018) Fossils reveal the complex evolutionary history of the mammalian regionalized spine. *Science* 361, 1249–1252.

KARDONG, K. V. (2007) *Vertebrados, Anatomía Comparada, Función, Evolución*. Cuarta Edición. McGraw-Hill Interamericana de España, S.A.U.

KURAKU, S., HOSHIYAMA, D., KATOH, K., SUGA, H., & MIYATA, T. (1999). Monophyly of Lampreys and Hagfishes Supported by Nuclear DNA-Coded Genes. *Journal of Molecular Evolution*, 49(6), 729–735.

MONTAGNA, W. (1964) *Anatomía Comparada*

da. Ediciones Omega S.A.

OLIVARES, R. & ROJAS, M. (2013) Esqueleto axial y apendicular de vertebrados. *Int. J. Morphol.*, 31(2):378-387, 2013.

OTA, KINYA G.; FUJIMOTO, SATOKO; OISI, YASUHIRO; KURATANI, SHIGERU (2011). Identification of vertebra-like elements and their possible differentiation from sclerotomes in the hagfish. *Nature Communications* 2: 373.

ROMMER, A. S. (1962) *Anatomía Comparada de Vertebrados*. Tercera Edición. Editorial Interamericana S.A.

SHU, D-G.; LUO, H-L.; CONWAY MORRIS,

S.; ZHANG, X-L.; HU, S-X.; CHEN, L.; HAN, J.; ZHU, M.; LI, Y.; CHEN, L-Z. (1999). Lower Cambrian vertebrates from south China. *Nature* 402 (6757): 42-46.

WINTRICH, T.; SCAAL, M.; BOHMER, C.; SCHELLHORN, R.; KOGAN, I.; VAN DER REST, A.; SANDER, P.M. (2020) Palaeontological evidence reveals convergent evolution of intervertebral joint types in amniotes. *Scientific Reports* (2020) 10:14106.



**unión**  
**alcoyana**  
**seguros**

Segueix-nos a:

# www.paleoisurus.com

## asociacion@paleoisurus.com



Si estas interesado en compartir nuestras inquietudes,  
puedes inscribirte como soci@ al 648270848  
o bien al correo e-mail: asociacion@paleoisurus.com

¡Te esperamos!

Asociación Paleontológica Alcoyana Isurus



## SITUACIÓ ACTUAL DE *PHYLLITIS SCOLOPENDRIUM* AL PARC NATURAL DE LA SERRA DE MARIOLA

Lluís SERRA LALIGA<sup>1,2</sup>

Roger CARCHANO JORDÀ<sup>3,4</sup>

Aruca SEBASTIÁN<sup>5</sup>

Carlos PEÑA<sup>5</sup>

Brigada Red Natura 2000 Alacant Nord<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Generalitat Valenciana. Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica, SS.TT. d'Alacant. C/Prof. Manuel Sala, nº2 03003-Alicante c.e.: serra\_llu@gva.es

<sup>2</sup>Estación Científica Font Roja Natura UA, Universidad de Alicante; Carretera de San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig

<sup>3</sup>VAERSA. Avda de les Corts Valencianes 20, 46015 Valencia.

<sup>4</sup>Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. Servei de Vida Silvestre i Xarxa Natura 2000. C\ Democràcia 77. Ciutat administrativa 9 d'Octubre. 46018 Valencia.

<sup>5</sup>Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. Centre de Conservació d'Espècies D'aigua dolça de la Comunitat Valenciana. València

**RESUM:** es dona referència de la primera població d'esta rara espècie trobada al P.N. de la Serra de Mariola, i es fan alguns comentaris sobre la seua distribució i ecologia.

**RESUMEN:** se refiere el hallazgo de la primera población de esta rara especie en el P.N. de la Serra de Mariola, y se realizan algunos comentarios sobre su distribución y ecología.

**ABSTRACT:** Current situation of *Phyllitis scolopendrium* in the Serra de Mariola Natural Park. The discovery of the first population of this rare species refers in the PN Serra de Mariola, and some comments on their distribution and ecology are made.

**Paraules clau:** Parc Natural Serra de Mariola, conservació, corologia, *Phyllitis scolopendrium*.

**Palabras clave:** Parc Natural Serra de Mariola, conservación, corología, *Phyllitis scolopendrium*

**Keywords:** Natural Park Serra de Mariola, chorology, conservation, *Phyllitis scolopendrium*



Foto 1. *Phyllitis scolopendrium* (Girona, Sant Joan de les Fonts)

## 1. INTRODUCCIÓ

La flora del Parc Natural de la Serra de Mariola està en procés de ser millor coneguda des de fa uns anys que varem començar a recopilar el que ja s'havia publicat i el que anavem trobant nosaltres mateixa al llarg dels anys (SERRA & AL., 2012). Posteriorment varem fer una segona publicació en la que afegirem un bon nombre d'espècies no trobades encara i varem resoldre alguns dubtes que s'arrossegaven des de feia anys (SERRA & AL., 2019).

Alguna de les espècies presents al parc natural ja va ser motiu d'estudi ampliat, degut a la seua raresa, en esta mateixa revista com va ser el cas de la *Caralluma munbyana* subsp. *hispanica* (SERRA & PERIS, 2015).

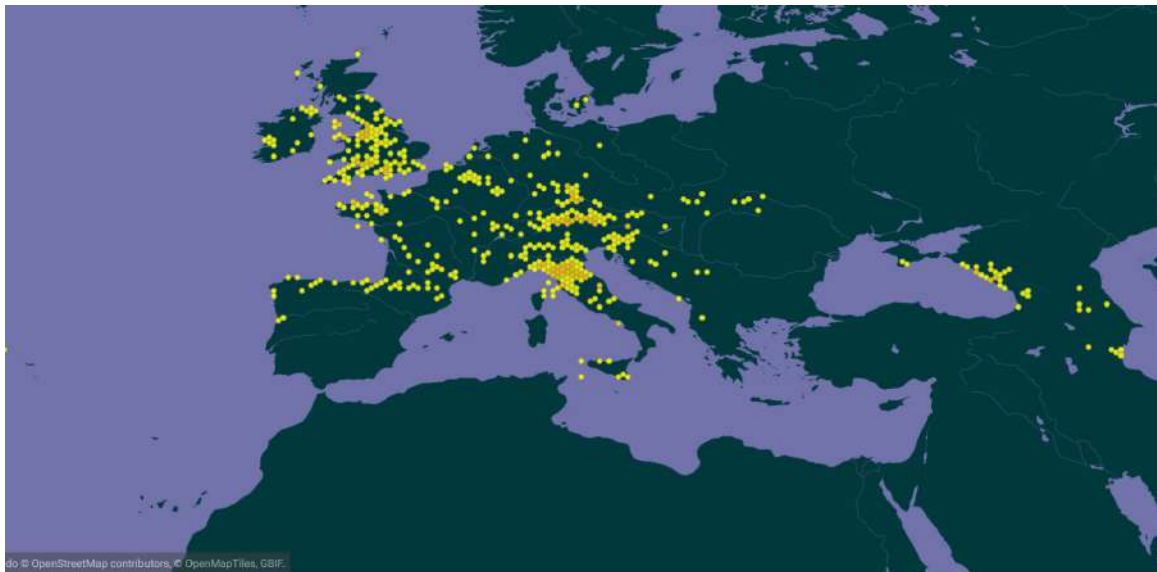
Ara portem ací la presència d'altra espècie igualment rara i escassa com és el *Phyllitis scolopendrium*.

La llengua de cérvol (*Phyllitis scolopendrium*) és una falaguera (foto 1) prou escassa a terres valencianes (MATEO, CRESPO & LAGUNA, 2011) amb poques localitats conegudes de les que una de les primeres, sinò la primera, va ser feta per CAVANILLES (1793) dels avencs de Partagat, a la serra d'Aitana on no ha segut tornada a trobar i per això es va fer un primer intent de reintroducció en 2008 (foto 2).



Foto 2. *Phyllitis scolopendrium* (Alacant, Benifato)

La seua distribució mundial original sembla centrar-se en Europa continental encara que arriba als arxipèlags d'Azores i Madeira (ORMONDE, 1986; ANDREWS & AL., 1994; BORGES & AL., 2005). A Nordamèrica i NE d'Àsia sembla assilvestrada, encara que hi ha poblacions tetraploïds (les europees serien diploïds) que es consideren autòctones i corresponents a una varietat diferent [*P. scolopendrium* var. *americanum* (Fernald) Kartesz & Gandhi] segons autors americans (GLEASON & CRONQUIST, 1991; WAGNER, MORAN & WERTH, 1993) o, fins i tot, com espècie diferent [*Asplenium komarovii* Akasawa (= *Phyllitis japonica* Komarov)] per als autors asiàtics (LIN & VIANE, 2013), veure mapa 1 (<https://www.gbif.org/es/species/7310677>).



Mapa 1. Distribució mundial de *Phyllitis scolopendrium* subsp. *scolopendrium*

A les nostres comarques va començar a localitzar-se dins de coves per un estudiós de la biodiversitat cavernícola (HERRERO-BORGOÑÓN, 1987) però a l'àmbit del parc natural restava la seua troballa.

## 2. MATERIAL I MÈTODES

Per a ubicar les poblacions d'esta espècie s'han emprat els GPS que porten els smartphones i després s'ha corregit sobre la cartografia digital i la fotografia aèria fent servir el visor del Institut Cartogràfic Valencià (<https://visor.gva.es/visor/>).

Les dades ambientals emprades així com les biogeogràfiques segueixen a RIVAS MARTÍNEZ & AL. (2007), tenint en compte el que s'ha esmentat per a la província d'Alacant (SERRA, 2007).

## 3. RESULTATS

Els requeriments ambientals de la llengua de cérvol fan que a casa nostra sols aparega en ambients molt ombrívols i humits, així la major part de poblacions es troben dins de coves en Vall d'Ebo o Benidoleig (HERRERO-BORGOÑÓN, 1984, 1987). Uns anys després es troba la primera localitat fora de coves, en el barranc del Condoig (PÉREZ BADIA, 1997). A partir d'eixos anys és una espècie que s'incorpora als treballs de conservació de la Generalitat Valenciana i s'augmenta la prospecció per trobar poblacions viables així com s'arregla material per iniciar el seu cultiu. Anys després s'incorporarà en la categoria de Protegida no Catalogada al Catàleg Valencià de Flora Amenaçada (ANÒNIM, 2009).

En quant a la situació en el parc natural la primera referència que tenim a la seua presència és una comunicació verbal de Juanjo Herrero-Borgoñón que als anys 90 ens diu que en 1981 es trobava al Molí Mató, però fent reparacions de la conducció d'aigua va desaparèixer. Eixa citació mai va arribar a ser publicada però ens va fer que dins de la declaració del Molí Mató com Microreserva de Flora en 2001 es pensa-

ra en la seua reintroducció.

També tenim la referència d'un home major del poble que coneix la presència de la falaguera "de sempre" a l'almàssera del poble, on arribava una sèquia des de l'assut que estava "plena de la falaguera" fins que es va entubar la conducció i ara sols resta un exemplar.

En 2003 es varen plantar 6 exemplars i en 2008 es va dur a terme un altra reintroducció i es plantarem 18 exemplars (foto 3) que, malauradament, no va prosperar i als pocs anys va desaparèixer pràcticament, encara que en 2010 hi havia sobreviscut algun exemplar (foto 4).



Foto 3. *Phyllitis scolopendrium* (Alacant, Agres)



Foto 4. *Phyllitis scolopendrium* (Alacant, Agres)

Anys després es va fer una nova intervenció fent una recreació d'una cova en un abric artificial existent a l'àrea recreativa propera. En



este cas es varen plantar diversos exemplars però sense tindre un fluxe d'aigua constant també varen desaparèixer.

Així doncs en 2014 restava algun exemplar al peu del Molí Mató, dins la joncada per on degota l'aigua i res més (foto 5). En 2017 i 2019 es varen a tornar i plantar 5 exemplars cada any però en els mostreigs fets en 2021 ja no s'ha trobat cap exemplar.



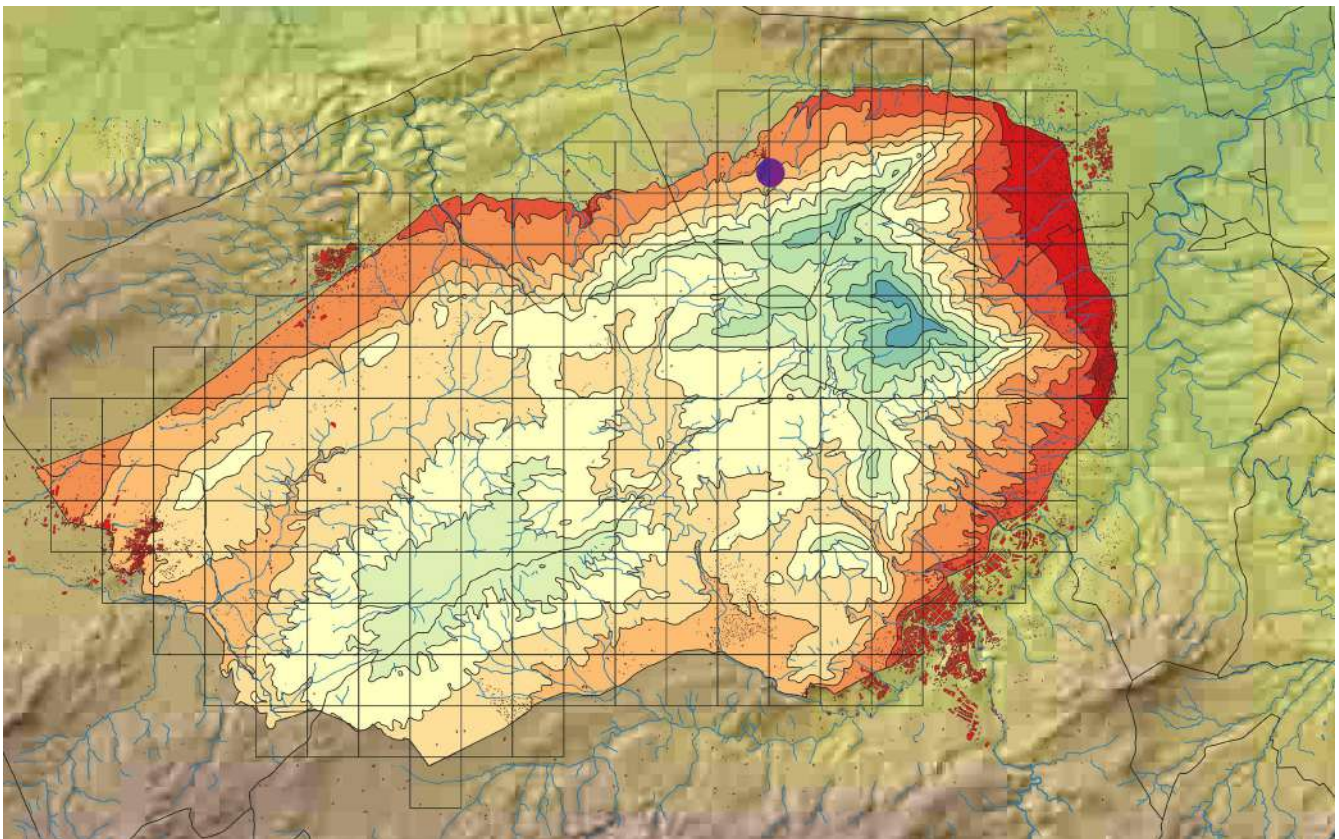
Foto 5. *Phyllitis scolopendrium* (Alacant, Agres)

Fins fa 3 anys quan en uns treballs d'eliminació de poblacions de l'espècie invasora *Ailanthus altissima* al barranc de l'Assut la Brigada de Biodiversitat de la Conselleria va descobrir una població natural que creixia a l'ombra de la vegetació a la part més humida i amb contacte amb el fil d'aigua del barranc.

Així, en l'actualitat la presència d'esta espècie de forma natural está confirmada i és la següent:

ALACANT: 30SYH1595-30SYH1596, Agres, Serra de Mariola, bc. de l'Assut, 690 m, R. Carchano & I. Francés, 6-8-2018, LSH 13228. *Ibidem*, L. Serra & A. Bort, 19-9-2021, (Mapa 2).

La població trobada al barranc de l'Assut es presenta dins una bosquina de diverses espècies assilvestrades com ara *Ailanthus altissima*, *Laurus nobilis*, *Ficus carica*, *Celtis australis* i *Eriobotrya japonica* amb alguns exemplars de *Ulmus minor* i *Fraxinus ornus*



Mapa 2. Ubicació de la població de *Phyllitis scolopendrium* al P. N. de la Serra de Mariola (punt blau).



La població es troba en ombrotipus subhumit i termotipus mesomediterrani inferior. Al menys hem trobat 37 exemplars que ocupen una superfície que no arriba als 100 m<sup>2</sup> (Mapa 3).

Com ja hem esmentat és una espècie protegida inclosa en l'Annex III del DECRET 70/2009, del Consell, pel qual es crea i regula el Catàleg Valencià d'Espècies de Flora Amenaçades, pel que és important mantindre unes condicions ambientals òptimes per a que tinga un futur la població ara coneguda.

#### 4. AGRAÏMENTS

A Ana Bort per la companyia al treball de camp i a Rafael i Vanessa Beneyto, Ignacio Francés i Juanjo Herrero, per la informació subministrada.

#### 5. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

ANDREWS, S., CANNON, M.J., COPE, T.A., KHAN, R., GIBBY, M., GOYDER, D.J., MCCLINTOCK, D., MULLIN, J.M., ORMONDE, J., PAUL, A.M., PRESS, J.R., SHORT, M.J., TEBBS, B.R., TEBBS, M.C., TURLAND, N., WHITEFOORD, C. & VICKERY, A.R. (1994). *Flora of Madeira*. Intercept Limited. Hampshire.

BORGES, P.A.V., CUNHA, R., GABRIEL, R., MARTINS, A.F., SILVA, L. & VIEIRA, V. (2005). *A list of the terrestrial fauna (Mollusca and Arthropoda) and flora (Bryophyta, Pteridophyta and Spermatophyta) from the Azores*. Direcção Regional do Ambiente. Governo Regional dos Açores. Horta.

CAVANILLES, A.J. (1793). *Icones et Descriptiones Plantarum, vol. II*. Ex Regia Typographia. Madrid.

GLEASON, H.A. & CRONQUIST, A. (1991). *Manual of Vascular Plants of Northeastern United States and Adjacent Canada*. The New York Botanical Garden Press. New York.

HERRERO-BORGOÑÓN, J.J. & MATEO, G. (1984). *Sobre la presencia de Asplenium scolopendrium y Asplenium sagittatum en las simas valencianas*. Folia Bot. Misc. 4: 7-14.

HERRERO-BORGOÑÓN, J.J. (1987). *La flora de las simas valencianas. Contribución a su estudio*. Centre Excursionista de València. Federació Territorial Valenciana d'Espeleologia. València.

LIN, Y. X. & R. VIANE (2013). *Aspleniaceae*. Pp. 267–316 in Z. Y. WU, P. H. RAVEN & D. Y. HONG (eds.) *Flora of China, Vol. 2–3 (Pteridophytes)*. Beijing: Science Press. Missouri Botanical Garden Press. St. Louis.

MATEO, G., CRESPO, M.B. & LAGUNA, E. (2011). *Flora Valentina I. Pteridophyta - Gymnospermae - Angiospermae (I)*. Fundació de la Comunitat Valenciana per al Medi Ambient. València.

ORMONDE, J. (1986). *Phyllitis in CASTROVIEJO, S., LAÍNIZ, M., LÓPEZ GONZÁLEZ, G., MONTSERRAT, P., MUÑOZ GARMENDIA, F., PAIVA, J. & VILLAR, L. (eds.) Flora Iberica, vol. I. Lycopodiaceae-Papaveraceae*. Real Jardín Botánico, CSIC. Madrid.

RIVAS MARTÍNEZ, S., ASENSI, A., DÍEZ GARRETAS, B., MOLERO, J., VALLE, F., CANO, E., COSTA, M., LÓPEZ, M. L., DÍAZ, T. E., PRIETO, J. A. F., LLORENS, L., ARCO, M. J., FERNÁNDEZ, F., SÁNCHEZ MATA, D., PENAS MERINO, A., MASALLES, R. M., LADERO, M., AMOR, A., IZCO, J., AMIGO, J., LOIDI, J., MOLINA ABRIL, J. A., NAVARRO, G., CANTÓ, P., ALCARAZ, F., BÁSCONES, J. C., & SORIANO, P. (2007). *Mapa de series, geoserries y geopermaseries de vegetación de España*. Itinera Geobot. 17: 5-436.

SERRA, L. (2007). *Estudio crítico de la flora vascular de la provincia de Alicante: Aspectos nomenclaturales, biogeográficos y de conservación*. Ruizia 19. Real Jardín Botánico, C.S.I.C. Madrid.

SERRA, L., OLTRA BENAVENT, J. E., CONCA, A., SOLER, J. X., & NEBOT, J. R. (2012). *Catálogo de la flora del Parque Natural de la Sierra de Mariola (Alicante-Valencia)*. Flora Montiberica 51: 97-125.

SERRA, L., OLTRA BENAVENT, J.E. & SOLER, J.X. (2019). *Addicions i correccions a la flora del Parc Natural de la Serra de Mariola (Est de la península Ibèrica)*. Butll. Inst. Cat. Hist. Nat. 83: 177-194.

SERRA, L. & PERIS, J.I. (2015). *Caralluma munbyana subsp. hispanica* (Asclepiada-

ceae), *novetat per al Parc Natural de la Serra de Mariola*. Isurus 8: 50-55.

SERRA, L. & SOLER, J. X. (2011). *Flora del parc natural de la Font Roja*. Alcoi. CAM.

WAGNER, W. H., MORAN, R. C. & WERTH, C. R. (1993). *Asplenium L.* In: FLORA OF NORTH AMERICA EDITORIAL COMMITTEE (eds.). *Flora of North America*, 2: 228-245. Oxford University Press. Oxford & New York.

**Fool Fossils®**

**VENTA ONLINE DE FÓSILES Y MINERALES**  
**Envío gratuito para pedidos de más de 70€**

**www.foolfossils.com**

 [www.facebook.com/FoolFossils](https://www.facebook.com/FoolFossils)  [@foolfossils](https://twitter.com/foolfossils)

## PERSONAJES HISTÓRICOS RELEVANTES

### BERTOMEU DARDER I PERICÀS

por Gabriel GARCÍA RIPOLL

Ángel CARBONELL ZAMORA

Miembros de la asociación Paleontológica Alcoyana "ISURUS"

Nacido en Palma de Mallorca en 1895. Cuando Darder contaba quince años de edad tuvo la suerte de acompañar en sus expediciones geológicas a Paul Fallot, padre de las investigaciones estratigráficas,

Paleontológicas y tectónicas por los dominios alpinos. Parece ser que éste descubrió en el joven Darder unas capacidades fuera de lo común para la Geología.

Desde entonces mantuvieron una frecuente correspondencia. De Fallot aprendió un método de trabajo de campo y la capacidad para interpretar los materiales geológicos prestando gran atención a los fósiles.

Terminado el Bachillerato acomete los estudios de Ciencias Naturales y veterinaria conjuntamente en las Universidades de Zaragoza y Madrid.

En 1915 obtiene mediante oposición una plaza al Cuerpo de Inspectores Provinciales de Higiene y Sanidad Pecuaria. Pero ni siquiera tomó posesión de la misma. Su vocación era la Geología.

En 1920 obtuvo la Cátedra de Agricultura en el Instituto de San Sebastián, y el mismo año la permutaba por la de igual disciplina en el de Tarragona. En esta ciudad discurrió su vida acompañado de su esposa doña María Seguí, su hijo y sus hijas.

Una de las obsesiones de Darder era la relación entre las sierras de Mallorca y las del litoral levantino. A esta tarea dedicó doce años de expediciones, recogida de muestras, levantamiento de mapas y cortes e identificación de miles de fósiles. Fue su trabajo de tesis doctoral.

En el año 1933 obtuvo el título de Doctor en Ciencias, sección de Naturales. El título de la memoria doctoral era: "Estratigrafía de los terrenos secundarios del sur de la provincia de Valencia y norte de la de Alicante". La publicación de este trabajo (una de las ilusiones de su vida) no la pudo ver realizada en vida.

Bajo el título "Estudio Geológico del sur de la provincia de Valencia y norte de la de Alicante" fue publicada por el Boletín del Instituto Geológico y Minero (tomo LVII, 229).

En 1945, un año después de su fallecimiento. Esta edición tiene un prólogo de Pedro de Novo, del que entresacamos estos datos.

Poseedor de muchos títulos y condecoraciones e Hijo Predilecto de la Ciudad de Palma de Mallorca, Bartolomé Darder estuvo pensionado en varias ocasiones por el Ministerio de Instrucción Pública y por la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas en Italia, Suiza y Francia, donde estudió especialmente la tectónica de los Alpes y de los Apeninos. Fue colaborador del Instituto Geológico y Minero de España durante la organización del XVI Congreso Geológico Internacional, reunido en Madrid en 1926. Le correspondió ser Secretario de la Sección de Tectónica y dirigió (acompañado de su maestro Paul Fallot y de Manuel de Cincunegui) las excursiones que realizaron algunos congresistas a la Isla de Mallorca. En la bibliografía paleontológica hay 8 especies dedicadas a Darder por Vidal, Fallot, Astre, Bataller y Lambert.



## ELS JACIMENTS PALEONTOLÒGICS DEL CRETACI SUPERIOR CONTINENTAL DELS PIRINEUS: NOVES ESPÈCIES DE DINOSAURES I VERTEBRATS DE L'ILLA IBEROARMORICANA

**Àngel GALOBART LORENTE**

Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Museu de la Conca Dellà

**RESUM:** just abans de l'extinció dels dinosaures, Europa era un conjunt d'illes connectades de forma intermitent amb els continents asiàtic, americà i africà. Entre aquestes illes s'hi trobava l'anomenada Iberoarmoricana, els sediments de la qual es troben avui en dia a banda i banda del Pirineu. Al vessant sud s'hi ha fet excepcionals descobriments de restes de dinosaures i altres vertebrats que han permès la descripció d'un mínim de deu noves espècies desconegudes en altres jaciments europeus.

**RESUMEN:** justo antes de la extinción de los dinosaurios, Europa estaba constituida per un conjunto de islas conectadas de forma intermitente con los continentes asiático, americano y africano. Una de estas islas es la llamada Iberoarmórica, cuyos sedimentos se encuentran hoy en día a ambos lados del Pirineo. En su vertiente sur se han llevado a cabo excepcionales descubrimientos de restos de dinosaurio y de otros vertebrado, que han permitido la descripción de un mínimo de diez nuevas especies desconocidas en otros yacimientos europeos.

**ABSTRACT:** just before the extinction of the dinosaurs, Europe was a set of islands intermittently connected to the Asian, American, and African continents. Among these islands was the so-called Iberoarmoricana, whose sediments are now found on both sides of the Pyrenees. On the southern slope, exceptional discoveries of dinosaurs and other vertebrates has allowed the description of, at least, ten new species unknown in other European sites.

**Paraules clau:** dinosaures, Cretaci Superior, Pirineu, Iberoarmòrica, extinció.

**Palabras clave:** dinosaurios, Cretácico Superior, Pirineo, Iberoarmórica, extinción.

**Keywords:** dinosaurs, Upper Cretaceous, Pyrenees, Iberoarmoricana, extinction.

## 1. INTRODUCCIÓ

A banda i banda del Pirineu s'estén una franja de terres de color gris i vermell que correspon als sediments anomenats Garumnians i que es daten de finals del Cretaci i inici del Paleogen, fa entre uns 72 i 55 milions d'anys. El terme Garumnià, tot i que està en desús, encara és un bon indicador d'aquests sediments continentals que, en la seva part inferior, ens ha donat una bona representació de fòssils d'animals i plantes de finals del Campanià i del Maastrichtià, els dos darrers estatges del Mesozoic, just abans de l'extinció dels dinosaures.

Aquests sediments corresponen a les zones costeres i fluvials d'una gran illa situada al sud d'Europa: Iberoarmòrica. Aquesta illa variava de mida depenent de les fluctuacions del nivell del mar i era punt de pas de les migracions faunístiques provinents de l'Àsia, Amèrica o Àfrica.

En el vessant sud dels Pirineus aquests afloraments tenen una major extensió a les comarques del Berguedà (Província de Barcelona), Alt Urgell, Pallars Jussà i Noguera (Província de Lleida), a Catalunya, i a la Ribagorça aragonesa.

