

# Trabajo de Fin de Máster

ESTUDIO DE LOS RESTOS DE ICTIOSAURIOS DE DOS YACIMIENTOS DEL  
JURÁSICO INFERIOR DE ARIÑO (TERUEL)

STUDY OF ICHTHYOSAUR REMAINS FROM TWO FOSSIL SITES OF THE  
LOWER JURASSIC OF ARIÑO (TERUEL)



## AUTOR

Pablo Civera Estaún

## DIRECTORES

Eduardo Puértolas Pascual

Jara Parrilla Bel

## ÍNDICE

1. ABSTRACT .....	3
2. INTRODUCCIÓN .....	3
3. OBJETIVOS.....	4
4. ANTECEDENTES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA .....	4
5. METODOLOGÍA Y MATERIALES .....	6
5.1. Trabajo de campo.....	6
5.2. Trabajo de laboratorio .....	6
5.3. Trabajo de gabinete.....	9
6. MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO.....	11
6.1. Situación geográfica y geológica .....	11
6.2. Contexto estratigráfico y geológico .....	12
7. RESULTADOS .....	13
7.1. Análisis estratigráfico .....	13
7.2. Análisis paleontológico .....	18
8. DISCUSIÓN .....	33
8.1. Interpretación de la edad de los restos y de la contextualización de los yacimientos.....	33
8.2. Interpretación del depósito de restos fósiles, modo tafonómico y comparación entre yacimientos y con otros ejemplos .....	34
8.3. Taxonomía de los restos fósiles.....	36
9. CONCLUSIONES .....	38
10. BIBLIOGRAFÍA .....	39
ANEXO 1 .....	42

## 1. ABSTRACT

The paleontological analysis of the vertebrate fossil remains of two different fossil sites in Ariño (Teruel province, NE Spain) has allowed characterizing an assemblage of Lower Jurassic ichthyosaur remains and provide significant evidence of these marine reptiles in northeastern Spain.

The remains were recovered in the Mas del Gato 1 and PEPA fossil sites. These fossil sites are respectively in the Cerro del Pez Formation (upper Pliensbachian) and Turmiel Formation (Toarcian). These geological units is composed by marls with occasional limestone intercalations with the presence of a lot of invertebrates in the study zone.

The paleontological vertebrate record in the Mas del Gato 1 fossil site is composed by different ichthyosaur elements including an incomplete skull, a partially complete right forelimb, some elements of the pectoral girdle and eight ribs fragments. And the paleontological vertebrate record in the PEPA fossil site features also by ichthyosaur elements including two complete vertebral centra and a fragment of a third one, one isolated distal limb element and one fragmented tooth. The fossil record is poorly preserved. It is mostly fragmented, eroded and altered or it is based on isolated pieces. Some parts have been partially rebuilt

The ichthyosaur bones have been attributed to Neoichthosauria due to their diagnostic characters and the temporal range in which this group lived. The remains are insufficient to assign a more specific taxon.

This work not only underscores the study of new ichthyosaur remains in Iberia but also provides valuable insights into their paleogeographical distribution.

## 2. INTRODUCCIÓN

Los reptiles marinos del Mesozoico fueron los dominadores en los mares y océanos en tiempos de los dinosaurios. Entre ellos destacan los plesiosaurios, mosasaurios, placodontos, notosaurios, tortugas marinas, y cocodrilos marinos. Otro grupo abundante fue el de los ictiosaurios. Estos eran unos grandes reptiles con aspecto de pez y delfín y con forma aerodinámica que se caracterizaban por tener cráneos con hocicos largos y dentados, y con grandes ojos. Poseían unas aletas bien desarrolladas y unas vértebras delgadas y débilmente unidas, por lo que vivían estrictamente en el mar y no podrían aventurarse hacia tierra firme ya que, con estas características, no serían capaces de sostener el peso del animal en tierra (Sousa, 2018). Los ictiosaurios eran depredadores marinos que utilizaban sus grandes ojos para cazar a sus presas en aguas profundas y oscuras. Estos surgieron en el periodo Triásico y fueron muy abundantes ya en el Jurásico, hasta que fueron reemplazados por los plesiosaurios a lo largo del Cretácico hasta su completa extinción alrededor del Cenomaniense-Turonense, hace unos 93 millones de años. Además, se extendieron ampliamente en el planeta, habiéndose encontrado fósiles en lo que hoy es América, Asia y Europa (Sander, 2000).

En el entorno de Ariño se pueden encontrar varios yacimientos paleontológicos del Mesozoico en los que abundan principalmente los restos de invertebrados, aunque ocasionalmente también se encuentran vertebrados, tanto marinos como terrestres. Dos de estos yacimientos han sido el lugar de procedencia de los restos de ictiosaurios, objeto de este estudio, que fueron recuperados por paleontólogos aficionados en diferentes jornadas de campo y que fueron

donados por los mismos a la colección del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza (MCNUZ).

Los yacimientos jurásicos de los que provienen los restos se conocen como Mas del Gato 1, que se encuentra en la Formación Cerro del Pez, de edad Pliensbachiense, cuyos restos fueron hallados por José María Abad en la década de los noventa, y el yacimiento PEPA, cuyos restos fueron hallados por María José Mayayo, que se encuentra en la Formación de Alternancia de margas y calizas de Turmiel, de edad Toarciense.

En este trabajo se pretende dar a conocer cómo son esos restos, mediante su descripción anatómica y cuál ha sido el proceso llevado a cabo para la restauración mecánica y virtual de los mismos. También se pretende explicar cuál es la edad de los restos mediante la contextualización de los dos yacimientos paleontológicos. Además, se hará una comparación de los restos estudiados con los de otros yacimientos de la península ibérica y del resto de Europa donde se han encontrado también ictiosaurios.

### 3. OBJETIVOS

La hipótesis inicial de este Trabajo de Fin de Máster sería identificar el taxón al que pertenecen los restos fósiles de ictiosaurio dentro del Jurásico de la cordillera ibérica. Dada esta hipótesis, los objetivos parciales de este trabajo son los siguientes:

1. Contextualizar geográfica y geológicamente los dos yacimientos de procedencias de los restos fósiles dentro de las unidades del Jurásico de la cordillera ibérica.
2. Realizar el estudio de los restos fósiles aprendiendo y utilizando técnicas clásicas y metodologías modernas en preparación y análisis de fósiles.
  - a. Analizar la tafonomía de los restos.
  - b. Realizar la descripción de los huesos fósiles.
  - c. Realizar la reconstrucción orientativa del esqueleto del animal.
  - d. Definir su sistemática y dar una clasificación taxonómica preliminar.
3. Comparar e integrar los datos obtenidos con estudios realizados en otros yacimientos de ictiosaurios de la península ibérica y de otras regiones de Europa.

### 4. ANTECEDENTES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Al observar el registro de reptiles marinos mesozoicos de la península ibérica se aprecia que, en comparación con otras regiones de Europa, es menos abundante. (Bardet *et al.*, 2008). Pese a esto, su rango estratigráfico es importante ya que abarca desde el Triásico medio hasta el Cretácico Superior. Además, hay una gran diversidad taxonómica a nivel de alto rango ya que están representados la mayoría de los clados como ictiosaurios, mosasáuridos, sauropterigios, talatosaurios, cocodrilomorfos, y testudines (Bardet *et al.*, 2008). En consecuencia, el pobre registro fósil de reptiles marinos se ve también reflejado en el registro de los ictiosaurios, siendo posiblemente este grupo, el peor representado. También, se tiene constancia de que se han estudiado restos de reptiles marinos de la península desde el siglo XIX (Bardet *et al.*, 2008).

Un ejemplo estudiado sería el de los restos de ictiosaurio recuperados en los niveles del *Keuper* próximos a la localidad turolense de Manzanera (De Miguel Chaves *et al.*, 2015). Estos restos son uno de los registros más antiguos de ictiosaurios en el Triásico de la península ibérica. La presencia de este grupo de reptiles, en las facies del *Keuper* de origen continental, y que suelen habitar en mares abiertos, es indicativo de que los restos hallados serían probablemente alóctonos. Las facies del *Keuper* donde se han hallado estos restos están compuestas por areniscas de tamaño de grano variable junto con niveles de arcillas y yesos. Los restos fueron atribuidos al clado Ichthyosauria, definido por Blainville, en 1835. Estos corresponden a un pequeño conjunto de vértebras fragmentadas con un tamaño de unos 4 cm (De Miguel Chaves *et al.*, 2015).

Un segundo ejemplo estudiado sería el de los restos recuperados en la Formación Rodiles. Esta formación geológica se encuentra al norte de la península ibérica, concretamente en el Principado de Asturias, España (Fernández *et al.*, 2018). Forma parte de lo que se conoce como “La Costa de los Dinosaurios”, que se extiende entre las costas de Gijón y Ribadesella. En ella se encuentran algunos de los afloramientos más espectaculares del Jurásico de Asturias. En la Fm. Rodiles se han encontrado principalmente restos de dinosaurios y, además, se han hallado restos de otros reptiles marinos como pleisiosaurios. Los afloramientos de la Fm. Rodiles están compuestos, principalmente, por una alternancia de calizas y margas que abarcan edades entre el Sinemuriense y el Bajociense (Jurásico inferior), de origen marino. En el caso de los restos de ictiosaurios de esta formación, el estudio reveló que pertenecen al género *Leptonectes* (Fernández *et al.*, 2018), definido por McGowan, en 1996. Estos restos fueron recuperados en la unidad Santa Mera, de edad Pliensbachiense, que es una de las dos unidades que forman la Fm. Rodiles junto con la Buerres (Comas-Rengifo y Goy, 2010). La unidad está compuesta por una alternancia rítmica de calizas y margas grises oscuro y por lutitas calcáreas que también incluyen muchos restos de invertebrados como ammonites, bivalvos, braquiópodos y equinodermos. El conjunto de estos restos corresponde a un esqueleto casi completo, aunque parcialmente desarticulado y mal preservado, formado por elementos del cráneo y de la mandíbula, varias vértebras y huesos de los apéndices (Fernández *et al.*, 2018). Es probable que estos representen los ictiosaurios más completos de la península ibérica.

Otro ejemplo de restos fósiles de ictiosaurio de la península ibérica se localiza en la Formación Coimbra, en la cuenca Lusitánica; en la costa de Portugal (Sousa y Mateus, 2021). La Fm. Coimbra se formó durante un episodio de *rifting* en el Sinemuriense, hace cerca de 200 Ma y tiene un espesor medio de 100 m (Kullberg *et al.*, 2013). Sus afloramientos están compuestos principalmente por calizas y dolomitas, de origen marino, aunque también se pueden encontrar margas grises en algunas zonas (Duarte y Soares, 2002). Las unidades que la forman son ricas en fósiles de especies marinas. El estudio de los restos de esta formación reveló que pertenecen al género *Ichthyosaurus*, definido por König, en 1818. El conjunto de estos restos consta de una aleta izquierda completa bien preservada (Sousa y Mateus, 2021). Estos restos serían aquellos que se han encontrado más al sur pertenecientes al género *Ichthyosaurus*, lo que permitió que se expandiera el rango geográfico de este género.

Lo que se observa con estos ejemplos es que, pese a que el registro de ictiosaurios en la península es muy poco abundante y los restos se encuentran de forma muy aislada, poseen gran importancia ya que pueden llegar a ampliar el registro geográfico de este grupo de reptiles marinos hacia regiones mucho más al sur de donde es habitual su hallazgo, como en el centro de Europa.

Los restos estudiados en este trabajo son los primeros restos jurásicos descritos en Aragón y los más completos en esta región, sumando además dos ejemplares al escaso registro fósil de ictiosaurios en la península ibérica.

## 5. METODOLOGÍA Y MATERIALES

### 5.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en la realización de dos campañas, de un día cada una. En ellas se realizó una prospección paleontológica de restos de vertebrados e invertebrados, un reconocimiento de los yacimientos para realizar su contextualización geológica y geográfica y el levantamiento de un perfil estratigráfico en torno a ambos yacimientos.

Se contaba con información previa de la localización de los yacimientos donde se hallaron los restos fósiles estudiados en este trabajo. Esta información fue proporcionada por los paleontólogos aficionados que hallaron y suministraron los restos a la Universidad de Zaragoza.

El perfil estratigráfico abarcó los niveles aflorantes de cada yacimiento y para su realización se estudiaron características como la litología, el color, la potencia y geometría de los estratos y la presencia de estructuras sedimentarias y de componentes como restos fósiles. También se realizaron fotografías de cada uno de los yacimientos y de algunos restos que no fueron recogidos.

Se realizó una prospección paleontológica del afloramiento. Se recuperaron macrofósiles de invertebrados, que permitieron la contextualización del yacimiento junto con los datos estratigráficos. En cuanto a restos de vertebrados, no se pudieron recuperar ejemplares nuevos en ninguna de las campañas. Los restos hallados se identificaron y separaron en diferentes bolsas de muestreo, en función de su lugar de procedencia y del grupo taxonómico. Por último, fueron siglados.

En este trabajo de campo se dispuso del material y herramientas habituales para el trabajo de campo de carácter estratigráfico y paleontológico incluyendo el material necesario para la toma de notas y siglado de muestras, brújula, lupa de mano, martillo, cámara de fotos o móvil, consolidante (Palaroid B72 al 5%), bolsas de plástico, vara de Jacob y cinta métrica.

### 5.2. Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió en la preparación de los restos fósiles donados a las colecciones del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad de Zaragoza, que incluían tanto restos de vertebrados como de invertebrados, así como los restos obtenidos en cada uno de los yacimientos durante las jornadas de campo, para realizar el estudio paleontológico.

Para comenzar, los restos obtenidos en el campo se limpiaron con agua y con un cepillo de dientes para retirar el sedimento que se hubiera podido quedar incrustado a ellos, con el fin de conseguir una mejor identificación de los mismos. Se separaron en tres cajas según su procedencia y, a continuación, se realizó la identificación de aquellos restos que no se pudieron reconocer en las jornadas de campo con la ayuda de bibliografía y asesoramiento de personal de la Universidad de Zaragoza. Los datos obtenidos se anotaron para poder ser utilizados en la

contextualización del yacimiento. Por último, se almacenaron los restos debidamente siglados y separados en diferentes cajas.

En cuanto a los restos fósiles suministrados por la universidad para la realización de este trabajo, se ha realizado un estudio paleontológico más detallado. Este material constaba de algunos restos de invertebrados, a los que se les realizó el mismo procedimiento que a los encontrados en el campo, como se ha citado en el párrafo anterior. Por lo que el estudio detallado se ha centrado en los restos de vertebrados. En un inicio, la mayoría de estos fósiles se encontraban muy fracturados, debido quizá al modo de extracción, al transporte de los mismos, o por un largo periodo de almacenamiento en el que no se trataron. A causa de ello, para el estudio paleontológico se realizaron las siguientes tareas:

1) Se comenzó con una limpieza con agua de los restos, para eliminar sedimentos o suciedad que hubiera sobre los fósiles. Además, se utilizó un cepillo de dientes para facilitar la limpieza, pero con precaución de no dañar los restos y se dejaron secar al sol.

2) Se separaron los fósiles en dos bandejas diferentes y se comenzó la restauración de los restos. Para ello se buscaron aquellos fragmentos que pudieran encajar con otros y, a modo de “puzzle” se fueron juntando diferentes piezas aplicando una disolución de Palaroid B72 y acetona. Después se dejó secar para asegurar el pegado.

3) A continuación, se siguió con la preparación de los fósiles utilizando el método mecánico de percusión (Figura 1), invirtiéndose unas 40 horas en el proceso. Se seleccionaron diferentes piezas y, mediante el uso de un percutor de aire comprimido, se fue retirando el sedimento para poder dejar visible la superficie del hueso en cada pieza. Al usar esta técnica había que tomar precauciones ya que los resultados que se obtienen mediante este método son irreversibles. Se tuvo cuidado de no ejercer fuerza de más sobre los fósiles, ya que esto puede provocar que se dañe la superficie dejando marcas sobre ellos. Además, había que tener en cuenta que algunas piezas presentaban planos de microrroturas que atravesaban los fósiles por lo que se podía producir la ruptura de los mismos a favor de esos puntos de debilidad. Para la utilización de esta técnica se contó también con gafas protectoras, para evitar que el sedimento pudiera ocasionar lesiones en los ojos, consolidante (Palaroid B72 al 5%) para proteger el fósil conforme se utilizaba el percutor y un cojín de arena, que permitía reducir las vibraciones producidas por esta técnica.



Figura 1: Aplicación del método de percusión para la preparación de los restos fósiles.

4) Además, se seleccionó una de las piezas para aplicar un método químico de preparación de fósiles para ver si se obtenía un mejor resultado que con el percutor. Dado que el sedimento no era muy duro, se utilizó ácido acético diluido con agua en un pequeño vaso de cristal y se introdujo el fósil dentro de él. Después, el vaso se colocó en una campana de extracción de gases y se dejó que el ácido reaccionara durante un tiempo aproximado de una hora. Transcurrido este tiempo, se extrajo el vaso de la campana de gases y se neutralizó la muestra con abundante agua. Tras esto se comprobó si el sedimento se desprendía con facilidad y aunque se conseguía un buen resultado, no fue suficiente como para seguir aplicando esta técnica y se recurrió a otras más efectivas.

