

El ámbar del Cretácico Inferior de España

Xavier Delclòs¹, Antonio Arillo², Eduardo Barrón³,
Jacopo Dal Corso⁴, Veronique Daviero-Gómez⁵,
Rafael López del Valle⁶, André Nel⁷, Jaume Ortega-Blanco¹,
Enrique Peñalver³, Ricardo Pérez-de la Fuente⁸, David Peris¹,
Alba Sánchez-García¹, Mónica M. Solórzano-Kraemer⁹,
Guido Roghi⁴, Eric E. Saupe¹⁰, Paul A. Selden¹¹

¹Fac. de Geología, Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona.
E-mail: xdelclos@ub.edu, David.peris@ub.edu, alba.sanchez@ub.edu

²Fac. de Biología, Universidad Complutense, 28040 Madrid.
E-mail: aarillo@gmail.com

³Museo Geominero, IGME, 28003 Madrid.
E-mail: e.penalver@igme.es, e.barron@igme.es

⁴Istituto di Geoscienze e Georisorse-CNR, Dipt. di Geoscienze,
Universita' di Padova, 35131, Padova, Italia.
E-mail: jacopo.dalcorso@unipd.it, guido.roghi@igg.cnr.it

⁵CNRS-UMR 5276 Terre, Planètes, Environnement, Dept. Biologie,
Univ. Lyon 1, 69622, Villeurbanne, Francia.
E-mail: veronique.daviero@univ-lyon1.fr

⁶Museo de Ciencias Naturales de Álava, 01001, Vitoria-Gasteiz, España.
E-mail: rlopezdelvalle@alava.net

⁷Lab. Entomologie, Muséum National Histoire Naturelle, 75005 Paris,
Francia. E-mail: anel@mnhn.fr

⁸Museum of Comparative Zoology, Harvard University, 02138, Cambridge,
Massachusetts, USA. E-mail: perezdelafuente@fas.harvard.edu

⁹Senckenberg Research Institut, Frankfurt, Alemania.
E-mail: monica.solorzano-kraemer@senckenberg.de

¹⁰Dept. of Geology and Geophysics, Yale University, New Haven,
USA. E-mail: erin.saupe@yale.edu

¹¹Dept. of Geology, University of Kansas, 66045 Lawrence, Kansas (USA).
E-mail: selden@ku.edu

Introducción

El ámbar es resina fosilizada que frecuentemente conserva en su interior organismos con su volumen original, los cuales, en ocasiones, también muestran fosilizadas sus partes blandas, por ejemplo la musculatura. La conservación de los detalles anatómicos externos, incluidos los muy pequeños, permite codificar una gran parte de los caracteres necesarios para realizar análisis filogenéticos junto a los organismos actuales. El ámbar también conserva evidencias directas e indirectas de tipo paleoetológico y de interacciones entre organismos.

No existen yacimientos pre-cretácicos que proporcionen un importante número de organismos fosilizados en el interior del ámbar (= bioinclusiones). A nivel mundial, los yacimientos de ámbar del Cretácico de relevancia paleontológica, por la diversidad y abundancia en bioinclusiones, se limitan a los del Líbano (Aptiense), España (Albiense), Myanmar y Francia (Albiense superior-Cenomaniense inferior), Estados Unidos de América (Turoniense), Federación de Rusia (Cenomaniense superior-Santoniense) y Canadá (Campaniense). El último en ser descubierto se encuentra en Etiopía y es del Cenomaniense.

El primer estudio del ámbar en España fue realizado por Gaspar Casal en el año 1762; sin embargo, hasta 1995 no se descubrieron las primeras bioinclusiones en el ámbar de España (en Peñacerrada I). Se han catalogado unos 130 yacimientos, siendo la mayoría de ellos de edad Albiense, aunque también existen del Cenomaniense y del Maastrichtiense (Delclòs *et al.*, 2007; Peñalver y Delclòs, 2010). No obstante, solo nueve, todos ellos del Albiense, han proporcionado ámbar con bioinclusiones, principalmente artrópodos, y solo tres de ellos en gran número: Peñacerrada I (= Moraza) en Burgos (Alonso *et al.*, 2000), San Just en Teruel (Peñalver *et al.*, 2007) y El Soplao en Cantabria (Najarro *et al.*, 2009, 2010).

