

Noves dades sobre l'os d'un tetràpode de gran mida del Permià mitjà–superior de Menorca (Mediterrània occidental)

Rafel MATAMALES-ANDREU

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Matamales-Andreu, R. 2023. Noves dades sobre l'os d'un tetràpode de gran mida del Permià mitjà–superior de Menorca (Mediterrània occidental). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 66: 75-85. ISSN 0212-260X. e-ISSN 2444-8192. Palma.

A escala mundial, el Permià és un període geològic molt rellevant, ja que conté el registre del món abans de l'extinció massiva més grossa que hi ha haguda mai. Aquests ecosistemes eren complexos i, pel que fa als tetràpodes terrestres, hi havia dues línies evolutives dominants: els sauròpsids (grup que conté els actuals rèptils i aucells) i els sinàpsids (que conté els actuals mamífers). Tot i que hi ha roques d'aquest període que afloren a les Balears, aquestes han estat històricament molt poc estudiades. El present article descriu i analitza la primera resta fòssil de tetràpode que es va trobar al Permià de Menorca, consistent en un os de gran mida. El seu estudi detallat permet d'identificar-lo com una escàpula, però el fet que sigui incomplet i que no estigui preparat fa difícil d'assignar-lo a un grup de tetràpodes concret. La seva morfologia recorda a les escàpules dels pararrèptils pareiasaures, als sinàpsids «pelicosaur» esfenacodonts i als sinàpsids teràpsids. S'han trobat representants de tots tres grups en regions paleogeogràficament properes durant el Permià mitjà i superior. En qualsevol cas, aquest exemplar representa un nou registre per a la fauna del Permià de Menorca, i evidencia la importància de futurs mostreigs a la zona que puguin recuperar noves restes.

Paraules clau: *Permià, Menorca, paleontologia, tetràpode terrestre.*

NEW DATA ON THE BONE OF A LARGE TETRAPOD FROM THE MIDDLE–UPPER PERMIAN OF MENORCA (WESTERN MEDITERRANEAN). The Permian is a very important geological period worldwide, as it contains the record of the Earth before the largest mass extinction of all time. Those ecosystems were complex, and, regarding terrestrial tetrapods, there were two dominant evolutionary lines: the sauropsids (a group containing modern reptiles and birds) and synapsids (which contain the present-day mammals). Although rocks of this period do crop out on the Balearic Islands, they have been historically poorly studied. The present paper describes and analyses the first tetrapod fossil remain that was found in the Permian of Menorca, consisting in a large-sized bone. Its detailed study has made it possible to identify it as a scapula, but its incompleteness and lack of preparation precludes assignation to a specific tetrapod group. Its morphology is reminiscent to the scapulae of pareiasaur parareptiles, sphenacodontian “pelycosaur” synapsids, and therapsid synapsids. All of them have been found in palaeogeographically close regions during the middle and late Permian. In any case, this specimen represents a new record for the Permian faunas of Menorca, and demonstrates the importance of future samplings to recover new specimens from that area.

Key words: *Permian, Menorca, palaeontology, terrestrial tetrapod.*

Rafel MATAMALES-ANDREU, Museu Balear de Ciències Naturals, FJBS-MBCN, ctra. Palma-Port de Sóller km 30,5, 07100 Sóller, Mallorca, Illes Balears. Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont, Universitat Autònoma de Barcelona, Edifici ICTA-ICP, c/ Columnes s/n, Campus de la UAB, 08193 Cerdanyola del

Introducció

El període Permià (fa entre 299-252 Ma), el darrer del Paleozoic abans de la gran extinció del Permià/Triàsic, va esser testimoni dels primers ecosistemes terrestres amb una complexitat comparable a l'actual (Olson, 1966; Reisz i Sues, 2000; Bernardi *et al.*, 2017). Les flores i les faunes es varen haver d'anar adaptant a un clima canviant, des de les condicions glacials del Permià inferior fins a les extremes condicions d'hivernacle del final del període (Erwin, 1994; Benton i Twitchett, 2003; Benton, 2008, Romano *et al.*, 2020; Scotese *et al.*, 2021). Pel que fa als tetràpodes terrestres, durant el Permià destaca la gran radiació dels sinàpsids i, en menor mesura, dels sauròpsids, els dos principals grups d'amniotes, que havien divergint en el Carbonífer (Carroll, 1964; Reisz, 1972; Lucas, 2009; Brocklehurst *et al.*, 2013; 2017; Bernardi *et al.*, 2017; Olroyd i Sidor, 2017). Històricament, el seu registre fòssil ha patit un important biaix, per mor que els afloraments amb fauna del Permià inferior més ben coneguts i mostrejats corresponen a paleolatituds baixes (Nord-amèrica, centre d'Europa) (*e.g.*, Olson, 1951, 1958, 1962, 1967; Olson i Beerbower, 1953; Olson i Barghusen, 1962; Olson i Mead, 1982; Martens, 2020), mentre que el millor registre per al Permià mitjà i superior prové de paleolatituds elevades (Sud-àfrica, Sud-amèrica, Urals, centre-nord de l'Àsia) (Bernardi *et al.*, 2017; Olroyd i Sidor, 2017). En aquest context, el registre fòssil del Permià de les Gimnèsies cobra importància, ja que els afloraments d'aquest període representen paleolatituds

equatorials i sembla que inclouen part del Permià inferior, mitjà i superior (aquest darrer sols a Menorca) (Matamales-Andreu *et al.*, 2021; 2022).