5) También, se planteó la posibilidad de realizar moldes de silicona en aquellas piezas que habían perdido el fósil corporal del hueso, pero habían conservado su contramolde en la matriz de roca. Sin embargo, ante el coste y bajo conocimiento del uso de esta técnica se propuso realizar una Tomografía Axial Computarizada (conocido como TAC) de las muestras. Una ventaja adicional del TAC es su naturaleza no invasiva, ya que permite visualizar y reconstruir zonas de hueso que están ocultas por la matriz, evitando así la preparación mecánica de regiones delicadas.

6) Finalmente se descartó la preparación mecánica y el uso de moldes. Esto se debió a que el uso del percutor se volvía cada vez más complejo, ya que muchas piezas presentaban microfracturas que podían suponer un riesgo para la integridad del fósil, y que se estaba empleando gran cantidad de tiempo con resultados poco satisfactorios, así que se decidió apostar por el uso del TAC. Esta técnica consiste en hacer incidir rayos X con un tomógrafo sobre los restos fósiles para obtener un escaneo compuesto de imágenes que permiten obtener la morfología externa e interna de los fósiles y la roca. De esta forma se pueden realizar reconstrucciones en tres dimensiones o réplicas de gran detalle sin tener que apenas tocar el fósil. Para ello, se seleccionaron gran parte de las piezas de uno de los yacimientos. Después, se realizaron dos cajas con láminas de espuma foam que permitieran un fácil transporte de los fósiles y que los mantuvieran sujetos durante el escaneo en el tomógrafo. Cada caja tiene las siguientes dimensiones: 19x16x26 cm y 19x16x47,5 cm, respectivamente. A continuación, las cajas con los fósiles seleccionados se transportaron al Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH, Burgos), que cuenta con el equipo necesario para realizar el TAC. En el tomógrafo (o escáner TAC) se colocaron las mismas cajas realizadas anteriormente asegurándolas con cinta adhesiva para evitar su apertura y vibración. El tomógrafo utilizado fue el MicroCT CoreTOM de TESCAN (Figura 2), y se aplicaron los siguientes parámetros: voltaje de 180 kV y una intensidad de corriente de 405  $\mu$ A. La resolución obtenida fue de 2681 x 2681 píxeles y un tamaño de vóxel de 0,073 mm. Se obtuvieron 3480 imágenes para la caja 1 y 6356 para la caja 2.

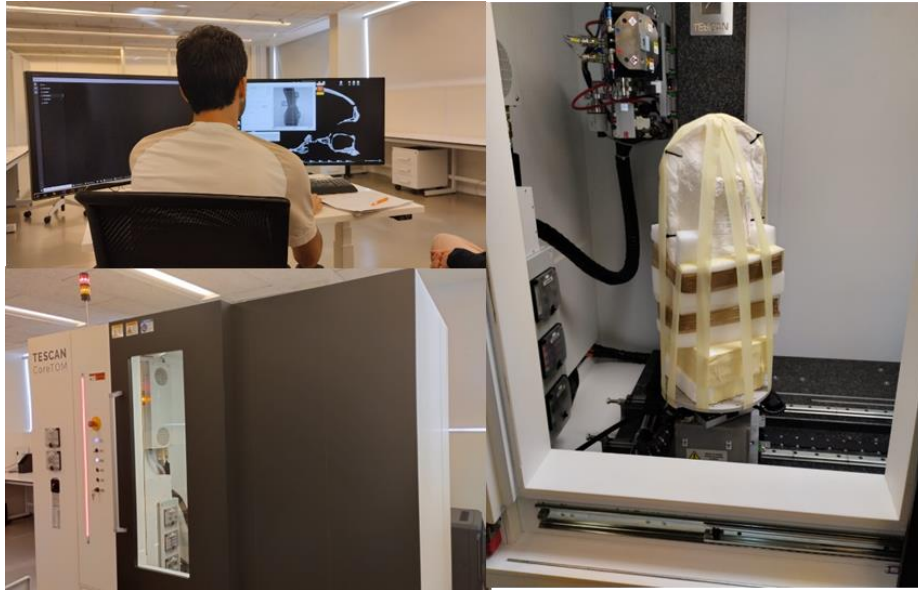


Figura 2: Aplicación del método de escaneo con tomógrafo MicroCT CoreTOM de TESCAN (escáner TAC) del CENIEH.

### 5.3. Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete se basó en la utilización de los datos obtenidos, tanto en el trabajo de campo como en el trabajo de laboratorio.

1) Las imágenes seriadas de rayos X obtenidas en el TAC se trasladaron al software Avizo 2019.1, desarrollado por Thermo Fisher Scientific, dedicado a la visualización y el análisis de datos científicos e industriales. El software permite visualizar las imágenes obtenidas con el TAC y transformarlas en modelos en tres dimensiones (3D). Para ello, se tuvo que comprimir tanto el número, como el tamaño y calidad de las imágenes. Esto se debe a que las imágenes obtenidas con el TAC poseen mucha calidad, innecesaria para el estudio que se desea realizar, lo que produce que se necesite un ordenador de alto rendimiento. Avizo permite diferenciar la densidad de cada material (hueso, matriz de roca, aire, etc) en las imágenes de rayos X en función de su color (más oscuro = menos denso, o más claro = más denso) pudiendo así separar y “eliminar” virtualmente los materiales que no interesan para el estudio hasta aislar el fósil en un laborioso proceso denominado segmentación (Figura 3). Para ello, el primer paso fue eliminar las densidades correspondientes al aire, para aislar y trabajar solo con las densidades correspondientes a la roca y los fósiles. Tras esto y mediante esa diferencia de densidades, se separó lo que se correspondía con el hueso fosilizado, del resto de la roca, de forma que, a la hora de generar el modelo en tres dimensiones, solo se contara con el fósil. Para cada hueso se utilizó la herramienta lazo por separado, que permitía seleccionar aquella parte de la imagen donde se encontraba el fósil. Después con la herramienta interpolación se trasladó esa selección al resto de las imágenes donde se pudiera encontrar el mismo hueso. También, en el caso de que se encontraran moldes o zonas en la que se apreciara que faltaba parte del hueso se podía realizar una reconstrucción de la morfología del fósil. Por último, a partir de la selección realizada anteriormente, se generó el modelo en tres dimensiones.

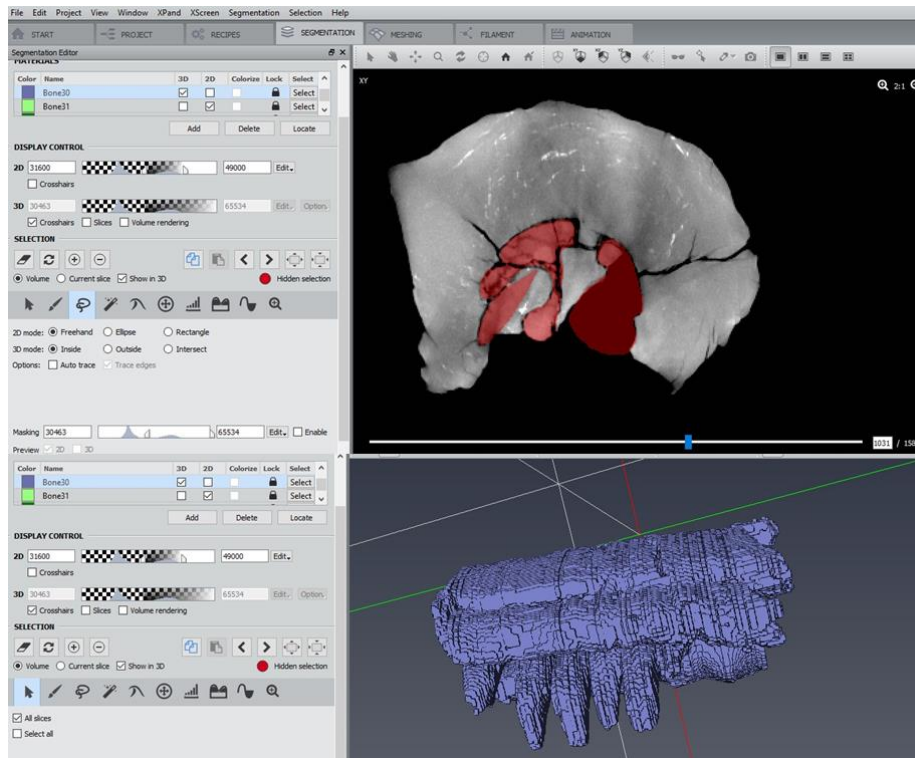


Figura 3: Aplicación de la segmentación en el software Avizo. Arriba, en rojo se indican las densidades seleccionadas correspondientes a hueso y a la parte reconstruida a partir de un molde en dos dimensiones. Abajo, se indica el modelo preliminar en tres dimensiones obtenido a partir de dicha selección.

2) Tras realizar los modelos 3D, se exportaron y se trasladaron al software Blender, capaz de realizar renderizados 3D e incluso animaciones y modelado. De esta forma se podía realizar la reconstrucción parcial del esqueleto del animal. Para ello, se utilizaron los modelos generados con el software Avizo de forma que los diferentes fragmentos que se correspondían con lo mismo o estaban relacionados (por ejemplo, al cráneo o las falanges) se pudieran unir para reconstruir diferentes partes del esqueleto. Además, se añadió una escala y se configuró un sistema de iluminación que permitiera observar los renderizados obtenidos de la forma más adecuada, evitando sombras innecesarias y la pérdida de detalles de los restos fosilizados que se pudieran apreciar.

3) Al obtener un resultado final de los restos que permitiera su estudio (modelos 3D renderizados y fósiles preparados en el laboratorio), se realizó la identificación y descripción de los restos, en el caso que fuera posible. Para ello, se utilizaron también los datos obtenidos en campo y diferentes trabajos bibliográficos de referencia.

4) Finalmente, se realizó una interpretación y discusión de los resultados obtenidos. Esta consistió en asignar un taxón a los restos, en la medida que se pudiese, y en la deducción del tipo de depósito de los restos y del modo tafonómico, de la edad de los restos y los yacimientos y se realizó una comparación entre los fósiles del yacimiento Mas del Gato 1 y del yacimiento PEPA. También se realizó una comparación entre los huesos de ictiosaurio de estos dos yacimientos con otros de la península ibérica y del centro y norte de Europa.

## 6. MARCO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

### 6.1. Situación geográfica y geológica

El área de estudio se encuentra situada al noreste de la península ibérica, a unos kilómetros al noroeste de la localidad de Ariño, en la provincia de Teruel (Aragón, España) (Figura 4). Los restos estudiados han sido recuperados de los yacimientos Mas del Gato 1 (MG1) y PEPA. También se ha usado como soporte el yacimiento Mas del Gato 2 (MG2), próximo al MG1, como ayuda para contextualizar ambos yacimientos. Para acceder a los yacimientos, hay que recorrer una pista de tierra, que parte a mano derecha de la carretera A-1401, a unos 500 metros antes de llegar a la localidad de Ariño desde el norte, y a la que se puede acceder con un vehículo. De esta forma se puede llegar hasta el yacimiento MG1. Dejando el vehículo y continuando a pie por la misma pista de tierra durante unos minutos, se alcanza primero el yacimiento MG2 y poco después, el PEPA.

Geológicamente, la zona donde se encuentran los yacimientos está localizada en la cuenca del río Martín. Esta cuenca se sitúa entre dos grandes unidades geológicas: la cordillera ibérica y la cuenca del Ebro, separadas por la sierra de Arcos (Ríos *et al.*, 1981; Cortés y Casas-Sáinz, 1999; Liesa *et al.*, 2018). Concretamente, la cuenca del río Martín, donde se localiza el Parque Cultural del Río Martín, está situada en el sector septentrional de la parte central de la cordillera ibérica, en su rama Aragonesa.

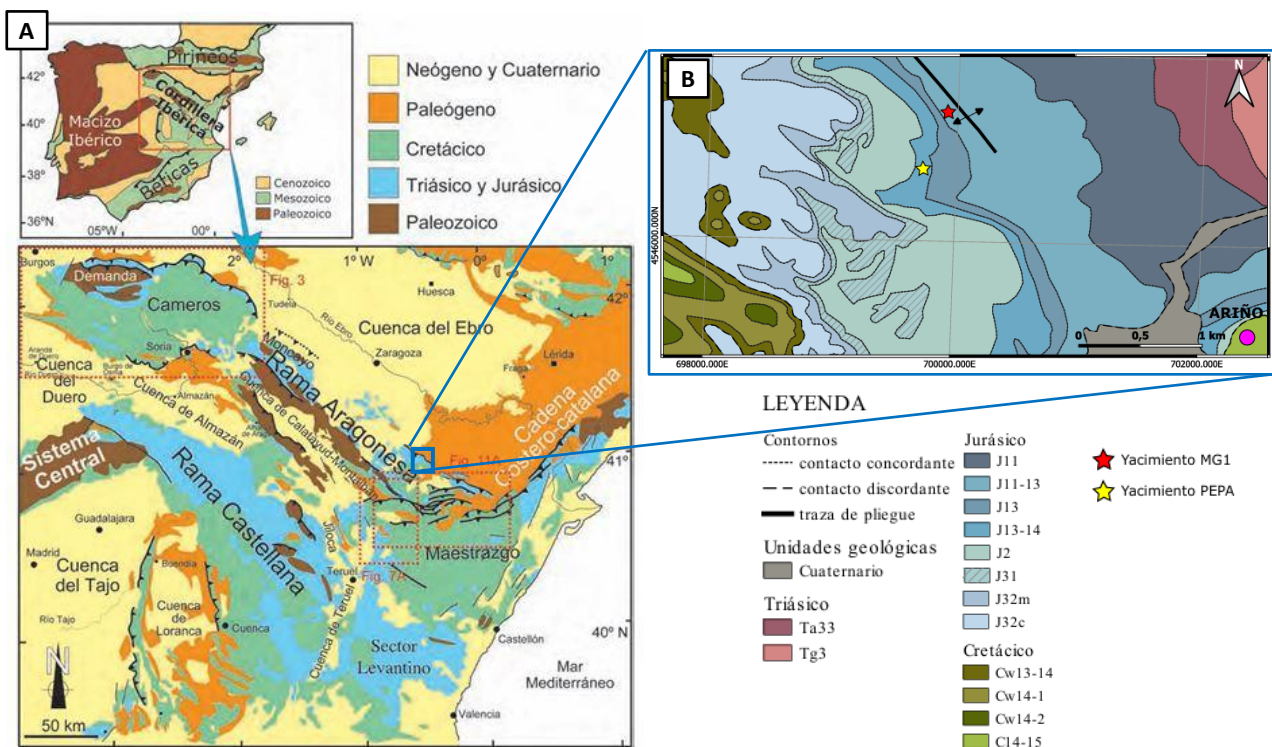


Figura 4: A) situación geográfica y geológica de la zona de estudio (Tomada de Liesa *et al.*, 2018). B) Mapa geológico de la zona de estudio con la posición geográfica de los yacimientos MG1 y PEPA, indicados con una estrella roja y amarilla, respectivamente.

## 6.2. Contexto estratigráfico y geológico

En el área de estudio y sus alrededores se encuentra una serie continua de materiales que abarcan desde el Triásico Superior, concretamente las facies *Keuper*, hasta el Jurásico Superior. Por encima, se encuentra una discordancia que separa esta serie de los materiales del Cretácico.

En cuanto al relieve de la zona, el sector meridional presenta una serie de pliegues de dirección NW-SE que dan lugar a elevaciones y depresiones, como por ejemplo la sierra de Arcos o el val de Ariño.

El yacimiento MG1 se encuentra en la Formación Cerro del Pez. Esta unidad geológica fue definida en la Rama Castellana de la cordillera ibérica por Goy *et al.* (1976). La formación es de edad Domeriense, es decir, Pliensbachiense superior. Además, se organiza en secuencias tanto de profundización como de somerización. Las secuencias de profundización se encuentran en la parte inferior de la formación. Generalmente, estas están caracterizadas por un aumento del espesor de los niveles de margas de forma estratocreciente, mientras que los niveles de calizas disminuyen su potencia y su proporción respecto a ala de margas en el mismo sentido. En las secuencias de somerización, aumenta el espesor de las calizas hacia la parte superior de las secuencias (Comas-Rengifo *et al.*, 1999). En ella se pueden diferenciar tres facies distintas (Bordonaba y Aurell, 2002):

1) Margas con tonos que varían entre el gris, marrón y amarillo que se organizan en niveles con una potencia que oscila entre 20 y 50 centímetros. Estas margas pueden presentar niveles interestratificados de calizas.

2) Carbonatos de tipo *mudstone* que se presentan en capas con un espesor variable entre 10 y 25 centímetros. Esta facies presenta coloraciones grisáceas y bioturbación que se traduce en cambios de coloración de la facies.