La resina que dio lugar a los depósitos de ámbar españoles fue exudada en bosques de coníferas resinosas. Se piensa que los grupos implicados fueron Araucariaceae y Cheirolepidiaceae.

El ámbar de España ha proporcionado interesantes novedades en el campo de la paleoecología. Está permitiendo el estudio detallado de un ecosistema boscoso en un contexto insular (Iberia durante el Cretácico), bajo un clima subtropical, en plena expansión de las angiospermas. En efecto, el estudio

del ámbar con bioinclusiones del tránsito del Cretácico Inferior al Superior es especialmente importante debido a que, entre otras singularidades, en ese periodo comenzaba la radiación de las angiospermas y, asociada a ella, una profunda reestructuración de los ecosistemas terrestres y, por tanto, una diversificación del conjunto de su paleobiota. Además, se produjo una intensa sustitución de formas de artrópodos jurásicas y cretácicas por otras formas comunes en los ecosistemas actuales.

Métodos

El ámbar se obtiene con diversos métodos: manualmente con herramientas convencionales, por lavado directo *in situ* con agua a presión o por tamizado de la roca matriz no cementada (Corral *et al.*, 1999; Najarro *et al.*, 2010). Para poder estudiar las bioinclusiones es preciso un delicado trabajo de laboratorio que consiste en la limpieza y consolidación de las piezas de ámbar recuperadas, en la detección de las bioinclusiones, su aislamiento en una pequeña porción, su inclusión en resina sintética EPO-TEK 301 al vacío y en el corte y pulido final del resultado (Corral *et al.*, 1999).

La mayoría de las bioinclusiones son estudiadas con lupas y microscopios ópticos. Unas pocas están siendo estudiadas mediante la microtomografía de rayos-X con radiación de sincrotrón en contraste de fase, en la ESRF (Grenoble). Esta técnica no destructiva permite la obtención de imágenes virtuales 3D de alta resolución de cuerpo entero (Fig. 1) y, también, muestra la conservación de estructuras internas (Soriano *et al.*, 2010; Saupe *et al.*, 2012).

Contexto geológico

En general, el ámbar del Cretácico de España se encuentra en yacimientos distribuidos en un arco que incluye los márgenes Norte y Este de la península Ibérica, el cual se corresponde aproximadamente con la línea de costa durante el Cretácico Inferior. Las principales concentraciones de ámbar se encuentran en la Cuenca del Maestrazgo, la Cuenca Vasco-Cantábrica y la Depresión Central Asturiana.

Paleoambiente

El paleoambiente donde se formó la resina se ha podido conocer cada vez mejor a partir de diversos tipos de datos: 1) características sedimentológicas

de las facies, que aportan información del medio de formación del depósito; 2) evidencias de tipo tafonómico; 3) restos botánicos asociados al ámbar, tanto polínicos como de macrorrestos, encontrados tanto como bioinclusiones como en la roca que contiene el ámbar; 4) bioinclusiones, proporcionan información de los organismos de pequeño tamaño que vivían en el ecosistema, así como de las relaciones ecológicas entre ellos; 5) análisis geoquímicos del ámbar, que indican el tipo de resina fósil que es y aportan información para la determinación de las plantas productoras de resina, y 6) datos disponibles sobre las condiciones regionales o globales para su integración con el resto, como por ejemplo el clima establecido a nivel regional o las características de la atmósfera del Albiense.

En general, los estudios polínicos y de macrorrestos muestran una asociación paleobotánica integrada en el sotobosque por musgos, licopodios, helechos, cicadales, ginkgoales, bennettitales, pteridospermales, gnetales y angiospermas. El estrato arbóreo/arbustivo estaría formado por Araucariaceae, Cupressaceae y Cheirolepidiaceae.

El conjunto sugiere que la resina se formó en un bosque subtropical de coníferas bajo un clima seco-húmedo estacional. Los estudios geoquímicos y quimiotaconómicos indican que los productores de las resinas, en la Cuenca del Maestrazgo y en el margen occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, fueron el género *Frenelopsis* (Cheirolepidiaceae) y un tipo de árbol hasta ahora no determinado y, en el margen oriental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, un tipo de Araucariaceae (Chaler y Grimalt, 2005; Menor-Salván *et al.*, 2010).