A nivell geològic els sediments ens indiquen una retirada del mar cap a l'oest, cap a l'actual Golf de Biscaia, que té lloc durant tot el Garumnià. A mesura que el mar es retira, augmenta la superfície de zona costanera i platges de sorra, representades pels Gresos d'Areny. Les platges es van desplaçant cap l'oest i nous ambients colonitzen les costes abandonades, primer en forma d'aiguamolls i zones pantanoses (que donen lloc a sediments grisosos, també anomenada Unitat Gris) i finalment acaben constituint una xarxa fluvial molt ben desenvolupada que aporta uns sediments vermellosos (Unitat Vermella Inferior). Tot aquest procés de regressió marina sofreix una parada temporal, associada a les conseqüències de l'impacte d'un asteroide a la Terra, ara fa 66 milions d'anys, i que va suposar l'extinció dels dinosaures no avians. En el registre geològic aquest fet es queda registrat en uns estrats calcaris, de gruix va-

riable, que donaran lloc de nou als sediments vermellosos dels rius del Paleocè.

Val la pena remarcar que aquestes unitats que hem comentat (Gres d'Areny, Unitat Gris i Unitat Vermella) només són indicadors ambientals, no cronològics. Això és així ja que, per exemple, les platges que es desenvolupen a l'est (al Berguedà o Alt Urgell) es formen a finals del Campanià (fa uns 72 milions d'anys) en tant que el mateix Gres d'Areny a la Ribagorça es forma fa 66 milions d'anys. Aquest aclariment geològic és de gran interès, ja que implica que dos esquelets trobats en el mateix tipus de sediments poden estar separats per més de cinc milions d'anys.

## 2. ELS PRIMERS DESCOBRIMENTS DE DINOSAURES

La història dels descobriments de restes de dinosaures al vessant sud del Pirineu comença l'any 1917 amb les obres de l'embassament de Sant Antoni de Talarn. Al finalitzar les obres, durant les tasques de construcció del canal de desguàs de la presa, els treballadors troben un gran os fossilitzat que acabarà dipositat al Museu de Geologia de Barcelona i que seria el primer os d'un dinosaure, un sauròpode, trobat a Catalunya. Posteriorment, als anys quaranta, i durant les prospeccions en busca de gas i petroli, es troben noves restes d'ossos, però no serà fins l'arribada del Dr. Walter Kühne, l'any 1954, que es fa la primera excavació per extreure part d'un esquelet d'un dinosaure (fig. 1). Els ossos que extreu Kühne al jaciment d'Orcau (municipi de Tremp) es depositaran al Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, i allà hi restaran durant més de 50 anys sense estudiar en detall.

No obstant, un parell de publicacions (Talens, J. 1955a i b) posen en relleu la riquesa de la Conca de Tremp pel que fa als fòssils de dinosaure. Des de llavors, es succeeixen petites campanyes de prospecció i excavació dutes a terme per universitats europees, fins que a mitjans dels anys 80 un equip format per paleontòlegs de l'Institut de Paleontologia de Sabadell i la Universidad Autónoma de Madrid descobreixen nous jaciments a la zona.

Un d'aquests, el de Sant Romà d'Abella (fig. 2), conserva part de l'esquelet del que serà el primer dinosaure descrit al Pirineu. Els investigadors de l'IPS, Josep Vicenç Santafé i M<sup>a</sup> Lurdes Casanovas (Casanovas-Cladellas *et al* 1993) descriuen el *Pararhabdodon isonensis*, primer com un rhabdodontid i després com un hadrosaure. Posteriors estudis han permès incloure *Pararhabdodon* dins del grup dels Lambeosaurins, hadrosaures amb cresta, amb clara afinitat amb els hadrosaures asiàtics, com el *Tsintaosaurus*.



Fig. 1: imatge del jaciment d'Orcau durant les excavacions dutes a terme per Walter Kühne (camisa blanca, a la dreta de l'imatge) i Emiliano Aguirre, amb la col·laboració dels senyors Josep Montané (camisa fosca, a l'esquerre de l'imatge) i Nadal. Archivo MNCN-CSIC



Fig. 2: imatge de les excavacions al jaciment de Sant Romà d'Abella. En la imatge Josep Vicenç Santafé, Eduard Domínguez i Antoni Adell. Foto del Museu de la Conca Dellà.

### 3. EL SEGLE XXI, L'EXPLOSIÓ CIENTÍFICA DELS DINOSAURES DEL PIRINEU

Amb el tornar del segle XXI, un nou equip de recerca format, bàsicament, per investigadors de l'Institut Català de Paleontologia i l'Àrea d'Estratigrafia de la Universitat Autònoma de Barcelona, duen a terme desenes de campanyes d'excavació i detallats estudis geològics que han permès la descripció de noves espècies de dinosaures, tortugues o cocodrils.

Si comencem amb aquests darrers, s'han descrit dues noves espècies de cocodrils: *Allodaposuchus hulki* (Blanco *et al* 2015) i *Allodaposuchus palustris* (Blanco *et al* 2014). El primer en el jaciment de Casa Fabà (Pallars Jussà, Lleida), a partir d'un fragment de crani de grans dimensions (fig. 3), fet que va inspirar el seu nom de hulki, en honor de l'heroi dels còmics Marvel "Hulk", o la "Massa", com ens va arribar aquí.

El segon, *A. palustris*, es descriu a partir de bona part de l'esquelet d'un cocodril de mida més petita trobat al jaciment de Fumanya Nord (Berguedà, Barcelona). Finalment, l'any 2020 es va descriure una nova espècie de cocodril ben particular: *Ogresuchus furatus* (Sellés *et al* 2020). Aquest cocodril, trobat a Coll de Nar-



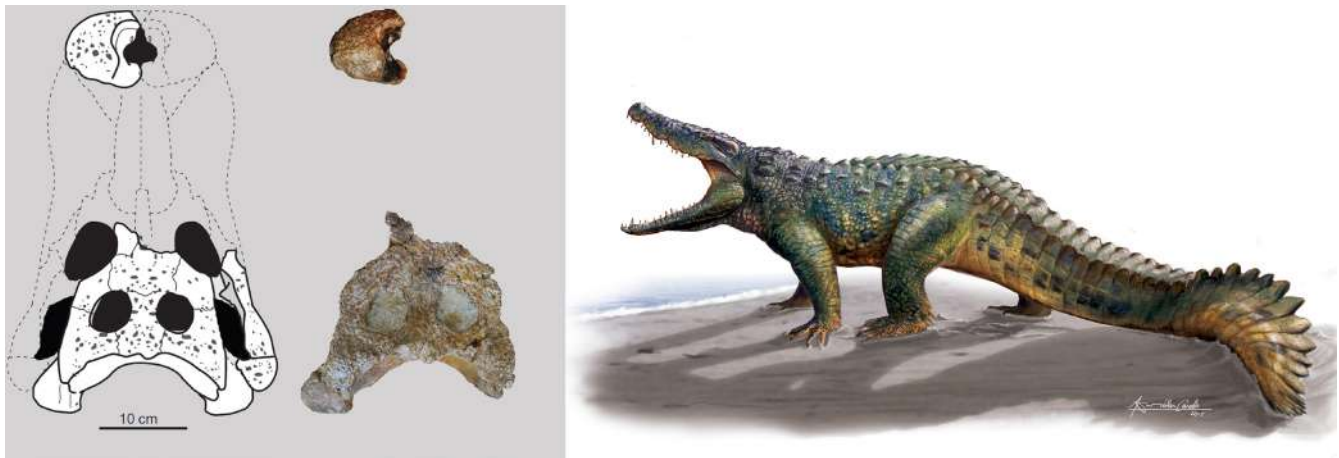


Fig. 3: fragment del cran d'*Allodaposuchus hulki* i reconstrucció en vida (©ICRA ART).

gó, és particular perquè va ser furtat (d'aquí el nom de l'espècie furatus) del jaciment, just abans de la seva extracció. Afortunadament els treballs duts a terme per la Unitat de Delictes Patrimonials dels Mossos d'Esquadra van donar els seus fruits i el cocodril retornat, amb més o menys danys, per la seva preparació i estudi científic. L'altre particularitat d'aquest exemplar és que es tracta d'un cocodril corredor del grup dels sebècids, un grup que només es coneixia a la Península Ibèrica en jaciments de l'Eocè, quasi 20 milions d'anys més moderns que *Ogresuchus*. Fins el moment del descobriment d'aquest exemplar, els sebècids només es coneixien en els jaciments del Cretaci superior de Sud-Amèrica, la qual cosa ens permet suposar que en aquell moment hi va haver una primera migració de faunes des del continent sud-americà fins a Europa.

Pel que fa a les tortugues, en el jaciment de Torrebilles (Pallars Jussà) es va trobar una closca bastant sencera d'una tortuga terrestre que, després de comparar amb les ja existents, els seus autors van considerar que era una espècie nova: *Polysternon isonense* (Marmi *et al* 2012).

Abans de passar als nous dinosaures, cal remarcar que tot el Pirineu és molt ric amb closques i ous de dinosaure, especialment el municipi de Coll de Nargó (Alt Urgell, Lleida). Si bé bona part dels ous descoberts, oospècies en terminologia paleontològica, eren ja coneguts i descrits científicament, la majoria de dinosaures sauròpodes, s'han trobat dues noves oospècies. La primera, *Prismatoolitus trempi*

(Selles *et al* 2014a), del jaciment de l'Espinau (La Noguera), és una nova forma d'ou de dinosaure carnívor (teròpode) que només s'ha trobat al sud dels Pirineus. L'altre nova oospècie, *Spheroolithus europaeus* (Selles *et al* 2014b), correspon a closques d'ous fragmentats d'hadrosaure trobades al jaciment de Pont d'Orri (Pallars Jussà). Aquest fet és molt important perquè els ossos d'hadrosaure són molt comuns en els jaciments dels Pirineus, però fins aquest descobriment no s'havia trobat cap ou d'aquest grup. Finalment, pel que fa als ous, volem remarcar que un article científic recent identifica un tipus d'ous, els *Cairanoolithus*, com a ous d'anquilosaure (els dinosaures cuirassats) (Selles & Galobart 2016).

#### 4. ELS DARRERS DINOSAURES DESCOBERTS

La localització, extracció, preparació i estudi dels ossos de dinosaure és una tasca molt complexa i que s'allarga molt en el temps, principalment perquè solen ser ossos molt grans però a la vegada molt fràgils i molt difícils de restaurar.

No es estrany que ara, molts anys després de les primeres campanyes d'excavació fetes pel nostres equips, comencin a descriure's noves espècies.

##### Els carnívors

Un exemple d'aquesta complexitat ens el proporciona el primer troodontid (un teròpode del

grup dels Maniraptors), un tipus de carnívor comú a Àsia, descrit en el jaciment de Sant Romà d'Abella. L'any 2003, en una campanya d'excavació en aquest jaciment, on recordem que a mitjans anys 80 havia donat els ossos del *Pararhabdodon*, es va localitzar un petit os allargat, que en un primer moment es va atribuir a un tendó ossificat de la cua de *Pararhabdodon*. Quinze anys després, un estudi detallat d'aquest os va permetre identificar-lo com un metatarsià (un os del peu) d'un carnívor molt especial. La comparació amb totes les mans de carnívor conegudes va deixar clar que ens trobàvem, encara que costés de creure, davant un troodontid, el primer trobat a Europa. El nom triat per descriure aquest dinosaure va ser *Tamarro insperatus* (Selles *et al* 2021), fent referència a un ésser mitològic de les llegendes pallareses, el tamarro, que sempre es busca i mai es troba.

### Els Ornitòpodes

Com ja hem apuntat, el primer dinosaure descrit al sud del Pirineu va ser l'ornitòpode lambeosaurí *Pararhabdodon*. Durant molts anys va ser l'únic dinosaure descrit a aquesta banda dels Pirineus, però a partir del segle XXI es van descriure diverses espècies més de lambeosaurins, alguns a la banda aragonesa dels Pirineus i altres a la Catalana.

A l'Aragó són famosos els afloraments del cretaci terminal d'Areny i rodalies on s'han descrit dues espècies amb certes similituds amb *Pararhabdodon* però que es consideren noves espècies. Són l'*Arenysaurus ardevoli* (Pereda-Suberbiola *et al* 2019) i el *Blasisaurus canudoi* (Cruzado-Caballero *et al* 2010), descoberts en els jaciments d'Areny i de Blasi i estudiats per un equip de paleontòlegs de la Universitat de Saragossa, coordinats pel Dr. Iñaki Canudo.

A la banda catalana també s'ha descrit un nou lambeosaure, l'*Adynomosaurus arcanus*, trobat en sediments uns 3 milions d'anys més antics que el Pararhabdodon i que ha resultat ser el lambeosaure més gran trobat a Europa. Les restes esquelètiques d'aquest ornitòpode van ser trobades per un jove pastor que, de petit, assistia tot sovint a les excavacions

paleontològiques que tenien lloc al costat del seu poble. Anys després, quan va trobar fragment d'os entre els sediments on no va dubtar a identificar-los com a ossos de dinosaure i gràcies a aquest fet es va poder excavar i reconstruir bona part de l'*Adynomosaurus*.

### Els Sauròpodes

Una altra nova espècie amb molta història, *Abditosaurus kuehnei* (Vila *et al.*, 2021), un enorme sauròpode trobat al jaciment d'Orcau (Pallars Jussà, Lleida), seguint la pista de les troballes fetes l'any 1954!. Efectivament, seguint les pistes del Dr. Kühne es va trobar el jaciment i es va continuar l'excavació de l'esquelet, de manera que els nous ossos extrets en les campanyes desenvolupades entre l'any 2011 i 2015 es van afegir als que encara estaven dormint al Museo de Ciencias Naturales de Madrid. Gràcies a la troballa del diari de camp del Dr. Kühne, s'ha pogut establir que ens trobem davant d'un únic exemplar de titanosaure (dinsaure sauròpode) que devia mesurar uns 15 metres de longitud i que estava emparentat amb les espècies descrites a Amèrica del Sud. D'aquest espècimen és destacable el fet que és va trobar el seu coll amb les vèrtebres en connexió anatòmica. Aquesta circumstància va complicar molt els treballs d'excavació, ja que es va voler extreure tot el bloc d'ossos i sediments d'una sola peça. Després de diverses campanyes d'excavació es va poder extreure el bloc, d'uns 4.500 quilograms de pes, amb 12 vèrtebres que es van preparar als tallers del Museu de la Conca Dellà. Aquest és un dels poc colls de sauròpode trobats en connexió anatòmica en tot el món (fig. 4).

Però aquest no és la única espècie de dinosaure sauròpode present en els jaciments del Pirineu català, ja que en altres jaciments d'edat maastrichtiana, com Molí del Baró (Isona), les Gavarres o Els Nerets (Tremp) s'hi ha trobat diverses restes de titanosaure. A Molí del Baró es va localitzar un fèmur de mida molt petita, i molt esvelt, que corresponia a un adult, probablement un nan. Al tractar-se d'un únic os no s'ha erigit una nova espècie, tot i ser completament diferent a la resta



Fig. 4: vista del coll articulat del titanosaure *Abditosaurus* del jaciment d'Orcau (Pallars Jussà)

d'espècimens descrits tant al Pirineu com a la resta d'Europa. En el segon jaciment, les Gavarres, s'ha localitzat l'extremitat anterior de l'esquelet d'un titanosaure gegant, molt més gran que el d'Orcau (amb una mida que duplicaria la de l'*Abditosaurus*). En aquest cas s'espera continuar els treballs de camp, amb l'esperança de trobar noves restes que permetin descriure una nova espècie.

Finalment, en el jaciment del Nerets, que es va començar a excavar a partir dels anys 80 del segle passat, s'hi ha trobat una fòssil excepcional, les restes del crani d'un dinosaure sauròpode. Els diversos ossos del crani es van trobar en un espai molt reduït i, un cop restaurats, es va veure que corresponien a la mandíbula i a la part dreta del crani. A partir de la digitalització d'aquests ossos s'ha aconse-

gut fer una reconstrucció virtual de tot el crani i la recreació en vida (fig. 5). Tot i que aquest crani encara està en fase d'estudi sembla clar que ens trobem davant un altra nou titanosaure, que s'afegeix a les altres tres formes anteriors.

## 5. UN ECOSISTEMA MOLT DIVERS AMB ESPÈCIES AUTÒCTONES

Aquest breu resum de les noves troballes de dinosaures i altres vertebrats en els jaciments del Cretaci superior del Pirineu ens permet visualitzar una gran diversitat d'espècies que, a més, sembla que són pròpies d'una àrea geogràfica molt concreta. Des de la descripció del primer nou dinosaure, *Pararhabdodon*,



Fig. 5: impressió digital de la reconstrucció del crani dels Nerets, feta a partir de la digitalització dels ossos originals. Reproducció de l'aspecte del cap del titanosaure d'Els Nerets en vida (© ICRAART).

a mitjans dels anys 90 s'han descrit 3 noves espècies d'ornitòpodes, una de teròpode i una de sauròpode titanosaure. A més, tenim constància de tres espècies noves de titanosaure, que o bé encara no han estat descrites o bé no han estat publicades, que ens amplien encara més aquesta diversitat.

Pel que fa als altres vertebrats, en els darrers anys s'ha descrit una nova espècie de tortuga i tres de cocodrils, algun d'ells del tot inesperat per aquesta zona geogràfica i que ha permès encetar noves hipòtesis sobre la situació de les masses continentals i els ponts de connexió entre continents a finals del Cretaci superior.

Aquestes troballes han seguit el seu curs científic i han estat publicades en rellevants revistes internacionals i ara es poden veure en els museus de la xarxa Dinosaurés dels Pirineus. Aquesta xarxa té com a objectiu divulgar els fòssils en museus i centres d'interpretació a tocar dels jaciments, amb l'objectiu de augmentar el valor patrimonial d'aquestes restes i potenciar els tresors del territori. Actualment, Dinosaurés dels Pirineus està composta pel Centre d'Interpretació de Fumanya (Berguedà), Dinosfera (Alt Urgell), Museu de la Conca Dellà (Pallars Jussà) i Centre d'Interpretació del Montsec (La Noguera), on podreu fer un viatge al passat i conèixer de primera mà els jaciments i paisatges on s'han recuperat aquests fòssils.

## 6. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

BLANCO, A.; FORTUNY, J.; VICENTE, A. et al. (2015), *A new species of Allodaposuchus (Eusuchia, Crocodylia) from the Maastrichtian (Late Cretaceous) of Spain: phylogenetic and paleobiological implications*. PeerJ 3:e1171; DOI 10.7717/peerj.1171

BLANCO, A.; PUÉRTOLAS-PASCUAL, E.; MARMI, J.; VILA, B.; SELLÉS, A.G. (2014). *Allodaposuchus palustris sp. nov. from the Upper Cretaceous of Fumanya (South-Eastern Pyrenees, Iberian Peninsula): Systematics, Palaeoecology and Palaeobiogeography of*

*the Enigmatic Allodaposuchian Crocodylians*. PLoS ONE 9(12): e115837. doi:10.1371/journal.pone.0115837

CASANOVAS-CLADELLAS, M.L.; SANTAFÉ-LLOPIS, J.V.; ISIDRO-LLORENS, A. (1993). *Pararhabdodon isonense n. gen. n. sp. (Dinosauria). Morphology, radio-tomographic study, and biomechanic considerations*. Paleontologia i Evolució 26-27:121–131.

CRUZADO-CABALLERO, P.; PEREDA-SUBERBIOLA, X.; RUIZ-OMEÑACA J.I. (2010). *Blasisaurus canudoi gen. et. sp. nov., a new lambeosaurinae dinosaur (Hadrosauridae) from the latest Cretaceous of Arén (Huesca, España)*. Canadian Journal of Earth Sciences 47:1507-1517.

MARMI, J.; LUJÁN, A.H.; RIERA, V.; GAETE, R.; OMS, O.; GALOBART, À. (2012). *The youngest species of Polysternon: A new bothremydid turtle from the uppermost Maastrichtian of the Southern Pyrenees*. Cretaceous Research 35: 133-142.

PEREDA-SUBERBIOLA, X.; CANUDO, J.I. & CRUZADO-CABALLERO, P. (2009). *The last hadrosaurid dinosaurs of Europe: a new lambeosaurine from the uppermost Cretaceous of Arén (Huesca, Spain)*. Comptes rendus Palévol 8:559–572.

SELLÉS, A.G.; VILA, B.; GALOBART, À. (2014a). *Diversity of theropod ootaxa and its implications for the latest Cretaceous dinosaur turnover in southwestern Europe*. Cretaceous Research 49: 45-54.

SELLÉS, A.G.; VILA, B.; GALOBART, À. (2014b). *Spheroolithus europaeus, oosp. nov. (late Maastrichtian, Catalonia), the youngest oological record of hadrosauroids in Eurasia*. Journal of Vertebrate Paleontology, 34 (3): 725-729.

SELLÉS, A.G.; GALOBART, À. (2016). *Reassessing the endemic European Upper Cretaceous dinosaur egg Cairanoolithus*. Historical

Biology, 28(5): 583-596.

SELLÉS, A.G.; VILA, B.; BRUSATTE, S.L.; CURRIE, P.J.; GALOBART, À. (2021). A fast-growing basal troodontid (Dinosauria: Theropoda) from the latest Cretaceous of Europe. Scientific Reports 11:4855.

TALENS, J. (1955a). Descubrimiento de dinosaurios en Tremp (Lérida). Estudios Geológicos, t. XI, nº25, p.86. Madrid, 1955.

TALENS, J. (1955b). Exploraciones sobre los dinosaurios de la Cuenca de Tremp (Lérida). Estudios Geológicos, t. XI, nº28, p.456.

VILA, B., SELLÉS, A., MORENO-AZANZA, M., RAZZOLINI, N.L., GIL-DELGADO, A., CANUDO, J.I., GALOBART, À. (2021). A titanosaurian sauropod with Gondwana affinities in the latest Cretaceous of Europe. Nature Ecology & Evolution, 11:4855



**BAUTISTA SANZ**  
D O M E N E C H

montajes y automatizaciones eléctricas

MONTAJES ELÉCTRICOS, AUTOMATIZACIONES Y  
MANTENIMIENTO ELÉCTRICO INDUSTRIAL

“Proyectos llave en mano, soluciones específicas para cada cliente, adaptándonos a sus horarios y necesidades”

# PRIMEROS FÓSILES DE NODOSÁURIDOS (NODOSAURIDAE) DEL YACIMIENTO ANA, CRETÁCICO INFERIOR DE CINCTORRES (CASTELLÓN, ESPAÑA)

Andrés SANTOS-CUBEDO <sup>1,2</sup>

Carlos de SANTISTEBAN <sup>3</sup>

Begoña POZA <sup>2</sup>

Sergi MESEGUER <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Àrea de Cristal·lografia i Mineralogia, Departament de Ciències Agràries i del Medi Natural, Universitat Jaume I. Av. Vicent Sos Baynat, s/n, E-12071 Castelló de la Plana, España. santos.cubedo@gmail.com; smesegue@gmail.com

<sup>2</sup>Grup Guix. C/ Santa Lucia, 75, E-12540 Vila-real, Castelló, España. begopoza@gmail.com

<sup>3</sup>Departament de Botànica i Geologia, Universitat de València. Av. Dr. Moliner, s/n, E-46100 Burjassot, València, España. carlos.santisteban@uv.es

**RESUMEN:** en el presente trabajo se describen dos elementos aislados del dermatoesqueleto de un dinosaurio nodosáurido de la Formación Arcillas de Morella del Barremiense superior (Cretácico Inferior) de la península Ibérica. Dichos elementos corresponden a una placa dérmica caudal y un osículo dérmico. Todos los fósiles se han recuperado en el yacimiento ANA de Cinctores (Castellón, España).

Los fósiles de anquilosaurios nodosáuridos fuera del Reino Unido son muy escasos en el Cretácico Inferior de Europa, por lo que la descripción de nuevos materiales es de suma importancia para comprender mejor la historia evolutiva del grupo.

Los fósiles recuperados han sido identificados como pertenecientes a un anquilosaurio nodosáurido indeterminado, ampliando el registro ibérico de la familia a un nuevo yacimiento (ANA) de la Fm. Arcillas de Morella.

**RESUM:** en aquest treball es descriuen dos elements aïllats del dermatoesquelet d'un dinosaure nodosàurid de la Formació Argilles de Morella del Barremienc superior (Cretàcic Inferior) de la península Ibèrica. Aquests elements corresponen a una placa dèrmica cabal i un ossícle dèrmic. Tots els fòssils s'han recuperat al jaciment ANA de Cinctores (Castelló, Espanya).

Els fòssils d'anquilosaures nodosàurids fora del Regne Unit són molt escassos al Cretaci Inferior d'Europa, per la qual cosa la descripció de nous materials és molt important per comprendre millor la història evolutiva del grup.

Els fòssils recuperats han estat identificats com a pertanyents a un anquilosaure nodosàurid indeterminat, ampliant el registre ibèric de la família a un nou jaciment (ANA) de la Fm. Argilles de Morella.

**Palabras clave:** dinosaurios, placas, Formación Arcillas de Morella, Barremiense.

**Paraules clau:** dinosaures, plaques, Formació Argilles de Morella, barremià

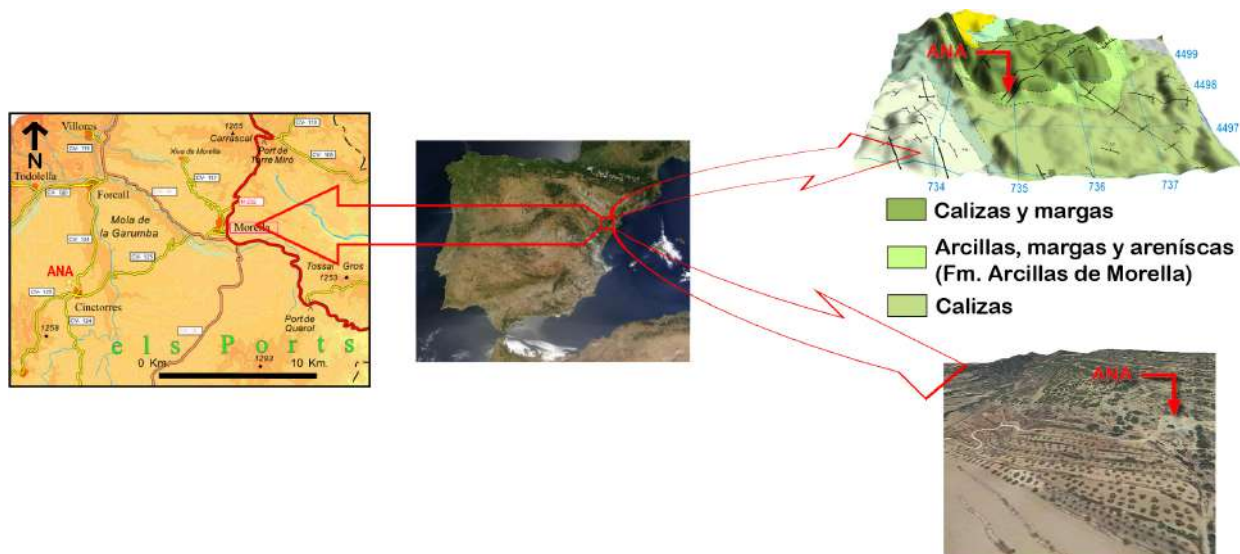


Fig. 1: localización geográfica y geológica del yacimiento ANA, Cinctorres (Castellón, España)

## 1. INTRODUCCIÓN

La Formación Arcillas de Morella es conocida por la fauna de vertebrados continentales que contiene, sobre todo por la presencia de dinosaurios (Galobart *et al.*, 2011). Sin embargo, en esta formación geológica también se han recuperado fósiles de vertebrados marinos, invertebrados, plantas, polen o icnofósiles (Santos-Cubedo *et al.*, 2016). Todo este rico patrimonio paleontológico ha sido estudiado principalmente desde el punto de vista sistemático, con el objetivo de conocer los taxones presentes en la misma.

Por lo que respecta a taxones de dinosaurios, en la citada formación se han recuperado ornitópodos estiracosternos hadrosauriformes, como *Iguanodon bernissartensis*, una forma cercana a *Mantellisaurus atherfieldensis* y una nueva especie de dinosaurio *Morelladon beltrani* (Santos-Cubedo *et al.*, 2021). Los yacimientos de Mas del Dolço y Teuleria Milian (Morella) han proporcionado fósiles que fueron asignados al género *Hypsilophodon*, aunque actualmente el material existente no es suficiente para asignar los fósiles a este género, que pertenecerían a un euornitópodo por determinar (Santos-Cubedo *et al.*, 2016). Con respecto a los saurópodos, los estudios realizados indican que al menos existen tres taxones diferentes de titanosauriformes in-

determinados, con dos formas afines a *Somphospondyli* y un 'Laurasiforme' (Mocho *et al.*, 2017). Los terópodos están representados por espinosáuridos, alosauroides y dromeosáuridos (Suñer y Santos-Cubedo, 2008; Gasulla, 2015) y una nueva especie de dinosaurio, *Vallibonavenatrix cani* (Malafaia *et al.*, 2019).

