

# Caracterización composicional de las areniscas del Cretácico Superior en las Sierras Marginales y Exteriores (cuenca surpirenaica): análisis mediante minerales pesados y petrografía óptica

*Compositional characterization of the Upper Cretaceous sandstones in the Sierras Marginales y Exteriores (south-Pyrenean basin): Heavy-mineral and sandstone petrography analysis*

David Gómez-Gras, Raúl Collado, Xavier Coll y Marta Roigé

Departament de Geologia, Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra (Barcelona), España.

david.gomez@uab.cat, raul1991\_8@hotmail.com xcc021285@gmail.com, roige.marta@gmail.com

## ABSTRACT

*Heavy-mineral analysis allows constraining provenance of detrital materials as well as their diagenetic history and the energetic characteristics of depositional environment. This technique, coupled with sandstone petrography, is applied for the first time to the Upper Cretaceous materials of the south-central Pyrenean basin, in the Sierras Marginales and Sierras Exteriores. The present paper determines the heavy-mineral suites and the petrography of the Santonian and Maastrichtian materials during a key moment of the south-central Pyrenean basin evolution, in which the inversion of the previous extensional basins occurs together with the earliest record of the detrital sedimentation of the foreland basin. The impoverished heavy-mineral assemblages, together with the high compositional maturity displayed by the Upper Cretaceous sandstones of the south-central Pyrenean basin (quartzarenites and K-feldspar arkoses), suggest that these sediments were affected by an intense dissolution which have strongly modified their original signal. Such composition was modified due to weathering processes that occurred at the source area, to mechanical breakdown during transport and to diagenesis during burial accompanied by acid-water circulation.*

**Key-words:** Heavy-minerals, petrography, Raman spectroscopy, Upper Cretaceous, south-Pyrenean basin.

## RESUMEN

*El análisis de minerales pesados es una técnica que permite precisar sobre la procedencia de los materiales detríticos, así como su historia diagenética y las características energéticas de su ambiente de sedimentación. Esta técnica, juntamente con un análisis petrográfico cuantitativo, se aplica por primera vez en los materiales del Cretácico Superior de la cuenca surpirenaica central, en las Sierras Marginales y Sierras Exteriores. El presente trabajo establece las asociaciones de minerales pesados y la petrografía de los materiales del Santoniense y Maastrichtiense en un momento clave de la evolución de la cuenca surpirenaica central, en el que se produce la inversión de cuencas previas, y el registro más temprano de la sedimentación detrítica de la cuenca de antepaís. Las asociaciones empobrecidas de minerales pesados, junto a la madurez composicional elevada que muestran dichas areniscas (cuarzoarenitas y arcosas con feldespato potásico), sugieren que estos sedimentos han estado sometidos a una intensa disolución que ha modificado profundamente su composición original. Dicha composición fue alterada por los procesos de meteorización acaecidos en el área fuente, por la abrasión mecánica durante el transporte y por la diagénesis durante el enterramiento acompañada de la circulación de aguas ácidas.*

**Palabras clave:** Minerales pesados, petrografía, espectrometría Raman, Cretácico Superior, cuenca surpirenaica.

*Geogaceta*, 61 (2017), 163-166  
ISSN (versión impresa): 0213-683X  
ISSN (Internet): 2173-6545

Recepción: 26 de julio de 2016  
Revisión: 3 de noviembre de 2016  
Aceptación: 25 de noviembre 2016

## Introducción

El análisis de minerales pesados es una técnica que permite precisar sobre la procedencia de los materiales detríticos, así como su historia diagenética y las características energéticas de su ambiente de deposición. Cuando este tipo de análisis se complementa entre otros con datos de petrografía del conjunto de la roca, geoquímica de isótopos o datos de termocronología, se puede obtener información muy completa del contexto geo-

tectónico del área fuente que proporciona el detrítico (Morton y Hallsworth, 1999). El análisis de minerales pesados con el microscopio petrográfico puede ser una tarea difícil, ya que frecuentemente estos minerales pueden aparecer alterados o abrasionados, dificultando así su identificación óptica. Es por este motivo que en este trabajo se ha incorporado el uso de la espectrometría Raman como herramienta de análisis de minerales pesados, la cual permite un resultado composicional preciso de la muestra analizada.