3) Carbonatos de tipo *wackstone* a *packstone*, que aparecen muy localmente en la formación. Estos se presentan en niveles de entre 5 y 10 centímetros de potencia y presentan coloraciones que varían entre el gris y el marrón. Contienen gran cantidad de bioclastos, que en algunos casos se encuentran fosilizados.

En cuanto al contenido fósil se pueden encontrar gran cantidad de restos de invertebrados como braquiópodos, bivalvos y cefalópodos, entre otros grupos. Ocasionalmente, también aparecen restos de vertebrados.

Entre el yacimiento MG1 y los yacimientos MG2 y PEPA se encuentra en la serie estratigráfica la Formación Barahona. Esta formación, definida por Goy *et al.* (1976), posee la misma edad que la Fm. Cerro del Pez, es decir, Domeriense (Pliensbachiense superior). En la cordillera ibérica está formada por calizas bioclásticas, principalmente, y la litofacies varía de *wackstone* a *packstone*. En ella se aprecia que las calizas tienen un aspecto noduloso dando planos de estratificación ondulados. También se pueden localizar en ocasiones niveles margosos intercalados, lo que indica que se produjeron intervalos de mayor profundización. La formación presenta coloraciones que varían desde el marrón hasta el gris. Suele presentar bioturbación de forma abundante que puede estar también reflejada en niveles con un desarrollo de superficies encostradas, con muchos bioclastos. En ella se ha podido diferenciar las siguientes facies (Bordonaba y Aurell, 2002):

1) *Packstone* de bioclastos, que es la más común y se encuentra muy homogénea. Se pueden apreciar capas nodulosas de unos 15 centímetros de potencia o mayor. También, presenta bioturbación, producida por crustáceos.

2) *Wackstone* de bioclastos, que aparece en la base de la formación. Presenta capas de unos 15 centímetros de potencia cuya matriz se suele encontrar recristalizada y bioturbada. Asociada a la bioturbación se puede encontrar ferruginización.

El contenido fósil de la Fm. Barahona es muy variado. Se pueden encontrar restos de vertebrados y de invertebrados como braquiópodos, bivalvos, gasterópodos, ammonites, belemnites, ostrácodos y crinoideos.

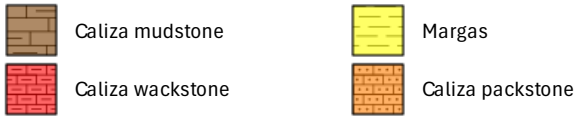
Los yacimientos MG2 y PEPA se localizan en la Formación Turmiel. Esta formación, también definida por Goy *et al.* (1976), presenta su estratotipo en el valle del río Mesa, en Guadalajara (España). Se extiende no solo por esa zona si no también en la cordillera ibérica de Teruel e incluso en la cordillera Costero-Catalana, aunque de forma aislada. Tiene edad Toarciense, principalmente, aunque, de forma local, la parte inferior puede ser del Pliensbachiense superior y la parte superior del Aaleniense inferior. Por tanto, es la última unidad del Jurásico Inferior que se puede encontrar en la zona de estudio. Está constituida por una alternancia de margas y calizas (de tipo *mudstone* y en menor medida, *wackstone* y *packstone*). En algunas zonas presenta materiales de origen volcánico, aunque de forma muy aislada. Está compuesta por secuencias de somerización y profundización y su sedimentación se produjo en un ambiente de plataforma externa, por debajo del nivel del oleaje. Ocasionalmente se encuentran algunos niveles de tempestitas que pueden llegar a extenderse hasta varias decenas de kilómetros. En el entorno de Ariño, la Fm. Turmiel puede alcanzar una potencia de hasta 40 metros (Goy *et al.*, 1997). Presenta coloraciones que varían desde el marrón o amarillo hasta el verde o incluso tonos rosáceos.

## 7. RESULTADOS

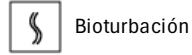
### 7.1. Análisis estratigráfico

Atendiendo a la zona de estudio, se ha realizado un perfil estratigráfico que recoge la información referente a la posición estratigráfica de los dos yacimientos de los cuales se han estudiado los fósiles de ictiosaurios (Figura 5).

**LITOLOGÍA**



**ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS**



**CONTENIDO FÓSIL**

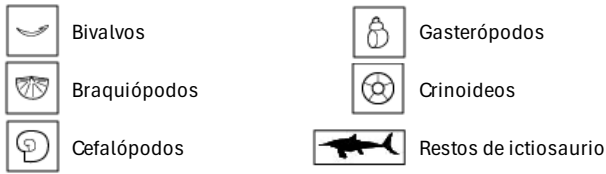
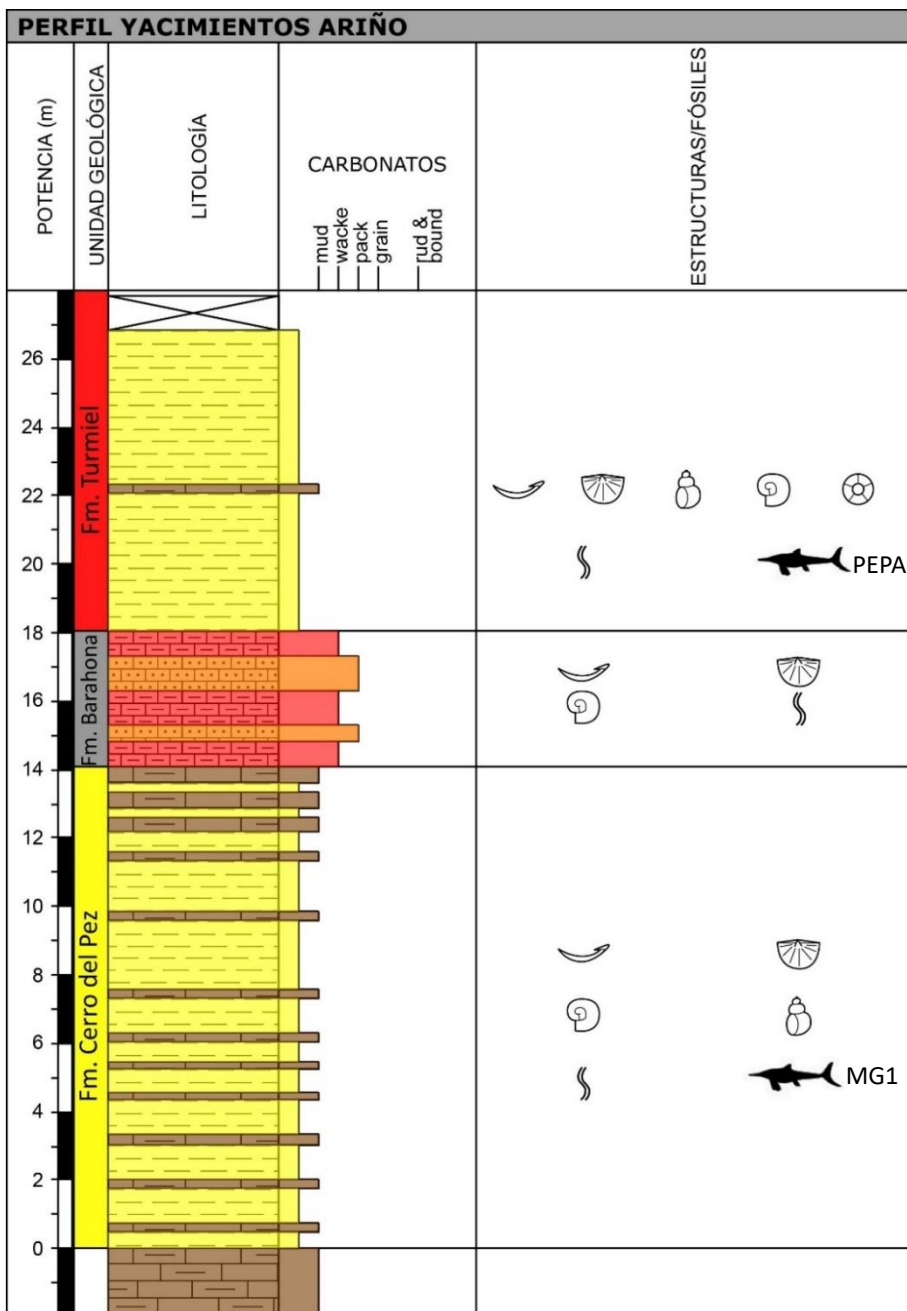


Figura 5: Perfil estratigráfico de la zona de estudio en la que se encuentran los yacimientos MG1 y PEPA.



El nivel de base del perfil presenta una dirección y buzamiento medio de 138, 20W. La serie se encuentra concordante por lo que estas medidas se mantienen durante todo el perfil levantado.

El perfil refleja que, en la zona de estudio, la Fm. Cerro del Pez presenta bancos de margas con intercalaciones de estratos tabulares de calizas de tipo *mudstone* de entre 10 y 40 cm de potencia (Figura 6). Hacia techo de la formación, se observa primero un aumento del espesor de las margas y después, empiezan a predominar los estratos de calizas adquiriendo también un mayor espesor. Los materiales de la formación tienen tonalidades que varían desde el marrón hasta el amarillo. Además, se observa bioturbación en los niveles de calizas.



Figura 6: Fotografía de campo que muestra el aspecto de la Fm. Cerro del Pez en el yacimiento Mas del Gato 1. Se observa el predominio de los bancos de margas. Con línea discontinúa blanca se indican las intercalaciones de calizas.

En el yacimiento MG1, la Fm. Cerro del Pez presenta gran cantidad de fósiles de invertebrados (Figura 7) como braquiópodos (por ejemplo, *Zeilleria* y otros terebratulídeos), crinoideos, bivalvos (como *Pholadomya*), pectínidos, ostréidos, gasterópodos y ammonites (como *Metaderoceras*) (Comas-Rengifo *et al.*, 1999). También se pueden encontrar restos de vertebrados como los estudiados en este trabajo.

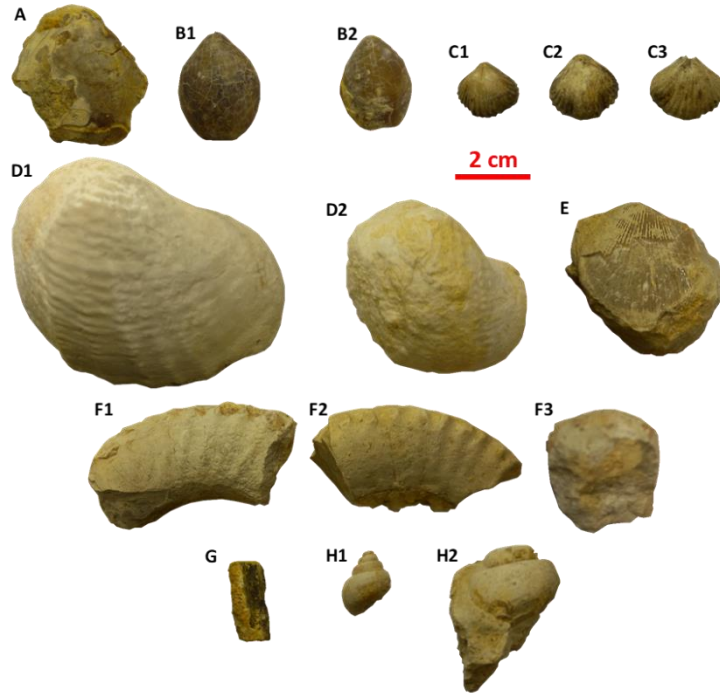


Figura 7: Fotografías de los restos de fósiles de invertebrados de la Formación Cerro del Pez en el yacimiento Mas del Gato1. En ellas se pueden ver braquiópodos como *Zeilleria* (A) y otros terebratúlidos (B), rinconélidos (C), bivalvos como *Pholadomya* (D) o pectínidos (E), belemnites (G) o gasterópodos (H).

En el perfil estratigráfico, la Fm. Barahona está representada como una sucesión de calizas tipo *wackstone* y *packstone* con coloraciones grisáceas. Las calizas están organizadas en estratos de potencia variable entre 20 y 50 cm y poseen un aspecto noduloso. En ellas hay que destacar las acumulaciones de belemnites.

Por último, la Fm. Turmiel está representada en la zona como grandes bancos de margas con tonos rojizos o marrones de potencia métrica (Figura 8). Dado que no se ha llegado hasta el techo de la formación en la zona de estudio, la unidad geológica no está representada por completo en el perfil estratigráfico.



Figura 8: Fotografías de campo que muestran el aspecto en campo de la Fm. Turmiel en los yacimientos MG2 (izquierda) y PEPA (derecha). En ellas se observa el predominio de las margas.

En los yacimientos MG2 y PEPA, la Fm. Turmiel presenta restos de vertebrados e invertebrados (Figuras 9 y 10) como braquiópodos (por ejemplo, *Rhynchonellida* y *Terebratulida*), belemnites y ammonites de hasta más de 20 centímetros (Figura 11), como *Hildoceras bifrons* (Bruguière, 1789), usado como fósil guía.

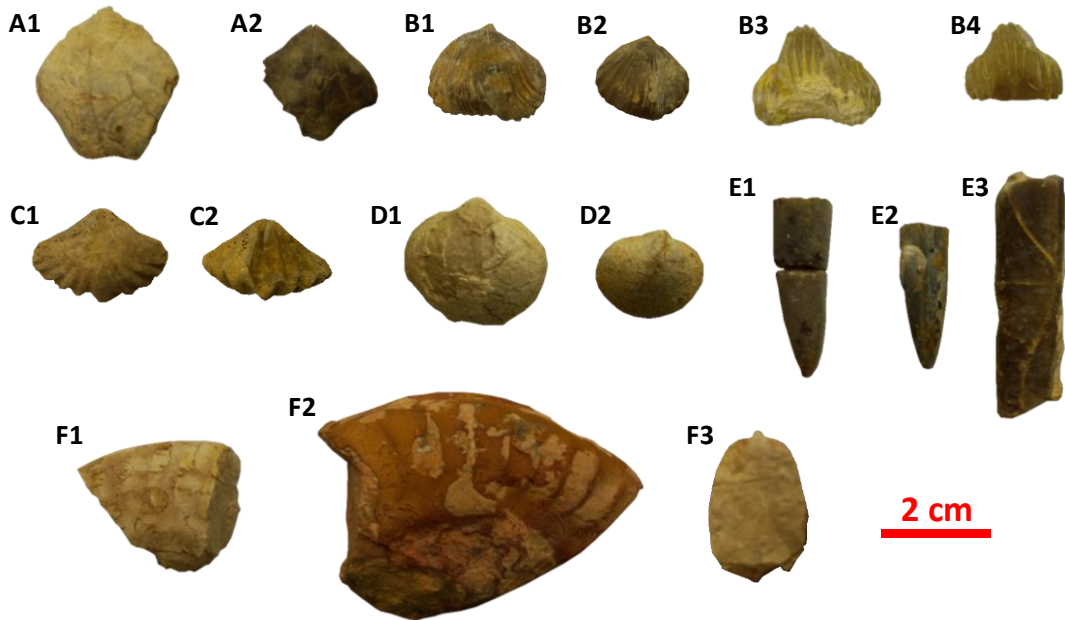


Figura 9: Fotografías de restos de invertebrados de la Formación Turmiel en el yacimiento Mas del Gato 2. En ellas se pueden ver braquiópodos como *Zeilleria* (A), rinconélidos (B), espiriféridos (C) u otros braquiópodos (D), belemnites (E) y ammoniteos como *Hidoceras bifrons* (F).

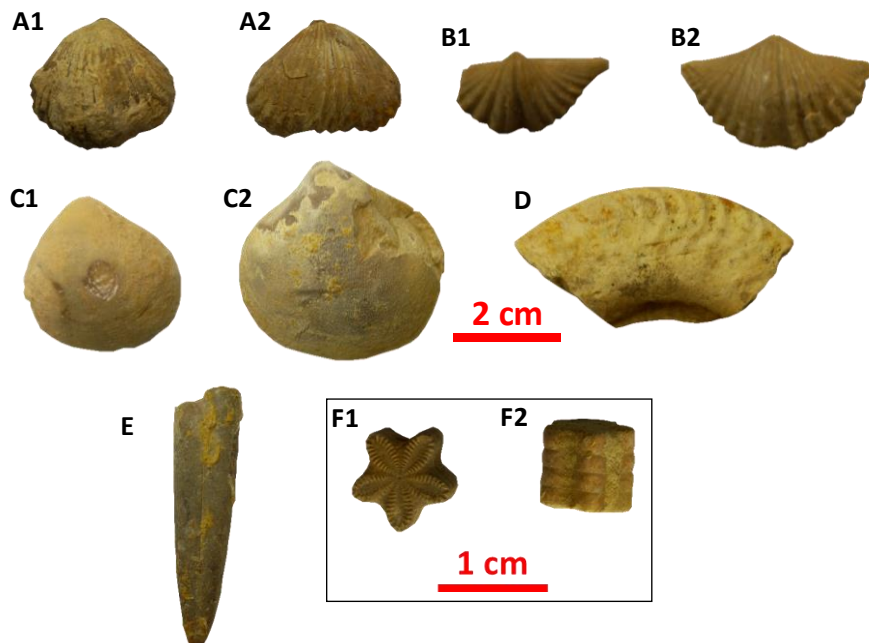


Figura 10: Fotografías de los restos de invertebrados de la Formación Turmiel encontrados en el yacimiento PEPA. En ellas se pueden ver braquiópodos como rinconélidos (A), espiriféridos (B) y otros braquiópodos (C), ammoniteos como *Hidoceras bifrons* (D), belemnites (E) o crinoideos (F).