Por lo que respecta a tireóforos, la primera cita en la provincia de Castellón correspondía a una falange ungueal y una placa de la armadura dérmica, procedentes del yacimiento Mas Romeu que fueron asignados a un nodosáurido indeterminado (Sanz *et al.*, 1982). Los siguientes fósiles de anquilosaurios nodosáuridos hallados en la Formación Arcillas de Morella han sido localizados en los yacimientos CMP-3 y CMP-3b de la Cantera del Mas de la Parreta de Morella y corresponden a espinas dérmicas (CMP-3/748, CMP-3/853, CMP-3/935 y CMP-3/971), fragmentos del escudo sacropélvico (CMP-3/749, CMP-3b/158), placa crestada (CMP-3/747) y osículos dérmicos (CMP-3/970, CMP-3b/7, CMP-3b/8, CMP-3/141 y CMP-3/588) determinados como pertenecientes a *Polacanthus* sp. (Gasulla, 2015).

Fuera de la provincia de Castellón, en la península Ibérica, se han descubierto fósiles de nodosáuridos en el Cretácico Inferior de Salas de los Infantes (Burgos) (Pereda Suberbiola *et al.*, 1999) y Golmayo (Soria) (Pereda

Suberbiola *et al.*, 2007) atribuidos al género *Polacanthus*. El primero tendría una edad Barremiense-Aptiense, mientras que los fósiles sorianos serían del Hauteriviense tardío al Barremiense temprano.

## 2. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

El yacimiento ANA está situado en la localidad de Cincorres (Fig. 1) a unos 100 km al noroeste de la capital de la provincia, Castellón de la Plana.

Los sedimentos en los que se localiza el yacimiento se encuentran en la Formación Arcillas de Morella, en la cuenca del Maestrazgo, más concretamente en la sub-cuenca de Morella (Santos-Cubedo *et al.*, 2016). Esta unidad fue depositada en su totalidad en esta sub-cuenca y es de edad Barremiense superior (Villanueva-Amadoz *et al.*, 2014; Bover-Arnal *et al.*, 2016). Tiene un espesor máximo de 96 metros y está formada por arcillas rojas, areniscas y margas blanco-grisáceas. A nivel local, contiene conglomerados y brechas poligénicas. Todas estas litologías fueron depositadas en medios de llanura de inundación fluvial, estuarios y playas. Las paleocorrientes medidas indican que los aportes provinieron del norte y noroeste, desde un macizo situado en el centro de la Cordillera Ibérica.

En los alrededores de Cincorres, el espesor de la Formación Arcillas de Morella es de 57 m. El yacimiento ANA está situado a unos 37 metros de la base de la misma (Fig. 2). El estrato fosilífero está formado por dos metros de margas arenosas de color gris-amarillento que contienen costras y nódulos de goethita. En la actualidad son 937 los fósiles que se han recuperado en sus ocho campañas de excavaciones, incluyendo vertebrados e invertebrados. Taxonómicamente, ANA está dominado por fósiles desarticulados de ornitópodos.

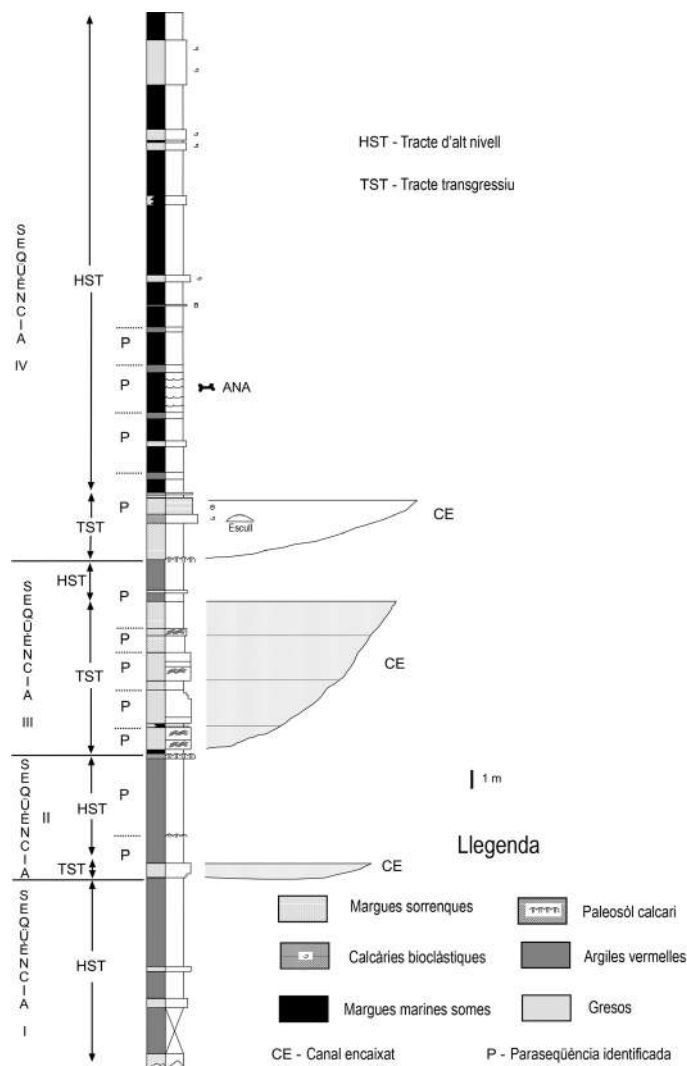


Fig. 2: esquema de la sección estratigráfica de la Fm. Arcillas de Morella en el yacimiento ANA, Cincorres (Castellón, España).

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se describen una placa dérmica caudal (7ANA-39) y un osículo dérmico (7ANA-23), todo ello siguiendo la terminología de Blows (2001).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Paleontología Sistemática

- Dinosauria Owen, 1842
- Ornithischia Seeley, 1887
- Thyreophora Nopcsa, 1915
- Ankylosauria Osborn, 1923
- Nodosauridae Marsh, 1890
- Nodosauridae indet.



## 4.2. Materiales

### 7ANA-23

Se trata de un osículo dérmico (Fig. 3; Tabla 1). Tiene una forma suboval con bordes redondeados uno terminado en punta. La cara dorsal es cóncava, pero con una protuberancia o pequeña quilla también de borde redondeado. Esta protuberancia no está en posición central, sino desplazada hacia uno de los bordes. La cara ventral es convexa y rugosa, apreciándose en toda su superficie una textura rugosa.

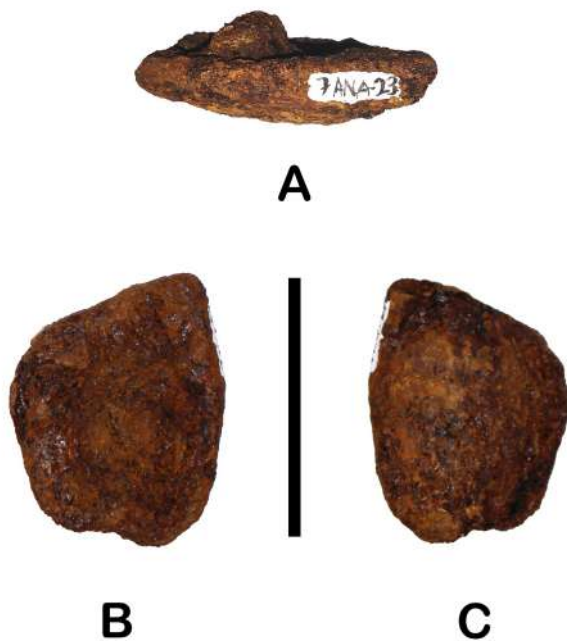


Fig. 3: Nodosauridae indet. Osículo dérmico (7ANA-23) en vista lateral (A), dorsal (B) y ventral (C). Escala 5 cm.

7ANA-23	Dimensiones
Alto	15 mm
Ancho	40 mm
Largo	52 mm

Tabla 1: medidas (en mm) del osículo dérmico (7ANA-23) del yacimiento ANA (Cincorres), Cretácico Inferior, Fm. Arcillas de Morella (Castellón, España).

7ANA-39, se trata de una placa dérmica caudal. Tiene una forma subtriangular, con una base hueca. Los bordes dorsal y posterior son delgados. El borde anterior es plano y tiene forma triangular (Fig. 4). La base es asimétrica y biconvexa en sección transversal. La superficie de la placa presenta una textura rugosa característica. El tamaño de las placas disminuye posteriormente en la cola, y probablemente se proyectaban lateralmente a cada lado simulando cuchillas (Kirkland, 1998; Gaston *et al.*, 2001; Naish y Martill, 2001). Por el tamaño (Tabla 2), 7ANA-39 sería una de las últimas placas de la cola (Fig. 5).

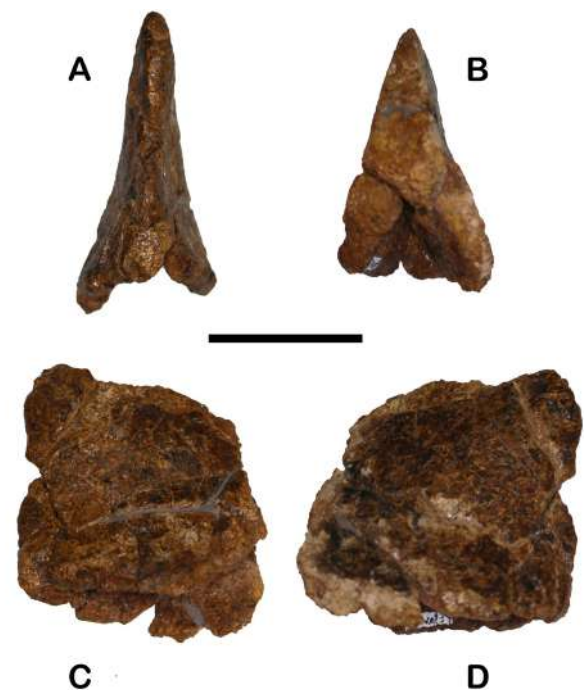


Fig. 4: Nodosauridae indet. Placa dérmica caudal (7ANA-39) en vista anterior (A), posterior (B), ventral (C) y dorsal (D). Escala 5 cm.

7ANA-39	Dimensiones
Alto	80 mm
Ancho	66 mm
Margen dorsal	3 mm
Margen ventral (base)	40 mm

Tabla 2: medidas (en mm) de la placa dérmica caudal (7ANA-39) del yacimiento ANA (Cincorres), Cretácico Inferior, Fm. Arcillas de Morella (Castellón, España).

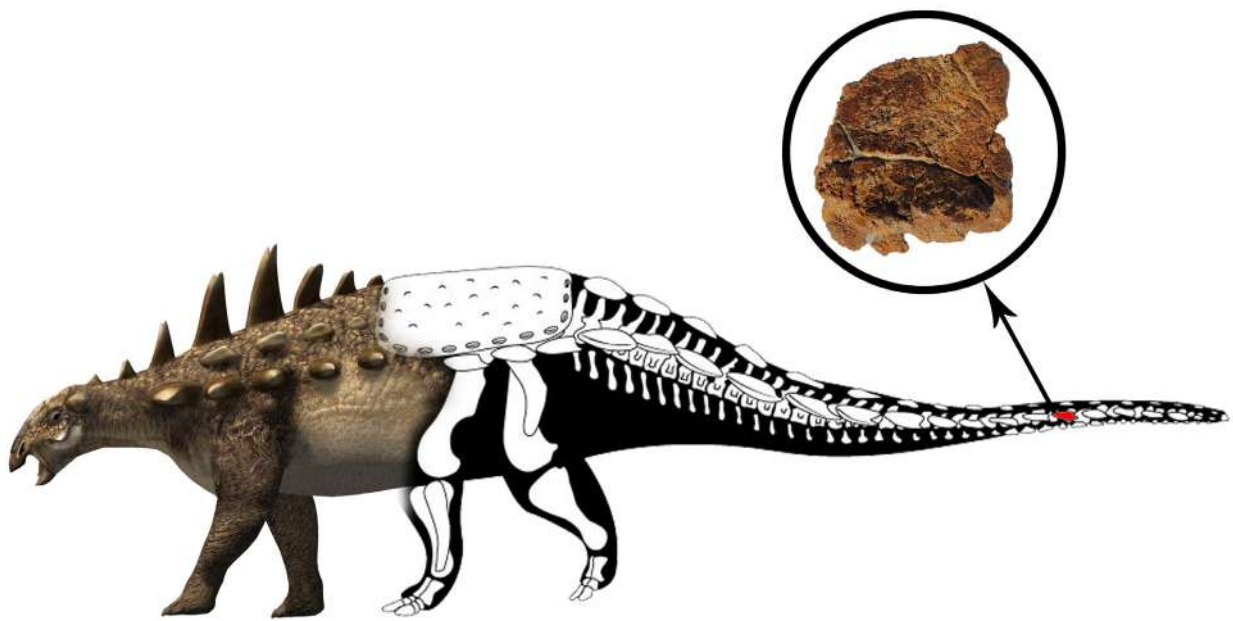


Fig. 5: reconstrucción de un anquilosaurio nodosáurido con la posición aproximada de la placa dérmica caudal (7ANA-39) hallada en el yacimiento ANA de Cincorres (Castellón, España).

## 5. DISCUSIÓN

Los fósiles recuperados en el yacimiento ANA de Cincorres estudiados en el presente trabajo tienen una combinación de caracteres existentes en varios nodosáuridos como son: (1) espinas caudales subtriangulares de base hueca y estrecha y (2) osículos dérmicos situados en la zona dorsal del cuerpo formando un mosaico entre los elementos dérmicos de mayor tamaño (Gasulla, 2015).

Existen veintinueve géneros válidos de nodosáuridos (Thompson *et al.*, 2011; McDonald y Wolfe, 2018) de los cuales solo *Anoplosaurus*, *Europelta*, *Hungarosaurus*, *Hylaeosaurus*, *Polacanthus* y *Struthiosaurus* están presentes en yacimientos paleontológicos europeos. De estos anquilosaurios, solo *Hylaeosaurus* y *Polacanthus* están presentes en el Cretácico Inferior de Europa. El primero de los géneros está presente de forma inequívoca en yacimientos Valanginienses del Reino Unido y

Alemania (Sachs y Hornung, 2013; Raven *et al.*, 2020) y el segundo en yacimientos Barremienses del Reino Unido y España (Raven *et al.*, 2020).

Los caracteres observables tanto en 7ANA-23 como en 7ANA-39, permiten reconocer los fósiles como pertenecientes a un anquilosaurio nodosáurido sin determinar, no pudiendo identificarse caracteres que permitan una asignación genérica o específica. No obstante, cabe destacar que a nivel genérico solo ha sido descrito *Polacanthus* en la península Ibérica, y entre los yacimientos donde ha sido hallado se encuentra el yacimiento Cantera del Mas de la Parreta de Morella (Fm Arcillas de Morella), cercano al yacimiento ANA.

## 6. CONCLUSIONES

El registro fósil de anquilosaurios nodosáuridos en el Cretácico Inferior de Europa es muy escaso. De hecho, fuera del Reino Unido don-

de existen las colecciones más importantes, existen pocos fósiles. En la península Ibérica destacan los yacimientos de las provincias de Burgos, Castellón y Soria.

Por tanto, la descripción de nuevos materiales es importante de cara a conocer las especies que forman la familia, así como las relaciones paleogeográficas que permitieron su dispersión por Laurasia.

Atendiendo a las características de la armadura dérmica, el tireóforo hallado en el yacimiento Barremiense ANA de la Fm. Arcillas de Morella de Cinctorres, se identifica como perteneciente a un anquilosaurio nodosáurido indeterminado. La placa dérmica caudal (7ANA-39) y el osículo dérmico (7ANA-23) amplían el registro ibérico de la familia Nodosauridae a un nuevo yacimiento (ANA) de la Fm. Arcillas de Morella, Barremiense superior (Cretácico Inferior) de la provincia de Castellón.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la invitación de los editores que les ha permitido colaborar en este número. Asimismo, queremos hacer una mención especial y agradecer el interés y la constante colaboración del Ayuntamiento y la población de Cinctorres. El proyecto Dinomania ha sido posible gracias al Grup Guix de Vila-real.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLOWS, W.T., (2001). *Dermal armor of the polacanthine dinosaurs*. En: Carpenter, K. (Ed.), *The Armored Dinosaurs*. Indiana University Press, Bloomington and Indianapolis, pp. 363–385.

BOVER-ARNAL, T., MORENO-BEDMAR, J.A., FRIJIA, G., PASCUAL-CEBRIAN, E. y SALAS, R. (2016). *Chronostratigraphy of the Barremian–Early Albian of the Maestrat Basin (E Iberian Peninsula): integrating strontium-isotope stratigraphy and ammonoid biostratigraphy*. *Newsletters on Stratigraphy* 49 (1): 41–68.

GALOBART, A., SUÑER, M. y POZA, B. (2011). *Dinosaurs of Eastern Iberia (Life of the past)*. University Press, Bloomington and Indianapolis, 344 pp.

GASTON, R.W., SCHELLENBACH, J. y KIRKLAND, J.I. (2001). *Mounted skeleton of the polacanthine ankylosaur *Gastonia burgei**. En: Carpenter, K. (Ed.), *The Armored Dinosaurs*. Indiana University Press, Bloomington and Indianapolis, pp. 386–398.

GASULLA, J.M. (2015). *Los dinosaurios de la Cantera del Mas de la Parreta, Morella (Formación Morella, Barremiense superior, Cretácico Inferior): Sistemática, análisis filogenético e implicaciones paleobiológicas*. PhD Thesis, Universidad Autónoma de Madrid. 584 pp.

KIRKLAND, J.I. (1998). *A polacanthine ankylosaur (*Ornithischia: Dinosauria*) from the Early Cretaceous (Barremian) of eastern Utah*. *New Mexico Museum of Natural History, Bulletin* 14: 271–281.

MALAFIA, E., GASULLA, J.M., ESCASO, F., NARVÁEZ, I., SANZ, J.L. y ORTEGA, F. (2019). *A new spinosaurid theropod (*Dinosauria: Megalosauroida*) from the late Barremian of Vallibona, Spain: Implications for spinosaurid diversity in the Early Cretaceous of the Iberian Peninsula*. *Cretaceous Research* doi:10.1016/j.cretres.2019.104221.

MCDONALD, A.T. y WOLFE, D.G. (2018). *A new nodosaurid ankylosaur (*Dinosauria: Thyreophora*) from the Upper Cretaceous Menefee Formation of New Mexico*. *PeerJ* 6:e5435. doi:10.7717/peerj.5435.

MOCHO, P., PEREZ-GARCIA, A., GASULLA, J.M. y ORTEGA, F. (2017). *High sauropod diversity in the upper Barremian Arcillas de Morella Formation (Maestrat Basin, Spain) revealed by a systematic review of historical material*. *Journal of Iberian Geology* 43 (2):

111–128.

NAISH, D. y MARTILL, D.M. (2001). *Armoured dinosaurs: Thyreophorans*. En: Martill, D.M., Naish, D. (Eds.), *Dinosaurs of the Isle of Wight*. The Palaeontological Association. Fossil Guide to Fossils 10: 147–184.

PEREDA-SUBERBIOLA, X., MEIJIDE, M., TORCIDA, F., WELLE, J., FUENTES, C., IZQUIERDO, L.A., MONTERO, D., PÉREZ, G. y URIÉN, V. (1999). *Espinas dérmicas del dinosaurio anquilosaurio Polacanthus en las facies Weald de Salas de los Infantes (Burgos, España)*. Estudios Geológicos 55 (5-6): 267–272.

PEREDA-SUBERBIOLA, X., FUENTES, C., MEIJIDE, M., MEIJIDE-FUENTES, F., y MEIJIDE-FUENTES, M. (2007). *New remains of the ankylosaurian dinosaur Polacanthus from the Lower Cretaceous of Soria, Spain*. Cretaceous Research 28 (4): 583–596.

RAVEN, T.J., BARRETT, P.M., POND, S.T. y MAIDMENT, S.C.R. (2020). *Osteology and Taxonomy of British Wealden Supergroup (Berriasian–aptian) Ankylosaurs (Ornithischia, Ankylosauria)*. Journal of Vertebrate Paleontology 40 (4): DOI: 10.1080/02724634.2020.1826956.

SACHS, S. y HORNUNG, J.J. (2013). *Ankylosaur Remains from the Early Cretaceous (Valanginian) of Northwestern Germany*. PLoS ONE 8(4): e60571. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060571>.

SANTOS-CUBEDO, A., GARCÍA-ROBLES, J., POZA, B., DE SANTISTEBAN, C y MESEGUER, S. (2016). *Vertebrados mesozoicos en la provincia de Castellón*. Loisele Ediciones, Vila-real, 108 pp.

SANTOS-CUBEDO, A., DE SANTISTEBAN, C., POZA, B. y MESEGUER, S. (2021). *A new styracosternan hadrosauroid (Dinosauria: Ornithischia) from the Early Cretaceous of Portell, Spain*. PLoS ONE 16(7): e0253599. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253599>.

SANTAFÉ, J.V., CASANOVAS, M.L., SANZ, J.L. y CALZADA, S. (1982). *Geología y Paleontología (Dinosaurios) de las Capas Rojas de Morella (Castellón, España)*. Diputación Provincial de Castellón y Diputación de Barcelona, 169 pp.

SUÑER, M. y SANTOS-CUBEDO, A. (2008). *Dos dientes de terópodo del yacimiento ANA, Formación Arcillas de Morella (Aptiense, Cretácico Inferior, Cinctorres, Castellón)*. Studia Geologica Salmanticensia 8: 27–39.

THOMPSON, R.S., PARISH, J.C., MAIDMENT, S.C.R. y BARRETT, P.M. (2011). *Phylogeny of the ankylosaurian dinosaurs (Ornithischia: Thyreophora)*. Journal of Systematic Palaeontology 10 (2): 301–312.

VILLANUEVA-AMADOZ, U., SANTISTEBAN, C. y SANTOS-CUBEDO, A., (2014). *Age determination of the Arcillas de Morella Formation (Maestrazgo Basin, Spain)*. Historical Biology 27, 389–397.



# ISURUS

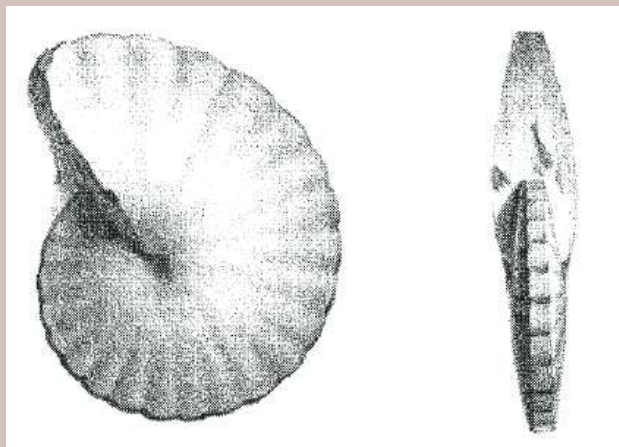
Col·lecció Museogràfica Paleontològica i de les Ciències ISURUS



xarxa museus  
i col·leccions paleontologia  
de la C.V.

# *Kotetishvilia compressissima*

(D'ORBIGNY, 1841)



*Filum:* Molusca

*Clase:* Cefalopoda

*Subclase:* Ammonoidea

*Orden:* Ammonitida

*Superfamilia:* Perisphinctaceae

*Familia:* Pulchelliidae

*Género:* *Kotetishvilia* Vermuellen, 1997

Yacimiento: L'Alcoraia

Provincia: Alicante



## LA PARTIDA RURAL DE L'ALCORAI

Es una especie de ammonites de pequeño tamaño, ya que raramente supera los 50 mm de diámetro máximo. Su enrollamiento es muy involuto, con un ombligo prácticamente puntiforme. La sección es muy comprimida, con los flancos ligeramente convexos y la máxima anchura situada en el tercio inferior. La región ventral es plana o ligeramente cóncava en los estadios intermedios, y suavemente convexa en los estadios adultos. La mitad externa de los flancos está ornamentada por costillas anchas y aplanadas que pasan sobre la región ventral sin interrupción.

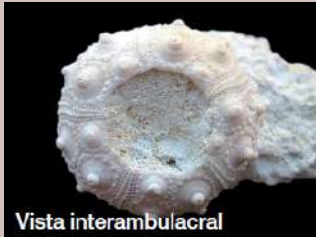
Esta especie pertenece a la familia Pulchelliidae, que son un importante grupo de ammonites que vivieron en el Cretácico inferior, concretamente entre el Hauteriviense superior y el Barremiense (entre hace 127 y 132 millones de años). Los primeros representantes de este grupo de ammonites aparecieron en el área mediterránea, pero con el tiempo se expandieron y llegaron a áreas tan lejanas como Méjico, Colombia o Japón. Vivían en medios marinos abiertos nadando en la columna de agua. En concreto, la especie *K. compressissima* vivió durante un intervalo de tiempo relativamente corto en la parte media-alta del Barremiense inferior, por lo que presente un alto interés estratigráfico. Se trata de una especie típicamente mediterránea, que ha sido citada en España, Marruecos, Francia, Italia, Hungría, Rumanía y Georgia.

Es una especie frecuente en algunos de los yacimientos de nuestra región, como L'Alcoraia. En esta partida rural, situada en la parte occidental del término municipal de Alicante, entre la Serra Mitjana y la Serra de les Àguiles, son numerosos los afloramientos de sedimentos marinos del Cretácico inferior, ricos en fósiles. *K. compressissima* procede concretamente de una pequeña colina situada en las proximidades de la casa Lo Bolini, una antigua propiedad rural construida a principios del siglo XVIII y que ahora funciona como granja escuela.

Este afloramiento fue señalado por primera vez en 1917 por don Daniel Jiménez de Cisneros y Hervás, que fue catedrático de Historia Natural en el Instituto General y Técnico de Alicante (actualmente I.E.S. Jorge Juan) desde 1903 hasta su jubilación en 1933. A lo largo de todos esos años fue autor de innumerables trabajos sobre geología y paleontología de las provincias de Alicante y Murcia, la mayor parte de ellos publicados por la Real Sociedad Española de Historia Natural. Más recientemente, los ammonites del Barremiense de L'Alcoraia han sido estudiados por miembros del Departamento de Estratigrafía y Paleontología de la Universidad de Granada.

# *Stylocidaris melitensis*

(FORBES in WRIGHT 1855)



Vista interambulacral



Vista apical



Vista oral



Vista ambulacral

*Filum:* Echinodermata

*Clase:* Echinoidea

*Orden:* Cidaroida

*Familia:* Cidaridae

*Género:* *Stylocidaris* Mortensen, 1909

Yacimiento: Cortijo Pastoro

Población: Elche

Provincia: Alicante

*Stylocidaris melitensis* (FORBES in WRIGHT, 1855) es un equinoideo (erizo de mar) regular, con un caparazón de tamaño relativamente pequeño (hasta unos tres centímetros de diámetro), globoso, con contorno circular y fuertemente achatado en las zonas superior (apical) e inferior (oral). Los ambulacros son estrechos y sinuosos, con poros pequeños y circulares. Los interambulacros son proporcionalmente mucho más anchos y formados por dos columnas, cada una de ellas con seis placas poligonales alineadas verticalmente. En cada una de esas placas hay un tubérculo central perforado de gran tamaño, rodeado a su vez de un círculo de tubérculos más pequeños. El sistema apical de placas es ancho y de estructura desconocida, ya que normalmente no se conserva. El diámetro del peristoma o abertura oral es también grande.

Las púas de este erizo (que reciben el nombre de radiolas) no tenían la típica forma de espina que conocemos en la mayor parte de los erizos actuales. Eran también alargadas, pero fusiformes, ligeramente más anchas en el centro, con el extremo redondeado y recorridas por estrías longitudinales formadas o una granulación fina y densa. La longitud de estas púas en los individuos adultos sobrepasaba los 3 cm, por lo que eran más largas que el diámetro del caparazón. En su base tenían una estructura cónica por la que se fijaban a los grandes tubérculos centrales de cada placa. Los tubérculos más pequeños estaban provistos de espinas finas y mucho más cortas.

Estos cidáridos están representados en el Mediterráneo actual por dos especies, una de las cuales es la conocida como "tabaquera roja" o *Stylocidaris affinis*, una especie muy cercana a *Stylocidaris melitensis*, que vive también en el Atlántico y en el Caribe y habita en fondos arenosos, generalmente entre 30 y 200 metros de profundidad.



púas (radiolas)



Lomas del Mioceno superior (Messiniense) de Elche

## SEDIMENTOS DEL MIOCENO

Esta especie está ocasionalmente presente en los sedimentos del Mioceno superior (11.6 a 5.3 millones de años) del área mediterránea (sureste de España, Italia, Malta, Grecia, Rumanía y Hungría).

Pertenece a un grupo de equinoideos muy primitivo (los cidáridos) que tiene sus orígenes al comienzo de la era Mesozoica (hace 250 millones de años).

A lo largo de esa dilatada historia, todos los miembros de este grupo han tenido morfologías muy similares, con placas provistas de voluminosos tubérculos en los que se insertan las radiolas de gran tamaño.

Sobre esas radiolas se instalan algas y otros organismos encostantes que ayudan a camuflar al erizo. Suelen ser habitantes de aguas tranquilas, en las que se desplazan lentamente por el fondo en busca de detritos orgánicos, carroña o pequeños organismos de los que se alimentan.