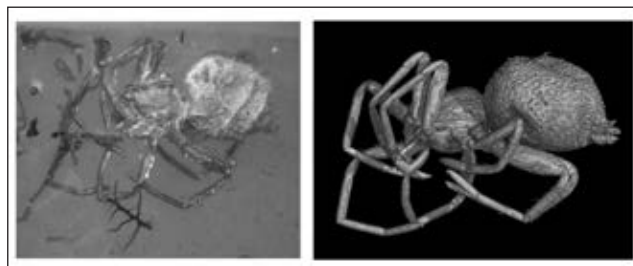


Figura 1. *Orchestina* sp., familia Oonopidae, del yacimiento de San Just (Teruel). Izquierda, fotografía realizada con una lupa binocular. Derecha, imagen microtomográfica con radiación de sincrotrón en contraste de fase (ESRF, Grenoble) (Saupe *et al.*, 2012). Longitud corporal 1,11 mm.

La presencia, casi siempre conjunta, de fusinita y ámbar en los niveles de concentración que han sido excavados indica que durante la época seca se produjeron extensos incendios en los bosques resinosos. La génesis de estos niveles sería el resultado de la erosión, en la estación húmeda, de los suelos desprovistos de la protección de la vegetación (Najarro *et al.*, 2010). El desarrollo de incendios también se ha podido inferir del estudio de la paleofauna conservada en el ámbar (Ortega-Blanco *et al.*, 2008; Pérez de la Fuente *et al.*, 2012). Además de la evidencia de madera quemada (principal componente de esta fusinita) se han hallado coprolitos y semillas en la roca matriz que habrían experimentado combustión en un incendio.

Bioinclusiones en el ámbar

La mayoría de las bioinclusiones corresponden a artrópodos (varios miles de ejemplares). Principalmente son hexápodos/insectos (17 órdenes) y, en mucha menor medida, arácnidos (ácaros, pseudoescorpiones y arañas, Fig. 1), crustáceos (tanaidáceos e isópodos) y miriápodos. Los grupos dominantes de insectos son los dípteros (moscas y mosquitos), himenópteros (únicamente representantes de avispas), hemípteros (chinchas) y coleópteros (escarabajos). Las últimas revisiones generales sobre los artrópodos se encuentran en Delclòs *et al.* (2007) y Peñalver y Delclòs (2010). Desde entonces el número de ejemplares investigados ha crecido considerablemente. En los últimos años se han estudiado varias asociaciones que muestran relaciones paleoecológicas que no se conocían en registros fósiles tan antiguos (Pérez de la Fuente *et al.*, 2012). Los hallazgos más importantes corresponden a casos que evidencian polinización entomófila de gimnospermas (Peñalver *et al.*, 2012). Otras bioinclusiones son plumas, telarañas (Peñalver *et al.*, 2006), palinomorfos (Peñalver *et al.*, 2012) y fragmentos de plantas. También se han encontrado microorganismos pertenecientes a diferentes grupos (Martín-González *et al.*, 2009).

Conclusiones

El estudio del ámbar del Cretácico de España está permitiendo comprender con cierto detalle el desarrollo y la dinámica de los ecosistemas boscosos insulares, dominados por gimnospermas, que existieron en la Placa Ibérica durante el Albiense, bajo un clima subtropical con alternancia estacional húmeda y seca. Fue un periodo clave en lo que respecta al reemplazo de las gimnospermas por las angiospermas en los ecosistemas terrestres.

La investigación, principalmente centrada en las bioinclusiones, continúa siendo intensa. Si bien algunos grupos de artrópodos han sido estudiados casi en su totalidad durante la realización de tesis doctorales, otros están todavía sin estudiar. Uno de los yacimientos principales ha sido objeto de un estudio monográfico en el marco de una tesis doctoral, concretamente El Soplao, mientras que otros, potencialmente muy importantes, serán excavados en los próximos años.

Agradecimientos

Esta investigación se enmarca en los sucesivos proyectos del Ministerio de Educación y Ciencia, del Ministerio de Economía y Competitividad (proyecto vigente: CGL2011-23948/BTE) y de la ESRF para el estudio del ámbar de España.