Durant el Permià, el territori que actualment correspon a l'illa de Menorca (Balears, Mediterrània occidental) (Fig. 1A, B) formava part del marge oriental del supercontinent Pangea (Linol *et al.*, 2009). Es tractava d'una conca continental de semirift (Gómez-Gras, 1992, 1993) on hi va haver una sedimentació predominantment fluvio-al·luvial, en forma de dipòsits de rius meandriformes i planeres d'inundació en un clima estacional i semiàrid (Gómez-Gras, 1987; Rosell *et al.*, 1988; Gómez-Gras i Alonso-Zarza, 2003; Linol *et al.*, 2009). Al voltant d'aquests rius hi devia haver una important comunitat vegetal, que ha romàs enregistrada en forma d'espores, pol·len, restes de fulles i troncs, i també de paleosòls amb rels fòssils (Bourruilh, 1973, 1983; Broutin *et al.*, 1992; Gómez-Gras i Alonso-Zarza, 2003; Bercovici *et al.*, 2009). D'aquestes plantes se n'alimentaven alguns dels animals que habitaven aquesta regió. En destaquen els amniotes captorrínids moradisaurins, dels quals se n'han descrit potades (*Hyloidichnus* isp.), una espècie de mida mitjançera (Moradisaurinae indet.), i una espècie de mida molt grossa (*Balearosaurus bombardensis* Matamales-Andreu, Roig-Munar, Oms, Galobart *et Fortuny*, 2021) (Matamales-Andreu *et al.*, 2021). De manera més dubtosa, també s'ha documentat la presència de petits pararrèptils mitjançant les seves potades (*cf. Erpetopus* isp.) (Matamales-Andreu *et al.*, 2021). A aquestes restes cal sumar-hi

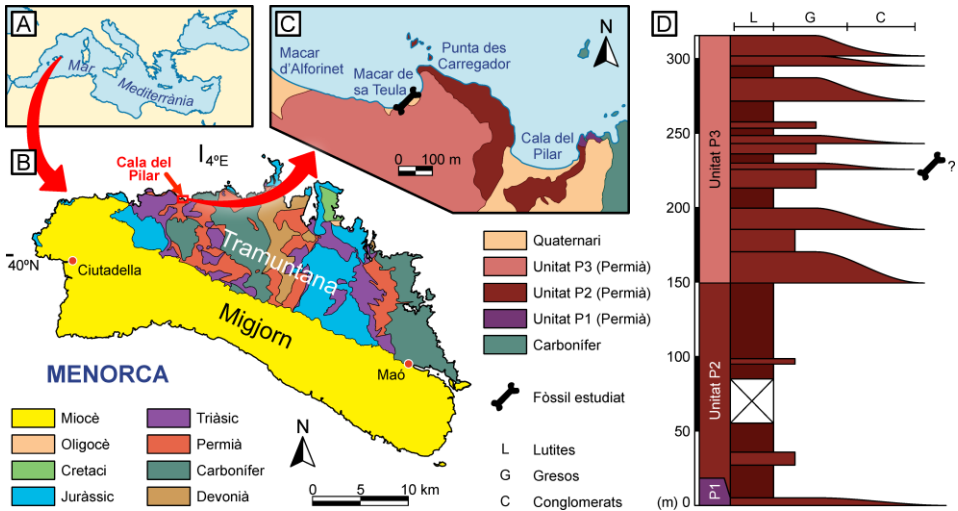


Fig. 1. Context geogràfic i geològic del fòssil estudiat. **A:** Posició de Menorca dins la Mediterrània occidental. **B:** Mapa geològic sintètic de l'illa de Menorca, indicant la localització de la cala del Pilar. **C:** Mapa geològic detallat de la zona de costa entre la cala del Pilar i el macar d'Alforinet, indicant el punt on es va trobar l'escàpula. **D:** Columna estratigràfica sintètica de la zona estudiada, indicant el nivell de provenença del fòssil. Subfigures B, C i D modificades de Matamales-Andreu *et al.* (2021).

Fig. 1. Geographical and geological context for the studied fossil. **A:** Position of Menorca within the western Mediterranean. **B:** Synthetic geological map of Menorca, with indication of the location of Cala del Pilar. **C:** Detailed geological map of the coastal zone between Cala del Pilar and Macar d'Alforinet, showing where the fossil was found. **D:** Synthetic stratigraphic section of the studied zone, with indication of the level that yielded the scapula. Subfigures B, C and D after Matamales-Andreu *et al.* (2021).

un fòssil històric, mai no descrit en detall fins ara, que a més fou el primer que es va trobar al Permià de Menorca (Pretus i Obrador, 1987).