Figura 11: Fotografías de campo de un resto de ammonoideo que se corresponde con *Hildoceras bifrons* encontrado en el yacimiento PEPA. Se puede apreciar que su tamaño, en el caso de estar completo podría superar los 20 cm.

## 7.2. Análisis paleontológico

Este estudio se ha centrado en la descripción e identificación de los restos de vertebrados restaurados (ANEXO 1), pese a que en los yacimientos estudiados también se han encontrado restos de invertebrados.

Se ha observado que los restos de vertebrados aparecen desarticulados y fragmentados y que presentan principalmente coloraciones amarillentas, marrones y ocre. Del yacimiento PEPA se incluyen dos vertebras y un fragmento de una tercera, una falange y un fragmento de diente. Entre los restos los restos del yacimiento Mas del Gato 1 hay partes del esqueleto craneal, que incluyen fragmentos del dermatocráneo que incluyen dientes; del condrocráneo y del esplanocráneo. También hay partes del esqueleto postcraneal, que incluyen parte de un apéndice, de la cintura escapular y otros huesos como costillas. Además, los restos incluyen otros fragmentos de hueso y esquirlas en los que, debido a su estado de conservación, no se ha encontrado ninguna característica relevante que permita su identificación.

### 7.1.1. Paleontología sistemática

#### - Yacimiento Mas del Gato 1:

SAUROPSIDA Goodrich, 1916

ICHTHYOPTERYGIA Owen, 1840

ICHTHYOSAURIA de Blainville, 1835

PARVIPELVIA Motani, 1999

NEOICHTHYOSAURIA indet. Sander, 2000

**Material:** Cráneo incompleto de sigla MG1-1; parte del esqueleto apendicular, correspondiente a varios fragmentos de la articulación de la zona pectoral con siglas MG1-2, MG1-3 y MG1-4; la aleta delantera derecha incompleta, siglada como MG1-5; un fragmento de un húmero aislado, de sigla MG1-6; y del esqueleto axial, varios fragmentos de costillas, siglados como MG1-7.

**Rango estratigráfico:** Formación Cerro del Pez, Sección Mas del Gato 1, Pliensbachiense superior (Ariño).

**Descripción:**

**- Cráneo**

El cráneo (MG1-1) se encuentra incompleto (Figura 12). Este tiene una longitud aproximada de unos 50 cm. Se cuenta con parte del dematocráneo (premaxilar derecho, dentarios izquierdo y derecho, y postorbital derecho), del condrocráneo (opistótico derecho y supraoccipital) y del esplanocráneo (cuadrado derecho). La descripción de cada uno de estos elementos se detalla a continuación.

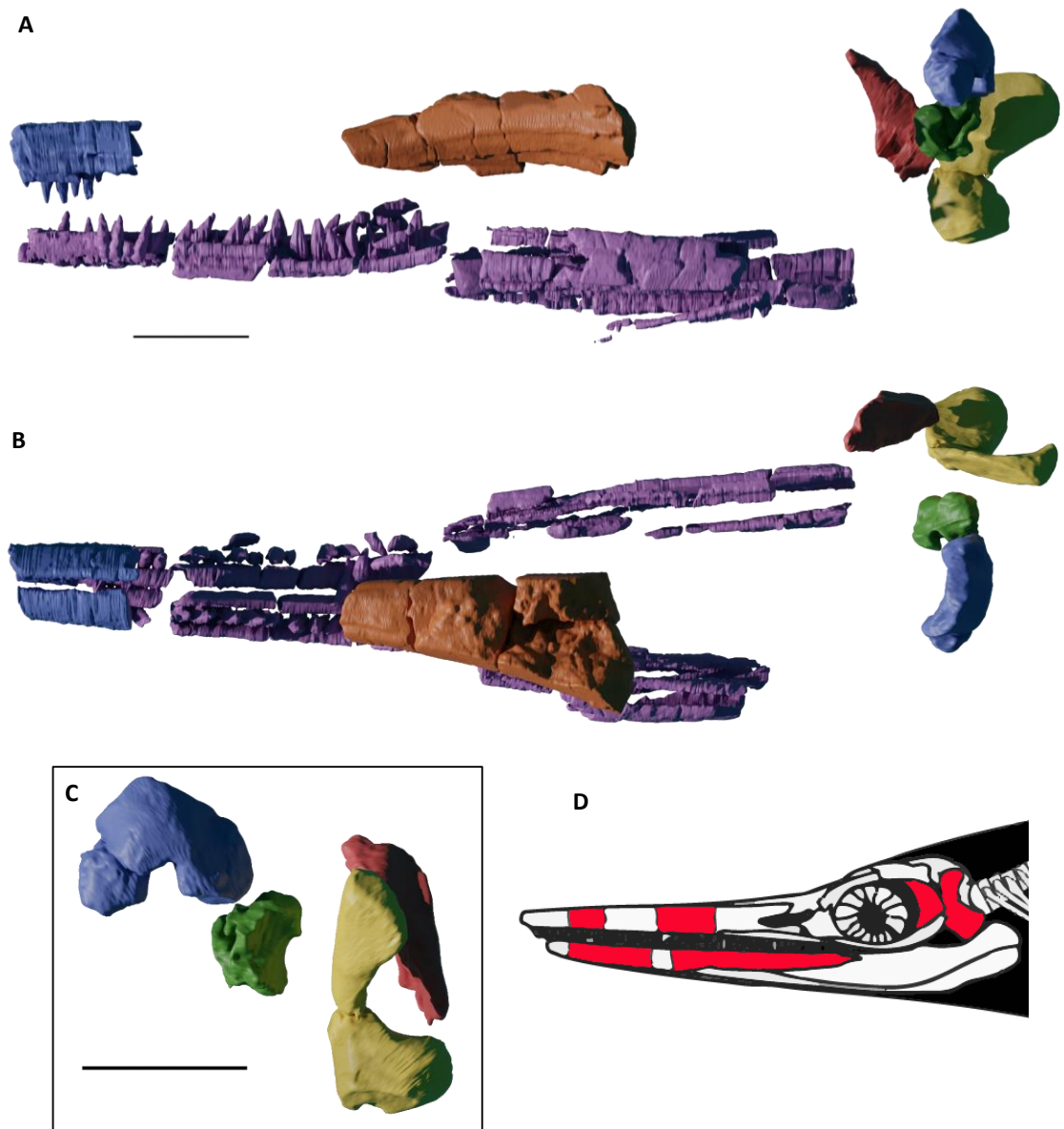


Figura 12: Modelos en tres dimensiones del cráneo MG1-1 en vistas lateral izquierda (A) y dorsal (B), y de los huesos de la región posterior del cráneo en vista posterior (C). Silueta lateral de un cráneo de ictiosaurio genérico mostrando en rojo los huesos preservados de MG1-1 (basado en *Temnodontosaurus* de Motani, 2016). Las líneas de escala tienen una longitud de 5 cm.

### **Premaxilar:**

Se trata de un fragmento de unos 5,5 cm correspondiente al premaxilar derecho MG1-1/1 (Figura 13). Además, gracias a la existencia de un molde externo se ha realizado la reconstrucción virtual del premaxilar izquierdo opuesto, de forma aproximada. En vista frontal, se puede observar cómo es el hueso en sección. Posee una forma de V invertida en la que se insertan los dientes. En vista lateral, se observa que en la zona labial hay un surco característico que recorre longitudinalmente el hueso. El fragmento cuenta además con hasta 6 dientes con un tamaño medio de hasta 2,5 cm. Se pueden observar dientes de menor tamaño que es posible que estén reemplazando a otros. Los dientes presentan una morfología cónica y en sección, un contorno circular. Además, se puede observar en vista lateral que están ligeramente curvados hacia la parte posterior de la mandíbula (Figura 13A). La implantación dental es aulacodonta, típica de la mayoría de los ictiosaurios, donde los dientes están situados en un surco (*aulakos*, en griego) (Figura 13C) y su profundidad es al menos igual a la altura de la corona (Mazin, 1983; Bertin et al., 2018). Además, las paredes lingual y labial tienen aproximadamente la misma altura (Figura 13B). Por lo tanto, ninguna pared ósea separa las posiciones adyacentes de los dientes a lo largo del premaxilar, diferenciándose así la dentición tecodonta, típica de arcosaurios y mamíferos, donde cada diente va insertado en un alveolo individualizado.

Además, se cuenta con un molde interno, siglado como MG1-1/2 (Figura 12), que por su forma podría corresponder a la región posterior del premaxilar, aunque no presenta características relevantes para su descripción.

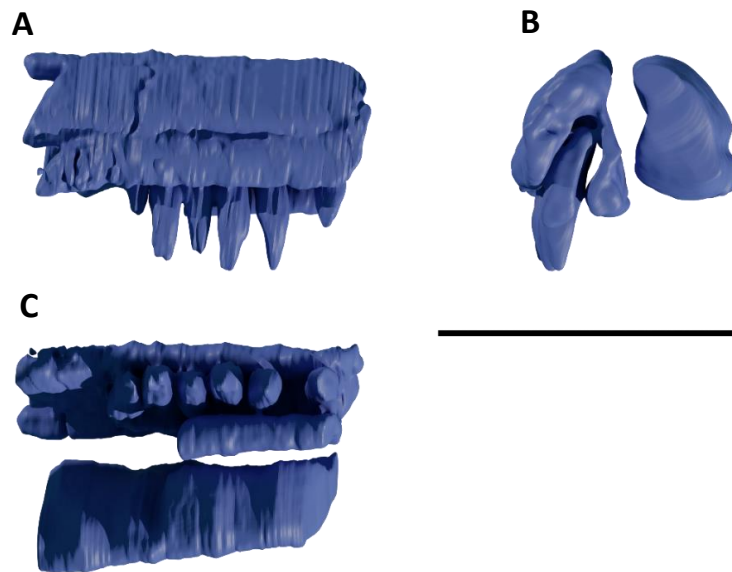


Figura 13: Modelo en tres dimensiones del premaxilar derecho MG1-1/1 y reconstrucción parcial del izquierdo en vistas lateral derecha (A), frontal (B) y ventral (C). La línea de escala mide 5 cm.

### **Dentario:**

Se han preservado parte de los dos dentarios, izquierdo y derecho MG1-1/3 (Figuras 12 y 14). Estos se encuentran fracturados en tres piezas diferentes. En conjunto, el tamaño máximo de ellos es de unos 18 cm de largo. Ambos dentarios se encuentran unidos medialmente por una larga sínfisis mandibular formando una mandíbula estrecha y alargada típica en los ictiosaurios. Se encuentra conservado, principalmente el hueso de la zona lingual. En cuanto a la región labial, está mejor conservada en el dentario izquierdo. La característica más relevante de este hueso es

el surco de implantación dental que se encuentra a lo largo del dentario en vista dorsal. Se han contado hasta 40 dientes, de tamaño similar, entre los dos dentarios. Tanto la dentición como el surco dental aulacodonto poseen las mismas características observadas en el premaxilar. Algunos de los dientes se encuentran aislados y separados de su posición original en los dentarios.

La preservación de otros huesos de la mandíbula inferior como el angular o el surangular es incierta. Esto se debe a que todos los fragmentos de MG1-1/2 presentan dientes o el surco de implantación dental, elementos ausentes en ambos huesos. El angular y el surangular suelen estar relegados a la zona posterior de la mandíbula, región que no se ha preservado. Aunque es posible que en los fragmentos de dentario que se encuentran en la zona posterior del cráneo se hayan preservado pequeños fragmentos de hueso que puedan corresponder al angular o al surangular (Figura 12). Debido a la preservación no podemos saber con exactitud si se trata de estos huesos.

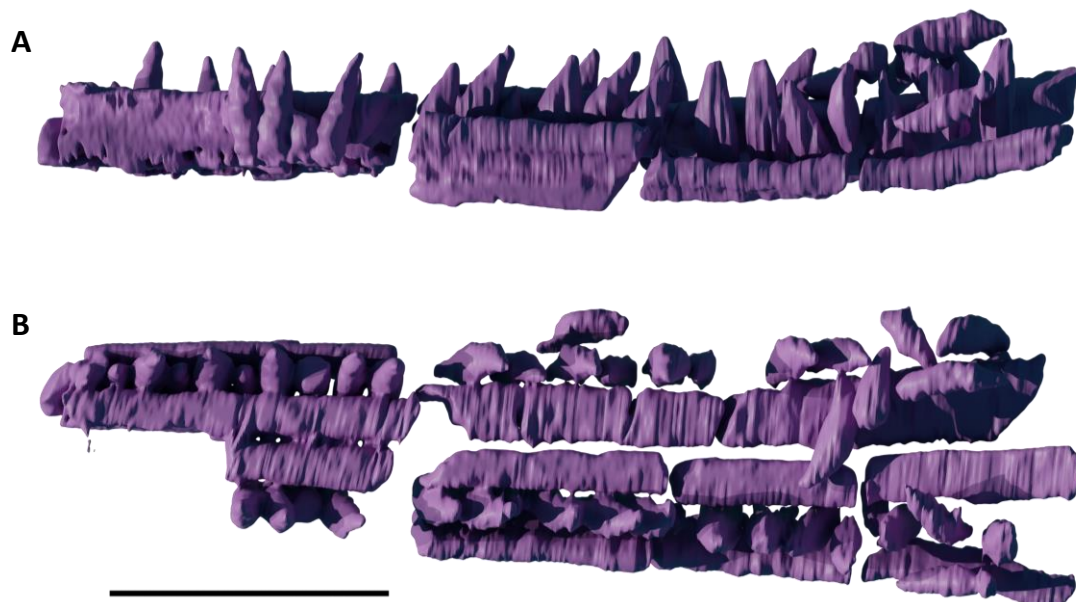


Figura 14: Modelos en tres dimensiones de los fragmentos más representativos de los dos dentarios MG1-1/3 en vistas lateral (A) y dorsal (B). La línea de escala mide 5 cm.

#### ***Postorbital:***

Se ha recuperado el postorbital derecho (MG1-1/4) (Figura 15). Este se encuentra incompleto ya que se aprecian bordes con superficies de rotura. Tiene una forma alargada y curvada que se va estrechando progresivamente hacia la región dorsal del cráneo, si se observa en vista lateral. Posee un tamaño aproximado de 6,5 cm de largo y entre 2 y 3 cm de ancho. En vista posterior, se observa que el postorbital presenta una superficie dorsal aplanada y rugosa, sobre la que se encontraría el escamoso, mientras que la superficie anteroventral es cóncava.

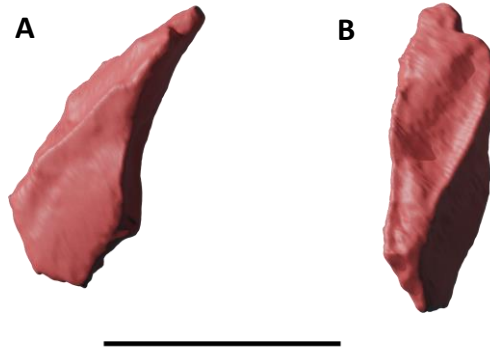


Figura 15: Modelo en tres dimensiones del postorbital MG1-1/4 en vista lateral derecha (A) y en vista posterior (B), donde se observa la superficie de contacto con el hueso escamoso. La línea de escala mide 5 cm.

**Opistótico:**

Se trata del opistótico derecho MG1-1/5 que se encuentra completo (Figura 16.2). Este tiene un tamaño aproximado de 3 cm. La característica más relevante para su identificación es la impresión de los canales semicirculares de la cápsula ótica. Esta se ve reflejada en vista medial mediante un surco en forma de V (Figura 16.2B). También se puede identificar un corto proceso paroccipital en la parte superior del hueso.

**Supraoccipital:**

El supraoccipital MG1-1/6 (Figura 16.1), se encuentra mal preservado. En vista posterior, tiene una anchura lateromedial de unos 5 cm, y en vista lateral tiene una longitud anteroposterior de 2,5 cm y una altura dorsoventral de unos 4 cm. Posee un contorno redondeado en vista anteroposterior y una morfología arqueada, ya que este hueso bordea al foramen magnum. La cara posterior es convexa mientras que la anterior, es cóncava. Debido a su estado de conservación, muchas de las características relevantes del supraoccipital no se pueden llegar a identificar, como por ejemplo las facetas de los exoccipitales en sus extremos. Sí que se puede llegar a identificar la faceta parietal en la parte superior del hueso (Figura 16.1B), aunque se encuentra mal conservada.