Referencias

- Alonso, J., Arillo, A., Barrón, E., Corral, J.C., Grimalt, J., *et al.*, 2000. A new fossiliferous resin with biological inclusions in Lower Cretaceous deposits from Álava (northern Spain, Basque-Cantabrian Basin). *Journal of Paleontology*, 74: 158-178.
- Chaler, R. y Grimalt, J. 2005. Fingerprinting of Cretaceous higher plant resins by infrared spectroscopy and gas chromatography coupled to mass spectrometry. *Phytochemical Analysis*, 16: 446-450.
- Corral, J.C., López del Valle, R. y Alonso, J. 1999. El ámbar cretácico de Álava (Cuenca Vasco-Cantábrica, Norte de España): su colecta y preparación. *Estudios del Museo de Ciencias Naturales de Álava*, 14: 7-21.
- Delclòs, X., Arillo, A., Peñalver, E., Barrón, E., Soriano, C., *et al.* 2007. Fossiliferous amber deposits from the Cretaceous (Albian) of Spain. *Comptes Rendus Palevol*, 6: 135-149.
- Martín-González, A., Wierzbos, J., Gutiérrez, J.C., Alonso, J. y Ascaso, C. 2009. Microbial Cretaceous park: biodiversity of microbial fossils entrapped in amber. *Naturwissenschaften*, DOI 10.1007/s00114-009-0508-y.
- Menor-Salván, C., Najarro, M., Velasco, F., Rosales, I., Tornos, F., *et al.* 2010. Terpenoids in extracts of Lower Cretaceous ambers from the Basque Cantabrian Basin (El Soplao, Cantabria, Spain): Paleochemotaxonomic aspects. *Organic Geochemistry*, 41(10): 1089-1103.

- Najarro, M., Peñalver, E., Pérez-de la Fuente, R., Ortega-Blanco, J., Menor-Salván, C., *et al.* 2010. A review of the El Soplao amber outcrop, Early Cretaceous of Cantabria (Spain). *Acta Paleontologica Sinica*, 84: 959-976.
- Najarro, M., Peñalver, E., Rosales, I., Pérez-de la Fuente, R., Daviero-Gomez, V., *et al.* 2009. Unusual concentration of Early Albian arthropod-bearing amber in the Basque-Cantabrian Basin (El Soplao, Cantabria, Northern Spain): Palaeoenvironmental and palaeobiological implications. *Geologica Acta*, 7: 363-387.
- Ortega-Blanco, J., Rasnitsyn, A.P. y Delclòs, X. 2008. First record of anaxyelid woodwasps (Hymenoptera: Anaxyelidae) in Lower Cretaceous Spanish amber. *Zootaxa*, 1937: 39-50.
- Peñalver, E. y Delclòs, X. 2010. Spanish Amber. En: Penney, D. (ed.), *Biodiversity of fossils in amber from the major world deposits*. Siri Scientific Press, Manchester, 236-270.
- Peñalver, E., Delclòs, X. y Soriano, C. 2007. A new rich amber outcrop with palaeobiological inclusions in the Lower Cretaceous of Spain. *Cretaceous Research*, 28: 791-802.
- Peñalver, E., Grimaldi, D.A. y Delclòs, X. 2006. Early Cretaceous spider web with its prey. *Science*, 312: 1761.
- Peñalver, E., Labandeira, C.C., Barrón, E., Delclòs, X., Nel, P., *et al.* 2012. Thrips pollination of Mesozoic gymnosperms. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109: 8623-8628.
- Pérez-de la Fuente, R., Delclòs, X., Peñalver, E., Speranza, M., Wierzos, J., *et al.* 2012. Early evolution and ecology of camouflage in insects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109: 21414-21419.
- Saupe, E.E., Pérez-de la Fuente, R., Selden, P.A., Delclòs, X., Tafforeau, P., *et al.* 2012. New *Orchestina* Simon, 1882 (Araneae: Oonopidae) from Cretaceous ambers of Spain and France: first spiders described using phase-contrast X-ray synchrotron microtomography. *Palaeontology*, 55: 127-143.
- Soriano, C., Archer, M., Azar, D., Creaser, P., Delclòs, X., *et al.* 2010. Synchrotron X-ray imaging on inclusions in amber. *Comptes Rendus Palevol*, 9: 361-368.