El fòssil en qüestió es va trobar a l'hivern de l'any 1987/1988 en un bloc *ex situ* de matriu gresosa amb passades de microbrexes de nòduls carbonatats a la zona entre el macar de sa Teula i sa Bombarda (J.Ll. Pretus, com. pers., 2018; A. Obrador, com. pers., 2019) (Fig. 1C, D). Aquest, identificat com un fragment escapular d'un tetràpode indeterminat, va esser objecte de la nota preliminar de Pretus i Obrador (1987), fins i tot apareixent a la premsa local (Nicolás,

1988). De llavors ençà, es troba en una col·lecció privada, que va esser exposada la tardor l'any 1994 a la biblioteca pública de Maó, en el marc de l'exposició *Pedres de Menorca*, amb el número de col·lecció PM 718 (Fernández *et al.*, 1994). Posteriorment, Carmona (2004) tornà a examinar aquest fòssil (anomenant-lo PDC-10) en el seu treball de final de carrera, inèdit, aportant-ne noves fotografies i mesures però sense proposar cap identificació.

L'objectiu del present estudi és documentar aquesta escàpula fòssil (PM 718 / PDC-10), de gran importància històrica, amb noves fotos i també

mitjançant una descripció més detallada. La seva comparació amb restes escapulars d'altres tetràpodes coetanis trobats a altres parts del món permet de concretar molt més la seva possible identificació taxonòmica, el que contribueix a l'augment del coneixement de les faunes del Permià de Menorca.

Material i mètodes

L'exemplar estudiat (PM 718 / PDC-10) es troba actualment en una col·lecció privada. El fòssil mai no s'ha preparat i, per tant, sols s'ha pogut descriure la regió exposada. És probable que aquest bloc que conté l'os provengues dels nivells a 226–227 m a la columna estratigràfica de Matamales-Andreu *et al.* (2021) (Fig. 1D), per mor que és el punt més proper del penya-segat que conté ossos dins una litologia similar a la del bloc trobat *ex situ*. Per tant, en termes d'edat i d'acord amb les dades paleopalínològiques de la part més alta de la secció (Broutin *et al.*, 1992; Bercovici *et al.*, 2009; vegeu també discussió a Matamales-Andreu *et al.*, 2022), el fòssil podria tenir una edat compresa entre un Permià mitjà i un Permià superior.

Resultats

Descripció

Os pla de 394 mm de longitud màxima i 118 mm d'amplada màxima (Fig. 2). La seva ornamentació externa consisteix en una sèrie d'estries longitudinals generalment paral·leles als marges de l'os. Es troba sense preparar, per la qual cosa no es pot observar completament la seva forma. Té forma general de pala, amb un extrem proximal relativament robust que torna distalment més ample antero-posteriorment i prim lateromedialment. És

un os clarament asimètric, amb una carena poc marcada que el travessa de la zona posteroproximal a la part anterodistal. El marge posterior és recte i llis, mentre que la meitat més proximal del marge anterior s'expandeix anteriorment, generant una petita regió deprimida. Després d'una zona encara coberta de matriu sedimentària, es pot veure la secció de l'os, molt més gruixada i dirigida anteriorment.

Observacions

La forma general de l'os, i especialment el seu caràcter asimètric i pla, permeten d'identificar-lo com una escàpula. Aquesta identificació ja havia estat suggerida per Pretus i Obrador (1987). Concretament, es tracta de la porció distal d'una fulla escapular esquerra, exposada en vista lateral. La zona proximal més eixamplada i gruixada s'interpreta com la part de l'escàpula immediatament proximal respecte del coll de la fulla, relativament propera ja a l'articulació amb el (pre)coracoide. La depressió localitzada al marge anterior correspon a l'articulació amb la clavícula.

La identificació taxonòmica d'aquest exemplar és complicada a causa del seu estat fragmentari i el fet que encara no està preparat i, per tant, sols una part de l'os es troba ben exposada en superfície. D'entre els diferents grups de tetràpodes terrestres coetanis, la forma llarga i estreta de la fulla escapular la diferencia fàcilment dels seimuriamorfs i diadectomorfs (cf. Carroll *et al.*, 1972), i també dels captorrínids de mida grossa (cf. Sumida, 1989). Això darrer és especialment rellevant, perquè de nivells estratigràficament molt propers s'ha documentat la presència de captorrínids moradisaurins de mida molt grossa (Matamales-Andreu *et al.*, 2021). La morfologia escapular de l'exemplar estudiat recorda a la de certes espècies del