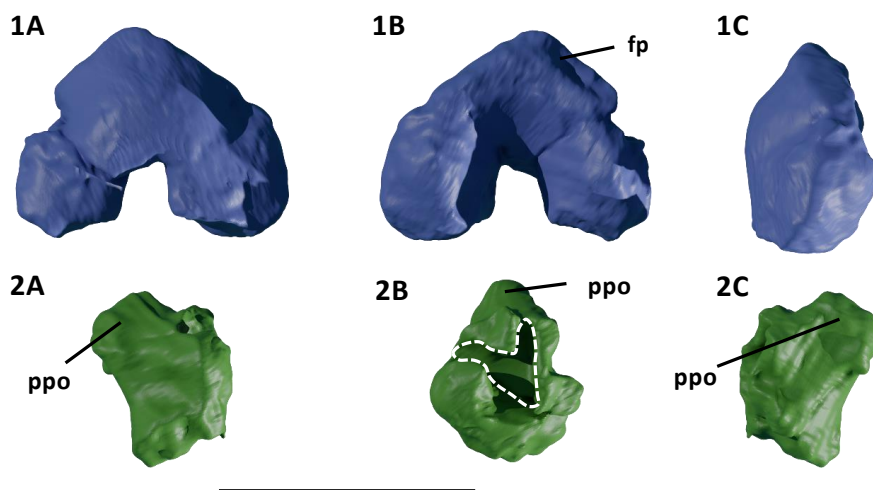


Figura 16: Modelos en tres dimensiones del supraoccipital MG1-1/6 (arriba) en vistas posterior (1A), anterior (1B) y lateral derecha (1C), y del opistótico derecho MG1-1/5 (abajo) en vistas anterior (2A), medial (2B), en la que se observa el surco para los canales semicirculares dibujado con línea discontinua blanca, y posterior (2C). La línea de escala mide 5 cm. Abreviaturas anatómicas: fp., faceta parietal; ppo., proceso paroccipital.

**Cuadrado:**

Se trata del cuadrado derecho MG1-1/7 (Figura 17). Tiene un tamaño aproximado de 8 cm en su dimensión máxima. Se caracteriza por tener una forma similar a la de una oreja. El extremo articular, que se encuentra en la parte ventral, tiene una morfología redondeada y muy engrosada y, además, presenta una fuerte convexidad, mientras que la parte dorsal es mucho más delgada. En la región dorsal, la cara externa presenta una superficie convexa y en ella se puede identificar la faceta para el estapedio o estribo mientras que la cara interna es cóncava. El borde anterior se encuentra parcialmente erosionado por lo que no se puede apreciar la morfología real del mismo.

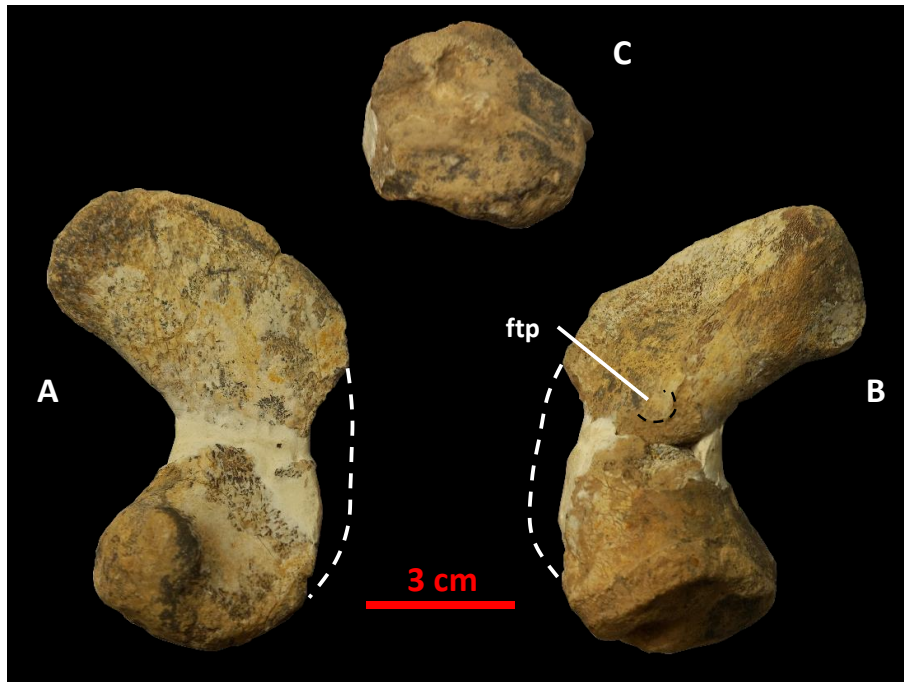


Figura 17: Fotografías correspondientes al cuadrado derecho MG1-1/7 en vistas laterales derecha (A) e izquierda (B) y del extremo articular (C). Con línea discontinua blanca se indica la morfología aproximada de la parte de hueso faltante. Abreviaturas anatómicas: ftp., faceta para el estapedio.

**- Esqueleto apendicular**

**Clavícula:**

Se trata de una clavícula derecha mal preservada, con un tamaño de unos 13 cm de largo (MG1-2) (Figura 18). Presenta una forma alargada y estrecha. La parte proximal presenta su superficie dorsal cóncava, mientras que la distal es convexa y posee una mayor curvatura. Distalmente, se aprecia un estrechamiento y una torsión ventral que da lugar a una parte distal cuyas superficies dorsal y ventral están aplanadas.

Esta clavícula se reconstruyó previo a la realización de este estudio con el uso de masilla para corregir las grietas que presentaba. Es posible que esta labor de restauración haya podido resultar en una variación de la morfología original de alguno de sus bordes.



Figura 18: Fotografías de la clavícula derecha MG1-2 en vistas ventral (A) y posterior (B).

**Coracoides:**

Se ha preservado solo un fragmento de uno de los coracoides (MG1-3) (Figura 19). Este tiene un tamaño aproximado de 5,5 cm en su máxima dimensión. La característica que permite identificar este fragmento es la presencia de la faceta intercoracoidal, como se indica en otros estudios de referencia (Zverkov *et al.*, 2015; Zverkov y Prilepskaya, 2019). Esta faceta indica la posición donde se articularían los dos coracoides. En torno a esta faceta, se observa que el hueso tiene una mayor anchura (en torno a 3,5 cm) y que progresivamente se va estrechando hacia la región distal. En este fragmento de hueso las superficies dorsal y ventral presentan una ligera concavidad que va desapareciendo conforme se aleja del borde del hueso donde se encuentra la faceta intercoracoidal.

No se ha podido identificar si se trata de un fragmento del coracoides derecho o del izquierdo. Esto se debe a que las características que posee el fragmento de hueso no son suficientes para determinar su posición.

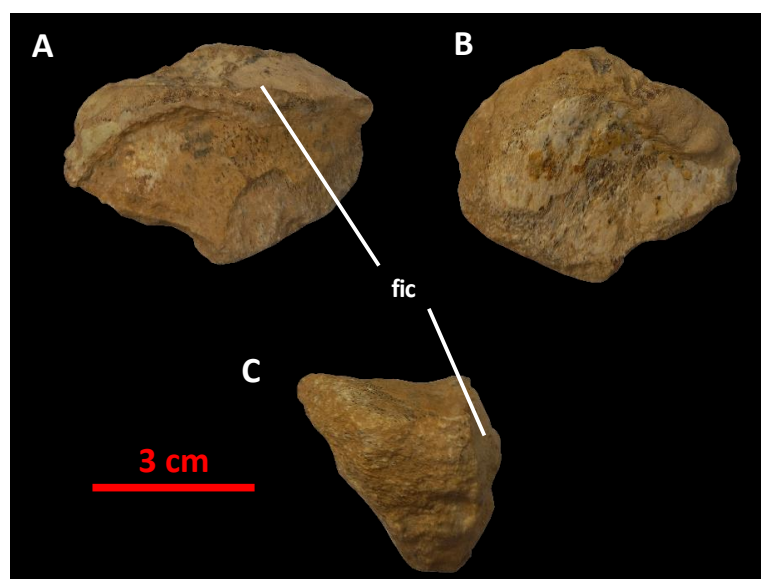


Figura 19: Fotografías del coracoides MG1-3 en vistas dorsal (A), ventral (B) y lateral (C). Abreviaturas anatómicas: fic., faceta intercoracoidal.

### **Escápula:**

Se ha recuperado un fragmento de cada una de las escápulas izquierda MG1-4/1 (Figura 20.1) y derecha MG1-4/2 (Figura 20.2). Ambos fragmentos tienen un tamaño similar, entre 5 y 6 cm. En ellos se pueden identificar las facetas del coracoides y del glenoides (fácilmente observables en el fragmento de la escápula izquierda), por lo que ambos fragmentos corresponden al mismo extremo de cada una de las escápulas. La faceta del coracoides se refleja como una superficie cóncava, mientras que la del glenoides es convexa. Ambas facetas articulares presentan una superficie rugosa. Las caras mediales y laterales de las escápulas presentan una superficie lisa.

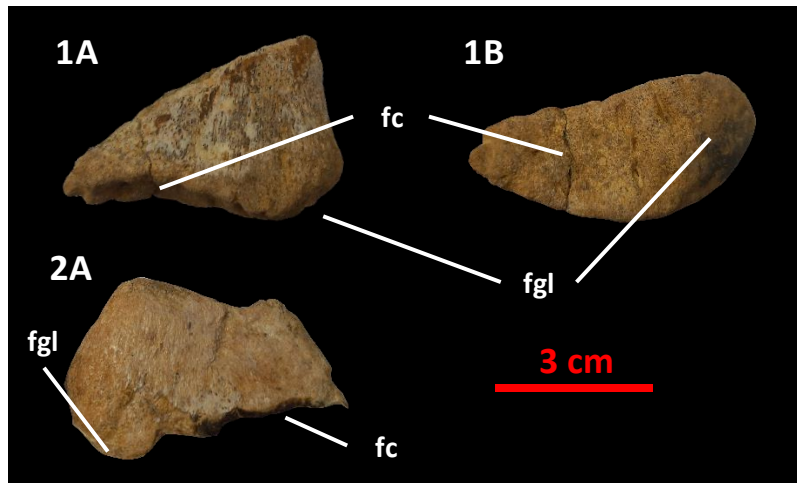


Figura 20: Fotografías de los fragmentos de las escápulas. La escápula izquierda MG1-4/1 se muestra en vistas lateral (1A) y medial (1B). La escápula derecha MG1-4/2 se muestra solo en vista lateral (2A) ya que la cara correspondiente a la vista medial está cubierta por sedimento. Abreviaturas anatómicas: fc., faceta del coracoides; fgl., faceta del glenoides.

### **Aleta delantera:**

Se han preservado elementos de la extremidad anterior (aleta) derecha (MG1-5), y aunque se encuentra completa, faltan algunos elementos como falanges y un fragmento del húmero (Figura 21). Entre los huesos que la conforman se pueden encontrar el húmero (Figura 22.1), el radio (Figura 23A), la ulna (Figura 23B) y varias falanges. A continuación, se describirán algunos de los huesos de la aleta más representativos por separado.



Figura 21: Modelo en tres dimensiones de la aleta delantera derecha MG1-5 reconstruida. En ella se pueden observar los diferentes huesos que la forman. Aparecen coloreados en morado los fragmentos correspondientes al húmero (h), en rojo, el radio (r) y en naranja, la ulna (u). En amarillo se pueden apreciar hasta 18 huesos correspondientes al resto de falanges del apéndice. La línea de la escala tiene una longitud de 5 cm. Otras abreviaturas anatómicas: i., intermedio.

### **Húmero:**

Se recuperaron dos húmeros, aunque se encuentran fracturados. Del izquierdo (MG1-6) solo se ha preservado un único fragmento de la parte proximal. El húmero derecho MG1-5/1, que forma parte de aleta casi completa, cuenta con dos piezas correspondientes a la región proximal y a la distal, habiéndose perdido la región central de la diáfisis. En este húmero derecho, que se encuentra más completo (Figura 22.1), la parte proximal tiene una anchura aproximada de 6,5 cm y la parte distal, de 7,5 cm. La pieza proximal, donde se encontraría la articulación con la zona pectoral, tiene una forma trapezoidal y una superficie convexa y nodular. En ella se pueden encontrar varias características identificables, como el proceso dorsal, que se extiende oblicuamente hacia delante en la superficie dorsal y la cresta deltopectoral, que se encuentra en la superficie ventral. Además, se observa que el proceso dorsal es más pronunciado que la cresta deltopectoral. En la pieza distal, se aprecia que las superficies dorsal y ventral están aplanadas. También se pueden distinguir características identificables como son las facetas para el radio y la ulna. Estas tienen una forma convexa en vista dorsal y forman entre ellas un ángulo de 130°. La faceta para el radio es ligeramente más alargada, llegando a medir unos 4,5 cm, mientras que la del radio mide unos 3,5 cm.

El fragmento del húmero izquierdo MG1-6 (Figura 22.2) pertenece a la parte proximal y tiene un tamaño de 5,5 cm. En él también se puede identificar el proceso dorsal en vista dorsal. La cresta deltopectoral no es visible ya que la cara ventral está fracturada.

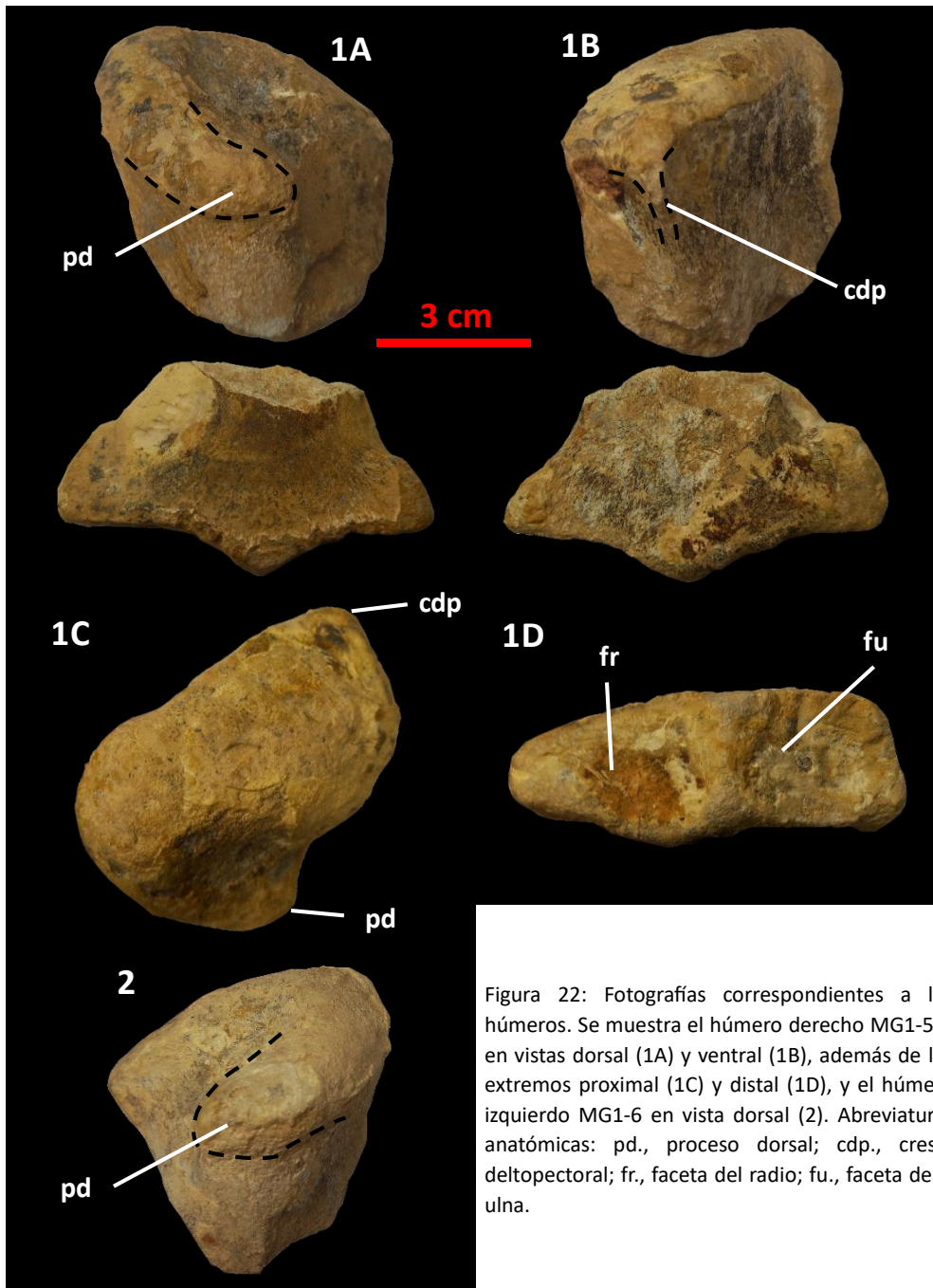


Figura 22: Fotografías correspondientes a los húmeros. Se muestra el húmero derecho MG1-5/1 en vistas dorsal (1A) y ventral (1B), además de los extremos proximal (1C) y distal (1D), y el húmero izquierdo MG1-6 en vista dorsal (2). Abreviaturas anatómicas: pd., proceso dorsal; cdp., cresta deltopectoral; fr., faceta del radio; fu., faceta de la ulna.