## FASCINACIÓN POR LA MALACOLOGÍA

### Joaquín VALENCIA ARRIBAS

Miembro de la Asociación Paleontológica Alcoyana Isurus. Naturalista aficionado a la malacología. Doctor en Química por la Universidad Complutense de Madrid.

joavalarr@gmail.com

**RESUMEN:** panorama sobre el mundo de la malacología, desde el punto de vista de un aficionado naturalista, respondiendo a las siguientes preguntas: ¿qué se recoge?, ¿para qué?, ¿qué son los moluscos?, ¿cómo se clasifican?, ¿qué es la concha?, e incluyendo consejos generales para el coleccionista.

**RESUM:** panorama sobre el món de la malacologia, des del punt de vista d'un aficionat naturalista, responnent a les següents preguntes: què es recull?, per a què?, què són els mol·luscos?, com es classifiquen?, què és la petxina?, i incloent consells generals per al col·leccionista.

**ABSTRACT:** an overview of the world of malacology, from the point of view of an amateur naturalist, answering the following questions: what is collected?, What for?, What are mollusks?, How are they classified?, What is the shell?, and including general advice for the collector.

**Palabras clave:** colección, concha, malacología, moluscos, taxonomía,

**Paraules clau:** col·lecció, petxina, malacologia, mol·luscos, taxonomía.

**Keywords:** collection, shell, malacology, mollusks, taxonomy.

*Hace ya mucho tiempo, le prometí al Presidente de la asociación un artículo sobre malacología que sirviese para abrir una sección en la revista con esta temática. Esta parte de la Biología se encuentra fuera de mi campo profesional, así que decidí tratar la malacología desde el punto de vista de un simple curioso, amante de las conchas y su mundo, sin pretender escribir una revisión sobre el estado de la ciencia. Sé que muchas cosas que escriba, si no todas, serán conocidas por los socios de Isurus, así que permitirme se lo cuente a los que están iniciándose en la materia.*



# 1. INTRODUCCIÓN

El coleccionista o buscador-recolector suele reconocerse porque tiene la espalda más quemada que el resto del cuerpo debido a su postura agachada mirando al suelo, y como tantos aficionados puedo identificarme con los críos de la acuarela que van recogiendo conchas en la playa (Fig 1), ya que desde pequeño (hace muchos, muchos años) he recogido conchas o mejor dicho, “todo lo que me gusta”, afición más común de lo que se cree y que consiste en recoger no solamente “conchas” sino también esa piedra tan pulida o ese caparazón de cangrejo o de erizo, o incluso esos pedacitos de vidrio gastados por la acción de la erosión (Fig 2). Artículos de coleccionistas o sobre ellos también hay, como por ejemplo sobre Ángel Pruna en El País<sup>1</sup>, del que destacaría sobre todo, su reflexión sobre la carencia actual de conchas en las playas.



Fig. 1: detalle de una acuarela de Roberto Fernández. Cedida por el autor.



Fig. 2: imagen propia del autor.

Cualquier aficionado que haya estado visitando las mismas playas durante más de 20 años ha podido observar que la cantidad y el tamaño de las conchas han disminuido, como también lo han hecho otros restos, como los esqueletos de equinoideos o los caparzones de crustáceos. Seguramente podrá encontrarse varias causas, porque además del notable aumento de recolectores de conchas, aficionados o esporádicos, debe tenerse en cuenta las condiciones medioambientales del medio. Desconozco si entre los diferentes grupos de investigadores o aficionados hay algún plan de control y medida de las características físicoquímicas para vigilar el estado de las playas afectadas o simplemente cuantificando especies, pero sí puede encontrarse un código ético para proteger los moluscos y sus ambientes, como el que puede encontrarse en la web El Rincón del Malacólogo<sup>2</sup>, basado principalmente en respetar cuidadosamente el medio ambiente dejando todo como te lo has encontrado, evitar la recolección de seres vivos y comprar o intercambiar especies no protegidas por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES)<sup>3</sup>.

Es fundamental el apoyo de los naturalistas y coleccionistas para la protección de, en nuestro caso, los moluscos. De las más de 800 especies de moluscos de España, incluidas en la web de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), en casi la mitad se carece de datos suficientes para un eficaz y necesario seguimiento. Por ejemplo, *Ganula gadirana* (Fig 3) es un gasterópodo endémico del Campo de Gibraltar, considerado vulnerable por la Conserjería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía (Barea, J.M. et al, 2008). La lista de IUCN también lo clasifica como vulnerable (Arrébola, J., 2011) porque no se tienen datos desde 2010

<sup>1</sup>[https://elpais.com/diario/2008/08/20/catalunya/1219194451\\_850215.html](https://elpais.com/diario/2008/08/20/catalunya/1219194451_850215.html) [Actualizado el 19/08/2021]

<sup>2</sup><http://www.elrincondelmalacologo.com/La%20etica%20del%20coleccionista.htm> [Actualizado el 30/08/2021]

<sup>3</sup><https://cites.org/esp> [Actualizado el 08/09/2021]

y por su escasa distribución. Aun así, no es una especie incluida en el Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial ni en el Catálogo Español de Especies Amenazadas (RD 139/2011), ni se encuentra en CITES, a pesar que debería haberse comenzado actividades de protección según lo que opinan algunos expertos en función del tiempo estimado desde que una especie es considerada amenazada hasta su extinción (Akçakaya, H.R. et al, 2014: 1048-1049).



Fig. 3: *Ganula gadirana*



### CONQUILIOLOGIA.

Con el nombre de Moluscos (animales blandos) se distingue un grupo particular y muy numeroso de animales de formas las mas variadas y estrañas, cuyo cuerpo es blando y de una sustancia como gelatinosa. Los moluscos están cubiertos de una piel dentro, ó sobre la cual se desarrolla las mas veces una cubierta calcárea, ó concha que con su solidez les ofrece albergue y proteccion (fig. 1). Esta cubierta no es otra cosa que una costra dura,



(Fig. 1.) *Neritina estrigif.*

En la figura del cuerpo de los moluscos se nota una diversidad grandísima; pero a pesar de eso su cuerpo presenta siempre, cuando el animal está desenvuelto, una masa carnosa, blanda y viscosa, que se ha comparado á un gusano gordo, y ha sido causa de que otras veces se les diera á estos animales el nombre de gusanos con concha ó gusanos testáceos.

El cuerpo de los moluscos, aunque por su estremada blandura no deja suponer mas que una organizacion bosquejada, sin embargo está compuesto de órganos bien fáciles de reconocer y que desempeñan diversos funciones. Distinguese bastante bien sus músculos, que suelen ser numerosos, su tubo digestivo y sus partes accesorias: tienen un sistema bastante completo de circulacion sanguinea y de respiracion acuática ó aérea, como tambien nervios, etc. Pero falta ademas que todos los moluscos presenten el mismo grado de organizacion; pues si los mas favorecidos de entre ellos parecen tener ciertas relaciones con los peces, preciso es

Fig. 4: detalle del capítulo Conquiliología. Del repositorio de la Universidad Complutense de Madrid,

Finalizamos esta introducción con algunas definiciones para aclarar cómo denominamos

a nuestra afición. Solemos hablar de *malacología*, pero según la Real Academia Española (RAE), es la parte de la zoología que trata de los moluscos, y en muchos casos el aficionado a recolectar conchas no estudia los moluscos que las producen.

Si se recogen conchas para su estudio la denominación más apropiada es *conquiliología* (RAE), término ya utilizado en el siglo XIX (Laso de la Vega, J. et al, 1851) como puede observarse en la Figura 4. Por otra parte, aunque no sea una palabra reconocida por la RAE en ninguno de sus diccionarios, se podría definir la *conchología*, como el estudio de las partes no blandas de los anélidos, cnidarios, equinodermos, crustáceos y moluscos, a semejanza de lo considerado por varios naturalistas (Catlow, A., 1843).

## 2. ORNATO E INDUSTRIA

En bastantes ocasiones he escuchado comentarios negativos hacia este hobby, generalmente sobre su utilidad, o como síntoma de alguna enfermedad, sin tener en cuenta que muchas pasiones pueden dar lugar o convertirse en proyectos u ocupaciones.

La principal de las razones para recolectar conchas estriba en su estética, esto es, su propia belleza. Sea para elaborar adornos personales<sup>4</sup> o para adornar otros objetos, como para llenar un frasco de conchas y arena, el ser humano tiende a utilizar las conchas como objetos valiosos.

En base a las erosiones post mortem de las conchas de moluscos, no faltan estudios (Jover, F.J.; Luján, A., 2010: 101-122) que demuestran no solo el consumo en la Edad de Bronce, sino que se utilizaban las conchas como adornos o como instrumentos de trabajo. Más aún, su presencia documentada en localidades distantes de la costa en más de 300 kilómetros obliga a considerar hasta qué punto eran valoradas para que las comunidades humanas llevaran a cabo procesos de recolección, transporte, intercambio, distribución y modificación.

Ante la dificultad de encontrar otros materiales menos frágiles (por ejemplo, alabastro),

<sup>4</sup><http://www.historiayarqueologia.com/2019/05/los-adornos-realizados-con-conchas-de.html> [Actualizado el 05/09/2021].

se ha documentado el uso de las conchas como contenedores de cosméticos en la antigüedad, habiéndose encontrado en España (Colonia Augusta Emérita) al menos un ejemplo (Bejarano, A. et al, 2019: 177-195) de *Pecten máximus* con esta utilidad. Más conocido y documentado en fuentes y documentos antiguos (King, P.; Stager, L.E. 2001: 161-162), es la explotación de moluscos de la familia Muriidae (*Hexaplex trunculus*, *Bolinus brandaris*, *Stramonita haemastoma*<sup>5</sup>, *Plicopurpura columellaris*) o Buccinidae (*Buccinum undatum*), para extraer el tinte púrpura muy apreciado en Europa, Asia Menor, y en las culturas precolombinas desde Méjico<sup>6</sup> hasta Perú, industria tradicional que se ha conservado<sup>7</sup> hasta ahora en algunos lugares de Hispanoamérica.

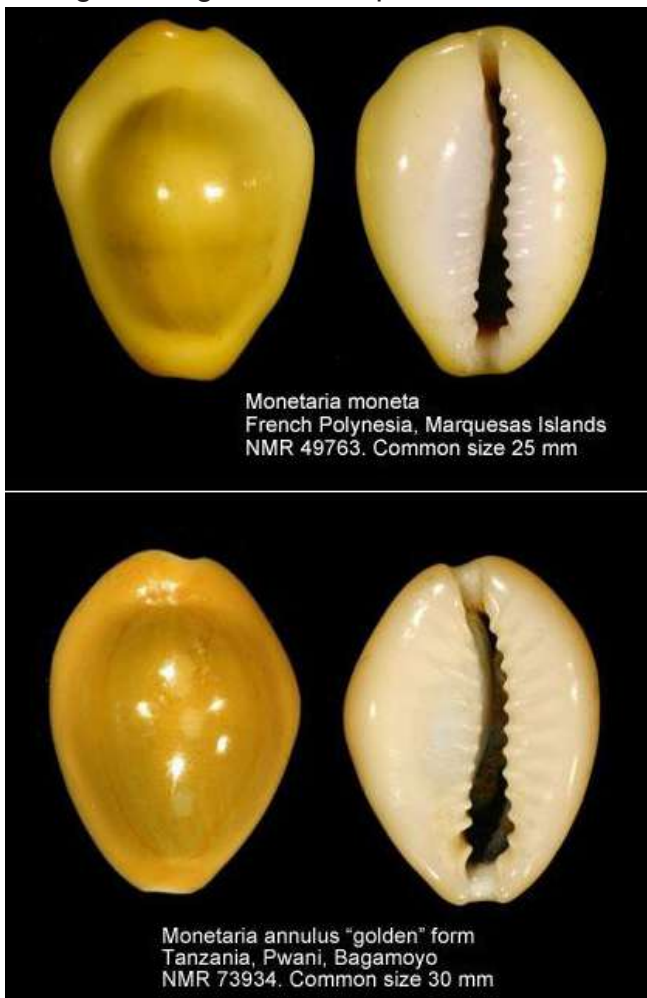


Fig. 5: *Monetaria moneta* (Linnaeus, 1758).  
*Monetaria annulus* (Linnaeus, 1758).

<sup>5</sup><https://laguiadelacuuario.es/invertebrados-marinos/thais-haemastoma/> [Actualizado el 05/09/2021].

<sup>6</sup><https://oaxaca.eluniversal.com.mx/especiales/01-04-2018/caracol-purpura-tinte-prehispanico-en-riesgo-de-extincion> [Actualizado el 05/09/2021].

<sup>7</sup><https://caracolpurpura.com/> [Actualizado 05/09/2021]

También con relación a la recolección industrial de las conchas, debe reseñarse su uso como moneda, que en el caso de la *Monetaria moneta* (Fig 5) comenzó hacia el 1500 a.C. en China y finalizó a mediados del siglo XIX en el continente africano, por una inflación producida por *Monetaria annulus* (Ibañez, M., 2004: 38-43).

En la actualidad, además de los usos tradicionales de las conchas todavía existentes, deben citarse la fabricación de botones como complemento del vestuario desde 2 000 a.C.<sup>8</sup> hasta el presente, el cultivo de las ostras perliíferas o el de otros moluscos para consumo (como por ejemplo, ostras, abalones, mejillones) y el procesamiento necesario de residuos de la industria, como en el caso de la transformación de las conchas de mejillón en piensos o fármacos<sup>9</sup>.

### 3. TAXONOMÍA. BASES DE DATOS

La taxonomía (del griego *taxis* colocación, arreglo y *nomia* ley, *norma*) es el área del conocimiento que establece las reglas de una clasificación, y esto es aplicable a cualquier conjunto de objetos. En el caso de los seres vivos los criterios de clasificación han ido cambiando conforme a las diferentes escuelas taxonómicas (Curtis, H. et al, 2008), destacando los más de cincuenta proyectos taxonómicos existentes a principios de siglo (Mallet, J.; Willmott, K., 2003: 57-59).

De los considerados grandes proyectos para clasificar los seres vivos, que se mantienen activos y actualizados, destaca la información que proporciona el Catalogue of Life (CoL)<sup>10</sup>, el mayor y más autorizado índice taxonómico de especies. Es el programa de Species 2000<sup>11</sup> que forma parte del proyecto gratis y

<sup>8</sup> <https://vestuarioescenico.wordpress.com/2014/01/31/historia-del-boton/> [Actualizado el 05/09/2021].

<sup>9</sup><https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-planta-reciclaje-conchas-mejillon-transformara-residuos-piensos-farmacos-20001229162347.html> [Actualizado el 05/09/2021]

<sup>10</sup><https://www.catalogueoflife.org/col/browse/tree?cf84d889b0c9061a8619ebdfa3abad18> [Actualizado el 04/09/2021].

<sup>11</sup><https://www.sp2000.org/home> [Actual. el 04/09/2021].

de acceso abierto Global Biodiversity Information Facility (GBIF)<sup>12</sup>, y es el resultado de la unificación en 1996, de dieciocho bases de datos taxonómicas. El catálogo CoL está permanentemente actualizado y vinculado a otros sistemas de información taxonómica específicos como el World Register of Marine Species (WoRMS)<sup>13</sup>, para especies marinas no extintas, o el Mollusca Base (MB)<sup>14</sup>, para el filo Mollusca.

A modo de ejemplo, si se elige la especie *Thais cingulifera* de la familia Taididos según una guía de moluscos (Sabelli, B., 1982), puede encontrarse como *Trochia cingulata* del género *Trochia*, de la subfamilia Ocenebrinae y de la familia Muricidae, en WoRMS y MB, incluso con fotografías que facilitan su identificación (Fig 6). Desgraciadamente, no se dispone de imágenes para todas las especies, y aunque pueden localizarse algunas fotografías en otros repositorios, como en el inventario nacional<sup>15</sup>, en estos no se ha actualizado la clasificación taxonómica.



Fig. 6: *Troquia cingulata*

<sup>12</sup><https://www.gbif.org/> [Actualizado el 04/09/2021].

<sup>13</sup><http://www.marinespecies.org/index.php>  
[Actualizado el 04/09/2021].

<sup>14</sup><https://www.molluscabase.org/> [Actualizado el 04/09/2021].

<sup>15</sup><https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/inventarios-nacionales/> [Actualizado el 04/09/2021].

Hay otras bases de datos como por ejemplo, Tree of Life Web Project (ToL)<sup>16</sup>, Integrated Taxonomic Information System (ITIS)<sup>17</sup>, Encyclopedia of Life (EoL)<sup>18</sup>, Fauna Europaea<sup>19</sup> pero no son completos o no buscan ser taxonómicos, no se mantienen actualizados y en muchos casos no consideran las especies extintas.

#### 4. MOLUSCOS. CLASIFICACIÓN

Según la RAE, se define *filo* como la categoría taxonómica fundamental de la clasificación biológica, que agrupa a los organismos de ascendencia común y que responden a un mismo modelo de organización, pero hay tantas diferencias entre los moluscos que resulta difícil establecer un esquema corporal (Fig. 7)<sup>20</sup> que se ajuste a todos:

- En la zona ventral, un órgano musculoso (pie) de formas y funciones diversas (por ejemplo, locomoción, fijación al sustrato), que solo falta en la Clase Caudofoveata.

- Una masa visceral dorsal que contiene los órganos internos. En esencia, consisten (Ruppert, E.E.; Barnes, R.D. 1996) en el

- sistema digestivo (boca-esófago-estómago y glándula digestiva-intestino-ano),

- sistema circulatorio (corazón formado por un ventrículo y dos aurículas-aorta),

- sistema nervioso (anillo y cordones nerviosos) y

- sistemas excretor (metanefridios) y reproductor (gónada).

- Cubriendo la masa visceral, un órgano musculoso (manto o palio) con una epidermis que secreta el material necesario para una concha o capa de carbonato de calcio y que se proyecta a cada lado del cuerpo para cubrir una cavidad del manto (cavidad paleal) que contiene las branquias.

<sup>16</sup><http://www.tolweb.org/tree/phylogeny.html>  
[Actualizado el 04/09/2021].

<sup>17</sup><https://www.itis.gov/> [Actualizado el 04/09/2021].

<sup>18</sup><https://www.eol.org/> [Actualizado el 04/09/2021].

<sup>19</sup><https://fauna-eu.org/t/> [Actualizado el 04/09/2021].

<sup>20</sup><https://www.molluscabase.org/index.php>  
[Actualizado el 05/09/2021]

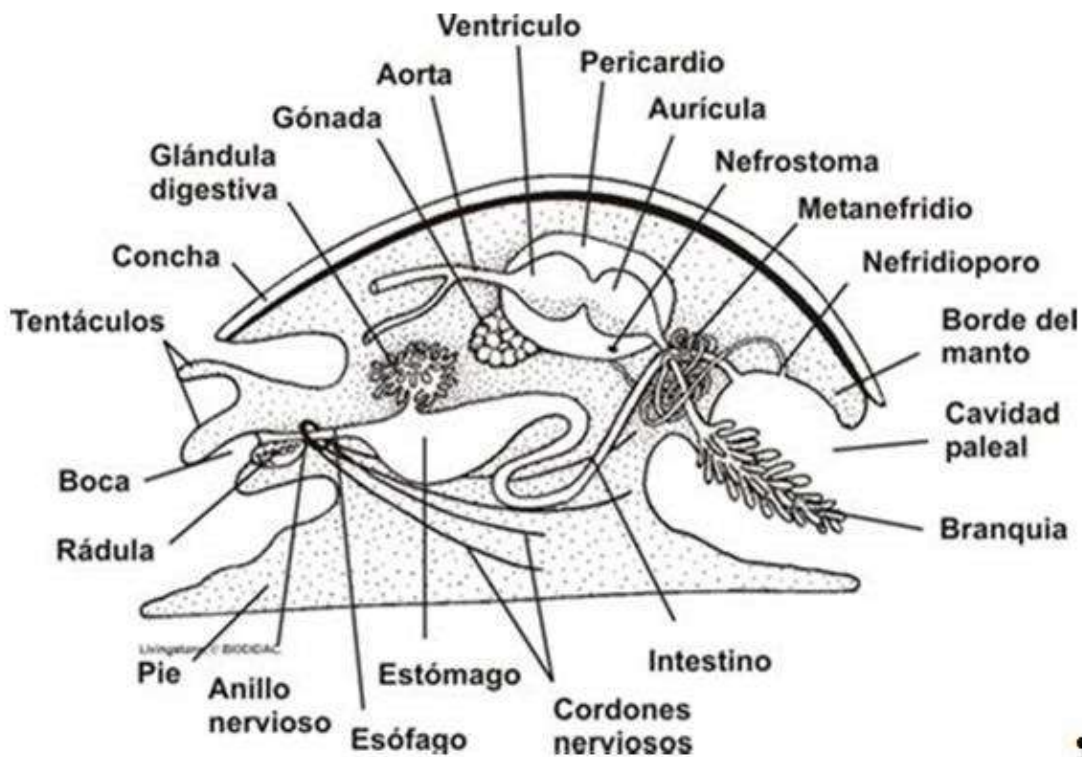


Fig. 7: esquema corporal de un molusco tipo. Incluye los órganos internos del sistema digestivo, el sistema circulatorio, el sistema nervioso básico y el sistema excretor y reproductor.

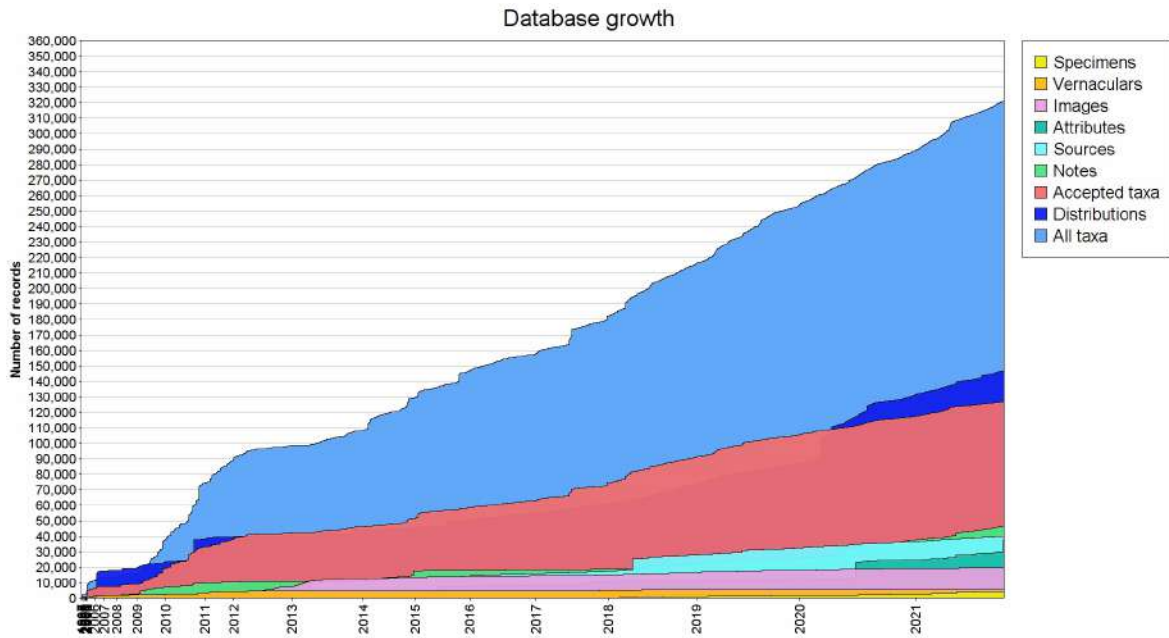
- Un órgano de alimentación (rádula) formado por hileras de dientes curvados de quitina que les permite raspar el alimento, exclusivo de los moluscos pero que falta en toda la clase Bivalvia y en algunos géneros o especies de la clase Gastropoda.

La falta de unificación de los criterios taxonómicos ha sido, tradicionalmente, el principal motivo para los numerosos cambios en la clasificación y nomenclatura de las especies, que ha sido notable en el filo Mollusca por su gran diversidad morfológica. Hacia principios de este siglo XXI la introducción de los análisis de Ácido desoxirribonucleico (ADN) ha permitido desarrollar criterios filogenéticos para identificar y clasificar los diferentes taxones a partir de investigaciones y comparaciones genéticas, por lo que algunos biólogos plantearon la necesidad de una clasificación taxonómica basada fundamentalmente en los análisis ADN como un código de barras (Herbert P.D.N. et al, 2003: 313-321), o defendieron una integración efectiva entre los criterios

morfológicos y filogenéticos (Tautz D. et al, 2003: 70-74).

Aunque estas propuestas no fueron completamente aceptadas en su momento, por diferentes problemas inherentes a las técnicas y al propio proceso de clasificación, se ha conseguido una cierta normalización en la clasificación taxonómica y la plena incorporación de los análisis filogenéticos, con los convenios entre los diferentes organismos ya citados en el apartado anterior de este artículo.

Para el caso específico de los moluscos, en la Figura 8 puede observarse el crecimiento y desarrollo de la base de datos Mollusca Base, según sus informes publicados en la web y actualizados diariamente. El área roja representa el número de taxones aceptados desde 1996 hasta los más de 100.000 en el momento actual, de los casi 325.000 comprobados (área azul). El resto de las áreas se refieren a la información que acompaña a los taxones como áreas de distribución, notas, fuentes de referencia, características y vulgarismos en su caso.



MolluscaBase (2021)

Fig. 8: representación gráfica del número acumulado de taxones comprobados, taxones aceptados, áreas de distribución, notas, fuentes de referencia, características y vulgarismos, de la base de datos Mollusca Base desde 1996.

La Figura 9 muestra la clasificación taxonómica de los moluscos en clases y subclases según Mollusca Base, con expresión del número de especies aceptadas en la fecha de extracción de datos. El símbolo † significa que el taxón está extinto, y las clases y subclases con nombres temporales sea por datos insuficientes o discutibles incluyen la expresión *incertae sedis* (i. s.).

En la columna a la derecha del número de especies se indica, numéricamente y mediante barras rojas, el porcentaje de especies que aporta cada clase, y subclase al número total de especies aceptadas, resaltándose que en el momento actual de la clasificación taxonómica, más del 80% de los moluscos son gasterópodos y que la suma entre bivalvos y gasterópodos supone casi un 97% del total de los moluscos dejando el resto de las especies a repartir entre las otras nueve clases. Al nivel de las subclases, a reseñar que en dos de las dieciséis subclases (Caenogastropoda y Heterobranchia), se agrupan casi el 76% de los moluscos, y si se añade la subclase Autobranchia se alcanza el 89%.

Si tenemos en cuenta el número total actual de especies aceptadas, no se prevén gran-

CLASE	SUBCLASE	Total	%
Bivalvia		14412	13,91
	Autobranchia	13514	13,04
	Protobranchia	897	0,87
	Bivalvia incertae sedis	1	0,00
Caudofoveata		141	0,14
Cephalopoda		841	0,81
	†Ammonoidea	1	0,00
	Coleoidea	827	0,80
	Nautiloidea	13	0,01
†Cricoconarida		0	0,00
Gastropoda		85824	82,81
	Caenogastropoda	43344	41,82
	Heterobranchia	35411	34,17
	Neomphaliones	117	0,11
	Neritimorpha	1535	1,48
	Patellogastropoda	404	0,39
	Vetigastropoda	4977	4,80
	†Gastropoda i. s.	36	0,03
Monoplacophora		32	0,03
Polyplacophora		1201	1,16
	Neoloricata	1199	1,16
	†Palaeoloricata	2	0,00
	†Polyplacophora i. s.	0	0,00
†Rostroconchia		3	0,00
Scaphopoda		614	0,59
Solenogastres		297	0,29
Mollusca i. s.		271	0,26
Mollusca		103636	100

Fig. 9: clases y subclases del filo Mollusca, indicando en cada taxón el número de especies y porcentaje sobre el número total de especies

des variaciones en los porcentajes de la tabla porque el número de especies clasificadas actualmente como “incertae sedis” no alcanza el 0,30%.

## 5. LA CONCHA

La mayoría de los moluscos poseen una concha para su protección como función principal y cierta función de soporte por los tejidos y ligamentos que la unen al manto; pero no puede considerarse un exoesqueleto como en los artrópodos.