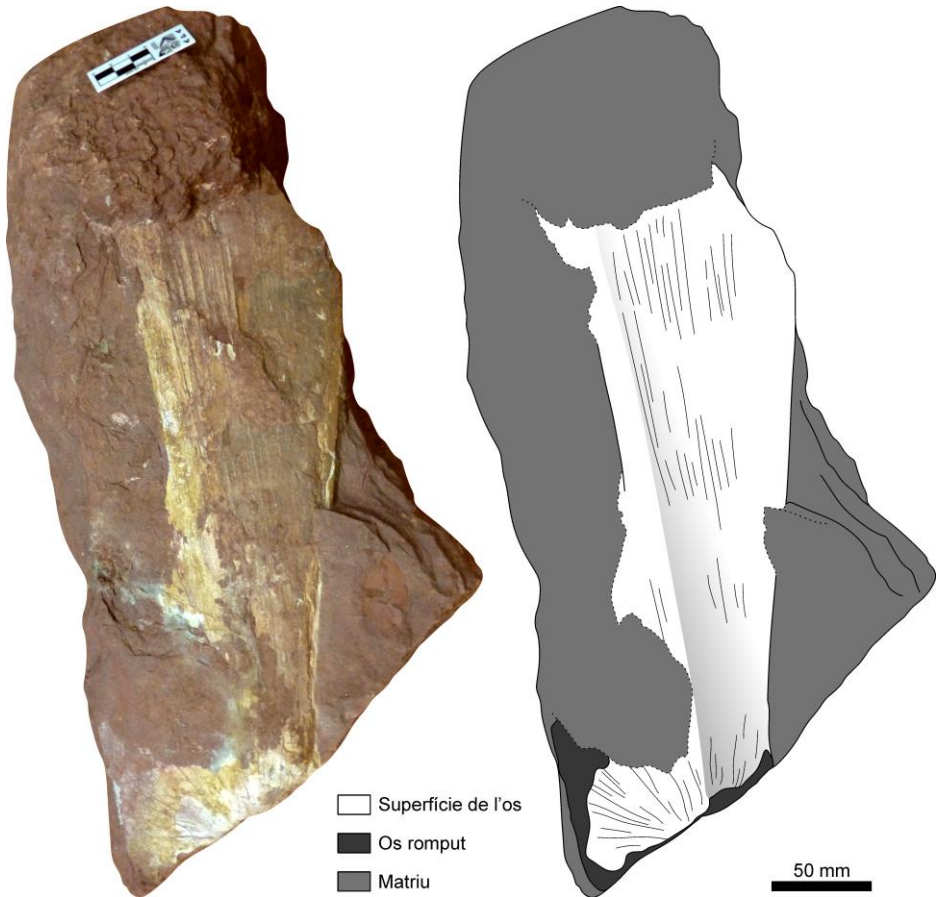


Fig. 2. Fotografia (esquerra) i dibuix interpretatiu (dreta) de l'exemplar estudiat en aquest article (PM 718 / PDC-10). Unitat P3, Permià mitjà–superior del macar de sa Teula-sa Bombarda, Menorca, Illes Balears.

Fig. 2. Photograph (left) and interpretative drawing (right) of the specimen studied in the present work (PM 718 / PDC-10). P3 Unit, middle–upper Permian, Macar de sa Teula-sa Bombarda, Menorca, Balearic Islands.

grup dels sinàpsids «pelicosaures» esfena-codòntids (cf. Romer i Price, 1940; Reisz, 1986), però també dels teràpsids (cf. Boonstra, 1964; King, 1988; Sigogneau-Russell, 1989), i fins i tot dels pararrèptils pareiasaures (cf. Romer, 1956; Romano *et al.*, 2021; Van den Brandt *et al.*, 2021). La diferència més significativa entre els pareiasaures i els sinàpsids és la presència

d'un acròmion molt robust i ben desenvolupat en cas dels primers. Aquesta estructura, però, no es pot observar en el fòssil estudiat perquè la zona on seria es troba completament erosionada. D'altra banda, els «pelicosaures» es diferencien dels teràpsids, en termes generals, perquè en els segons l'escàpula és proporcionalment més gràcil (prima i

estreta) i es pot trobar lleugerament dirigida anteriorment. En aquest cas, la fulla escapular podria semblar que es troba inclinada posteriorment respecte de la zona més proximal de l'os; això apuntaria al grup dels «pelicosaus», però el fet que el fòssil és sols un fragment parcialment exposat impedeix de confirmar-ho.

Per tot això esmentat anteriorment, l'exemplar de Menorca no permet de fer una identificació precisa més enllà d'aquests tres grans grups. Tots tres s'han documentat amb exemplars de mida comparable, d'indrets paleogeogràficament molt propers i d'edats que podrien ésser semblants a les de l'exemplar menorquí: els pareiasaures al nord de l'Àfrica (Jalil i Janvier, 2005), els esfenacodòntids a Sardenya (Romano *et al.*, 2019) i els teràpsids a Mallorca (Matamales-Andreu, 2023).

Discussió

En comparació a altres indrets del món, els jaciments de vertebrats del Permià mitjà/superior són relativament escassos a la zona mediterrània. Tot i això, com s'ha comentat ja a l'apartat anterior, hi ha documentada la presència de tots els possibles grups als quals podria correspondre la resta de Menorca estudiada en aquest treball. La Fig. 3 mostra un mapa paleogeogràfic amb la distribució mundial dels pareiasaures, esfenacodòntids i teràpsids durant el Permià mitjà i superior. De la regió mediterrània, es detalla el tipus de restes, òssies o icnològiques, per les quals s'ha inferit la presència d'aquests grups.