Esta técnica, juntamente con un análisis petrográfico cuantitativo se aplica por primera vez en los materiales del Cretácico Superior de la cuenca surpirenaica central y concretamente en su parte más meridional, las Sierras Marginales y Exteriores. En cuanto a la procedencia de estos materiales, existen pocos trabajos petrológicos que hagan referencia a ellos, limitándose fundamentalmente a los que estudian las facies Garumniense (Formación Tresp). Gómez-Gras *et al.* (2016) mediante petrografía óp-

tica establecen que para el sector más meridional de la Fm. Tremp, es el Macizo del Ebro el que actúa como área fuente. Ullastre y Masriera (1982) determinan una asociación de minerales pesados característica para estas facies, dejando varias opciones sobre la interpretación de su área fuente. Dentro de este contexto, en este trabajo se pretende establecer la asociación de minerales pesados y la petrografía de los materiales del Santoniense y Maastrichtiense en un momento clave de la evolución de la cuenca surpirenaica central, en el que se produce la inversión de las cuencas previas y el registro más temprano de la sedimentación detrítica de la cuenca de antepaís

## Contexto geológico

Los Pirineos incluyen un cinturón de pliegues y cabalgamientos formados durante el Cretácico Superior y el Mioceno medio, como resultado de la colisión entre las placas Ibérica y Euroasiática (Muñoz, 1992). Durante el primer estadio de la compresión Alpina se produjo la inversión de las fallas y cuencas extensionales mesozoicas, mientras que en un segundo estadio se generaliza la propagación de cabalgamientos y se produce la subducción de la corteza inferior de la placa Ibérica bajo la placa Euroasiática (Roure *et al.*, 1989; Teixell, 1998). El orógeno pirenaico se caracteriza por constituir un prisma asimétrico

con dos principales cuencas de antepaís; la cuenca del Ebro al sur, y la cuenca de Aquitania al norte (Fig.1).

En los Pirineos centrales, la inversión tectónica de las cuencas cretácicas resultó en el emplazamiento de la Unidad Surpirenaica Central (Séguret, 1972), la cual se encuentra limitada al norte por la Zona Axial y está integrada por tres láminas cabalgantes principales, de norte a sur; Bóixols, Montsec y Sierras Marginales (Cámara y Klimovitz, 1985). Los materiales detríticos objeto de este estudio son los correspondientes al Cretácico Superior del extremo más meridional de la cuenca surpirenaica central, concretamente los que afloran en las láminas de las Sierras Marginales y en las Sierras Exteriores (límite sur de la cuenca de Jaca).

En las Sierras Marginales se han analizado los materiales del Santoniense - Campaniense y Maastrichtiense, en los sectores de Camarasa y Canelles (Fig. 1). Los materiales del Santoniense-Campaniense en estos sectores están constituidos por areniscas y localmente microconglomerados cuarzosos, que presentan un aumento claro de potencia de sur a norte. Estos materiales han sido interpretados por Clapés (1997) como propios de ambientes fluviales, deltaicos y mareales, muy energéticos de tipo incised-valley system y sedimentados en momentos transgresivos. En el sector de Canelles se han analizado las areniscas maastrichtienses equivalentes a la Fm. Arén en la cuenca de Tremp, correspondientes a

facies de transición con cierta influencia mareal. Adicionalmente se han analizado también los depósitos detríticos del Santoniense en las Sierras Exteriores, en el sector de la Sierra de Guara (Fig. 1), los cuales se caracterizan por constituir facies de conglomerados y areniscas ricas en cuarzo, asociados a ambientes de plataforma (Lobato y Meléndez, 1988).

## Metodología

Se recogieron seis muestras de arenisca del Cretácico Superior que fueron trituradas, tamizadas y sometidas a un baño con ácido acético diluido al 10%, previamente al proceso de separación de minerales pesados.

El proceso de separación por gravedad se realizó utilizando politungstato de sodio ( $d = 2.87 \text{ g/cm}^3$ ) y la fracción pesante recuperada de cada muestra se montó en láminas delgadas.

La identificación de los minerales pesados (200 granos por lámina) se realizó, en primer lugar, mediante el microscopio petrográfico. Los granos opacos, turbidos y de difícil identificación fueron analizados posteriormente mediante espectrometría Raman y los espectros resultantes se compararon con los de referencia presentes en las bases de datos ([www.ruff.info](http://www.ruff.info), Downs 2006) y en la bibliografía (Andó y Garzanti, 2014).