### 5.1 Composición.estructura

Aunque la forma y el tamaño son muy variados, y en la literatura la descripción difiere según los autores, en general puede considerarse que una concha está formada por un número limitado de componentes orgánicos e inorgánicos. Entre los orgánicos destaca la matriz proteica de *conquiolina* o *conchina*<sup>21</sup> y los pigmentos orgánicos producidos por las células cromóforas, mientras que entre los inorgánicos destaca el carbonato cálcico (cristalizado en forma de aragonito o calcita), el sulfato magnésico y el carbonato magnésico. La estructura típica (Ruppert, E.E.; Barnes, R.D. 1996) de la sección de una concha (Fig 10) se compone, frecuentemente, de cuatro capas:

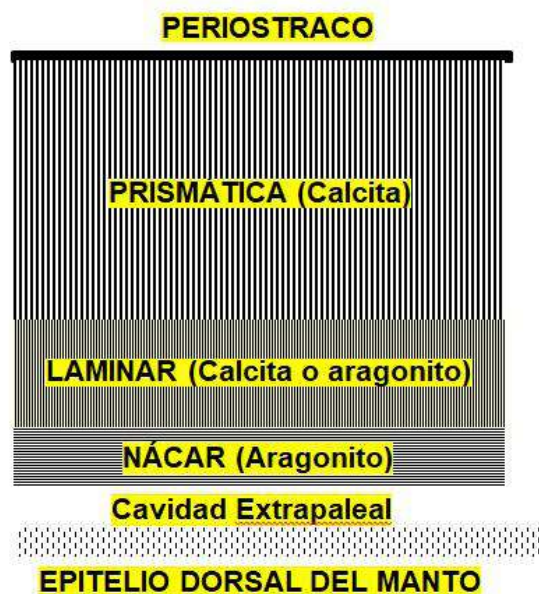


Fig. 10: sección de una concha tipo.

- Una capa externa, generalmente la más delgada, llamada *periostraco*, formada por una proteína compleja endurecida con quinona<sup>22</sup> (Hickman, C.P. et al, 2008), denominada conquiolina.

La función principal del periostraco es proteger las capas cálcicas de la erosión producida por otros animales o la acidificación del agua, sea debido al dióxido de carbono disuelto en el medio acuoso (CO<sub>2</sub>) o por la descomposición orgánica. Algunos moluscos marinos como los denominados vulgarmente “cawrie” (por ejemplo, *Prionovolva brevis*), no tienen esta capa mientras que en los de agua dulce es más gruesa.

- Una capa intermedia *prismática*, formada por cristales de carbonato cálcico perpendiculares a la superficie de la concha, dentro de una matriz proteica segregada por el borde del manto.

- Dos o más capas internas, formadas por laminillas (*lamelas*) de carbonato cálcico, perpendiculares a la superficie de la concha sobre una matriz orgánica. En algunos moluscos las láminas de la última capa se superponen en dirección paralela a la superficie de la concha, alternando con láminas de conquiolina, y reflejan la luz según su orientación, formando el nácar de las conchas (Brusca, R.C., Brusca G.J., 2005). Midiendo el número de láminas en algunos moluscos se ha encontrado que esta capa pueden tener hasta 500 laminillas paralelas por milímetro de espesor (Hickman, C.P. et al, 2008). La capa nacarada es segregada por toda la superficie del manto repartiéndose uniformemente.

En las conchas de los moluscos el carbonato cálcico cristaliza en forma de calcita o de aragonito, pudiéndose diferenciar observando secciones de la concha al microscopio. En la Figura 11 se relacionan propiedades fisicoquímicas de ambas cristalizaciones resaltando aquellas diferencias notables entre ambas. Aunque su fórmula química es la misma, la distinta cristalización motiva las diferencias observadas en cuanto a la reactividad, exfo-

<sup>22</sup>Cyclohexa-2,5-diene-1,4-diona (p-benzoquinona).

<sup>21</sup>Número CAS, 11028-72-1

liación, densidad y dureza. La cementación entre los cristales con las matrices orgánicas explica que la tenacidad de las conchas sea de dos o tres órdenes de magnitud respecto a ambos cristales.

		CALCITA	ARAGONITO
Propiedades químicas	Fórmula química	CaCO <sub>3</sub>	
	Peso Molecular	100.09 g	
	Composición	Ca (40.04 %), C (12.00 %), O (47.96 %); CaO (56.03 %), CO <sub>2</sub> (43.97 %)	
	Ácidos	Muy reactivo con ácidos incluso débiles (ejemplo, ácido acético)	Soluble en ácidos diluidos con efervescencia (ejemplo HCl)
Sistema cristalográfico y clase		Trigonal - Hexagonal Escalenohedral	Ortorrómico Bipiramidal
Propiedades físicas	Color, sin impurezas	Blanco	Incolora, Blanco, gris
	Luminiscencia	Puede ser fluorescente	Fluorescente y fosforescente
	Exfoliación	Excelente	Imperfecta
	Fractura	Concoidal	
	Raya	Blanca	Incolora, blanca
	Brillo	Vitreo, cerúleo, nacarado	Vitreo, mate, nacarado
	Dureza	3	3.5 a 4
	Tenacidad	Frágil, quebradizo	
	Densidad	2,71 g/cm <sup>2</sup>	2,94 g/cm <sup>3</sup>

Fig. 11: comparación de propiedades fisicoquímicas entre la calcita y el aragonito.

Se ha demostrado que existe una relación entre los datos medioambientales y las concentraciones de los isótopos de calcio (Ca), estroncio (Sr) y otros elementos de las conchas de bivalvos y gasterópodos. Como ejemplo de esto, puede citarse a Linzmeier y otros, que en 2020 publicaron la variabilidad de la relación entre los isótopos <sup>44</sup>Ca y <sup>40</sup>Ca en el aragonito de las conchas fósiles de bivalvos y moluscos gasterópodos, durante la extinción masiva del Cretácico-Paleogeno (K-Pg).

## 5.2 Crecimiento

El borde de la concha (margen) solo está formado por el periostraco y está en contacto con un lóbulo o pliegue del manto donde se produce la conquiolina para el crecimiento de la capa externa. En el interior de la capa exter-

na se acumula la matriz proteica que funciona como soporte para la nucleación de los cristales de carbonato cálcico, a partir de los iones aportados por el manto en la cavidad extrapaleal, situada entre la concha y el manto. Esto es, el crecimiento de la concha es desde la capa externa hasta la interna, formándose primero el periostraco en el borde de la concha para después ir formándose las sucesivas capas calcáreas (Ruppert, E.E.; Barnes, R.D. 1996).

Sobre la concha se aprecian líneas y bandas que se forman durante su crecimiento, y que han sido ampliamente estudiadas en los bivalvos, porque proporcionan información sobre la edad del animal y las condiciones ambientales del medio donde vive el molusco. Algunas líneas se observan fácilmente en la superficie de la concha pero la mayoría de las marcas de crecimiento solo pueden apreciarse realizando un corte radial en la sección de la concha (Gosling, E., 2015).

En los bivalvos, el crecimiento anual generalmente se presenta como diferencias en el grosor de los incrementos o en la densidad de la concha. En algunos, se presenta como líneas o interrupciones, resultado de la suspensión durante la estación invernal de las secreciones del manto (por ejemplo, *Cerastoderma edule*). En otros como *Mytilus edulis*, las conchas presentan tantas líneas que reflejan los ciclos diarios de las mareas, y se ha sugerido un posible proceso relacionado con el período en el que las valvas se encuentran cerradas, porque en ese estado de respiración anaeróbica se producen ácidos orgánicos que disolverían ligeramente el carbonato cálcico formando una línea (Ruppert, E.E.; Barnes, R.D. 1996).

En algunas conchas fósiles se ha conseguido determinar su edad estudiando las marcas de crecimiento. Por ejemplo, en rudistas fósiles (*Torreites sanchezi*) en las que puede verse el crecimiento por capas estacionales, se ha podido medir (De Winter, N. J., et al., 2020) que el número de días que tenía un año al final del Cretácico era de 372, además de los cambios habidos en la composición química de las conchas debido a la influencia de la luz



del sol en la calcificación.

La cantidad del isótopo  $^{18}\text{O}$  (oxígeno) en la concha de un bivalvo marino depende directamente de la temperatura, así que tomando muestras secuenciales de calcita a lo largo de la dirección de crecimiento de la valva, puede registrarse la temperatura relativa del mar durante el ciclo de vida del bivalvo. Cuando se han podido comparar los datos así adquiridos con las temperaturas de la superficie del mar donde viven los bivalvos-muestra, se ha encontrado una diferencia de uno o dos grados, así que con los valores  $\delta^{18}\text{O}$  (relación entre los isótopos  $^{18}\text{O}$  y  $^{16}\text{O}$ ) de bivalvos fósiles y actuales se ha podido elaborar un registro de las temperaturas superficiales del mar (Gosling, E., 2015).

La enorme influencia de las condiciones medioambientales en las características físicas (tamaño, forma, malformaciones) y químicas (composición, relaciones isotópicas) es un campo de estudio muy amplio que necesita la organización de equipos multidisciplinarios.

### 5.3 Forma

La forma de la concha de los bivalvos es tan variable, como el tamaño, las ornamentaciones superficiales y el color. En cuanto al tamaño puede oscilar desde especies microscópicas hasta las del género *Tridacna*, que llegan a medir un metro de longitud. Se desconocen las razones evolutivas que han dado lugar a muchas de las ornamentaciones superficiales (costillas, suturas, espinas, varices, etcétera) y de los colores que ostenta la concha, pero se piensa que los ornamentos son consecuencia de la adaptación al medio (por ejemplo, protección frente a depredadores) mientras que los colores pueden estar relacionados con la alimentación (Brusca, R.C., Brusca G.J., 2005). Estas características morfológicas de la concha son muy valiosas para la clasificación taxonómica porque en su conjunto proporcionan datos identificativos específicos a nivel de especies.

Desde un punto de vista geométrico la forma de una concha es la combinación de tres figuras matemáticas, la espiral, la piramidal y la

circular, que podría describirse por una ecuación matemática, en la que aplicando distintos coeficientes resulten las diferentes estructuras de los moluscos. Con relación a la simetría observada, la mayor parte de los gasterópodos tienen una concha espiral asimétrica en forma cónica, los cefalópodos con concha forman una espiral plana y muchos bivalvos tienen un plano de simetría en el cierre de las dos valvas.

Los moluscos tienen una sola concha desde la etapa larvaria planctónica hasta el animal adulto y esto significa que la concha debería tener la misma morfología básica en varios órdenes de magnitud en tamaño. En 1984, Alemany y Gállego propusieron un método para conocer las constantes numéricas que definen la espiral descrita por la concha de un bivalvo durante su crecimiento, que aplicaron a *Callista chione* y determinaron que la convexidad de la concha es independiente del tamaño de la concha, esto es, de su edad.

No obstante, la forma no es una característica inmune al medio en el que viven los moluscos. En los bivalvos, si el ritmo de la formación de la concha es el mismo a lo largo de todo el margen, la concha es equilátera, mientras que si este ritmo es diferente, la forma de la concha varía (Ruppert, E.E.; Barnes, R.D. 1996).

Como curiosidad relacionada con la forma, siempre ha sido llamativa la moda fomentada por algunos escritores de éxito afirmando que las dimensiones de la concha del *Nautilus* se aproximan a la proporción áurea, fenómeno aplicado también a numerosos campos de estudio. Varios matemáticos han desmentido esta afirmación, unos teóricamente y otros midiendo conchas, cumpliendo así el axioma básico de la ciencia que debe demostrarse lo que se afirma.

En un artículo reciente, Bartlett (2019) calculó las proporciones de ochenta especímenes del Smithsonian National Museum of Natural History de Washington D.C., concluyendo que en todas las conchas de las seis especies estudiadas de la familia Nautilidae la razón dimensional se encontraba entre 1.261 y 1,372, muy lejos de la denominada proporción áurea ( $\approx 1,618$ ).

## 6. LA COLECCIÓN

Un coleccionista puede encontrar información muy útil en guías, como por ejemplo la citada de Sabelli de 1982, o en páginas webs como la también citada “El rincón del malacólogo”(ERM) que tiene un apartado dedicado “Cómo hacer una colección de conchas”<sup>23</sup>, claro y completo, recomendable para cualquier coleccionista.

El coleccionismo de las conchas se basa fundamentalmente en cuatro partes: Objeto de la colección, referencia documental, organización de la colección y técnicas de limpieza-mantenimiento.

### - OBJETO

No todos los coleccionistas son conchilólogos generalistas, esto es, coleccionan todas las conchas de los moluscos. En muchos casos se restringe la colección al tipo de medio (terrestres, dulceacuícolas, marinos), a un determinado taxón (gasterópodos, cefalópodos), o simplemente de una determinada zona (Mediterráneo, Galicia, Levante, Golfo de Cádiz). Así que, en primer lugar, debe tenerse claro el objeto a coleccionar, enfocando así el material y la documentación necesaria.

### - BIBLIOGRAFÍA

Es importante disponer de una bibliografía útil y actualizada, donde pueda encontrarse la información requerida en cada momento, porque una colección es producto de una afición que crece paulatinamente y tiene sus tiempos. Incluso puede abandonarse o convertirse en una colección accesible en un museo.

Es conveniente que la bibliografía sea actual, hay libros muy buenos o llamativos por las imágenes, pero que son más útiles para los historiadores de la ciencia. Como regla general, una primera edición de un libro sobre invertebrados o moluscos puede considerarse actualizado si hace menos de diez años de su publicación. Debe recordarse la Figura 8 para comprobar la velocidad con la que se modifican los taxones. En este artículo se ha actualizado la denominación taxonómica de la mayor parte de las especies porque en las

fuentes se encontraban obsoletas.

Por otra parte, una gran parte de la bibliografía sobre moluscos es específica de un medio ambiente, una zona y en menor medida, sobre un taxón determinado, siendo muy útiles a los coleccionistas más especializados.

### - CLASIFICACIÓN Y ORGANIZACIÓN

Los cambios en los taxones como consecuencia de la integración del análisis filogenético en la clasificación taxonómica, suponen actualizar las denominaciones de las especies de una colección, y en este caso, el problema aumenta con el tamaño del repertorio. De hecho, en muchas colecciones de museos se mantienen denominaciones antiguas, posiblemente por carencia de personal.

Con las bases de datos ya citadas en puntos anteriores de este artículo la búsqueda de la nueva denominación no debe ser difícil si se dispone de la antigua. No obstante, debe tenerse en cuenta si el espécimen no estuviera bien clasificado por la taxonomía anterior o el caso de un nuevo espécimen para clasificarlo con los nuevos criterios taxonómicos.

Otro problema diferente es la forma en que se guarda y mantiene la colección. Dependiendo del tamaño previsto para la colección, del uso que se pretende darle y del espacio disponible, se podrían usar expositores, cajas contenedores o muebles con cajones. En la página ya citada de ERM se puede encontrar ideas sobre esto.

### - PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES

Por último, las conchas se lavan fácilmente con agua y jabón, y en caso de tener todavía algún resto orgánico puede retirarse con alcohol de farmacia y un alambre en el caso de los gasterópodos, o con un simple cúter en los bivalvos cuidando no dañar el nácar. Con la exposición al Sol se van desvaneciendo los colores, pero pueden recuperarse introduciendo las conchas otra vez en agua con sal. Si se quiere eliminar el periostraco y restos orgánicos, la concha se puede introducir en una disolución de lejía comercial en agua al 50% en volumen, durante ocho-doce horas, y luego lavar con agua.

<sup>23</sup><http://www.elrincondelmalacologo.com/Como%20hacer%20una%20coleccion%20de%20conchas.htm>  
[Actualizado el 20/09/2021]

Pueden eliminarse las concreciones calcáreas con trabajo mecánico utilizando agujas, navajas y pequeños destornilladores. Para mantenerlas con cierto brillo, lo mejor es el aceite mineral o glicerina para el periostraco. Nunca deben usarse barnices o lacas.

En las guías de moluscos pueden encontrarse técnicas de limpieza y conservación, pero en este artículo por razones obvias no se incluyen consejos para matar animales o para retirarlos de sus conchas. De hecho, había páginas muy útiles, con esta información, que han desaparecido de Internet.

Por último, no debe olvidarse el objetivo último de la colección. Por ejemplo, otra forma de coleccionar es fotografiar o grabar en vídeo especímenes vivos que pueden añadirse a una base de datos. Es una afición especialmente útil y ya pueden encontrarse páginas parecidas<sup>24</sup> en internet.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEMANY, A.; GÁLLEGO L. (1984). *Análisis matemático del enrollamiento espiral en moluscos lamelibranquios*, I: Método. Trazos: Trabajos zoológicos 1; 1-20.

ARRÉBOLA, J. (2011). *Ganula gadirana*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2011: e.T156768A4994197. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T156768A4994197.en>. Downloaded on 18 September 2021.

AKÇAKAYA, H. R. et al (2014). *Preventing species extinctions resulting from climate change*. *Nature Climate Change*, 4:1048-1049.

BAREA-AZCÓN, J. M., BALLESTEROS-DUPERÓN, E., MORENO, D. (2008). *Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía*. 4 Tomos. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, 1430 pp.

BARTLETT C. (2019). *Nautilus Spirals and the Meta-Golden Ratio Chi*. *Nexus Network Journal*, 21: 641–656

BRUSCA, R.C., BRUSCA G.J. (2005). *Invertebrados*, (2ª ed). McGraw-Hill Interamericana. Madrid. 1005 pp.

BEJARANO, A.; BUSTAMANTE, M.; NAVARRO, J.V.; MARRAS, S.; ARTEAGA, A. (2019): *Estudio arqueológico y arqueométrico de restos de cosmético hallados en una pyxis malacológica* en Augusta Emérita (Mérida, Badajoz), *Sagvntvm (P.L.A.V.)*, 51: 177 – 195.

CATLOW, A. (1843). *Popular Conchology; or the shell cabinet arranged. An introduction to the modern system of conchology*. Longman, Brown, Green, and Longmans, London. 300 pp.

<sup>24</sup><https://www.biodiversidadvirtual.org/>  
[Actualizado el 20/09/2021]

CURTIS, H. et al (2008). *Biología*. (7ª ed.). Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires. 1160 pp.

DE WINTER, N. J., et al., (2020). *Subdaily - scale chemical variability in a *Torreites sanchezi* rudist shell: Implications for rudist paleobiology and the Cretaceous day - night cycle*. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 35. e2019PA003723.

<https://doi.org/10.1029/2019PA003723>. 1-21

GOSLING, E. (2015). *Marine Bivalve Molluscs* (2nd ed). John Wiley & Sons, Ltd, Chichester. 524 pp.

HEBERT P.D.N., et al, (2003). *Biological identifications through DNA barcodes*. *Proceedings of the Royal Society B*, 270: 313–321

HICKMAN, C.P. et al, (2008). *Integrated principles of Zoology*, (14th ed.). McGraw-Hill Higher Education, New York. 910 pp .

IBAÑEZ, M. (2004). *Monedas-concha*. *Crónica Numismática* 15 (156): 38-43.

JOVER, F.J.; LUJÁN, A. (2010). *El consumo de conchas marinas durante la Edad del Bronce en la fachada mediterránea de la Península Ibérica*, *Complutum*, 21 (1): 101-122.

KING, P.; STAGER, L.E. (2001). *Life in Biblical Israel*. Westminster John Knox. Press, Kentucky, pp. 161-162.

LASO DE LA VEGA, J. et al (1851). *Instrucción para el pueblo*. Cien tratados sobre los conocimientos más indispensables (Tomo Primero). Establecimiento tipográfico de Mellado. Madrid. 800 pp.

LINZMEIER, B.J., et al., (2020): *Calcium isotope evidence for environmental variability before and across the Cretaceous-Paleogene mass extinction*, *Geology*, 48 (1): 34-38.

MALLET, J.; WILLMOTT, K. (2003). *Taxonomy: renaissance or Tower of Babel*. *TRENDS in Ecology and Evolution* 18 (2): 57-59.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE): *Diccionario de la lengua española*, 23.ª ed., [versión 23.4 en línea]. <https://dle.rae.es>.

REAL DECRETO (RD) 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. *Boletín Oficial del Estado (BOE)* número 46, Legislación consolidada.

RUPPERT, E.E.; BARNES, R.D. (1996). *Zoología de los invertebrados*. (5ª ed). McGraw-Hill Interamericana. México. 983 pp.

SABELLI, B. (1982). *Guía de moluscos*. (1ª ed.). Editorial Grijalbo, Barcelona. 512 pp.

TAUTZ D., et al, (2003). *A plea for DNA taxonomy*. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18 (2): 70-74

## APORTACIONES DE LEANDRO SEQUEIROS A LA PALEONTOLOGÍA

### Leandro SEQUEIROS SAN ROMÁN

Doctor en Ciencias Geológicas y Catedrático de Paleontología

isequeiros42@gmail.com

#### PUBLICACIONES DESDE 1971 HASTA 2021

Las publicaciones no son el único método de medida (y tal vez tampoco el más fiable) para calibrar las aportaciones a la ciencia de un investigador. Pero no se puede minusvalorar. Por eso me ha parecido de interés, en el ocaso de mi vida, sistematizar lo que haya podido aportar a la paleontología durante los últimos 50 años.

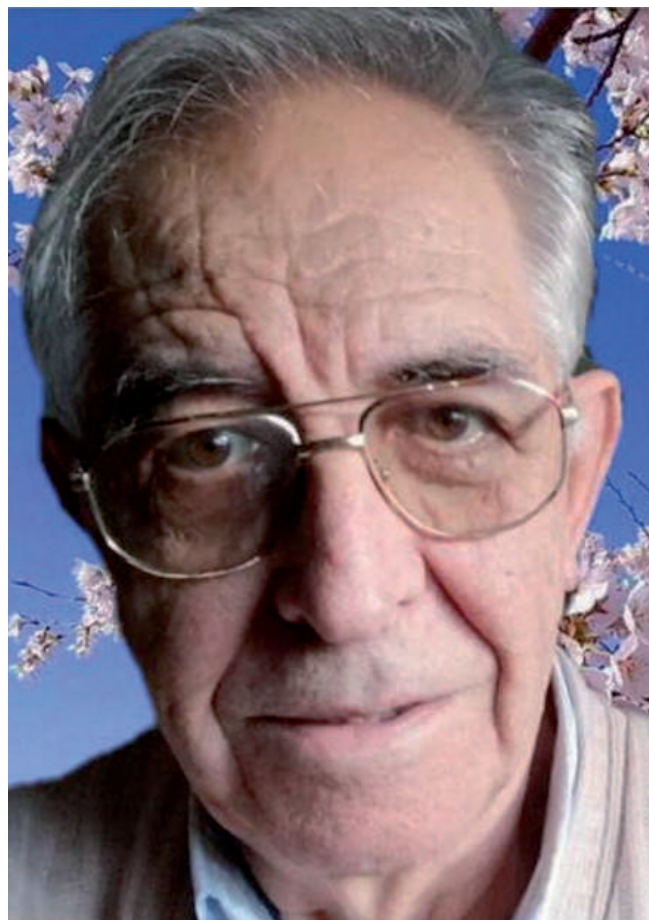
La mayor parte de mis publicaciones paleontológicas están dedicadas a la paleobiología, bioestratigrafía, paleoecología y paleobiogeografía del Jurásico de España, tanto del de las Cordilleras Béticas como del de la Cordillera Ibérica. Y dentro del Jurásico me dediqué al Jurásico marino. Y dentro de él al Jurásico

superior marino en el que los Ammonites nos han dejado un registro suficiente al que he dedicado muchas horas de mi vida. Una tarea que incluye rastreo de yacimientos, recogida sistemática de información fósil, restauración y siglado en el laboratorio, identificación de las especies, reelaboración de esquemas bioestratigráficos, interpretación multidisciplinar de los resultados.

En el año 1971 vio la luz mi primera publicación a la que puede llamarse “científica”. Un año antes, en 1970, había terminado la licenciatura en Ciencias Geológicas en la Universidad de Granada. Y había iniciado mi tesis doctoral sobre la Paleobiogeografía del Calloviense y Oxfordiense en el Sector Central de la Zona Subbética (Andalucía). Desde entonces ha pasado muchas cosas en mi vida y en el mundo.

Este año de 2021 (50 años más tarde) he llegado a las 2000 publicaciones (bien es verdad que muchas de ellas flojitas y de divulgación). Pero son publicaciones al fin y al cabo. Por otra parte, en Bubok se cumplen cien libros publicados, lo cual

no es poca cosa. Y sin ánimo de vanagloria o de soberbia, me ha parecido dejar constancia de esta tarea realizada. Es una tarea dentro de un proyecto personal que pretende estar presente en los debates entre el conocimiento científico, la filosofía y las tradiciones religiosas. Ha sido y sigue siendo mi misión. Y a todos los que me han acompañado se lo dedico.



PUBLICACIONES EN LA ETAPA DE PALEONTÓLOGO (1970-1988) Entre 1970, el año que terminé la entonces llamada Licenciatura en Ciencias (Geológicas) en la Universidad de Granada y defendí ante tribunal mi tesina de licenciatura sobre

“la geología y la paleontología del borde sur de la Sierra de Cabra (Córdoba, Cordilleras Béticas)” obteniendo Sobresaliente cum laude y premio extraordinario de Licenciatura, y el año 1988 en que me ví empujado a pedir la excedencia como Catedrático de Paleontología, sucedieron muchas cosas. Algunas desagradables. Otras – como creyente- las percibo providenciales.

DESDE HUELVA 1983-1986 90.

SEQUEIROS, L. Y GONZALEZ REGALADO, M.L. (1983) Niebla- Bonares: fósiles de moluscos de casi cinco millones de años. Huelva Información, 6.10.83, p.8.

DESDE ÚBEDA 1986-1990

La marcha a Úbeda no supone una ruptura con el mundo de la Paleontología. Pero se enriquece con una mayor presencia en el mundo de la didáctica y de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. En esta época nace la Sociedad Española de Paleontología y la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT). Por otra parte, la Junta de Andalucía crea equipos de trabajo para elaborar los Diseños Curriculares de Ciencias en Primaria y en Secundaria. Aparece el “Equipo Terra” que aporta mucho a la enseñanza de la Geología en España.

DESDE CÓRDOBA 1990-1997

Terminada mi misión en Úbeda intento (sin lograrlo) reintegrarme como Catedrático a la Universidad. “El que fue a Sevilla perdió su silla”, dicen. Con esfuerzo, logro la plaza de Metodología de la Investigación en la Universidad de Córdoba (la cuarta Universidad pública de mi vida). Desde el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) ubicado en el Edificio La Aduana, reinicio un camino sin abandonar el anterior. Aunque las circunstancias hicieron que en 1996 tuviera que dejar el Despacho y donase todos mis libros de Paleontología a la Universidad de Zaragoza. Aquí colaboro mucho con la Junta de Andalucía, AEPECT, el Equipo Terra, ASINJA, y la Asociación Cordobesa de Mineralogía y Paleontología de la que fui Presidente. Y en este tiempo fui nombrado Presidente de la Sociedad Española de Paleontología. Todo esto cooperó a que el 27 de noviembre de 1994 sufriera una trombosis cerebral que me tuvo de baja más de un año y provocó la rescisión de contrato de la Universidad y mi “destino” a Granada a la Facultad

de Teología desde 1997.

DESDE GRANADA 1997-2010

El ser humano puede ser muy miserable. La Universidad de Córdoba prescindió de mis servicios (por oscuras razones) en 1996. Por ello, mis superiores me sugirieron que fuera a Granada, a la Facultad de Teología, para colaborar con el departamento de filosofía para impartir Filosofía de la Naturaleza. Pero el año 1998 me añadieron la Antropología Filosófica. Y en 1999 la Teoría del Conocimiento. Y se desdobra el ISCCRR de la Facultad con lo cual se duplican las clases.. Por razones académicas “debo” hacer una tesina en Teología el año 2000. Y en 2002 ingreso en la Academia de Ciencias de Zaragoza... con un discurso sobre mi tesina en Teología

JUBILADO DESDE 2010

En 2009 tuve que ser operado de la cadera izquierda. Ya me costaba andar. Eso hizo que las escaleras de la Facultad de Teología se convirtían en barras difíciles de salvar. Me dí por jubilado y pedí volver a Córdoba a la comunidad Roque González donde había sido muy feliz. Y seguía con AEPECT, “Terra”, ASINJA, SEP, SGE, Boletín de Historia de la Geología...

DOS HERMANAS 2016-2020

Pero mi estancia en Córdoba no fue muy larga. Me tuvieron que operar de la otra cadera en 2016. Y me piden el servicio de ejercer como Capellán en la Residencia de Mayores San Rafael de Dos Hermanas. Una experiencia dura de cuatro años. Llegó un momento en el que “representé” siete razones para dejar la Residencia. Oficiales solo dos: ya no es una obra de la Compañía y ya no es una obra para personas sin recursos

OTRA VEZ GRANADA DESDE 2020 A .... 2035

SEQUEIROS, L. (2021) Historia de la Geología en los siglos XIX y XX. Ciencia, Religión y enseñanza. <https://www.bubok.es/libros/268980/HISTORIA-DE-LA-GEOLOGIA-EN-LOSSIGLOS-XIX-Y-XX-Ciencia-Religion-y-ensenanza> Bueno, esta es mi historia (inacabada) en el mundo de la paleontología... Veremos lo que duramos.. Al menos que quede este testimonio.. Granada, 9 de agosto de 2021

**GUÍA DE FÓSILES URBANOS DE ALCOI (3ª PARTE)  
“TREPEJANT EL PASSAT” (PISANDO EL PASADO)  
ARTICLE DE L'ASSOCIACIÓ ISURUS**

**Angel CARBONELL ZAMORA  
Ricard BAÑÓ i ARMIÑANA  
José Francisco BAEZA CARRATALÁ  
Montse BODÍ VERDÚ  
M<sup>a</sup> Carmen ALMAHANO DURÁN  
Cristian CARBONELL ALMAHANO**

- En la Plaza de Dins, encontraremos unas pilastras construidas con un material muy poroso y poco pesado, el llamado Travertino o Toba.
- El travertino es una roca sedimentaria de origen parcialmente biogénico, formada por depósitos de bicarbonato de calcio, muy utilizada en piedra ornamental de construcción.
- Fijaros bien en las pilastras y dar vuestra opinión de lo que estáis viendo, son trilobites?, son ammonites?, son impresiones de restos vegetales?.....