#### ***Elementos distales del miembro anterior:***

Se han identificado el radio (MG1-5/2), la ulna (MG1-5/3) y hasta 19 huesos que se corresponden con falanges (MG1-5/4). El miembro se encontraba desarticulado, por lo que no se ha podido determinar el número total de falanges que lo formarían.

El radio (Figura 23A) y la ulna (Figura 23B) se corresponden con los huesos de mayor tamaño de esta región. En ellos se pueden observar diferentes facetas como las del radio, la ulna y la del intermedio. Estos dos primeros huesos tienen un tamaño de unos 5 cm y poseen una forma más o menos hexagonal. El intermedio, que se encontraría entre estos dos huesos se reconoce por su clara forma hexagonal (Figura 21). La morfología y tamaño de las falanges es variada (Figura

21). Se pueden encontrar formas más hexagonales hacia la parte proximal. Hacia la parte distal se aprecian primero formas cuadrangulares y conforme nos acercamos al extremo de la aleta, formas subcirculares. Las superficies dorsal y ventral de las falanges son generalmente aplanadas. En el borde de ataque de la aleta se encuentran hasta dos falanges que poseen un pequeño surco en una de sus caras. Esta característica, observada en otros ictiosaurios estudiados ha permitido situar estas falanges en su posición anatómica a la hora de la reconstrucción de la aleta. El resto de las falanges se ha situado en su posición según su forma y tamaño, según los criterios de Motani (1999). El tamaño de las falanges disminuye progresivamente hacia la parte distal.

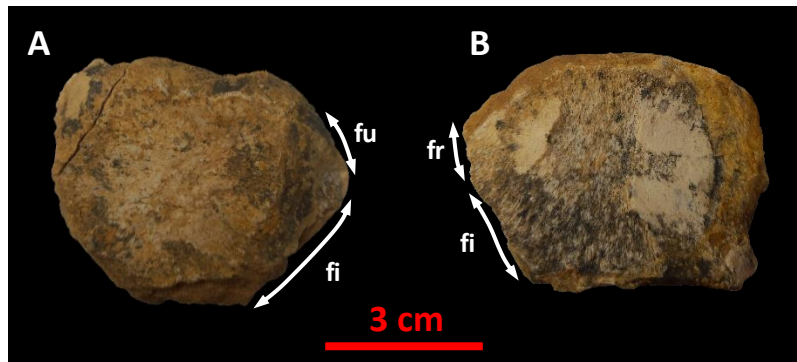


Figura 23: Fotografías del radio MG1-5/2 (A) y la ulna MG1-5/3 (B) en vista dorsal. Abreviaturas anatómicas: fu., faceta de la ulna; fr., faceta del radio; fi., faceta del intermedio.

#### - Esqueleto axial

En cuanto al esqueleto axial, no se han encontrado ningún resto correspondiente a la columna vertebral del animal. Solo se han identificado diferentes de costillas de diferente morfología y tamaño (Figura 24).

#### **Costillas:**

En cuanto a las costillas que se han podido recuperar, se observa que están fracturadas. Se han identificado hasta ocho fragmentos costillas (MG1-7) estando todas ellas incompletas (Figura 24). Dado que estos fragmentos se encuentran en bloques diferentes de roca no se ha podido determinar si más de un fragmento corresponde a una misma costilla. El tamaño de los fragmentos, de forma alargada, es variable, variando desde 3 hasta 8 cm de largo. En algunas de ellas se puede apreciar que poseen una ligera constricción sobre su superficie dando una forma similar a un reloj de arena o un ocho. Se observa que morfología de las mismas varía entre ellas, pudiéndose encontrar hasta 6 fragmentos con esta forma de ocho en sección, y 2 con forma subcircular que se corresponden con los fragmentos de costilla de menor tamaño. En los fragmentos más largos, se puede llegar a apreciar la curvatura de la costilla. Dado que cada fragmento se ha encontrado desarticulado y de forma aislada no se puede determinar si corresponden al lado derecho o al izquierdo.



Figura 24: Modelos en tres dimensiones de los diferentes fragmentos de costillas (MG1-7) encontrados. De izquierda a derecha, las 6 primeras presentan en sección una morfología en 8 y las dos últimas, una morfología subcircular. La línea de escala mide 5 cm.

### **- Yacimiento PEPA:**

SAUROPSIDA Goodrich, 1916

ICHTHYOPTERYGIA, Owen, 1840

ICHTHYOSAURIA, de Blainville, 1835

PARVIPELVIA Motani, 1999

NEOICHTHYOSAURIA indet. Sander, 2000

**Material:** Dos vértebras completas con siglas EMPZ 94/58/1 y EMPZ 94/58/2. Una falange aislada con sigla EMPZ/94/58/3. Un fragmento de vértebra con sigla EMPZ 94/58/4. Una corona dental incompleta con sigla EMPZ 94/58/5.

**Rango estratigráfico:** Formación Turmiel. Sección PEPA, Toarciense (Ariño)

### **Descripción:**

#### ***Vértebras:***

Se trata de dos vértebras mal preservadas (EMPZ 94/58/1 y EMPZ 94/58/2) (Figura 25). Presentan múltiples grietas en su superficie por las que se puede producir la fragmentación de las vértebras en varias piezas. Tienen forma de disco bicóncavo con las superficies anterior y posterior cóncavas. En el caso de la superficie posterior, esta se encuentra parcialmente cubierta de sedimento que no ha sido retirado durante la preparación, para evitar el desarme de la vértebra. La mitad ventral de las vértebras tiene un contorno circular mientras que la mitad dorsal es menos redondeada. Poseen un tamaño muy similar de entre 12,5 y 13,6 cm de ancho, unos 11,5 cm de alto y una longitud de entre 6,5 y 7 cm. Las crestas neurales se encuentran como crestas bajas y estrechas, y poseen un canal neural ancho, de unos 4 cm. En EMPZ 94/58/2 (Figura 25.2) se aprecia que el canal neural está relleno de sedimento (aunque se ha retirado parcialmente durante la preparación) y que una de las crestas neurales no se puede llegar a reconocer ya que incluso está cubierta por la concha de un invertebrado. Las diapófisis y las parapófisis, de las que partirían las costillas, se encuentran fusionadas en ambas vértebras por lo que dan lugar a lo que se conoce como proceso transversal, que tiene unos 3 cm de longitud.

Dada la forma de las vértebras y la posición del proceso transverso se han interpretado como vértebras dorsales posteriores o caudales anteriores, presentando similitudes a las estudiadas en otros trabajos (Fischer *et al.*, 2012; Brusatte *et al.*, 2014; Yakupova y Akhmedenov, 2024).

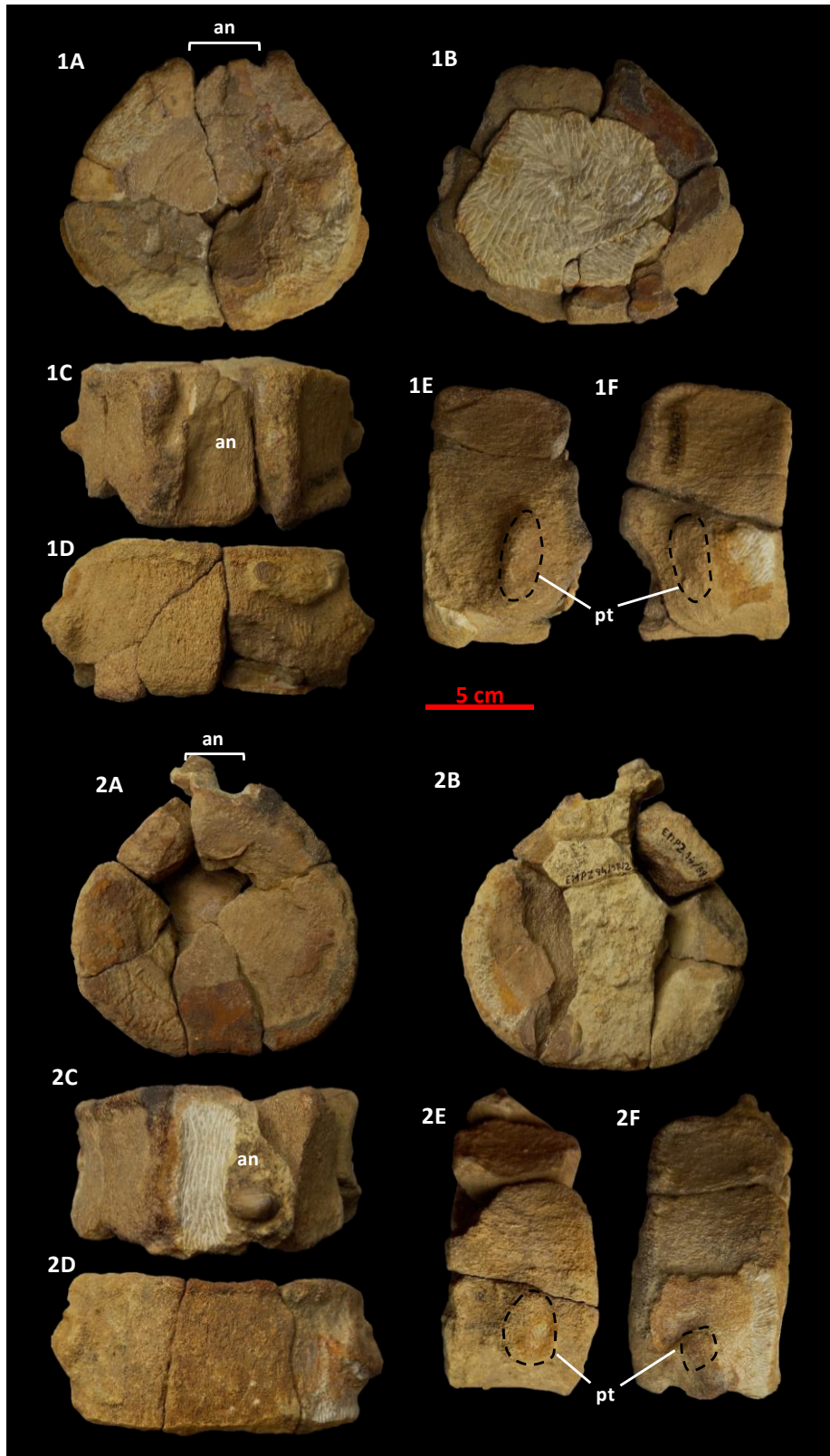


Figura 25: Fotografías de las vértebras EMPZ 94/58/1, en vistas anterior (1A), posterior (1B), dorsal (1C), ventral (1D), lateral izquierda (1E) y lateral derecha (1E), y EMPZ 94/58/2, en vistas anterior (2A), posterior (2B), dorsal (2C), ventral (2D), lateral izquierda (2E) y lateral derecha (2E). Abreviaturas anatómicas: an., arco neural; pt., proceso transverso.

Además, se cuenta con un pequeño fragmento de vértebra de entre 4 y 5 centímetros de tamaño (EMPZ 94/58/4) (Figura 26.2). A diferencia de las anteriores vértebras descritas, no se han podido encontrar estructuras óseas significativas que sean descriptibles.

Su identificación como vértebra se ha realizado mediante comparación con las dos vértebras que se encuentran completas, al presentar facetas similares, sobre todo en la cara que se corresponde con la vista lateral de estas.

**Falange:**

Se trata de un hueso de una falange aislada con forma de disco (EMPZ 94/58/3) (Figura 26.1). Presenta un contorno ovalado, con un tamaño de unos 6 cm, en su diámetro mayor y 4 cm en su diámetro menor. El grosor del hueso es de aproximadamente 2 cm.

Dado su tamaño, se podría interpretar que esta falange representaría un elemento proximal dentro de la aleta.

**Corona dental:**

Se trata de un fragmento de corona dental mal preservado (EMPZ 94/58/5) al que le falta el ápice, y posiblemente también parte de la raíz. Su tamaño aproximado es de unos 2 centímetros de altura (Figura 26.3). En vista apical se aprecia que la forma de la base es ovalada ya que presenta una ligera compresión labiolingual. También presenta estriación que se extiende desde la base hacia el ápice por su superficie. Se aprecia que aún presenta parte del esmalte en su superficie.

Pese a que se trata de un solo fragmento, se podría suponer que esta corona, en el caso de estar completa, tendría una forma cónica, característica de este tipo de reptiles.

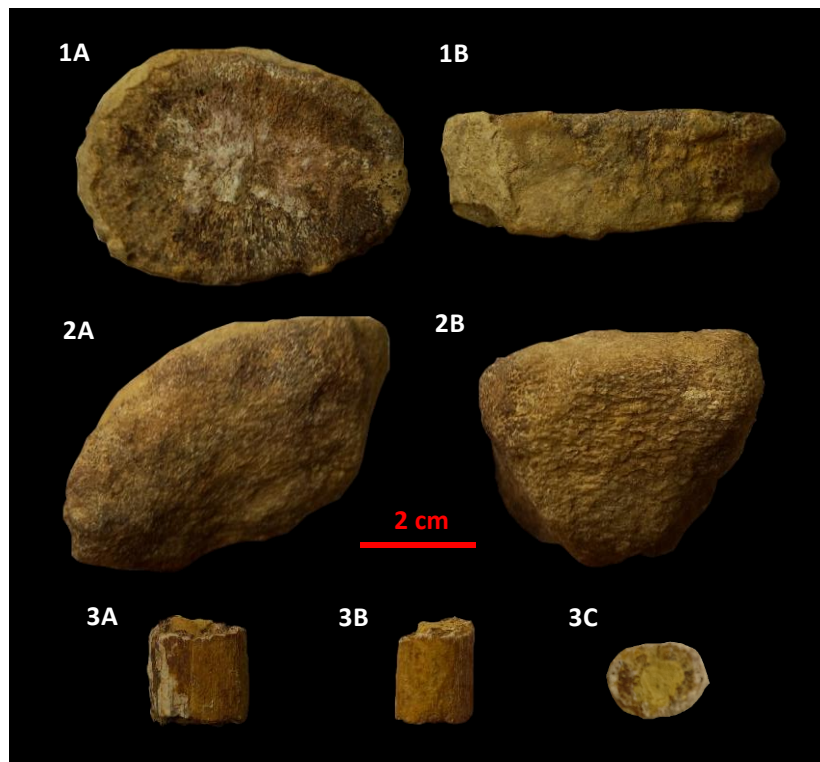


Figura 26: Fotografías de la falange EMPZ 94/58/3 en vista dorsal o ventral (1A) y en vista lateral (1B); fragmento de vértebra EMPZ 94/58/4 en vista anterior (2A) y lateral (2B); y fragmento de diente EMPZ 94/58/5 en vistas lateral (3A), mesial o distal (3B) y apical (3C).

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1. Interpretación de la edad de los restos y de la contextualización de los yacimientos

Antes de comenzar este estudio, los datos referentes a la localización de los yacimientos proporcionados por quienes encontraron los restos (José María Abad y María José Mayayo) indicaban que, la edad de ambos era Toarciense y, además, habían sido hallados en la Fm. Turmiel. Pero, a la hora de realizar este estudio, la consideración sobre el contexto estratigráfico de los fósiles estudiados varió ligeramente.

En la primera campaña de campo se pudo confirmar la ubicación y edad del yacimiento PEPA. Los restos del yacimiento PEPA, eran del Toarciense y, además, que habían sido recuperados en la formación Turmiel. La formación geológica fue reconocida al instante en este yacimiento ya que se encontraron numerosos restos de *Hildoceras bifrons* (fósil guía de la Fm. Turmiel) (Goy *et al.*, 1976) y de otros restos de invertebrados que confirmaban la presencia de la Fm. Turmiel, además de la propia información geológica sobre la litología y estratigrafía observable en ese punto geográfico.

La duda surgió con la procedencia de los fósiles del yacimiento MG1. De este yacimiento se contaba con la ubicación proporcionada por la persona que halló y donó los restos, y por fósiles de ammonoideos correspondientes a la especie *Hildoceras bifrons*. Esto provocó que en un primer momento todos los restos fueran considerados como toarcienses y pertenecientes a las calizas y margas de Turmiel. Pero, al realizar la primera visita a la zona de campo para este estudio, se reveló que la información solo era parcialmente correcta.