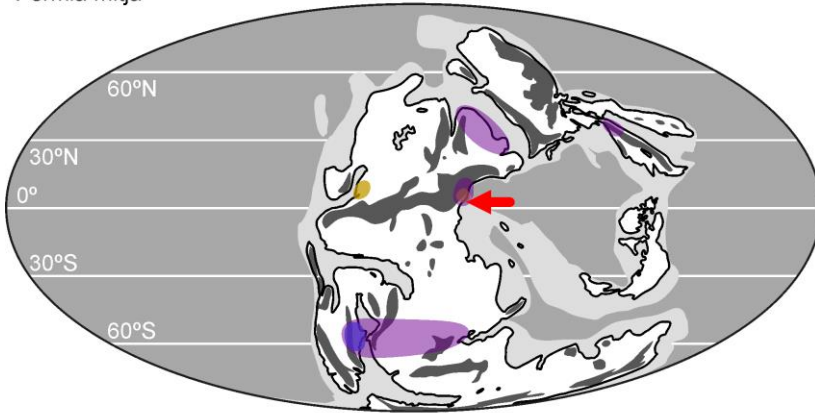
- Els pararrèptils pareiasaures es coneixen a partir de restes òssies del Marroc (Jalil i Janvier, 2005) i potades del massís Central (Marchetti *et al.*, 2021) i dels Alps (Valentini *et*

al., 2009). D'un Permià més antic, no representat al mapa, també se'n coneixen potades del Pirineu (Marchetti *et al.*, 2021) i possiblement de Mallorca (Matamales-Andreu *et al.*, 2022).

- Els sinàpsids «pelicosaus» esfenacodòntids ja són molt escassos al Permià mitjà, i a la zona mediterrània sols se n'han trobat ossos a Sardenya (Romano *et al.*, 2019). Les possibles potades només es coneixen de nivells atribuïts al Permià inferior, i per tant no apareixen representades al mapa, del massís Central (Gand i Durand, 2006), la Provença (Gand i Durand, 2006), el Pirineu (Mujal *et al.*, 2016), els Alps (Santi *et al.*, 2020) i Mallorca (Matamales-Andreu *et al.*, 2022).
- Els sinàpsids teràpsids no mamífers radien i es diversifiquen de manera molt important durant el Permià mitjà i superior, però el seu registre es concentra a latituds molt més elevades (Bernardi *et al.*, 2017; Olroyd i Sidor, 2017). A la Mediterrània, se n'han trobat restes òssies sols a Mallorca (Matamales-Andreu, 2023), i potades al massís Central (Marchetti *et al.*, 2022), al Pirineu (Mujal *et al.*, 2017), i també a Mallorca (Matamales-Andreu, 2023).

A partir d'aquestes dades, s'observa que la resta òssia de Menorca es troba compresa dins la distribució paleogeogràfica esperada del seu grup en qualsevol dels possibles casos. Baldament ara mateix no se'n pugui obtenir més informació, la presència d'un d'aquests grups al Permià d'aquesta zona és de gran importància a causa de la raresa de restes de vertebrats d'aquesta edat a tota la regió mediterrània.

Permià mitjà



Permià superior

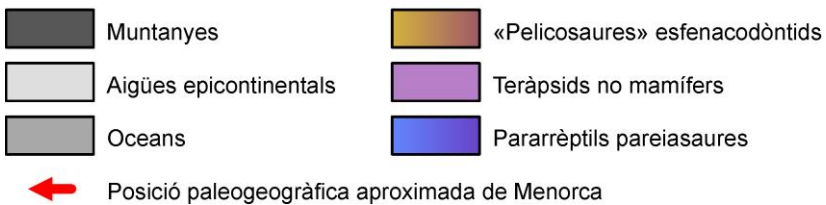
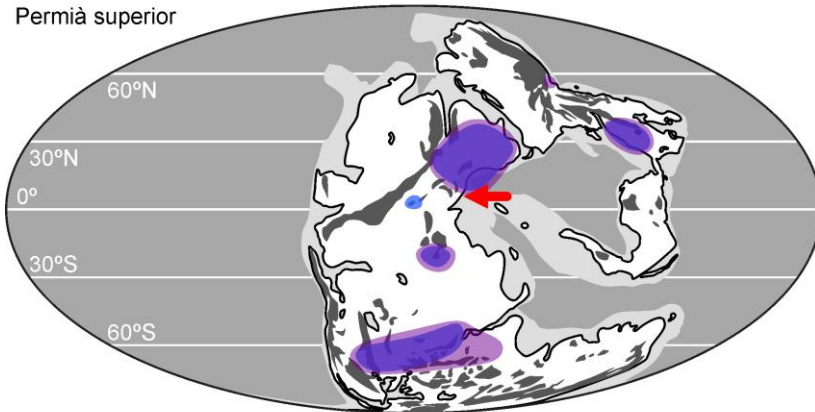


Fig. 3. Mapes paleogeogràfics del Permià mitjà i superior (redibuixats a partir d' Scotese, 2014), indicant la distribució dels tres principals grups de tetràpodes terrestres als quals podria correspondre la resta fòssil de Menorca. Dades de distribució extretes de la Palaeobiology Database (<https://paleobiodb.org/>) i les referències sobre potades que s'esmenten en el text del present article.

Fig. 3. Middle and late Permian palaeogeographical maps (redrawn from Scotese, 2014), indicating the distribution of the three main terrestrial tetrapod groups to which the fossil from Menorca could belong. Distribution data extracted from the Palaeobiology Database (<https://paleobiodb.org/>) and the references on ichnites cited throughout the text of the present paper.