Coordenadas:38°41'51.9"N 0°28'25.3"W

En las paradas 8, 9 y 10 de la siguiente ficha, encontraremos corales solitarios cortados transversalmente, estos corales pertenecen al Periodo Devónico y los encontramos en calizas "piedra azul".



### Comparativa de un coral actual y estos del Devónico

Sabías que ? Los corales son animales coloniales, las colonias están formadas por cientos o miles de individuos llamados Zoides.  
 En aguas tropicales y subtropicales forman grandes arrecifes.  
 La leyenda del Coral Rojo dice, hace mucho tiempo vivió una joven muy hermosa llamada Moriana. Era tan hermosa que todo el que la veía se quedaba prendado de su belleza al instante.  
 Un día el rey, que había oído hablar de la gran belleza de la muchacha, acertó a pasar por allí. Al ver a la hermosa joven, decidió al instante que habría de ser suya y sólo suya. Trató de llevársela por la fuerza, pero Moriana se resistió. El rey resentido pensó que si aquella joven no era suya, no sería de nadie más: desenvainó su espada y le atravesó el corazón lanzándola después por un acantilado.  
 Los genios del agua al ver a una joven tan hermosa muerta y lanzada al fondo del mar se sintieron furiosos. Nada pudieron hacer por la vida de la joven, pero de la sangre que manaba de su herida hicieron el coral rojo.

29

### 8, 9 y 10 Los fósiles del casco antiguo



8 Farmacia Margarita Robles, C/ San Lorenzo, 25



9 BBVA, Avda. País Valencià, 40



10 Equino Avda. País Valencià - Carretera Alicante

- En la Calle San Lorenzo y Avda. País Valencià, paradas 8, 9 y 10, encontraremos los mismos fósiles que en la parada 3, si habéis descubierto el de este sitio, también fácilmente descubriréis los siguientes.
- Que serán?? ...Belemnites, Bivalvos o Corales.....



Coordenadas: 38°41'50.6"N 0°28'27.8"W  
 Coordenadas: 38°41'47.2"N 0°28'36.2"W  
 Coordenadas: 38°41'43.4"N 0°28'41.3"W

31

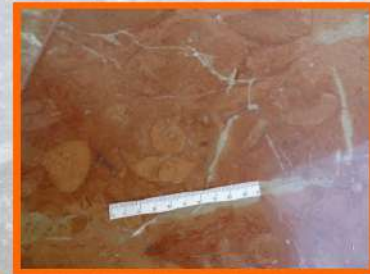
### FÓSILES REPRESENTADOS EN LAS FICHAS DEL ITINERARIO 1 Y OTROS FÓSILES



32



## 11 Los fósiles de la Alameda - Ensanche



**Localización:**

Alzamora 37, Movistar.

**Descripción:**

En este bordillo del escalón observamos un ammonite con sus cámaras.

**Fósiles:**

Ammonite y sus cámaras internas

**Procedencia:**

Mármol titónico del Rollo (Alicante)

Estas placas realmente no son mármol, son calizas nodulosas rojas (facies ammonítico rosso).

Su procedencia es muy extensa, desde el rojo de Asiago, mármol de Verona, mármol rojo de Cabra, rojo Cehegin, rojo Quipar....

**Litología:**

Mármol rojo.

Edad: Jurásico (160 - 140 Ma.)

¿Sabías qué?... Los ammonites son los fósiles vivos mas antiguos.



## 12 Los fósiles de la Alameda - Ensanche



**Localización:**

Joyería Sancho, l 'Alameda 39

**Descripción:**

En esta fachada podemos observar dos buenos ejemplares, un ammonite y un belemnite.

**Fósiles:**

Ammonite y Belemnite

**Procedencia:**

Mármol titónico del Rollo (Alicante)

Estas placas realmente no son mármol, son calizas nodulosas rojas (facies ammonítico rosso).

Su procedencia es muy extensa, desde el rojo de Asiago, mármol de Verona, mármol rojo de Cabra, rojo Cehegin, rojo Quipar....

**Litología:**

Mármol rojo

Edad: Jurásico (160 - 140 Ma.)

¿Sabías qué?... Tanto los ammonites como los belemnites son cefalópodos y pueden tener concha interna como los ammonites y sin ella como los belemnites..



## FÓSILES NO VISITABLES

En esta ficha os documentamos otros ejemplares fósiles que encontrándose dentro de los dos Itinerarios, no pueden ser visitados por encontrarse en casas particulares, de todos modos os los exponemos para que veáis su belleza.



Estos fósiles se encuentran en las entradas de las casas de la C/ San Nicolás 17 y en la C/ Isabel la Católica 11.

35

## OTROS FÓSILES DE LA CIUDAD



Estos ejemplares de erizos, conchas, briozoos, etc...se encuentran en distintos barrios de la ciudad, así que estos os dejamos que seáis vosotros quienes averigüéis en que zona y en que calles de Alcoy se encuentran, Feliz búsqueda !!

36

## AGRADECIMIENTOS

Para que esta guía haya podido ser editada, tenemos que dar las gracias a las personas que de una manera u otra han participado , tanto en la búsqueda de ejemplares como en la identificación, clasificación, historia de la ciudad, fotografía, título de la guía, patrocinio de la misma, etc...etc...

### Han colaborado:

- Dña. Margarita Belinchón García, Doctora en Ciencias Biológicas y Directora del Museo de Ciencias Naturales de Valencia.
- Don. José Francisco Baeza Carratalá, Doctor en Geología y profesor de paleontología de la Universidad de Alicante.
- Don. Ricard Bañó i Armiñana, Licenciado en Geografía e Historia por la Universidad de Valencia – especialidad en Historia Medieval
- Miembros de la Asociación Paleontológica Alcoyana Isurus

37

## BIBLIOGRAFIA

- Wikipedia
- Ayuntamiento de Alcoy, callejeros.
- La guía de los fósiles urbanos de Barcelona.
- Google earth.
- Región de Murcia digital (Antonio del Ramo y Francisco Guillén).
- <https://cienciaybiologia.com/los-erizos-de-mar-o-equinoideos-echinoidea/>
- <http://encina.pntic.mec.es/~nmeb0000/invertebrados/moluscos/grupo-smoluscos/bivalvos.html>

38

# TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA APLICADA AL ESTUDIO DEL ESQUELETO DE LOS PRIMEROS VERTEBRADOS

Carlos MARTÍNEZ-PÉREZ<sup>1,2\*</sup>

Jinyuan HUANG<sup>3,4,5</sup>

María Victoria PAREDES<sup>1</sup>

José Luis HERRAIZ<sup>1,6</sup>

Cástor ARMAÑANZAS-ALPUENTE<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva, Universitat de València, 46980, Valencia, España.

<sup>2</sup> School of Earth Sciences, University of Bristol, Life Sciences Building, BS8 1TQ, Bristol, United Kingdom.

<sup>3</sup> Chengdu Center of China Geological Survey, 610081, Chengdu, China.

<sup>4</sup> Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, 430074, Wuhan, China.

<sup>5</sup> State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology and Center for Excellence in Life and Palaeoenvironment, Chinese Academy of Sciences, 210008, Nanjing, China.

<sup>6</sup> Institut Valencià de Biodiversitat, Taxonomia i Conservació animal, L'Hort de Feliu, P.O. Box 8460, Alginet, Valencia 46018, España.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: Carlos.Martinez-Perez@uv.es

**RESUMEN:** los conodontos son un grupo de vertebrados extintos que poseen unas piezas mineralizadas llamadas elementos conodontales. Aunque son importantes herramientas para datar y correlacionar, su importancia paleobiológica ha sido históricamente descuidada debido a su pequeño tamaño y las técnicas de estudio disponibles. El presente trabajo pretende hacer una revisión actualizada del conocimiento paleobiológico del grupo a la luz del uso de las nuevas técnicas tomográficas.

**RESUM:** els conodonts són un grup de vertebrats extints que posseeixen unes peces mineralitzades anomenades elements conodontals. Encara que són importants ferramentes per datar i correlacionar, la seua importància paleobiològica ha estat històricament descuidada a causa de la seua tamany i les tècniques d'estudi disponibles. Aquest treball pretén fer una revisió actualitzada del coneixement paleobiològic del grup a la llum de l'ús de les noves tècniques tomogràfiques.

**ABSTRACT:** conodonts are an extinct group of vertebrates with mineralized pieces called conodontal elements. Despite its usage as important correlation and dating tools, their palaeobiological importance has historically been neglected due to their small size and available study techniques. In this work we make an updated review of the palaeobiological knowledge of the group based on the use of new tomographic techniques.

**Palabras clave:** Conodontos, tomografía, paleobiología, afinidades biológicas, función.

**Paraules clau:** Conodonts, tomografia, paleobiologia, afinitats biològiques, funció.

**Keywords:** Conodonts, tomography, palaeobiology, biological affinities, function.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los vertebrados se caracterizan principalmente por la existencia de un esqueleto interno fuertemente mineralizado que les da soporte y protección a sus órganos. Sin embargo, esta característica conocida por todos es tan solo una de las decenas de sinapomorfías -novedad evolutiva compartida por dos o más taxones- que nos permite tanto definir al grupo como establecer sus relaciones de parentesco con otros miembros. Los vertebrados a su vez se incluyen en el Filum Chordata, el cual queda definido por varias características, siendo algunas de las más primitivas la presencia de una notocorda (precursora de nuestra columna vertebral), hendiduras branquiales, musculatura segmentada, una cola postanal y aletas soportadas por radios (Donoghue y Keating, 2014). Aunque éstas son las características morfológicas más evidentes, en realidad las principales características que definen a los vertebrados están más relacionadas con la aparición de nuevos tejidos y órganos. Estos tejidos tienen su origen en profundos cambios genéticos relacionados con fenómenos de duplicación genética y la aparición de nuevas estirpes celulares derivadas de la cresta neural embrionaria que dieron lugar a numerosos tejidos y órganos exclusivos de los vertebrados como el hueso, la dentina o el esmalte (Donoghue y Purnell, 2005). Es importante destacar que, aunque los tejidos mineralizados son característicos de los vertebrados, los primeros representantes que hacen su aparición en el Cámbrico Inferior hace unos 540 millones de años, carecían de ellos y éstos no aparecen en la evolución del grupo hasta bien entrado el Ordovícico, es decir, casi 100 millones de años después de la aparición del grupo (Smith *et al.*, 1996). Es por ello que el registro fósil de los primeros vertebrados está representado por organismos de cuerpo blando que raramente fosilizan, aspecto que dificulta su estudio.

En este temprano episodio evolutivo de los vertebrados destaca el grupo de los conodontos, cuyas afinidades biológicas, y su inclusión o no en el club de los vertebrados, sigue

en discusión (Turner *et al.*, 2010; Blicek *et al.*, 2010). Los conodontos son un clado de animales extintos descritos por primera vez por el biólogo ruso Heinz Christian Pander en 1856. Se trata de un grupo exclusivamente marino, de rápida evolución y con una amplia distribución temporal, desde el Cámbrico superior hasta su extinción a finales del Triásico (hace aproximadamente 300 millones de años). Al carecer de esqueleto axial, la mayor parte de su registro fósil se caracteriza por una serie de piezas mineralizadas de entre 200  $\mu\text{m}$  y 5 cm de longitud denominadas elementos conodontales (Figura 1). Estos elementos mineralizados están compuestos por francolita (Pietzner *et al.*, 1968), un tipo de apatito “esmalte” que les confiere una gran estabilidad química que favorece su fosilización, así como resistencia a los ataques con ácidos utilizados habitualmente para extraerlos de las rocas carbonáticas. Esta composición similar a la del esmalte del resto de vertebrados, unido a ciertos rasgos anatómicos identificados en los pocos ejemplares con impresiones de tejido blando preservados (Briggs *et al.*, 1983), han sido los criterios esenciales para su inclusión en el grupo de los vertebrados por numerosos autores. Este hecho es de gran importancia ya que, de ser cierto, los conodontos representarían el primer grupo de vertebrados que experimentan con la biomineralización de parte de su esqueleto, en este caso, de estas piezas mineralizadas que forman parte de un complejo aparato bucal para la captación y procesado del alimento (Purnell y von Bitter, 1992). Por lo tanto, su estudio es básico para conocer la evolución de este proceso de biomineralización y la función del primer “esqueleto” en nuestro propio linaje evolutivo.

Más allá de sus importantes aplicaciones para la geología, que resumimos brevemente más adelante, la historia de los conodontos ha estado marcada desde sus inicios por este controvertido debate alrededor de sus afinidades biológicas y la función de sus partes esqueléticas mineralizadas. Tanto es así que, aunque los primeros restos fueron descritos hace más de 150 años como dientes de peces (Pander, 1856), todavía hoy, sus afinidades y aspectos

paleobiológicos siguen siendo el centro de acaloradas discusiones científicas (Turner *et al.*, 2010; Blieck *et al.*, 2010). Esta polémica en parte persiste por varios motivos: (1) la ausencia de representantes actuales o modelos sobre los que comparar al grupo de los conodontos; (2) un registro de partes blandas del grupo insuficiente para describir e interpretar su anatomía; y (3) las limitaciones de las técnicas disponibles para su estudio dado el diminuto tamaño de sus restos (normalmente por debajo del mm). Sobre el primer aspecto no podemos hacer nada, mientras que el segundo dependerá de futuros descubrimientos. Sin embargo, el desarrollo de la tecnología en los últimos años ha hecho que nuevas y potentes herramientas como la tomografía y los análisis biomecánicos computarizados estén permitiendo aportar importante información sobre la arquitectura y composición de este complejo esqueleto conodontal, así como de su posible función e importancia en los ecosistemas marinos pretéritos. En este trabajo pretendemos mostrar un pequeño resumen sobre los últimos avances de los estudios paleobiológicos de conodontos basándonos en la aplicación de estas técnicas computacionales.

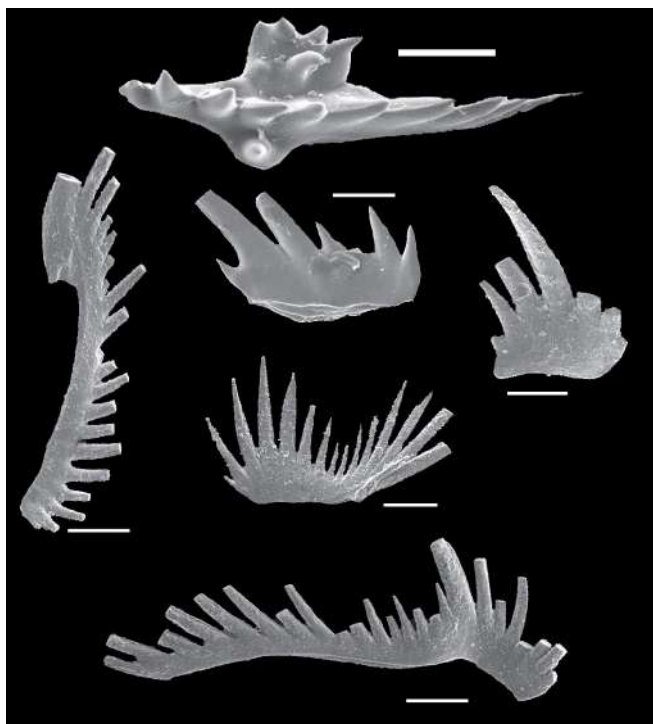


Fig. 1: elementos conodontales aislados que forman parte del aparato de *Pseudofurnishius murcianus* (modificado de Plasencia *et al.*, 2009). Material depositado en el Museo de la Universitat de València de Historia Natural (MGUV). Barra de escala = 50  $\mu$ m.

## 2. IMPORTANCIA Y APLICACIONES DE LOS CONODONTOS

Debido a la naturaleza de su esqueleto, los elementos conodontales poseen una gran facilidad para fosilizar gracias a su resistencia a la diagénesis e incluso al metamorfismo, lo que unido a su fácil extracción de las rocas que los contienen, los ha convertido en importantes herramientas bioestratigráficas, tanto para datación como para correlaciones estratigráficas. Este hecho ha convertido a los conodontos en la base para las biozonaciones y correlaciones regionales y suprarregionales de muchos pisos del Paleozoico y de parte del Mesozoico (Triásico). Además, han demostrado ser unas herramientas de gran utilidad en la industria petrolífera en lo que respecta a la búsqueda de hidrocarburos y recursos naturales, siendo utilizados como indicadores de paleotemperaturas (paleotermómetros) debido a los cambios de color que pueden presentar. Estos cambios de color conforman una escala de valores denominada Índice de Alteración del Color o CAI (por sus siglas en inglés, “*Color Alteration Index*”, Epstein *et al.*, 1977), que básicamente es una escala que correlaciona el color del conodonto con la temperatura máxima que alcanzó la roca en algún momento desde su formación hasta la actualidad, siendo esta coloración predecible e irreversible. Esta característica ha hecho de los conodontos una valiosa herramienta para la geología económica con grandes aplicaciones para la industria.

Esta gran utilidad industrial hizo que las investigaciones sobre conodontos sufrieran un gran impulso durante la primera mitad del S. XX, centrándose éstas en aspectos puramente geológicos y dejando sus aspectos paleobiológicos, como su anatomía, afinidades biológicas, posible función de los elementos conodontales y su importancia en los ecosistemas marinos, como aspectos secundarios de su estudio. Sin embargo, a partir de los descubrimientos de impresiones de tejido blando de algunos conodontos en el Carbonífero de Edimburgo (Figura 2), se produjeron avances importantes no sólo en sus aspectos anatóni-

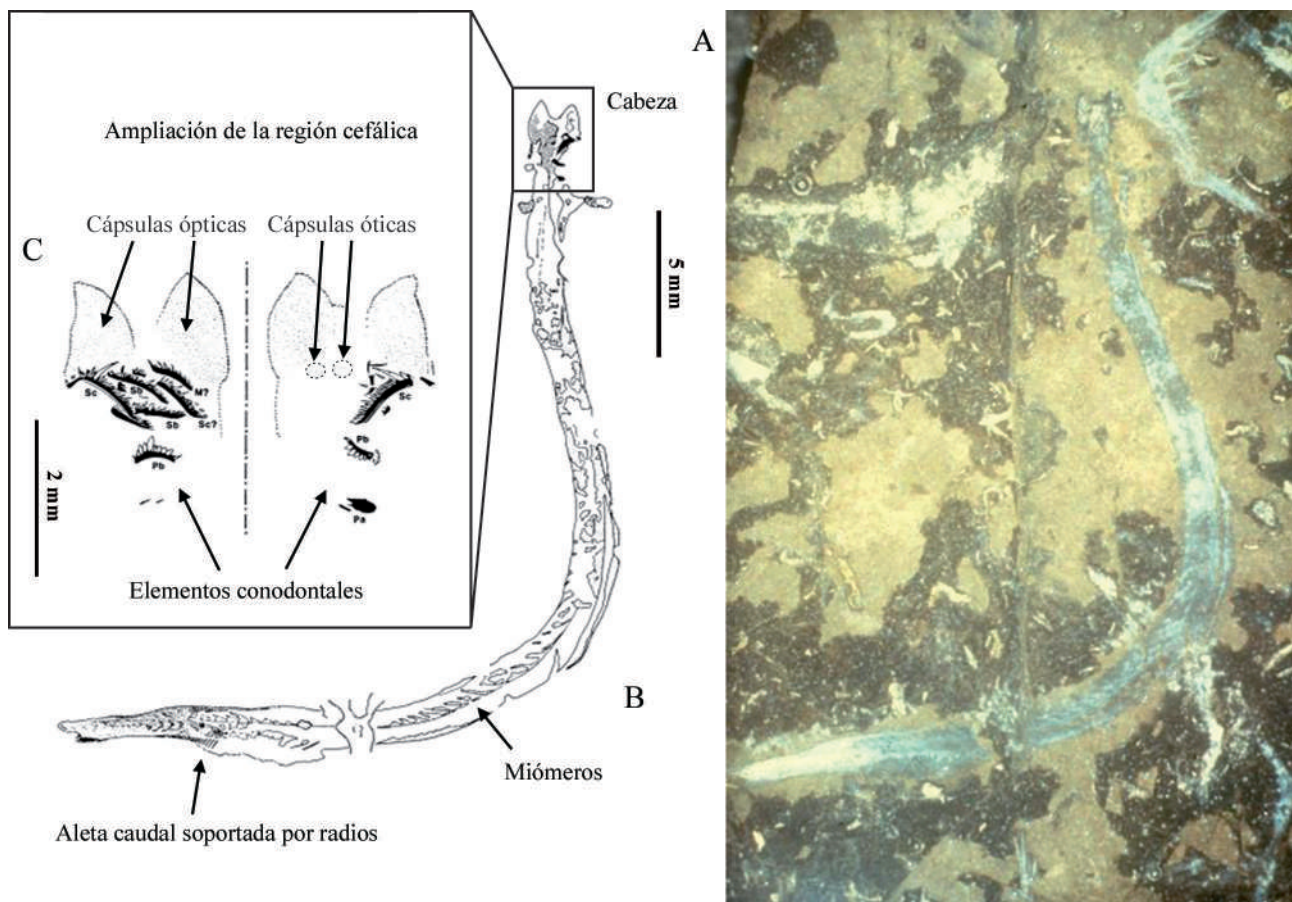


Fig. 2: ejemplar IGSE 13821 *Clydagnathus cavusformis* del Carbonífero Inferior de Edimburgo (Escocia), modificado de Briggs *et al.* (1983). A) ejemplar completo de animal conodonto de morfología anguiliforme; B) Dibujo a cámara clara del mismo ejemplar donde se aprecia la región cefálica con las supuestas cápsulas ópticas, el aparato conodontal, una aleta caudal soportada por radios y parte de la musculatura miomérica; C) Dibujo a cámara clara de la región cefálica aumentada con la posición del aparato conodontal. Tomado de Navas-Parejo y Martínez-Pérez (2017).

cos y en sus afinidades biológicas, sino que además se estableció un marco de comparación para interpretar la posible función de los elementos conodontales (Briggs *et al.*, 1983). A pesar de las dificultades originales para investigar estos aspectos paleobiológicos, el desarrollo y aplicación de las últimas técnicas computacionales al estudio de los conodontos han permitido resolverlas parcialmente, motivo por el que las detallaremos brevemente a lo largo de este trabajo.

### 3. EL ESQUELETO DE LOS PRIMEROS VERTEBRADOS: EL APARATO CONODONTAL

Hoy en día sabemos con certeza que el “esqueleto” de los conodontos estaba compues-

to por un número variable de elementos de distintas morfologías, dispuestos en la región oral del animal y con una simetría bilateral según el eje rostrocaudal (Figura 3). Esta serie de elementos pertenecientes a un único individuo se denomina Aparato Conodontal. Sin embargo, llegar a esta conclusión costó cerca de un siglo, debido principalmente a que los conodontos aparecen como elementos discretos desarticulados y raramente como asociaciones. Es por ello que el registro fósil conocido de conodontos se describió como un conjunto de taxones distintos, donde cada forma se correspondía con una especie distinta. A pesar de ello, ya desde los inicios de las investigaciones del grupo, Hinde (1879) describió agrupaciones de elementos conodontales con varias formas asociadas, postulando la

idea de que varios tipos morfológicos podían pertenecer a una misma especie. Posteriormente, autores como Schmidt (1934), Scott (1934, 1942) o Du bois (1943) entre otros, encontraron asociaciones naturales de elementos y apuntaron a que el aparato conodontal podría estar compuesto por varios tipos de elementos. Todo esto significaba que los distintos tipos morfológicos, que anteriormente se habían tratado como géneros y especies diferentes, formaban parte del aparato de un mismo individuo. Sin embargo, las propuestas sobre el número de elementos que componían este aparato y su disposición en el animal discrepaban de forma importante. En la actualidad, la gran mayoría de aparatos descritos siguen la propuesta de Sweet (1981), quien consideró tres categorías morfológicas o posiciones principales para el Orden Ozarkodínida (el más abundante y diverso del grupo de los conodontos, así como probablemente el mejor conocido, y por ello normalmente utilizado para ejemplificar la estructura del aparato conodontal, ver Purnell y Donoghue, 1997), a las que denominó P, M y S (Figura 3). La posición P estaría ocupada por elementos pectiniformes o ramiformes muy modificados, de los que pueden aparecer dos tipos en un mismo aparato: P1 y P2. La posición M estaría ocupada por un elemento ramiforme que podía ser dolobrado, bipennado, digirado o coniforme. Finalmente, las posiciones S las ocuparían elementos ramiformes que pueden ser de 4 tipos: S1, S2, S3 y S4, los cuales forman una serie de transición de menor a mayor simetría. Además, como el aparato conodontal es simétrico, cada uno de los tipos estaría ocupado por una pareja de elementos simétricos axialmente, excepto en diversos aparatos donde algunos de los elementos S podían ser únicos (ver una descripción más detallada en Martínez-Pérez *et al.*, 2010; Navas-Parejo y Martínez-Pérez, 2017). No obstante, aunque parece ser que esta estructura básica es muy estable (se preserva en el tiempo y es común a gran parte de los taxones conocidos), el número de estos elementos, su arquitectura (posición dentro del propio aparato) y su forma puede variar considerablemente.

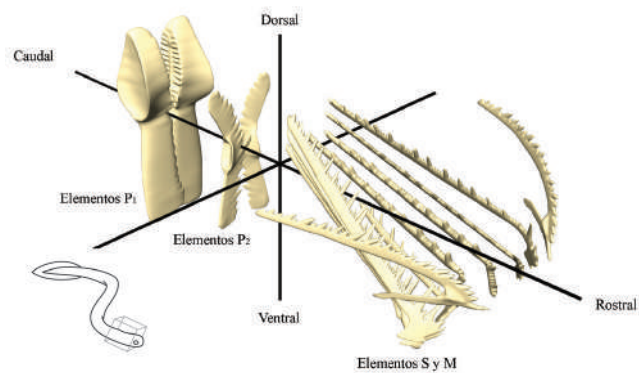


Fig. 3: esquema de la posición relativa de los diferentes elementos que conforman el aparato conodontal en Ozarkodínidos en su posición topológica relativa. Modificado de Martínez-Pérez *et al.* (2010) basado en Purnell *et al.* (2000).

### El problema del estudio del registro fósil de los conodontos

Como ya hemos comentado anteriormente, casi cualquier aspecto sobre la biología de los conodontos es controvertido, principalmente debido a la naturaleza de su registro fósil, a la falta de representantes actuales y a su minúsculo tamaño. Esto se traduce en complicaciones para el estudio de su aparato, ya que, tras la muerte y descomposición del animal, los elementos que componen su aparato se desarticulan y mezclan, dificultando conocer el número, tipo y disposición de los diferentes elementos que lo componían. A pesar de ello, en condiciones excepcionales, los elementos que forman parte de un mismo animal pueden fosilizar juntos formando lo que se conoce como agrupaciones naturales (*Bedding Plane Assemblages*) o clústeres (elementos diagenéticamente fusionados). Aunque relativamente raros comparado con el abundante registro fósil de los conodontos, se han descrito clústeres y agrupaciones de diversos taxones desde el Ordovícico al Triásico (ver recopilación en Purnell y Donoghue, 1998). Este tipo de registros son conocidos casi desde el comienzo de los estudios del grupo. No obstante, su preservación, con dos o más elementos fusionados unos encima de otros, im-



pide normalmente visualizar la morfología y disposición de los distintos elementos. Esto, unido al propio sedimento en el que suelen estar embebidos y al minúsculo tamaño de los mismos, tradicionalmente ha dificultado enormemente su estudio, lo que se ha traducido en que no han aportado mucha información al debate sobre la estructura y composición del aparato conodontal. Es aquí donde vuelve a cobrar relevancia la aplicación de los nuevos métodos analíticos y computacionales desarrollados en las últimas décadas, pues estos han abierto la posibilidad de analizar de forma rutinaria este tipo de registro, tanto la composición y estructura del aparato conodontal como el significado funcional de sus elementos. De entre estas nuevas técnicas podemos destacar la tomografía de alta resolución (tomografía de sincrotrón), que ya ha permitido reconstruir tridimensionalmente los aparatos conodontales de varios taxones (Goudemand *et al.*, 2011, 2012; Zhang *et al.* 2017; Huang *et al.*, 2019a, b, c; Suttner *et al.* 2018; Agematsu *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2020, 2021; Murdock y Smith, 2021; Zeng *et al.*, 2021). Además, la generación de modelos tridimensionales derivados de la información tomográfica son básicos para la aplicación de técnicas computacionales biomecánicas como el Análisis de Elementos Finitos o análisis digital de la oclusión, para desentrañar la función y el desarrollo de sus elementos esqueléticos (Jones *et al.*, 2012a, b; Murdock *et al.*, 2013a, b, 2014; Martínez-Pérez *et al.* 2014a, b, 2016); así como para contribuir al estudio histológico de los mismos y ayudar a la comprensión sobre el desarrollo y composición de los tejidos esqueléticos que componen el esqueleto de los conodontos y sus implicaciones para análisis geoquímicos (Murdock *et al.*, 2013b; Mazza y Martínez-Pérez, 2015, 2016; Atakul-Özdemir *et al.*, 2021). Algunos de estos ejemplos los explicaremos a continuación con más detalle.