Al levantar el perfil estratigráfico de la zona (que incluía los dos yacimientos de los que se han estudiado los fósiles de ictiosaurio) se interpretó que la formación geológica presente en este punto debía tener mayor antigüedad. Dado que la serie estratigráfica se encontraba concordante, según la bibliografía, se identificó la Fm. Barahona, de edad Pliensbachiense superior (Goy *et al.*, 1976), bajando en la serie estratigráfica y partiendo desde el yacimiento PEPA, correctamente contextualizado. Uno de los criterios fue observar la litología, compuesta por calizas tabulares más competentes que los materiales encontrados en el punto geográfico correspondiente al yacimiento PEPA. Después, bajando en la serie hasta llegar al yacimiento MG1, se observó que se volvía a cambiar de unidad geológica, reconociéndose calizas y margas, diferentes a los materiales de la Fm. Barahona. Por lo que el yacimiento MG1 debía estar estratigráficamente por debajo de las formaciones Turmiel y Barahona ya que la serie se encontraba concordante y no había evidencias de estructuras tectónicas que pudieran haber producido un cambio en la serie como fallas o pliegues. Debido a esto se revisó la bibliografía de la zona sobre la estratigrafía y se observó que la formación que se encontraba presente en la zona por debajo de las otras dos citadas era la Fm. Cerro del Pez (Goy *et al.*, 1976). Esto apoyado a los materiales y a los fósiles de invertebrados encontrados en MG1 indicaba que este yacimiento se encuentra en esa formación geológica. Como consecuencia, se interpretó que los restos fósiles proporcionados para este estudio estaban mezclados y que los ammonites con los que se contaba al principio no pertenecían al yacimiento MG1. Esto también se confirmaba al no encontrarse ejemplares de *Hildoceras* en el yacimiento durante el trabajo de campo. Esto supuso un cambio importante en la edad de los restos de ictiosaurio de MG1 ya que se trataba de unos restos más antiguos de lo que se pensaba en un principio.

## 8.2. Interpretación del depósito de restos fósiles, modo tafonómico y comparación entre yacimientos y con otros ejemplos

En cuanto al modo tafonómico, se ha interpretado que tras la muerte de los individuos y la posterior descomposición del tejido blando (esqueletización), los restos se desarticulaban en gran medida. De ahí que solo se puedan encontrar algunas vértebras aisladas y no una columna completa, por ejemplo. La presencia de rinconélidos en ambos yacimientos con suturas en zigzag son un indicativo de un ambiente de alta energía, como por ejemplo el producido por el oleaje. En este tipo de ambientes es mucho más probable que se produzca la desarticulación y fragmentación de los restos previo a su acumulación y sedimentación. En el caso de ambos yacimientos, dado que se han recuperado partes del esqueleto que se encuentran próximas y en relación anatómica (parte anterior del esqueleto para los fósiles de MG1, y vértebras de la misma región de la columna vertebral para los de PEPA), se interpreta que los restos sufrieron un transporte bajo, y, por tanto, serían parautóctonos.

A continuación, se produciría su acumulación y enterramiento. Posteriormente, durante la fosildiagénesis, se produciría la cementación y alteración de los restos. Se produciría también el relleno de cavidades que acabarían dando lugar a moldes. También se produciría la deformación y la disolución de algunos restos, como en el caso de los fósiles del cráneo de MG1, perdiéndose en el proceso parte del hueso o modificándose su posición original a una nueva.

También hay que añadir que los restos han podido estar durante un tiempo muy prolongado bajo exposición aérea actual lo que ha podido favorecer también a su meteorización debido a las inclemencias meteorológicas. Por último, la acción humana también ha podido influir en el estado de los restos. Esto se debe a que se pueden encontrar sendas utilizadas por vehículos que atraviesan los yacimientos, por lo que los restos que se pudieran encontrar se han podido remover a la hora de abrir y utilizar dichas sendas. A esto hay que añadir que la forma de extracción de los restos, atendiendo principalmente a los recuperados del yacimiento MG1, que no pudo ser lo suficientemente cuidadosa debido a la urgencia de la excavación, por lo que se dio bastante fracturación y deterioro de estos. Y, por último, habría que incluir el largo periodo de tiempo que estuvieron almacenados sin haberse realizado una preparación adecuada para el estudio de los restos.

Tras analizar los restos de los dos yacimientos, se ha observado que en ambos abundan los restos de invertebrados, que no han sido descritos en el presente estudio. Atendiendo a los restos de vertebrados, estudiados en este trabajo, estos aparecen de forma más aislada y son muy poco abundantes. Se observa una diferencia de color entre los restos que puede estar determinada por la litología de cada uno de los yacimientos. En los restos de la Fm. Cerro del Pez (MG1) se aprecian tonos ocres y marrón claro similares a los de las calizas margosas que los rodeaban mientras que en los restos de la Fm. Turmiel (PEPA) abundan tonos marrones más oscuros, siendo esa la tonalidad de las margas presentes en el yacimiento.

Una de las diferencias más notable se encuentra en el tamaño de los huesos. Esta se puede apreciar al observar el gran tamaño de la falange del yacimiento PEPA, en comparación con las del yacimiento MG1, siendo incluso más grande que el radio y la ulna de dicho yacimiento. Este dato, junto al gran tamaño de las vértebras de PEPA, indica que el individuo de este yacimiento debe ser de mayor tamaño que el descrito procedente de MG1. Sin embargo, dado el escaso solapamiento anatómico entre los restos recuperados en un yacimiento y en el otro, resulta difícil determinar si la diferencia de tamaño corresponde a dos individuos del mismo taxón en diferentes etapas ontogenéticas o a dos taxones diferentes de distinto tamaño.

En cuanto al estado de conservación de los restos, se aprecia que en ambos casos no es bueno. Gran parte de los restos presentan grietas o directamente están fragmentados en varias piezas. En algunos casos es el propio sedimento que rodea al fósil el que lo mantiene sujeto y evita su ruptura. Los restos de los dos yacimientos se encuentran desarticulados y aislados (característica observable en bloques de roca que contienen varios huesos).

Al comparar los restos de estos yacimientos con otros ejemplos mencionados antes en este trabajo y que también son de la Península Ibérica también se aprecian diferencias y parecidos. En cuanto al estado de conservación, ocurre lo mismo que en otros yacimientos: los restos se encuentran mal preservados y en la mayor parte de los casos fragmentados y aislados. Aunque en otros yacimientos como los mencionados de la Fm. Rodiles y la Fm. Coimbra, se han podido encontrar agrupaciones de huesos (Fernández et al., 2018), que incluso presentan restos articulados y en mejores condiciones de preservación como en los de la costa de Portugal (Sousa y Mateus, 2021) (Figura 27).

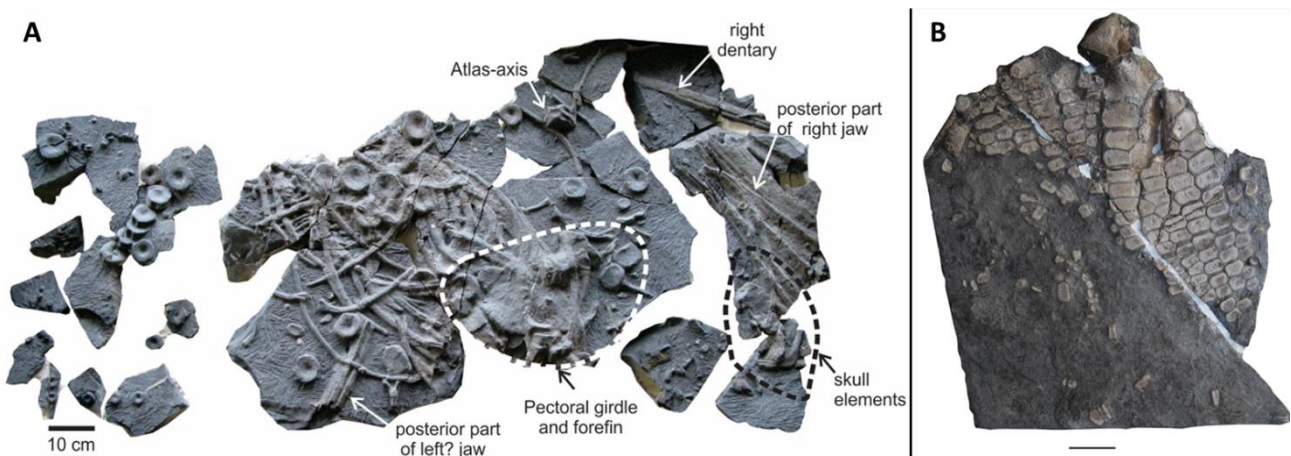


Figura 27: A) Agrupación de restos de ictiosaurio de la Fm. Rodiles (Tomada de Fernández *et al.*, 2018). B) Aleta delantera articulada de la Fm. Coimbra (Tomada de Sousa y Mateus, 2021).

Si se comparan los restos estudiados con otros ejemplos del norte de Europa, donde es mucho más común encontrar fósiles de estos reptiles marinos, las diferencias en el material fósil son aún mayores. En muchos casos se han podido encontrar yacimientos que incluyen varios ejemplares, algunos de ellos casi completos, articulados y con un buen estado de conservación (Maxwell *et al.*, 2012; Lomax y Massare, 2017; Maxwell y Cortés, 2020) (Figura 28)., lo que dista mucho del caso de los restos descritos en este trabajo.

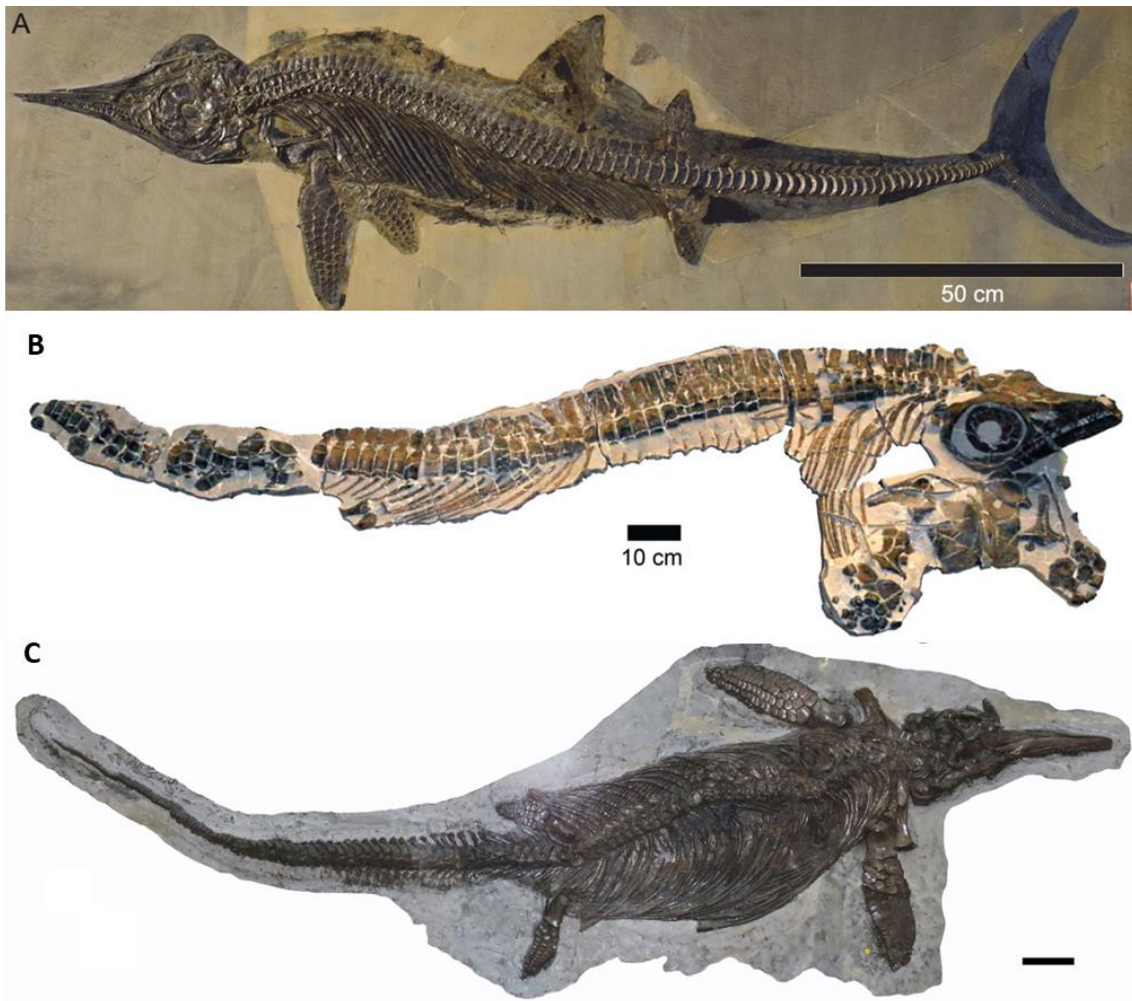


Figura 28: Fotografías de ictiosaurios europeos del Jurásico descritos que se encuentran casi completos y en buen estado de conservación. A) *Hauffiopteryx* (Tomada de Maxwell y Cortés, 2020), B) *Stenopterygius* (Tomada de Maxwell et al, 2012) y C) *Ichthyosaurus* (Tomada de Lomax y Massare, 2017).

### 8.3. Taxonomía de los restos fósiles

Al contextualizar los yacimientos y atribuirles una edad, tanto a ellos como a los restos, se pudo hacer una interpretación del taxón al que pertenecen. Para ello se observaron aquellas características diagnósticas que pudieran tener los huesos estudiados. Para los fósiles de MG1, las características más diagnósticas son:

- La morfología del cráneo reconstruido, que presenta un hocico estrecho alargado con gran cantidad de pequeños dientes cónicos muy similares y con implantación dental aulacodonta. Estas características nos permiten asignar al espécimen como un ictiosaurio, pero además incluirlo dentro del clado de los euictiosaurios Parvipelvia (Maxwell y Cortés, 2020).
- La morfología de la aleta delantera izquierda, con un húmero con solo dos facetas para radio y ulna, y una disposición de las falanges que se encuentra entre 4 y 5 dígitos. Esta sinapomorfía es típica de los ictiosaurios del clado Neoichthyosauria hasta el Jurásico Medio, momento en el que los ictiosaurios de este clado empiezan a presentar tres facetas en el húmero (Fischer et al., 2012).

Estas características, junto a la edad de los restos indica, atendiendo a filogenias previamente realizadas por otros autores (Motani, 1999; Thorne *et al.*, 2011; Ji *et al.*, 2016; Moon, 2017; Maxwell y Cortés, 2020) (Figura 27), que estos restos pueden pertenecer a un ictiosaurio del clado Neoichthyosauria. Dentro de este clado se incluyen los géneros *Suevoleviathan* y *Temnodontosaurus*, que serían descartados ya que presentan cierta heterodoncia que no está presente en la mandíbula de MG1 (Bennion *et al.*, 2023) y los clados Eurhinosauria y Thunnosauria (Motani, 1999; Ji *et al.*, 2016) (Figura 29). Dentro de Thunnosauria hay que descartar a la familia Ophthalmosauridae, ya que surgió en el Jurásico Medio, y es un grupo que presenta una tercera faceta en el húmero, además de la del radio y la ulna (Fischer *et al.*, 2012). Como consecuencia, los restos de MG1 podrían pertenecer a un ejemplar del clado Eurhinosauria o de las familias Ichthyosauridae o Stenopterygiidae, dentro de Thunnosauria. Una asignación más precisa a nivel de familia, género o especie no se podría llegar a determinar con exactitud debido a que las diferencias más diagnósticas entre las familias mencionadas y sus géneros se encuentran en la morfología de los huesos de la región posterior del cráneo, que no se ha preservado en MG1. Debido a esto los estos fósiles únicamente se han clasificado como Neoichthyosauria indet.

Con los restos del yacimiento PEPA, realizar una interpretación sobre el taxón correspondiente era una tarea mucho más compleja. Esto se debe a que la cantidad de restos fósiles también es insuficiente. Además, no incluyen características diagnósticas que permitan atribuirlos a un taxón. La única forma de atribuir un clado o familia a estos restos es utilizando la edad de los mismos (Toarciense). De esta forma, lo más probable es que los huesos de PEPA pertenezcan al clado Neoichthyosauria. Sin embargo, el gran tamaño de los huesos sí podría arrojar una idea del subgrupo al que pertenecerían dentro de este clado. El ictiosaurio de mayor tamaño del Jurásico Inferior dentro de este grupo es *Temnodontosaurus*, que podría alcanzar un tamaño de hasta 15 m de longitud (Pardo-Pérez *et al.*, 2018), mientras que el resto de los géneros del clado tendrían un tamaño de entre 2 y 6 m (Ji *et al.*, 2016). Además, los *Temnodontosaurus* presentan dientes con estriación en el esmalte y de un tamaño similar al diente EMPZ 94/58/5 estudiado en este trabajo (Bennion *et al.*, 2023) y sus vértebras tenían un tamaño de entre 12 y 15 cm (Lomax y Gibson, 2015), parecido al de las vértebras descritas en este trabajo, por lo que se podría inferir, con cierta duda, que los restos de PEPA pudieran pertenecer a este género. Dicho esto, no se descarta la idea de que puedan pertenecer a un individuo de gran tamaño de otra familia dentro del clado Neoichthyosauria (Figura 29).