Conclusions

La present contribució ha localitzat, contextualitzat, descrit i refigurat la primera resta òssia que es va conèixer i documentar del Permià de Menorca (Illes Balears, Mediterrània occidental). S'ha confirmat la seva identificació com una escàpula pertanyent a un gran tetràpode terrestre que possiblement data del Permià mitjà/superior. El seu estat fragmentari i el fet que es troba encara sense preparar ha dificultat la seva identificació taxonòmica precisa. La seva morfologia general és comparable a la de les escàpules dels sinàpsids «pelicosaus» esfenacodòntids, a la d'alguns sinàpsids teràpsids no mamífers, i també a la dels pararrèptils pareiasaus. Tot i que són troballes excepcionals, es coneix registre de tots aquests grups en jaciments paleogeogràficament propers i d'edat similar. Per això mateix, el fet que els fòssils de tetràpodes d'aquesta edat siguin tan escassos a la Mediterrània posa de manifest la importància dels jaciments menorquins en un context internacional. Per tant, s'espera que futures campanyes de camp podran proporcionar més i millor material per realitzar una millor aproximació a la diversitat real d'aquestes associacions.

Agraïments

Agraesc als Drs. Antoni Obrador (UAB) i Joan Lluís Pretus (UB) la seva disponibilitat per compartir informació sobre la troballa del fòssil estudiat. També a Miquel Fernández per l'accés a l'exemplar per al seu estudi. Al Dr. Josep Fortuny (ICP) per la creació d'un model digital 3D a partir de les fotografies. Al Dr. Christian F. Kammerer (NCMNS) per la discussió sobre la possible assignació

taxonòmica. A dos revisors anònims per les seves correccions. El present projecte ha comptat amb el suport d'un ajut d'investigació de l'Institut Menorquí d'Estudis 2022 (expedient I0015-2022-000003) a la Fundació Jardí Botànic de Sóller-Museu Balear de Ciències Naturals.

Referències citades

- Benton, M.J. 2008. *When life nearly died. The greatest mass extinction of all time*. Thames & Hudson, London. 336 pp.
- Benton, M.J. i Twitchett, R.J. 2003. How to kill (almost) all life: the end-Permian extinction event. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18(7): 358-365.
- Bercovici, A., Diez, J.B., Broutin, J., Bourquin, S., Linol, B., Villanueva-Amadoz, U., López-Gómez, J. i Durand, M. 2009. A palaeoenvironmental analysis of Permian sediments in Minorca (Balearic Islands, Spain) with new palynological and megafloral data. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 158: 14-28.
- Bernardi, M., Petti, F.M., Kustatscher, E., Franz, M., Hartkopf-Fröder, C., Labandeira, C.C., Wappler, T., van Konijnenburg-van Cittert, J.H.A., Peacock, B.R. i Angielczyk, K.D. 2017. Late Permian (Lopingian) terrestrial ecosystems: A global comparison with new data from the low-latitude Bletterbach Biota. *Earth-Science Reviews*, 175: 18-43.
- Boonstra, L.D. 1964. The girdles and limbs of the pristerognathid therocephalia. *Annals of the South African Museum*, 48(5): 121-165 + 1 pl.
- Bourrouilh, R. 1973. *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares). La terminaison nord-orientale des Cordillères Bétiqques en Méditerranée occidentale*. Tesi d'estat. Université Pierre & Marie Curie, Paris VI, Paris. 1-516 [vol. 1] + 517-822 [vol. 2] + 6 mapes i columnes.
- Bourrouilh, R. 1983. *Estratigrafia, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y del noreste de Mallorca*.