#### 4. LAS BASES DE LA TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA

Dada la fragilidad y valor de la mayoría de los restos de conodontos que tratamos de estu-

diar (clústeres y asociaciones naturales), la aplicación de técnicas tomográficas de alta resolución como el micro CT o *Synchrotron Radiation X-ray Tomographic Microscopy* (SRXTM) se han reafirmado como casi imprescindibles, no sólo para el estudio de los conodontos en particular sino para la paleontología en general. Esta técnica no destructiva permite obtener imágenes 2D de resolución submicrométrica lo que la hace ideal para estudiar internamente sus tejidos, tanto sus patrones como sus modos de crecimiento. Además, estas imágenes 2D son la base para producir modelos 3D que pueden ser disecionados en cualquier dirección, lo que permite su comparación y detallado estudio entre ellos y con otros organismos (Sutton *et al.*, 2014). Debido a que es una técnica no invasiva y a la alta resolución que puede alcanzar, haciendo visibles detalles por debajo de la micra, es una técnica idónea para el estudio de los conodontos, debido al pequeño tamaño de los mismos. El principio básico de las técnicas tomográficas consiste en el uso de rayos X, que tras atravesar el objeto en cuestión son registrados por detectores generando un perfil de intensidades o proyecciones que variará según las características internas de la muestra, atenuando el haz en función de la densidad y del número atómico de cada uno de los materiales que la compongan (Figura 4). El tomógrafo, realiza un alto número de proyecciones, las cuales son analizadas y tratadas con complejos algoritmos que finalizan con la reconstrucción de un tomograma o imagen 2D que representa una sección de la muestra de estudio. Este tomograma no es más que un conjunto de píxeles, en escala de grises, que reflejan la atenuación (absorción) de la materia en cada punto de la muestra, siendo un pixel blanco el resultado de un material muy denso que absorbe el 100% de la energía y no transmite nada, y un pixel negro aquel donde no hay absorción y el detector recibe toda la energía. Si se realiza una secuencia de imágenes, con la ayuda de un software especializado de visualización, no sólo podemos ser capaces de extraer la morfología y modelos 3D de los ejemplares estudiados, sino que nos

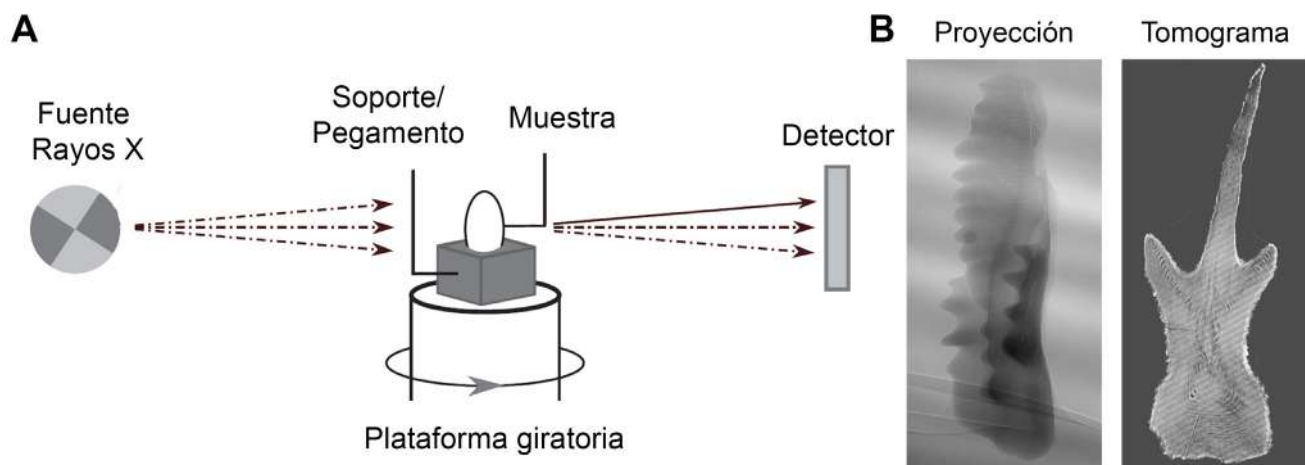


Fig. 4: A) Esquema del funcionamiento de un Tomógrafo; B) Proyección y Tomograma del conodonto *Epigondolella quadrata* del Triásico Superior de Italia. Esquema básico modificado de Sutton *et al.* (2014).

permite incluso diseccionar internamente los diferentes ejemplares y estructuras (Figura 5). En general, la aplicación de estas técnicas tomográficas permiten abordar problemas como la reconstrucción del aparato conodontal y la generación de modelos 3D de sus elementos, pero además, estos modelos son la base de posteriores análisis histológicos o funcionales, como el Análisis de Elementos Finitos que veremos ejemplificado más adelante.

## 5. TÉCNICAS COMPUTACIONALES APLICADAS AL ESTUDIO DE LOS CONODONTOS: ALGUNOS EJEMPLOS PRÁCTICOS

### Reconstrucción tridimensional del aparato conodontal

Quizás, una de las grandes aportaciones de estas técnicas tomográficas de alta resolución es que en la última década se ha comenzado a aplicar de forma sistemática a la reconstrucción tridimensional de los aparatos conodontales de varios taxones (Goudemand *et al.*, 2011, 2012; Zhang *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2019a, b, c; Suttner *et al.*, 2018; Agematsu *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2020, 2021; Murdock y Smith, 2021; Zeng *et al.*, 2021). La aplicación de esta técnica ha permitido diseccionar estos aparatos y manipularlos en un entorno completamente virtual, pudiendo visualizar

la morfología y variaciones entre los diferentes elementos de una forma sin precedentes (Figura 6), y lo que es más importante, reconstruir su estructura original en 3D. Estos modelos son la base para comprender cómo podría haber funcionado el aparato conodontal, y dar respuesta a las distintas hipótesis funcionales del mismo (ver apartado siguiente). Aun así, esta tarea es muy complicada, ya que ni existen modelos actuales sobre los que basarnos ni hay evidencias de impresiones musculares o tendones para inferir como podrían haber sido los movimientos que podrían haber desarrollado. Por estas razones sólo se ha publicado un trabajo utilizando la tomografía para sugerir un modelo cinético de los elementos (Goudemand *et al.*, 2011), el cual ha sido posteriormente rebatido debido a los problemas que habrían tenido los elementos para moverse (Huang *et al.*, 2019c). En cualquier caso, estos trabajos son cada vez más abundantes, permitiéndonos: (1) corroborar hipótesis previas sobre la composición, número de elementos y morfología de los mismos, viendo que algunos de éstos son muy estables en cuanto al número y posición relativa; (2) utilizarlos para clasificar las especies a nivel de familia o incluso género, a pesar de su variabilidad morfológica; y (3) por primera vez, plantear análisis complejos de los cambios morfológicos de estos elementos en su conjunto en un contexto ontogenético, es

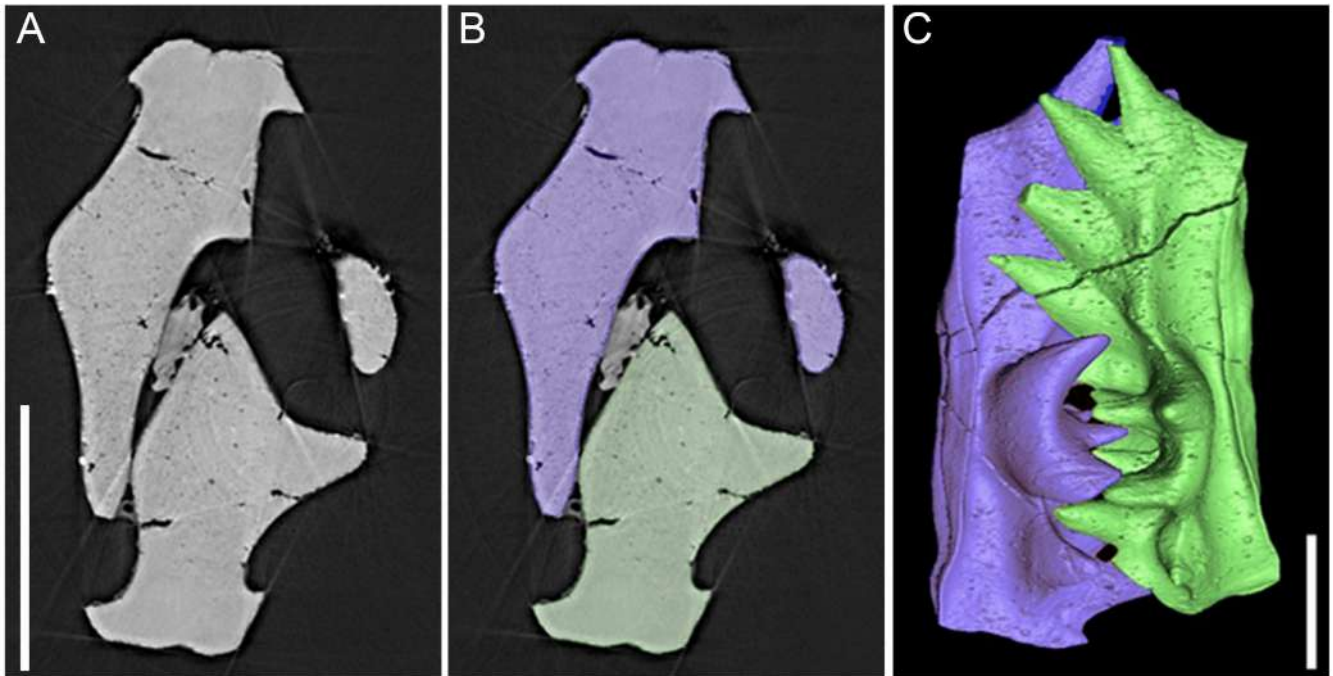


Fig. 5: A) Tomogramas de un clúster del conodonto *Pseudofurnishius* del Triásico Medio de Eslovenia; B) Mismo tomograma segmentado en el programa de visualización 3D Avizo®, asignando diferentes materiales a cada uno de los elementos a reconstruir tridimensionalmente; C) Modelos tridimensionales obtenidos a partir de los 2160 tomogramas segmentados. La barra de escala equivale a 100  $\mu\text{m}$ .

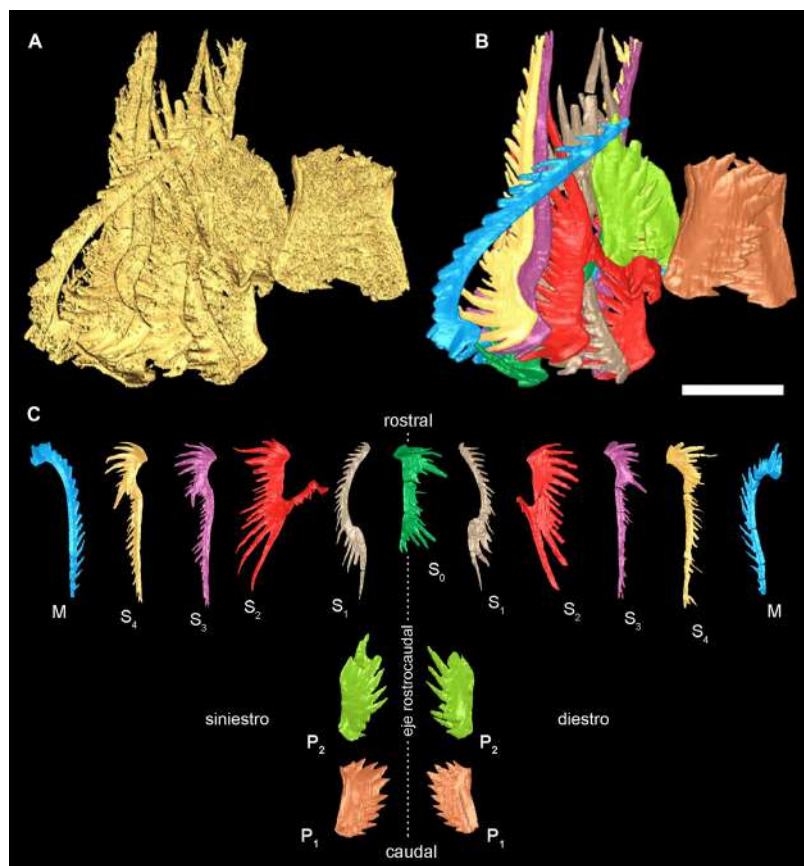


Fig. 6: A) Render de un clúster de *Nicoraella* del Triásico Medio de Luoping (Sur de China); B) Segmentación individual de los diferentes elementos que componen su aparato; C) Elementos conodontales individualizados del clúster anterior mostrando la composición del aparato y la morfología de los diferentes elementos. Modificado de Huang *et al.* (2019b). Barras de escala A y B equivalen a 400  $\mu\text{m}$ ; C no está a escala.

decir, analizar cómo cambia el aparato conodontal a lo largo de la vida del animal. Gracias a la tomografía, el estudio de los aparatos ha abierto un gran número de posibilidades que verán sus frutos en los próximos años, permitiéndonos conocer desde diferentes puntos de vista la importancia del esqueleto de los primeros vertebrados.

### **Análisis funcional de los elementos conodontales**

Aunque hemos visto que actualmente existen modelos contrastados sobre la arquitectura de los aparatos de numerosas especies, los temas relacionados con el funcionamiento de este aparato en vida siguen siendo uno de los grandes debates sobre la paleobiología del grupo. Este aspecto ha sido ampliamente discutido por diversos autores (ver, por ejemplo, Lindström, 1974; Nicoll, 1977, 1985, 1987, 1995; Conway-Morris, 1980; Bengtson, 1983; Purnell y von Bitter, 1992; Purnell, 1993, 1994, 1995; Donoghue y Purnell, 1999a,b; entre otros), existiendo dos interpretaciones principales. Por un lado, están aquellos que defienden la posibilidad de que el aparato conodontal sirviera como estructura de soporte de tejidos ciliados que atraparían y seleccionarían el alimento previo a su ingesta, apoyando la hipótesis que define a los conodontos como organismos suspensívoros o micrófagos filtradores (por ejemplo, Lindström, 1974; Conway-Morris, 1976; Nicoll, 1977, 1985, 1987, 1995; Turner *et al.*, 2010). Sin embargo, la otra interpretación sugeriría que este aparato podría usarse para atrapar y procesar el alimento de forma activa (macrófagos), realizando una función claramente masticadora (ver por ejemplo Purnell y von Bitter, 1992; Purnell, 1993, 1994, 1995; Donoghue y Purnell, 1999a, b). Según esta última propuesta, y atendiendo a la estructura del aparato de los ozarkodínidos, se cree que los elementos situados en una posición anterior (oral), elementos S y M, atraparían activamente la comida (Aldridge *et al.*, 1987; Purnell y Donoghue, 1997). Mientras que los elementos P, situados en una posición más caudal, triturarían y procesarían el alimento antes de ser ingerido.

Aunque existe bastante especulación sobre la función de los diferentes tipos de elementos en el aparato, las diferentes líneas de evidencias más recientes apoyan la idea de que, efectivamente, estos elementos P procesarían activamente el alimento, cortando o triturando pequeñas partículas de alimento. Estas líneas se centran principalmente en estudios de microdesgaste, microestructura, y más recientemente en análisis biomecánicos y de oclusión derivados de modelos tridimensionales obtenidos gracias a la tomografía. De esta manera, a pesar de las dificultades de estudio que ya hemos indicado a lo largo de este trabajo, se abre una vía para analizar cómo pudo ser el funcionamiento de los elementos conodontales y su interacción entre ellos, para poder valorar la eficiencia a la hora de poder procesar partículas de comida. Es así como desde la generación de modelos 3D de los aparatos, diversos trabajos han descrito meticulosamente el ciclo de oclusión entre pares opuestos de elementos P (Jones *et al.*, 2012b; Martínez-Pérez *et al.*, 2014a,b, 2016), demostrando que éste era muy eficiente, controlando el movimiento relativo entre los elementos opuestos (Figura 7). Sin embargo, diversos autores discrepan con esta idea, basándose principalmente en que la forma de crecimiento por acreción externa de nuevas capas de tejido es incompatible con un diente funcional (por ejemplo, Turner *et al.*, 2010; Blicek *et al.*, 2010). La posible solución a este dilema fue propuesta tiempo atrás por Bengtson (1976), quien sugirió la posibilidad de que los elementos conodontales estuvieran cubiertos por tejido blando secretor durante los periodos de reposo, los cuales podrían ser extruidos en el momento de ser usados como dientes (Bengtson, 1976).

Por otro lado, y en un intento de aportar nuevas evidencias para corroborar la hipótesis de la función dental, Donoghue (2001) fue el primero en sugerir que las variaciones en los tejidos en la corona de los conodontos representaban adaptaciones funcionales para disipar el estrés y acomodar mejor la tensión sin llegar al punto de fractura. Este tipo de adaptaciones han sido descritas en diversos grupos

de vertebrados, principalmente mamíferos, mostrándose como importantes adaptaciones que han permitido una gran diversificación de las estrategias tróficas en dichos animales (Rensberger, 1995, 1997; Rensberger y von Koenigswald, 1980; Koenigswald, 1988). Estas sugerencias, de nuevo, han sido recientemente demostradas con ayuda de la tomografía computarizada y el Análisis de Elementos Finitos, una importante herramienta utilizada tradicionalmente en ingeniería para simular el comportamiento mecánico de un objeto sometido a diferentes cargas. La aplicación de esta metodología a los elementos P de la especie *Gnathodus bilineatus* ha permitido, por primera vez, confirmar que las variaciones en la microestructura están directamente relacionadas con adaptaciones funcionales, lo que demuestra una estrecha correlación entre la distribución de tipos microestructurales complejos dentro del conodonto y puntos de

acumulación de estrés después de simular la oclusión de los elementos (Martínez-Pérez *et al.*, 2014a). Además, la utilización de esta técnica también ha demostrado cómo el cambio morfológico en la evolución de algunos grupos de conodontos parece disipar el estrés (Martínez-Pérez *et al.*, 2016), es decir, siguen una tendencia de cambio morfológico relacionado con una mejor acomodación del estrés mecánico, lo que indica una mejora en su adaptación a procesar comida más dura o simplemente mejorar notablemente el procesado del alimento.

Aunque las evidencias se acumulan a favor del uso de los elementos conodontales como “dientes” que procesarían activamente las partículas de comida, como ya hemos comentado, sigue habiendo autores que discrepan sobre ello, y siguen defiendiendo la hipótesis del organismo suspensívoro (Turner *et al.*, 2010; Blicek *et al.*, 2010). Así pues, actualmente am-

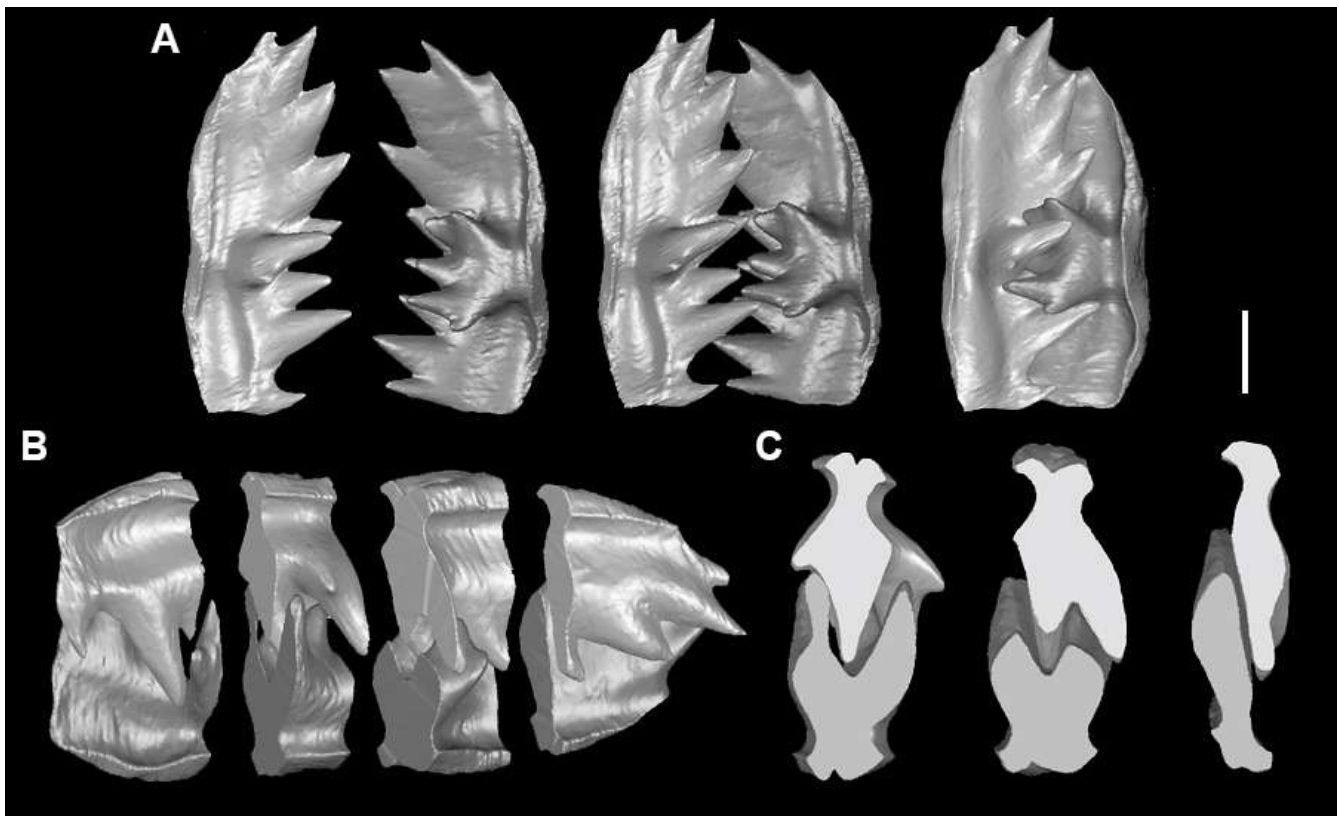


Fig. 7: Render de clúster del taxón *Pseudofurnishius* del Triásico Medio de Eslovenia. A) reconstrucción del ciclo oclusal de cómo sería el movimiento de aproximación entre los elementos opuestos a la hora de procesar el alimento; B) Secciones virtuales de los elementos P en el momento de máxima oclusión; C) Vista de las secciones de B donde se puede ver cómo interactúan las diferentes estructuras optimizando el movimiento entre ambos elementos opuestos. Barra de escala equivale a 100  $\mu$ m. Modificado de Martínez-Pérez *et al.* (2014b).

bas hipótesis siguen en discusión, y aunque pueda parecer un aspecto secundario dentro de la paleobiología del grupo, las estrategias tróficas de estos propuestos vertebrados primitivos son fundamentales para comprender adecuadamente el papel de estos organismos dentro de los primeros ecosistemas del pasado, pues es muy diferente si se interpretan como predadores activos en vez de como meros animales suspensívoros y viceversa.

### Análisis de la ultraestructura de sus tejidos y su uso para reconstruir climas pasados

Los tejidos mineralizados de los conodontos están compuestos de carbonato de fluorapatito (Pietzner *et al.*, 1968; Sweet, 1988) cuya fórmula general es  $\text{Ca}_5\text{Na}_{0.14}(\text{CO}_3)_{0.16}(\text{PO}_4)_{3.01}(\text{H}_2\text{O})_{0.85}\text{F}_{0.73}$ , donde el oxígeno y otros elementos como el Ca (o el Sr sustituyendo a este último), están presentes. Este material es uno de los más duros de la naturaleza, diagenéticamente hablando, lo que confiere a los elementos conodontales una gran estabilidad química, preservando su composición original y señales isotópicas en la mayor parte de los casos. Es por ello que, debido a su abundancia en los sedimentos del Paleozoico hasta el Triásico y a su alto potencial para preservar las señales isotópicas primarias en sus tejidos, éstos han sido tradicionalmente objeto de estudio para reconstruir la historia de las paleotemperaturas de los mares pretéritos (ver, por ejemplo, Joachimski *et al.*, 2009). Sin embargo, algu-

nos autores han puesto en duda la utilización de algunos de los tejidos que componen el esqueleto de los conodontos (la llamada materia blanca que se encuentra en la parte interna de muchos conodontos), ya que presenta una abundante porosidad, hecho que en principio podría favorecer su permeabilidad y por tanto intercambios minerales durante los procesos de fosilización. Hasta ahora, dado el pequeño tamaño de estas vacuolas y que las técnicas histológicas (destruictivas) utilizadas impedían conocer la distribución y conectividad real en tres dimensiones, la respuesta a esta pregunta tenía difícil respuesta. Sin embargo, recientemente se ha podido caracterizar estructural y cristalográficamente estos tejidos con ayuda de técnicas nanotomográficas, analizando la naturaleza de esta porosidad y su conectividad (Atakul-Özdemir *et al.*, 2021). Este estudio, realizado mediante el escaneo de conodontos con resoluciones de pocos nanómetros, ha demostrado que esta porosidad no está conectada entre sí ni con el exterior, representando menos del 0.05% del volumen del tejido (Figura 8). Estas evidencias han llevado a estos autores a concluir que los tejidos mineralizados de los conodontos son poco permeables y por lo tanto potencialmente estables químicamente, lo que los hace aptos para análisis geoquímicos con el objetivo principal de reconstruir la historia de la paleotemperatura de los mares pretéritos.

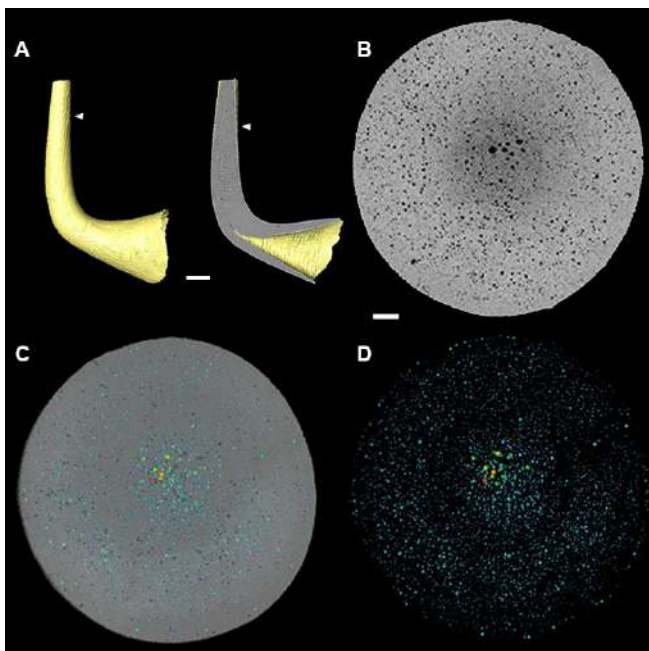


Fig. 8: A) Render de un elemento de *Teridontus nakamurai* del Cámbrico Superior de Australia mostrando su morfología externa y sus características histológicas internas (la flecha indica el lugar del escaneo a alta resolución); B) Escaneo de detalle de alta resolución donde se ve la porosidad del tejido, C y D) Análisis de porosidad, donde se parecía la distribución y tamaño de los poros y que estos no están conectados entre sí ni con el exterior. Barra de escala de A equivalen a 50 µm; B-D 5 µm. Modificado de Atakul-Özdemir *et al.* (2021).

## 6. OBSERVACIONES FINALES

El desarrollo de nuevas tecnologías, en especial de la tomografía computarizada, ha abierto un campo de estudio sin precedentes en el mundo de la paleontología en general, y de los conodontos en particular. Esto cobra mayor relevancia si tenemos en cuenta el hecho de que los elementos conodontales representan la primera experimentación de nuestro propio linaje evolutivo con el desarrollo de un esqueleto mineralizado, lo que hace, si cabe, más interesante este tipo de estudios.

Por lo tanto, y aunque estamos al comienzo de una nueva era para los estudios de este enigmático y controvertido grupo de animales, todos los trabajos comentados en esta revisión, entre otros, ya han aportado información muy relevante, y por tanto contribuido significativamente a las discusiones sobre su interpretación biológica y su relevancia en los ecosistemas marinos pretéritos. En consecuencia, el acceso a todas estas nuevas herramientas, unido al abundante registro fósil de los conodontos y a su relevancia como archivos morfológicos y geoquímicos, pueden ayudar a que estos animales sean, por primera vez, reinterpretados en términos de su significado funcional y ecológico, abriéndonos un nuevo escenario para su estudio y permitiéndonos profundizar en la comprensión de la biología de este grupo de vertebrados primitivos.