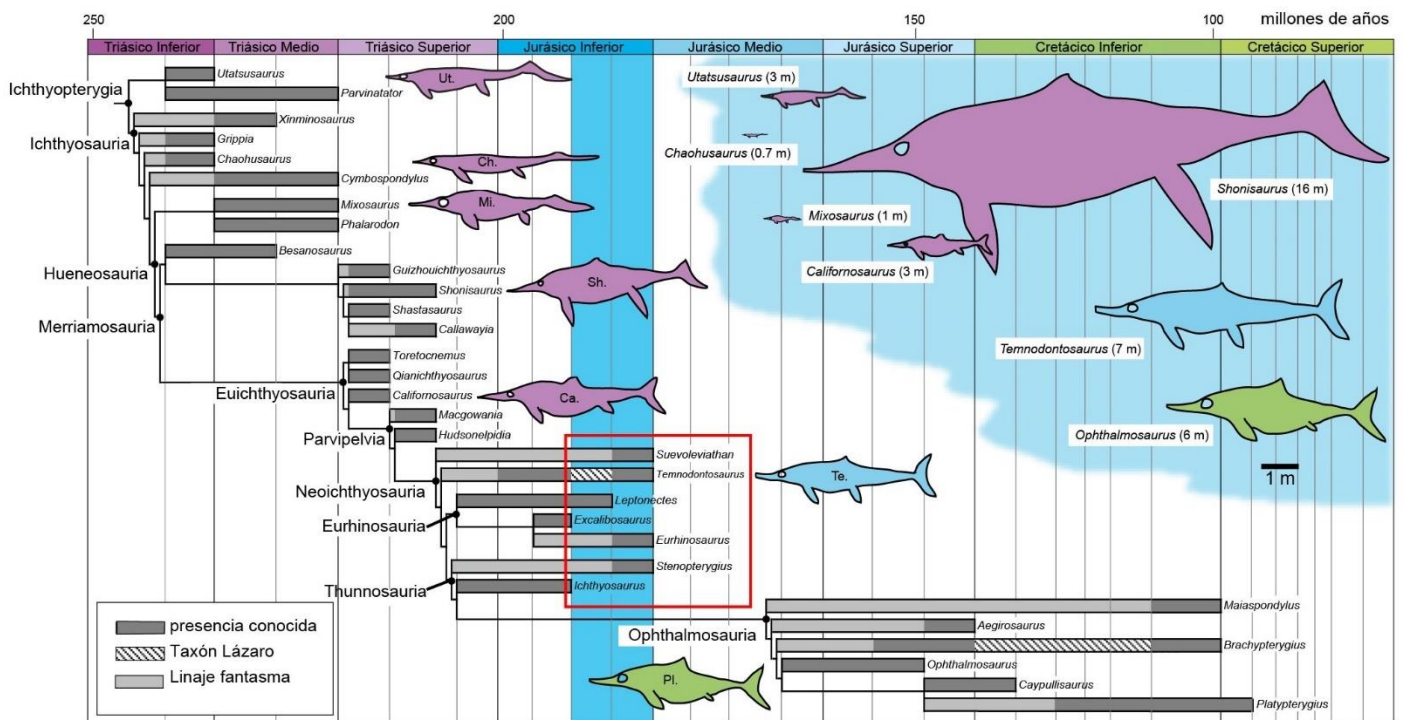


Figura 29: Árbol filogenético calibrado con escala geológica de los ictiosaurios del Mesozoico (Modificado de Thorne *et al.*, 2011). En él se han indicado en azul las franjas correspondientes a los pisos Pliensbachiense y Toarciense. Además, se ha señalado con un recuadro rojo el clado Neoiichthyosauria al que pertenecerían los restos de los yacimientos MG1 y PEPA.

## 9. CONCLUSIONES

Los restos de ictiosaurio en los yacimientos próximos a Ariño (provincia de Teruel, Aragón, NE de España) son la evidencia de que existieron estos reptiles marinos del Jurásico Inferior en esa región del noreste de la península ibérica. En este trabajo se describen por primera vez restos de ictiosaurios del Jurásico de Aragón.

El perfil estratigráfico realizado en la zona incluye las unidades geológicas en las que se encuentran los yacimientos de procedencia de los restos estudiados, de origen marino. El yacimiento Mas del Gato 1 se encuentra en la Fm. Cerro del Pez, de edad Domeriense (Pliensbachiense superior), compuesta por intervalos de margas y calizas de potencia variable y el yacimiento PEPA se encuentra en la Fm. Turmiel, de edad Toarciense, compuesta por grandes bancos margosos con pequeñas intercalaciones de calizas.

El análisis paleontológico muestra una abundancia significativa en los restos de invertebrados frente a los restos de vertebrados estudiados, que solo incluyen restos fósiles de ictiosaurios. El conjunto de los restos de vertebrados del yacimiento MG1 incluye un cráneo incompleto, varios huesos de la cintura escapular, la aleta delantera derecha incompleta y varios fragmentos de costillas. Los restos de vertebrados del yacimiento PEPA incluyen dos vértebras completas y un fragmento de una tercera, una falange y un fragmento de diente. Estos restos solo se han podido atribuir a Neoiichthyosauria indet., ya que el material es insuficiente como para asignarlos con seguridad a una familia en concreto.

Los restos fósiles de ambos yacimientos han sido preparados físicamente y reconstruidos virtualmente (en el caso de los de MG1) para su estudio debido a su estado de conservación.

Estos se encontraban en muchas ocasiones fragmentados debido a sus condiciones de fosilización, en un ambiente marino de alta energía tal y como indican las conchas de los invertebrados encontradas en ambos yacimientos.

Comparando los restos estudiados con otros ejemplos de la Península Ibérica, se ha determinado que, como en otros yacimientos como el de la Formación Rodiles en Asturias (España) y el de la Formación Coimbra en la costa portuguesa, el hallazgo de este grupo de reptiles marinos en Iberia es algo poco común, además de que los restos se suelen encontrar mal conservados y que no se ha encontrado aún ningún ejemplar completo o casi completo de los mismos. Mientras que, atendiendo a los restos de ictiosaurios recuperados en el centro y norte de Europa, las diferencias son mucho más significativas ya que en esas regiones abundan mucho más este tipo de fósiles y se han encontrado ejemplares completos y con un mejor estado de conservación.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Bardet, N., Pereda Suberbiola, X. y Ruiz Omeñaca, J.I. (2008): Mesozoic marine reptiles from the Iberian Peninsula. *Geotemas*, 10: 1245-1248.

Bennion, R. F., Maxwell, E. E., Lambert, O. y Fischer, V., (2023): Craniodental ecomorphology of the large Jurassic ichthyosaurian *Temnodontosaurus*. *Journal of Anatomy*, 244, 22-41.

Bertin, T. J., Thivichon-Prince, B., LeBlanc, A. R., Caldwell, M. W., y Viriot, L. (2018): Current perspectives on tooth implantation, attachment, and replacement in Amniota. *Frontiers in physiology*, 9, 1630.

Bordonaba, A. P. y Aurel, M. (2002): El Pliensbachiense de la Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica: Análisis de facies y establecimiento de secuencias. *Journal of Iberian Geology*, 28, 31-44.

Bruguère J. G., (1789): Histoire Naturelle des vers. *Encyclopedie Méthodique*, 6, 1-344.

Brusatte, S. L., Young, M. T., Challands, T. J., Clark, N. D. L., Fischer, V., Fraser, N. C., Liston, J. J., MacFadyen, C. C. J., Ross, D. A., Walsh, S. y Wilkinson, M., (2014): Ichthyosaurs from the Jurassic of Skye, Scotland. *Scottish Journal of Geology*, 13p.

Comas-Rengifo, M. J., Gómez, J. J., Goy, A., Herrero, C., Perilli, N. y Rodrigo, A. (1999): El Jurásico inferior en la sección de Almonacid de la Cuba (sector central de la Cordillera Ibérica, Zaragoza). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 25, 27-57.

Comas-Rengifo, M. J. y Goy, A. (2010): Caracterización biocronoestratigráfica del Sinemuriense Superior y el Pliensbachiense entre los afloramientos de la Playa Vegay Lastres (Asturias). En García-Ramos, J.C. (ed.), *Las sucesiones margo-calcáreas marinas del Jurásico Inferior y las series fluviales del Jurásico Superior. Acanilados de la playa de Vega (Ribadesella). Guía de la excursión A del V Congreso del Jurásico de España*. Museo del Jurásico de Asturias, Colunga, Spain, 10-18.

Cortés, A. L. y Casas-Sáinz, A. M., (1999): Estructura y cinemática de los pliegues y cabalgamientos de Belchite-Sierra de Arcos (Cordillera Ibérica). *Journal of Iberian Geology* 25, 213-227.

De Miguel Chaves, C., Pérez-García, A., Cobos, A., Royo-Torres, R., Ortega, F. y Alcalá, L. (2015): A diverse Late Triassic tetrapod fauna from Manzanera (Teruel, Spain). *Geobios*, 48 (6), 479-490.

- Duarte, L. V. y Soares, A. F., (2002): Litostratigrafia das séries margo calcárias do Jurássico inferior da Bacia Lusitânica (Portugal), *Comun. inst. Geol e Mineiro*, 89, 135-154.
- Goy, A., Gómez, J. J. y Yébenes, A. (1976): El Jurásico de la Rama Castellana de la Cordillera Ibérica (mitad Norte). I. Unidades Litoestratigráficas. *Estudios Geológicos*, 32, 391–423.
- Goy, A., García-Joral, F., Martínez, G. y Ureta, S., (1997): El Toarciense en la región de Ariño. Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica, España. *Volumen de Comunicaciones IV Congreso de Jurásico de España*. (Meléndez, G. y Pérez-Erresti, I. eds.), 79-80.
- Fernández, M. S., Piñuela, L. y García-Ramos, J. C., (2018): First report of Leptonectes (Ichthyosauria: Leptonectidae) from the Lower Jurassic (Pliensbachian) of Asturias, northern Spain. *Palaeontologia Electronica*, 21, 1-15.
- Fischer, V., Maisch, M. W., Naish, D., Kosma, R., Liston, J., Joger, U., Krüger, F. J., Pardo Pérez, J., Tainsh, J. y Appleby, R. M., (2012): New Ophthalmosaurid Ichthyosaurs from the European Lower Cretaceous Demonstrate Extensive Ichthyosaur Survival across the Jurassic-Cretaceous Boundary. *PLoS ONE*, 7 (1), 23p.
- Ji, C., Jiang, D. Y., Motani, R., Rieppel, O., Hao, W. y Sun, Z. Y., (2016): Phylogeny of the Ichthyopterygia incorporating recent discoveries from South China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 36, 20p.
- Kullberg, J. C., Rocha R. B., Soares A. F., Rey J., Terrinha P., Azerêdo A. C., Callapez P., Duarte, L.V., Kullberg M. C., Martins L., Miranda J. R., Alves C., Mata J., Madeira J., Mateus O., Moreira M. y Nogueira C. R., (2013): A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. En Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., and Kullberg, J. C. (ed.), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, 2, 195-350.
- Liesa, C.L., Casas, A. M. y Simón, J.L., (2018): La tectónica de inversión en una región intraplaca: La Cordillera Ibérica. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 31(2), 23-50.
- Lomax, D. R. y Gibson, B. J. A., (2015): The first definitive occurrence of Ichthyosaurus and Temnodontosaurus (Reptilia: Ichthyosauria) in Nottinghamshire, England and a review of ichthyosaur specimens from the county. *Proceedings of the Geologists' Association* 126, 554-563.
- Lomax, D. R. y Massare, J. A., (2017): Two new species of Ichthyosaurus from the lowermost Jurassic (Hettangian) of Somerset, England. *Papers in Palaeontology*, 3 (1), 1-20.
- Maxwell, E., E. y Cortés, D., (2020): A revision of the Early Jurassic ichthyosaur Hauffiopteryx (Reptilia: Ichthyosauria), and description of a new species from southwestern Germany. *Palaeontologia Electronica*, 23 (2), 43p.
- Mazin, J. M. (1983). L'implantation dentaire chez les Ichthyopterygia (Reptilia). *Neues Jahrbuch Geol. Paläontol. Monatshefte*, 7, 406–418.
- Moon, B. C., (2017): A new phylogeny of ichthyosaurs (Reptilia: Diapsida). *Journal os Systematic Palaeontology*, 17 (2), 129-155.
- Motani, R., (1999): Phylogeny of the Ichthyopterygia. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 19 (3), 473-496.

- Pardo-Perez J. M., Kear B. P., Mallison H., Gomez M., Moroni M. y Maxwell E. E., (2018): Pathological survey on *Temnodontosaurus* from the Early Jurassic of southern Germany. *PLoS ONE*, 13 (10), 24p.
- Ríos, L. M., Beltrán, F. J. y Lanaja, J. M. (1981): Mapa geológico y Memoria de la Hoja Nº 467 (Muniesa. Mapa Geológico de España E.1:50.000, Segunda Serie (MAGNA), Primera Edición, IGME, Madrid, 26 p.
- Sander, P. M., (2000): Ichthyosauria: their diversity, distribution, and phylogeny. *Paläontologische Zeitschrift*, 74 (1-2), 1-35.
- Sousa, J., (2018): A review of Ichthyosauria from Portugal. Tesis doctoral. Universidad de Lisboa, 102p.
- Sousa, J. y Mateus, O., (2021): the southernmost occurrence of *Ichthyosaurus* from the Sinemurian of Portugal. *Fossil Record*, 24, 287-294.
- Thorne, P. M., Ruta, M. y Benton, M. J., (2011): Resetting the evolution of marine reptiles at the Triassic-Jurassic boundary. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 8339-8344.
- Yakupova, J. B. y Akhmedenov, K. M., (2024): The First Representative of the Ichthyosaur Genus *Platypterygius* from the Albian of Western Kazakhstan. *Paleontological Journal*, 58 (4), 445-456.
- Zverkov, N. G., Arkhangelsky, M. S. y Stenshin, I. M., (2015): A review of Russian Upper Jurassic ichthyosaurs with an intermedium/humeral contact. Reassessing Grendelius McGowan, 1976. *Proceedings of the Zoological Institute*, 319, 558-588.
- Zverkov, N. G. y Prilepskaya, N.E., (2019): A prevalence of *Arthropterygius* (Ichthyosauria: Ophthalmosauridae) in the Late Jurassic-earliest Cretaceous of the Boreal Realm, *PeerJ*, 7, 70p.

## ANEXO 1

Sigla	Yacimiento	Edad	Elemento	Taxón asociado
MG1-1	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Cráneo incompleto	Neoichthyosauria indet.
MG1-1/1	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Fragmento de premaxilar	Neoichthyosauria indet.
MG1-1/2	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Molde interno de la zona posterior del premaxilar	Neoichthyosauria indet.
MG1-1/3	Mas del Gato 2	Pliensbachiense superior	5 Fragmentos de los dentarios derecho e izquierdo	Neoichthyosauria indet.
MG1-1/4	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Fragmento de postorbital derecho	Neoichthyosauria indet.
MG1-1/5	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Opistótico derecho	Neoichthyosauria indet.
MG1-1/6	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Supraoccipital	Neoichthyosauria indet.
MG1-1/7	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Cuadrado derecho	Neoichthyosauria indet.
MG1-2	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Clavícula derecha	Neoichthyosauria indet.
MG1-3	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Fragmento de coracoides	Neoichthyosauria indet.
MG1-4/1	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Fragmento de escápula izquierda	Neoichthyosauria indet.
MG1-4/2	Mas del Gato 2	Pliensbachiense superior	Fragmento de escápula derecha	Neoichthyosauria indet.
MG1-5	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Aleta delantera derecha	Neoichthyosauria indet.
MG1-5/1	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Húmero derecho (Fragmentado en 2 piezas)	Neoichthyosauria indet.
MG1-5/2	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Radio derecho	Neoichthyosauria indet.
MG1-5/3	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Ulna derecha	Neoichthyosauria indet.
MG1-5/4	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	18 huesos correspondientes a falanges	Neoichthyosauria indet.
MG1-6	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	Fragmento de húmero izquierdo	Neoichthyosauria indet.
MG1-7	Mas del Gato 1	Pliensbachiense superior	8 fragmentos de costillas de diferente tamaño y morfología	Neoichthyosauria indet.
EMPZ 94/58/1	PEPA	Toarciense	Vértebra dorsal completa	Neoichthyosauria indet.
EMPZ 94/58/2	PEPA	Toarciense	Vértebra dorsal completa	Neoichthyosauria indet.
EMPZ 94/58/3	PEPA	Toarciense	Falange aislada	Neoichthyosauria indet.
EMPZ 94/58/4	PEPA	Toarciense	Fragmento de vértebra	Neoichthyosauria indet.
EMPZ 94/58/5	PEPA	Toarciense	Fragmento de corona dental	Neoichthyosauria indet.

Tabla resumen que incluye todos los restos fósiles estudiados junto con su yacimiento de procedencia, su edad, una pequeña descripción de cada uno y el taxón al que han sido asociados