- Memorias del Instituto Geológico y Minero de España, 99: 672 pp. + 95 lám. + 3 mapes.
- Brocklehurst, N., Kammerer, C.F. i Fröbisch, J. 2013. The early evolution of synapsids, and the influence of sampling on their fossil record. *Paleobiology*, 39: 470-490.
- Brocklehurst, N., Day, M.O., Rubidge, B.S. i Fröbisch, J. 2017. Olson's Extinction and the latitudinal biodiversity gradient of tetrapods in the Permian. *Proceedings of the Royal Society B*, 284: 20170231.
- Broutin, J., Ferrer, J., Gisbert, J. i Nmila, A. 1992. Permienne découverte d'une microflore thuringienne dans le faciès saxonien de l'île de Minorque (Baléares, Espagne). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série 2*, 315: 117-122.
- Carmona, R. 2004. *Estudi d'un seimuriamorfe (Amphibia: Batrachosauria) del Permian superior de Menorca*. Tesina de Llicenciatura. Universitat de Barcelona, Barcelona. 56 pp. Inèdita.
- Carroll, R.L. 1964. The earliest reptiles. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 45: 61-83.
- Carroll, R.L., Kuhn, O. i Tatarinov, L.P. 1972. *Handbuch der Paläoherpetologie / Encyclopedia of Paleoherpetology. Teil 5B / Part 5B: Batrachosauria (Anthracosauria) Gephyrostegida-Chroniosuchida*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Portland. 80 pp.
- Erwin, D.H. 1994. The Permo-Triassic extinction. *Nature*, 367: 231-236.
- Fernández, M., Florit, J., Monjo, M. i Obrador, A. 1994. *Catàleg de l'exposició. Pedres de Menorca*. Biblioteca Pública de Maó, Maó. 60 pp.
- Gand, G. i Durand, M. 2006. Tetrapod footprint ichno-associations from French Permian basins. Comparisons with other Euramerican ichnofaunas. *Geological Society, London, Special Publications*, 265: 157-177.
- Gómez-Gras, D.M. 1987. *Estratigrafia física y petrología sedimentaria del Pérmico y Buntsandstein de la isla de Menorca*. Tesina de Llicenciatura. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona. XIV + 117 pp. Inèdita.
- Gómez-Gras, D.M. 1992. *El Permotrias de las Baleares, de la Cordillera Costero Catalana y de la vertiente mediterránea de la Cordillera Ibérica: Facies y Petrología Sedimentaria*. Tesi Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona; Barcelona. 242 pp. + 55 figs. + 7 taules.
- Gómez-Gras, D. 1993. El Permotrias de las Baleares y de la vertiente mediterránea de la Cordillera Ibérica y del Maestrat: Facies y Petrología Sedimentaria (Parte II). *Boletín Geológico y Minero*, 104: 467-515.
- Gómez-Gras, D. i Alonso-Zarza, A.M. 2003. Reworked calcretes: their significance in the reconstruction of alluvial sequences (Permian and Triassic, Minorca, Balearic Islands, Spain). *Sedimentary Geology*, 158: 299-319.
- Jalil, N.-E. i Janvier, P. 2005. Les pareiasaures (Amniota, Parareptilia) du Permien supérieur du Bassin d'Argana, Maroc. *Geodiversitas*, 27(1): 35-132.
- King, G.M. 1988. *Handbuch der Paläoherpetologie / Encyclopedia of Paleoherpetology. Teil 17C / Part 17C: Anomodontia*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York. 174 pp.
- Linol, B., Bercovici, A., Bourquin, S., Diez, J.B., López-Gómez, J., Broutin, J., Durand, M. i Villanueva-Amadoz, U. 2009. Late Permian to Middle Triassic correlations and palaeogeographical reconstructions in south-western European basins: New sedimentological data from Minorca (Balearic Islands, Spain). *Sedimentary Geology*, 220: 77-94.
- Lucas, S.G. 2009. Timing and magnitude of tetrapod extinctions across the Permo-Triassic boundary. *Journal of Asian Earth Sciences*, 36: 491-502.
- Marchetti, L., Voigt, S., Mujal, E., Lucas, S.G., Francischini, H., Fortuny, J. i Santucci, V.L. 2021. Extending the footprint record of Pareiasauromorpha to the Cisuralian: earlier appearance and wider palaeobiogeography of the group. *Papers in Palaeontology*, 7(3): 1297-1319.

- Marchetti, L., Logghe, A., Mujal, E., Barrier, P., Montenat, C., Nel, A., Pouillon, J.M., Garrouste, R. i Steyer, J.-S. 2022. Vertebrate tracks from the Permian of Gonfaron (Provence, Southern France) and their implications for the late Capitanian extinction event. *Palaeogeography, Palaeo-climatology, Palaeoecology*, 599: 111043.
- Martens, T. 2018. *Scientific importance of the Fossilagerstätte Bromacker (Germany, Tambach Formation, Lower Permian) - vertebrate fossils / Wissenschaftliche Bedeutung der Fossilagerstätte Bromacker (Deutschland, Tambach-Formation, Unteres Perm) - Wirbeltierfossilien*. Curvillier Verlag, Göttingen. 47 pp.
- Matamales-Andreu, R. 2023. *Permian and Triassic ecosystems of the Gymnesic Islands (western Mediterranean)*. Tesi Doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona; Barcelona. 752 pp.
- Matamales-Andreu, R., Roig-Munar, F.X., Oms, O., Galobart, À. i Fortuny, J. 2021. A captorhinid-dominated assemblage from the palaeoequatorial Permian of Menorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 112(2): 125-145.
- Matamales-Andreu, R., Mujal, E., Dinarès-Turell, J., Kustatscher, E., Roghi, G., Oms, O., Galobart, À. i Fortuny, J. 2022. Early-middle Permian ecosystems of equatorial Pangaea: Integrated multi-stratigraphic and palaeontological review of the Permian of Mallorca (Balearic Islands, western Mediterranean). *Earth-Science Reviews*, 228: 103948.
- Mujal, E., Fortuny, J., Oms, O., Bolet, A., Galobart, À. i Anadón, P. 2016. Palaeoenvironmental reconstruction and early Permian ichnoassemblage from the NE Iberian Basin (Pyrenean Basin). *Geological Magazine*, 153(4): 578-600.
- Mujal, E., Fortuny, J., Pérez-Cano, J., Dinarès-Turell, J., Ibáñez-Insa, J., Oms, O., Vila, I., Bolet, A. i Anadón, P. 2017. Integrated multi-stratigraphic study of the Coll de Terrers late Permian-Early Triassic continental succession from the Catalan Pyrenees (NE Iberian Peninsula): A geologic reference record for equatorial Pangaea. *Global and Planetary Change*, 159: 46-60.
- Nicolás, J.C. de 1988. Localitzats a Ciutadella restes d'un possible rèptil que va viure fa 250 milions d'anys. *Menorca*, 2 de juliol del 1988.
- Olroyd, S.L. i Sidor, C.A. 2017. A review of the Guadalupian (middle Permian) global tetrapod fossil record. *Earth-Science Reviews*, 171: 583-597.
- Olson, E.C. 1951. Fauna of the upper Vale and Choza: 1-5. *Fieldiana · Geology*, 10(11): 89-128.
- Olson, E.C. 1958. Fauna from the Vale and Choza: 14. Summary, review, and integration of the geology and the faunas. *Fieldiana · Geology*, 10(32): 397-448.
- Olson, E.C. 1962. Late Permian terrestrial vertebrates, U.S.A. and U.S.S.R. *Transactions of the American Philosophical Society*, 52: 1-224.
- Olson, E.C. 1966. Community evolution and the origin of mammals. *Ecology*, 47(2): 291-302.
- Olson, E.C. 1967. Early Permian vertebrates of Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Circular*, 74: 1-111.
- Olson, E.C. i Barghusen, H. 1962. Permian vertebrates from Oklahoma and Texas. Part I. — Vertebrates from the Flowerpot Formation, Permian of Oklahoma. *Oklahoma Geological Survey Circular*, 59: 6-48.
- Olson, E.C. i Beerbower, J.R. 1953. The San Angelo Formation, Permian of Texas, and its vertebrates. *The Journal of Geology*, 61(5): 389-423.
- Olson, E.C. i Mead, J.G. 1982. The Vale Formation (lower Permian): its vertebrates and paleoecology. *Texas Memorial Museum Bulletin*, 29: 1-46.
- Pretus, J.L.L. i Obrador, A. 1987. Presencia de restos óseos en el Pérmico de Menorca (nota previa). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de Balears*, 31: 149-152.