Por último, destacar que queda mucho por hacer en el estudio de la paleobiología de los conodontos, por lo que es esperable que los nuevos hallazgos y estudios que se produzcan en los próximos años nos ayuden a conocer mejor este enigmático, pero fascinante, grupo de animales.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Ángel Carbonell, Presidente de la Asociación Isurus, su invitación a participar en la revista con este manuscrito. Este trabajo es una contribución al Proyecto PID2020-117373GA-I00 del Ministerio de Ciencia e Innovación. MVP es beneficiaria de un contrato predoctoral "Atracció de Talent" de la Universitat de València.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEMATSU, S., UESUGI, K., SANO, H. Y SASHIDA, K. (2017). *Reconstruction of the multielement apparatus of the earliest Triassic conodont, Hindeodus parvus, using synchrotron radiation X-ray micro-tomography*. Journal of Paleontology, 91 (6): 1220-1227.

ALDRIDGE, R.J., SMITH, M.P., NORBY, R.D. Y BRIGGS, D.E.G. (1987). *The architecture and function of Carboniferous polygnathacean conodont apparatuses*. En: Aldridge, R.J. (ed.), *Paleobiology of Conodonts*. British Micropaleontological Society series, Chichester, Sussex, Ellis Horwood: 63-75.

ATAKUL-ÖZDEMİR, A., WARREN, X., MARTIN, P. G., GUIZAR-SICAÍROS, M., HOLLER, M., MARONE, F., MARTÍNEZ-PÉREZ, C. Y DONOGHUE, P.C.J. (2021). *X-ray nanotomography and electron backscatter diffraction demonstrate the crystalline, heterogeneous and impermeable nature of conodont white matter*. Royal Society Open Science, 8 (8): 202013.

BENGTSON, S. (1976). *The structure of some Middle Cambrian conodonts, and the early evolution of conodont structure and function*. Lethaia, 9: 185-206.

BENGTSON, S. (1983). *A Functional model for the Conodont Apparatus*. Lethaia, 16 (1): 38.

BLIECK, A., TURNER, S., BURROW, C.J., SCHULTZE, H.P., REXROAD, C.B., BULTYNCK, P. Y NOWLAN, G.S. (2010) *Fossils, histology, and phylogeny: Why conodonts are not vertebrates*. Episodes, 33 (4): 234-241.

BRIGGS, D.E.G., CLARKSON, E.N.K. Y ALDRIDGE, R.J. (1983). *The conodont animal*. Lethaia, 16: 1-14.

CONWAY-MORRIS, S. (1976). *A new Cambrian lophophorate from the Burgess Shale of British Columbia*. Palaeontology, 19: 199-222.

- CONWAY-MORRIS, S. (1980). *Conodont function: fallacies of the tooth model*. *Lethaia*, 13: 107-108.
- DONOGHUE, P.C.J. Y PURNELL, M.A. (1999a). *Growth, function, and the conodont fossil record*. *Geology*, 27 (3): 251-254.
- DONOGHUE, P.C.J. Y PURNELL, M.A. (1999b). *Mammal-like occlusion in conodonts*. *Paleobiology*, 25 (1): 58-74.
- DONOGHUE, P.C.J. (2001). *Conodonts meet cladistics: recovering, relationships and assessing the completeness of the conodont fossil record*. *Paleontology*, 44 (1): 65-93.
- DONOGHUE, P.C.J. Y PURNELL, M.A. (2005). *Genome duplication, extinction and vertebrate evolution*. *Trends in ecology y Evolution*, 20 (6): 312-319.
- DONOGHUE, P.C.J. Y KEATING, J. N. (2014). *Early vertebrate evolution*. *Palaeontology*, 57 (5): 879-893.
- DU BOIS, E.P. (1943). *Evidence on the nature of conodonts*. *Journal of Paleontology*, 17: 155-159.
- EPSTEIN, A.C., EPSTEIN, J.B. Y HARRIS, L.D. (1977). *Conodont color alteration: an index to organic metamorphism*. U.S. Geological Survey Professional Paper: 1-27.
- GOUDEMANT, N., ORCHARD, M.J., URDY, S., BUCHER, H. Y TAFFOREAU, P. (2011). *Synchrotron-aided reconstruction of the conodont feeding apparatus and implications for the mouth of the first vertebrates*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108 (21): 8720-8724.
- GOUDEMANT, N., ORCHARD, M.J., TAFFOREAU, P., URDY, S., BRUEHWILER, T., BRAYARD, A., GALFETTI, T. Y BUCHER, H. (2012). *Early Triassic conodont clusters from South China: revision of the architecture of the 15 element apparatuses of the superfamily Gondolelloidea*. *Palaeontology*, 55 (5): 1021-1034.
- HINDE, G.J. (1879). *On conodonts from the Chazy and Cincinnatti Group of the Cambro-Silurian, and from the Hamilton and Genesee-Shale division of the Devonian, in Canada and the United States*. *Geological Society of London, Quarterly Journal*, 35: 351-369.
- HUANG, J., HU, S., ZHANG, Q., DONOGHUE, P.C., BENTON, M.J., ZHOU, C., MARTÍNEZ-PÉREZ, C., WEN, W., XIE, T., CHEN, Z.Q., LUO, M., YAO, H. Y ZHANG, K. (2019a). *Gondolelloid multielement conodont apparatus (Nicoraella) from the Middle Triassic of Yunnan Province, southwestern China*. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*, 522: 98-110.
- HUANG, J.Y., MARTÍNEZ-PÉREZ, C., HU, S.X., DONOGHUE, P.C., ZHANG, Q.Y., ZHOU, C.Y., WEN, W., BENTON M.J., LUO, M., YOU, G.Z. Y ZHANG, K.X. (2019b). *Middle Triassic conodont apparatus architecture revealed by synchrotron X-ray microtomography*. *Palaeoworld*, 28 (4): 429-440.
- HUANG, J., MARTÍNEZ-PÉREZ, C., HU, S., ZHANG, Q., ZHANG, K., ZHOU, C., WEN, W., XIE, T., BENTON, M.J., CHEN, Z.Q., LUO, M. Y DONOGHUE, P.C. (2019c). *Apparatus architecture of the conodont Nicoraella kockelli (Gondolelloidea, Prioniodinina) constrains functional interpretations*. *Palaeontology*, 62 (5): 823-835.
- JOACHIMSKI, M.M., BREISIG, S., BUGGISCH, W., TALENT, J.A., MAWSON, R., GEREKE, M., MORROW, J.R., DAY, J. Y WEDDIGE, K. (2009). *Devonian climate and reef evolution: insights from oxygen isotopes in apatite*. *Earth and Planetary Science Letters*, 284: 3-4.
- JONES, D., EVANS, A.R., RAYFIELD, E.J., SIU, KK. Y DONOGHUE, P.C.J. (2012a). *Testing microstructural adaptation in the earliest dental tools*. *Biology Letters*, 8 (6): 952-955.



- JONES, D., EVANS, A.R., SIU, K.K.W., RAYFIELD, E.J. Y DONOGHUE, P.C.J. (2012b). *The sharpest tools in the box? Quantitative analysis of conodont element functional morphology*. Proceedings of the Royal Society of London B, 279: 2849–2854.
- KOENIGSWALD, VON W. (1988) *Enamel modification in enlarged front teeth among mammals and the various possible reinforcements of the enamel*. En: Russell, D.E., Sigogneau-Russell, D. (eds.), *Teeth Revisited*. Paris, Mémoires du muséum national d'histoire naturelle, série C, 53: 148–165.
- LINDSTRÖM, M. (1974). *The conodont apparatuses as a food gathering mechanism*. Paleontology, 17: 729-744.
- MARTÍNEZ-PÉREZ, C.M., PLASENCIA, P. Y BOTELLA, H. (2010). *Paleontología de conodontos: una revisión histórica*. Cidaris, (30): 179-186.
- MARTÍNEZ-PÉREZ, C., RAYFIELD, E.J., PURNELL, M.A. Y DONOGHUE, P.C.J. (2014a). *Finite element, occlusal, microwear and microstructural analyses indicate that conodont microstructure is adapted to dental function*. Palaeontology, 57 (5): 1059-1066.
- MARTÍNEZ-PÉREZ, C., PLASENCIA, P., JONES, D., KOLAR-JURKOVŠEK, T., SHA, J., BOTELLA, H. Y DONOGHUE, P.C.J. (2014b). *There is no general model for occlusal kinematics in conodonts*. Lethaia, 47 (4): 547-555.
- MARTÍNEZ-PÉREZ, C., RAYFIELD, E.J., BOTELLA, H. Y DONOGHUE, P.C.J. (2016). *Translating taxonomy into the evolution of conodont feeding ecology*. Geology, 44(4), 247-250.
- MAZZA, M. Y MARTÍNEZ-PÉREZ, C. (2015). *Unravelling conodont (Conodontia) ontogenetic processes in the Late Triassic through growth series reconstructions and X-ray microtomography*. Bollettino della Società Paleontologica Italiana, 54 (3): 161-186.
- MAZZA, M. Y MARTÍNEZ-PÉREZ, C. (2016). *Evolutionary convergence in conodonts revealed by synchrotron-based tomographic microscopy*. Palaeontologia Electronica, 19 (3): 52A.
- MURDOCK, D.J., SANSOM, I.J. Y DONOGHUE, P.C.J. (2013a). *Cutting the first 'teeth': a new approach to functional analysis of conodont elements*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 280 (1768): 20131524.
- MURDOCK, D.J., DONG, X.P., REPETSKI, J.E., MARONE, F., STAMPANONI, M. Y DONOGHUE, P.C.J. (2013b). *The origin of conodonts and of vertebrate mineralized skeletons*. Nature, 502 (7472): 546-549.
- MURDOCK, D.J., RAYFIELD, E.J. Y DONOGHUE, P.C.J. (2014). *Functional adaptation underpinned the evolutionary assembly of the earliest vertebrate skeleton*. Evolution y development, 16 (6): 354-361.
- MURDOCK, D.J. Y SMITH, M.P. (2021). *Panderodus from the Waukesha Lagerstätte of Wisconsin, USA: a primitive macrophagous vertebrate predator*. Papers in Palaeontology, 7 (4): 1977-1993.
- NAVAS-PAREJO, P. Y MARTÍNEZ-PÉREZ C. (2017). *Paleobiología de Conodontos: anatomía, función y afinidades biológicas*. En: Paleobiología: Interpretando procesos de la vida pasada. (Coord. Sergio R.S. Cevalos-Ferriz & Alma Rosa Huerta Vergara). pp. 249-272 Universidad Autónoma de México, Facultad de Ciencias: Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial. ISBN 978-607-02-9343-6
- NICOLL, R.S. (1977). *Conodont apparatuses in an Upper Devonian palaeoniscoid fish from the Canning Basin, Western Australia*. Bureau of Mineral Resources Journal of Australian Geology and Geophysics, 2: 217-228.
- NICOLL, R.S. (1985). *Multielement composition of the conodont species Polygnathus*

- xylus xylus Stauffer, 1940 and Ozarkodina brevis (Bischoff y Ziegler, 1957) from the Upper Devonian of the Canning Basin, Western Australia. Bureau of Mineral Resources Journal of Australian Geology and Geophysics: 9, 133-147.
- NICOLL R.S. (1987). *Form and Function of the Pa element in the conodont animal*. En: Aldridge, R.J. (ed.), *Paleobiology of Conodonts*. British Micropaleontological Society series, Chichester, Sussex, Ellis Horwood: 77-90.
- NICOLL, R.S. (1995). *Conodont element morphology, apparatus reconstructions and element function: A new interpretation of conodont biology and taxonomic implications*. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 182: 247-262.
- PANDER, C.H. (1856). *Monography der fossilen Fische des Silurischen Systems der Russisch-Baltischen Gouvernements*. Akademie der Wissenschaften St. Petersburg: 91pp.
- PIETZNER, H., VAHL, J., WERNER, H. Y ZIEGLER, W. (1968). *Zur chemischen Zusammensetzung und Mikromorphologie der Conodonten*: Paleontographica, 128: 115-152.
- PLASENCIA, P. (2009). *Bioestratigrafía y paleobiología de conodontos del triásico medio del sector oriental de la Península Ibérica*. Universitat de València.
- PURNELL, M.A. Y VON BITTER, P.H. (1992). *Blade-shaped conodont elements functioned as cutting teeth*. Nature, 359: 629-630.
- PURNELL, M.A. (1993). *Feeding mechanisms of conodonts and the function of the earliest vertebrate hard tissue*. Geology, 21: 375-377.
- PURNELL, M.A. (1994). *Skeletal ontogeny and feeding mechanisms in conodonts*. Lethaia, 27: 129-138.
- PURNELL, M.A. (1995). *Microwear on conodont elements and macrophagy in the first vertebrates*. Nature, 374: 798-800.
- PURNELL, M.A. Y DONOGHUE, P.C.J. (1997). *Architecture and functional morphology of the skeletal apparatus of ozarkodinid conodonts*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, 352: 1545-1564.
- PURNELL, M.A. Y DONOGHUE, P.C.J. (1998). *Skeletal architecture, homologies and taphonomy of ozarkodinid conodonts*. Palaeontology, 41 (1): 57-102.
- RENSBERGER, J.M. Y VON KOENIGSWALD, W. (1980). *Functional and phylogenetic interpretation of enamel microstructure in rhinoceroses*. Paleobiology, 6: 477-495.
- RENSBERGER, J.M. (1995). *Determination of stresses in mammalian dental enamel and their relevance to the interpretation of feeding behaviours in extinct taxa*. En: Thomason, J. (ed.), *Functional Morphology in Vertebrate Paleontology*. Cambridge, Cambridge University Press: 151-172.
- RENSBERGER, J.M. (1997). *Mechanical adaptations in enamel*. En: Koenigswald, W.V., Sander, P.M., *Tooth enamel microstructure*. Rotterdam, A.A. Baslkema: 237-257.
- SCHMIDT, H. (1934). *Conodonten-Funde in ursprunglichem Zusammenhang*. Paläontologische Zeitschrift, 16: 76-85.
- SCOTT, H.W. (1934). *The zoological relationships of the conodonts*. Journal of Paleontology, 8: 448-455.
- SCOTT, H.W. (1942). *Conodont assemblages from the Heath Shale Formation, Montana*. Journal of Paleontology, 16: 293-300.
- SMITH, M.M., SANSOM, I.J. Y SMITH, M.P. (1996). *Vertebrate mineralized tissues*. Modern Geology, 20: 303-319.

- SUN, Z., LIU, S., JI, C., JIANG, D. Y ZHOU, M. (2020). *Synchrotron-aided reconstruction of the prioniodinin multielement conodont apparatus (Hadrodontina) from the Lower Triassic of China*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 560: 109913.
- SUN, Z., LIU, S., JI, C., JIANG, D. Y ZHOU, M. (2021). *Gondolelloid multielement conodont apparatus (Scythogondolella) from the Lower Triassic of Jiangsu, East China, revealed by high-resolution X-ray microtomography*. *Palaeoworld*, 30 (2): 286-295.
- SUTTNER, T.J., KIDO, E. Y BRIGUGLIO, A. (2018). *A new icriodontid conodont cluster with specific mesowear supports an alternative apparatus motion model for Icriodontidae*. *Journal of Systematic Palaeontology*, 16 (11): 909-926. PONER 2018 EN LUGAR DE 2017.
- SUTTON, M., RAHMAN, I., & GARWOOD, R. (2013). *Techniques for virtual palaeontology*. John Wiley & Sons.
- SWEET, W.C. (1981). *Glossary of morphological and structural terms for conodont elements and apparatuses*. En: Moore, R.C. (ed), *Treatise on Invertebrate Paleontology, Part W, Miscellanea Supplement 2, Conodonta*. Geological Society of America: 60-67.
- SWEET, W.C. (1988). *The Conodonta: Morphology, Taxonomy, Paleoecology, and evolutionary history of a long-extinct animal phylum*. New York, Oxford, Clarendon Press, Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 10: 212 pp.
- TURNER, S., BURROW, C.J., SCHULTZE, H.P., BLIECK, A., REIF, W.E., REXROAD, C.B., BULTYNCK, P. Y NOWLAN, G.S. (2010). *False teeth: conodont-vertebrate phylogenetic relationships revisited*. *Geodiversitas*, 32 (4): 545-594.
- ZENG, W., PURNELL, M.A., JIANG, H. Y ZHANG, M. (2021). *Late Triassic (Norian) Conodont Apparatuses Revealed by Conodont Clusters from Yunnan Province, Southwestern China*. *Journal of Earth Science*, 32 (3): 709-724.
- ZHANG, M., JIANG, H., PURNELL, M.A. Y LAI, X. (2017). *Testing hypotheses of element loss and instability in the apparatus composition of complex conodonts: articulated skeletons of Hindeodus*. *Palaeontology*, 60 (4): 595-608.

[www.paleoisurus.com](http://www.paleoisurus.com)

[asociacion@paleoisurus.com](mailto:asociacion@paleoisurus.com)



# NOTICARIO DE ACTIVIDADES 2020-2021 ASOCIACIÓN PALEONTOLÓGICA ALCOYANA "ISURUS"

Ángel CARBONELL ZAMORA presidente de la asociación ISURUS

Un año más en este apartado os dejamos algunas de las actividades y eventos que hemos realizado desde diciembre de 2020 hasta diciembre de 2021, un año con distintas conferencias, salidas, nombramientos

Seguiremos trabajando para poder realizar muchas más actividades y eventos, intentado llegar a más socios y con más diversidad de actos adaptándonos a los gustos de nuestros socios y socias.

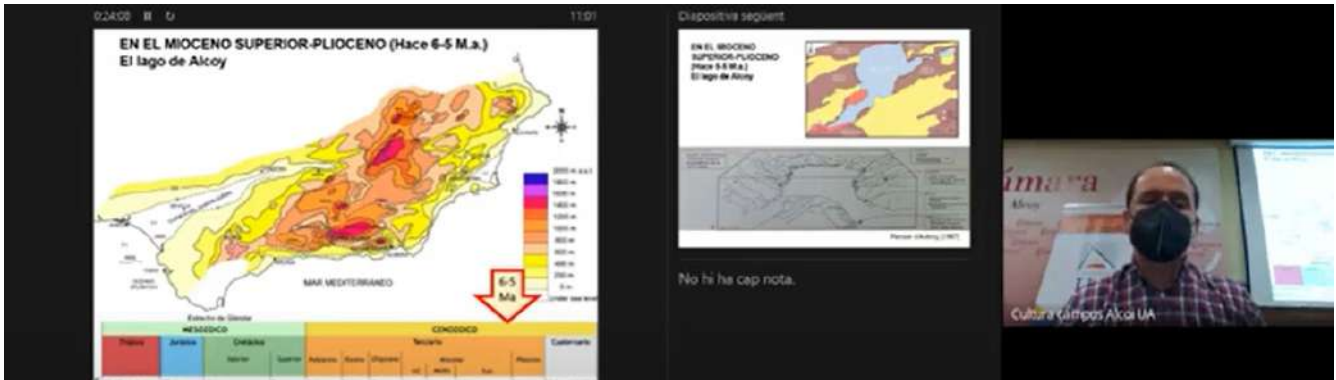
Queremos agradecer y mucho a todos los que nos apoyáis y nos dais fuerza para seguir trabajando en la revista.

## REVISTA ISURUS

Presentamos la revista 14, parece que fue ayer cuando empezamos a trabajar para sacar el primer número, recién salido este número y ya estamos trabajando para poder editar la nº 15. Para ello contamos con varios artículos que están realizando algunos de nuestros colaboradores, pero también estamos abiertos a recibir otros artículos de cualquier investigador que desee publicar sus trabajos científicos en nuestra revista. Los números anteriores pueden ser solicitados al correo electrónico de *Isurus*: [asociacion@paleoisurus.com](mailto:asociacion@paleoisurus.com)



## CONFERENCIAS



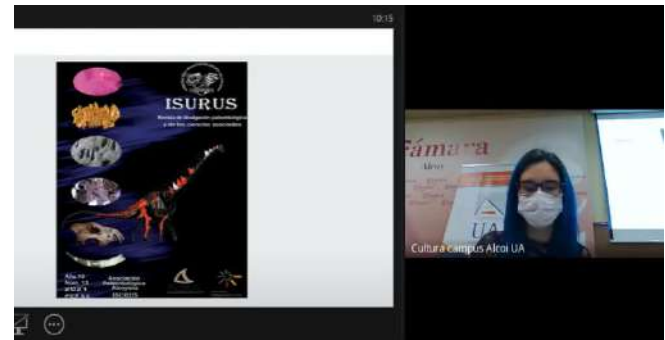
Día 15 de mayo de 2021, conferencia de Geología a cargo de Pedro Alfaro García con el título "Principales eventos geológicos de la Historia de Alcoy" en el Campus de Alcoi. Debido

a la situación de la pandemia de la COVID-19 también se realizó on-line al mismo tiempo en youtube.

## PRESENTACION DE LA REVISTA ISURUS Nº 13



El día 15 de mayo de 2021, Verónica Torres y Vicente Mañes presentaron la Revista ISURUS nº 13 con la colaboración del Campus



d'Alcoi y de la Universitat d'Alacant en el Edifici Cambra de Comerç en el carrer Sant Francesc.

## VISITAS A COLEGIOS



Día 10 de diciembre de 2021, en el Colegio San Vicente de Paul de Alcoy y dentro del proyecto Terra Crec, nuestro compañero José



Joaquín Díaz dio una charla a los niños de tercero de primaria, bajo el tema "La historia de los tiempos"

## SOCIOS DE HONOR

El día 15 de marzo, después de la conferencia, se nombra Socio de Honor al Doctor en Geología a Pedro Alfaro García por la Universidad de Alicante y Catedrático en Geodinámica

interna del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Su principal línea de investigación se centra en fallas activas y efectos sobre el terreno de terremotos. Ha realizado una gran tarea de divulgación de la Geología, defensa y estudio del Patrimonio Geológico. Se hizo entrega del carnet de Socio de Honor y una peana en agradecimiento de su gran colaboración con esta entidad



[www.paleoisurus.com](http://www.paleoisurus.com)

[asociacion@paleoisurus.com](mailto:asociacion@paleoisurus.com)



## NORMES PER A LA PRESENTACIÓ DELS MANUSCRITS

1.- Els originals s'enviaran abans del 30 de juliol del 2022 a l'adreça següent: ISURUS. C/ Pintor Cabrera 61, baixos (03803 Alcoi - Alacant), en suport informàtic o E-mail amb la redacció original, tipus de lletra Arial c/ 12 a doble columna de 8,3 de ample i l'interlineat exacte procesador Word. S'acompanyarà una còpia en paper A-4 per una sola cara, interlineat exacte, amb marges suficients, sense sangries ni tabulacions i amb numeració en les pàgines. Es deixa un model de plantilla en la pàgina web.

2.- Tots els articles estaran encapçalats per títol, autor o autors, el càrrec que ocupen i l'adreça e-mail. Els treballs inclouran un resum en valencià, castellà i anglès, (inclouent en aquest últim el títol de l'article), que no superarà els 425 caràcters amb espais. Al final inclourà un glossari amb un màxim de 5 paraules clau en els 3 idiomes. L'extensió mínima de l'article serà de 4 fulls, i la màxima de 8, sense incloure imatges.

3.- Les notes numerades es podran utilitzar per a explicar o ampliar alguna qüestió, però en cap cas per a referències bibliogràfiques. Es presentaran numerades correlativament en un full a banda i seran publicades a peu de pàgina.

4.- Per a les referències bibliogràfiques incloses en el text, s'utilitzarà la citació entre parèntesis de l'autor en minúscules, l'any de publicació i les pàgines de referència, si procedeix.

Exemple:

[Bellod, F. J. & Belda, A., 2006]

[Vicedo, M.; Alonso, M.; De La Torre, A. et al 1998: 121-137]

5.- De la bibliografia esmentada en el text es farà una relació alfabètica al final del treball, en la qual figurarà en majúscula el nom dels autors, seguit de l'any publicació entre parèntesi i les dades de la mateixa. Les referències d'un mateix autor es col·locaran cronològicament de menor a major citant, en totes elles, l'autor. En el cas dels articles de revistes, les pàgines que comprenen el mateix han d'aparèixer al final de la referència.

Exemples:

Libre:

BELLOD, F.J. & BELDA, A. [2006]. Plantas medicinales de la Sierra de Mariola. Publicaciones Universidad de Alicante. Murcia. 294pp.

Articles:

VICEDO, M.; ALONSO, M.; DE LA TORRE, A. et al [1998]. Aproximación a la caracterización fitosociológica de los carrascales de la Comunidad Valenciana. Itinera Geobotánica, 11: 121-137

6.- Les figures, taules, quadres, gràfics i fotos s'entregaran en suport informàtic amb una resolució de 300 ppp (tif o jpg). Estaran indicades en el text però no es compondran dins del mateix. Les figures es citaran en el text entre parèntesi i seguint l'exemple: (lam. 1), (lam 4-1). Els respectius peus de cada il·lustració aniran en relació a la banda degudament numerats, al final de l'article i mai formant part de la propia il·lustració.

7.- Els autors dels articles rebran 1 exemplar de la revista, on apareix la seua publicació.

### FORMA D'ADQUIRIR LA REVISTA

La revista de Paleontologia "ISURUS" és de règim intern de l'Associació Paleontològica Alcoiana Isurus, es podrà obtindre per intercanvi o per ser soci de l'associació, no obstant els excedents es posaran a la venda al preu de 6€.

## NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE LOS MANUSCRITOS

1.- Los originales se enviarán antes del 30 de julio de 2022 a la siguiente dirección: ISURUS, C/ Pintor Cabrera 61-bajo (03803 Alcoy-Alicante), en soporte informático o E-mail con la redacción original, tipo de letra Arial c/ 12 a doble columna de 8,3 de ancho y el interlineado exacto procesador Word. Se acompañará copia en papel [A-4] por una sola cara, interlineado exacto, con márgenes suficientes, sin sangrías ni tabulaciones y con numeración en las páginas. Se dejará un modelo de plantilla en la página web.

2.- Todos los artículos estarán encabezados por el título, autor o autores, el cargo que ocupan y la dirección e-mail. Los trabajos incluirán un resumen en valenciano, castellano e inglés, (incluyendo en este último el título del artículo), que no superará los 425 caracteres con espacios. Al final incluirá un glosario con un máximo de 5 palabras clave en los 3 idiomas. La extensión mínima del artículo será de 4 folios y la máxima de 8, sin incluir imágenes.

3.- Las notas numeradas se podrán utilizar para explicar o ampliar alguna cuestión, pero en ningún caso para referencias bibliográficas. Se presentarán numeradas correlativamente en una hoja aparte y serán publicadas a pie de página.

4.- Para las referencias bibliográficas incluidas en el texto, se utilizará la citación entre paréntesis del autor en minúscula, el año de publicación y las páginas de referencia, si procede.

Ejemplo:

[Bellod, F.J. & Belda, A., 2006]

[Vicedo, M.; Alonso, M.; De La Torre, A. et al 1998: 121-137]

5.- De la bibliografía citada en el texto se hará una relación alfabética al final del trabajo, en la cual figurará en mayúscula el nombre de los autores, seguido del año de publicación entre paréntesis y los datos de la misma. Las referencias de un mismo autor se colocarán cronológicamente de menor a mayor citando, en todas ellas, el autor. En el caso de los artículos de revistas, las páginas que comprenden el mismo deben aparecer al final de la referencia.

Ejemplos:

Libro:

BELLOD, F.J. & BELDA, A. [2006]. Plantas medicinales de la sierra de Mariola. Publicaciones Universidad de Alicante. Murcia. 294 pp.

ARTÍCULOS:

VICEDO, M.; ALONSO, M.; DE LA TORRE, A. et al [1998]. Aproximación a la caracterización fitosociológica de los carrascales de la Comunidad Valenciana. Itinera Geobotánica, 11 : 121-137

6.- las figuras, tablas, cuadros, gráficos y fotos se entregarán en soporte informático con una resolución de 300ppp (tif o jpg). Estarán indicadas en el texto pero no se compondrán dentro del mismo. Las figuras se citarán en el texto entre paréntesis y siguiendo el ejemplo. (fig 1), (fig 3, 1), (fig 2-5). Las láminas se citarán en el texto entre paréntesis y siguiendo el ejemplo: (lam 1), (lam 4-1). Los respectivos pies de cada ilustración irán en relación aparte, debidamente numerados, al final del artículo y nunca formando parte de la propia ilustración.

7.- Los autores de los artículos, recibirán 1 ejemplar de la revista, donde aparezca su publicación.

### FORMA DE ADQUIRIR LA REVISTA

La revista de Paleontologia ISURUS es de régimen interno de la Asociación Paleontológica Alcoyana Isurus, se podrá obtener por intercambio o por ser socio de la asociación, no obstante los excedentes se pondrán a la venta un precio de 6€.



Col·labora



Ajuntament d'Alcoi