- Reisz, R. 1972. Pelycosaurian reptiles from the middle Pennsylvanian of North America. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology*, 144: 27-61.
- Reisz, R.R. 1986. *Handbuch der Paläoherpetologie / Encyclopedia of Paleoherpology. Teil 17A / Part 17A: Pelycosauria*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York. 102 pp.
- Reisz, R.R. i Sues, H.-D. 2000. Herbivory in late Paleozoic and Triassic terrestrial vertebrates. In: Sues, H.-D. (ed.). *Evolution of Herbivory in Terrestrial Vertebrates*. Cambridge University Press. 9-41.
- Romano, M., Citton, P., Maganuco, S., Sacchi, E., Caratelli, M., Ronchi, A. i Nicosia, U. 2019. New basal synapsid discovery at the Permian outcrop of Torre del Porticciolo (Alghero, Italy). *Geological Journal*, 54(3): 1554-1566.
- Romano, M., Bernardi, M., Petti, F.M., Rubidge, B., Hancox, J. i Benton, M.J. 2020. Early Triassic terrestrial tetrapod fauna: a review. *Earth-Science Reviews*, 210: 103331.
- Romano, M., Manucci, F., Rubidge, B. i Van den Brandt, M.J. 2021. Volumetric body mass estimate and *in vivo* reconstruction of the Russian pareiasaur *Scutosaurus karpinskii*. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9: 692035.
- Romer, A.S. 1956. *Osteology of the Reptiles*. University of Chicago Press, Chicago, London. 772 pp.
- Romer, A.S. i Price, L.I. 1940. Review of the Pelycosauria. *Geological Society of America Special Papers*, 28: 1-538.
- Rosell, J., Arribas, J., Elizaga, E. i Gómez, D. 1988. Caracterización sedimentológica y petrográfica de la serie roja permo-triásica de la isla de Menorca. *Boletín Geológico y Minero*, 99(1): 71-82.
- Santi, G., Marchetti, L., Schirolli, P. i Ronchi, A. 2020. The Cisuralian tetrapod ichnoassociation from Italy: from historical findings to a standard reference status. *Journal of Mediterranean Earth Sciences*, 12: 39-59.
- Scotese, C.R. 2014. *Atlas of Middle & Late Permian and Triassic Paleogeographic Maps, maps 43 – 48 from Volume 3 of the PALEOMAP Atlas for ArcGIS (Jurassic and Triassic) and maps 49 – 52 from Volume 4 of the PALEOMAP Atlas for ArcGIS (Late Paleozoic)*, Mollweide Projection. PALEOMAP Project; Evanston.
- Scotese, C.R., Song, H., Mills, B.J.W. i van der Meer, D.G. 2021. Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth Science Reviews*, 215: 103503.
- Sigogneau-Russell, D. 1989. *Handbuch der Paläoherpetologie / Encyclopedia of Paleoherpology. Teil 17B/1 / Part 17B/1: Theriodontia I. Phthinosuchia, Biarmosuchia, Eotitanosuchia, Gorgonopsia*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York. 127 pp.
- Sumida, S.S. 1989. The appendicular skeleton of the early Permian genus *Labidosaurus* (Reptilia, Captorhinomorpha, Captorhinidae) and the hind limb musculature of captorhinid reptiles. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 9(3): 295-313.
- Valentini, M., Nicosia, U. i Conti, M.A. 2009. A re-evaluation of *Pachypes*, a pareiasaurian track from the Late Permian. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, 251: 71-94.
- Van den Brandt, M.J., Benoit, J., Aabdala, F. i Rubidge, B.S. 2021. Postcranial morphology of the South African middle Permian pareiasaurs from the Karoo Basin of South Africa. *Palaeontologia Africana*, 55: 1-91.