Posteriormente se realizaron láminas delgadas de la fracción ligera y se efectuó un análisis modal cuantitativo con el microscopio petrográfico, realizando un conteo de trescientos puntos por lámina según el método de Gazzi-Dickinson (Gazzi, 1996; Dickinson, 1970). Las láminas fueron teñidas parcialmente utilizando alizarina red-s y potassium hexacyanoferrate, para los carbonatos, y recubiertas con resina Epofix con Bisphenol-A-Diglycidil ether y Triethylenetetramine.

## Resultados y discusión

### Minerales pesados

Las muestras de minerales pesados presentan asociaciones empobrecidas (Fig. 2) y fundamentalmente constituidas por los minerales más estables (óxidos de titanio). Destaca el elevado contenido en goethita en las muestras del sector de Camarasa, la presencia de turmalina en las muestras de Canelles y la Sierra de Guara y la ausencia de granate en las muestras de Camarasa.

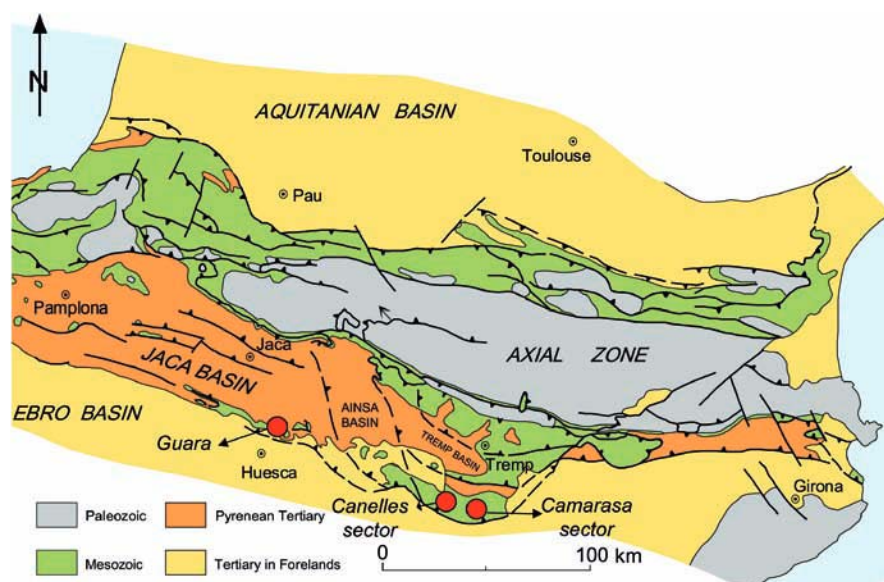


Fig. 1.- Mapa geológico simplificado de los Pirineos (modificado de Teixell, 1996) en el que se muestra la localización de las zonas de estudio (Guara, Canelles y Camarasa). Ver figura en color en la web.

Fig. 1.- Simplified geological map of the Pyrenees (redrawn from Teixell, 1996), showing the location of the study area (Guara, Canelles and Camarasa). See Colour figure on the web.

Los resultados obtenidos son característicos de asociaciones de minerales muy resistentes a la disolución por enterramiento y a la circulación de aguas ácidas (Morton y Hallsworth, 1999). Según estos autores, la variedad de minerales pesados presentes en los sedimentos depende de los procesos de meteorización en el área fuente, de la abrasión mecánica y los procesos de selección hidráulica durante el transporte y de la diagénesis durante el enterramiento.

En el Macizo del Ebro las rocas cristalinas fueron sometidas a una intensa meteorización debido a la larga exposición subaérea del Triásico al Cretácico (Gómez-Gras, 1993; Gómez-Gras y Ferrer, 1999; Gómez-Gras *et al.*, 2004; Parcerisa, Gómez-Gras y Martín-Martín, 2006). La fuerte meteorización a la que habría estado sometida el área fuente, habría generado la pérdida de los minerales más inestables (los ferromagnesianos y las plagioclasas). Los procesos de abrasión mecánica durante el transporte también han debido jugar un papel importante en la pérdida de los minerales menos estables debido a que estos materiales fueron sedimentados en ambientes de elevada energía ligados a eventos transgresivos (Clapés, 1997).

La desaparición de los minerales pesados menos resistentes se puede asociar con la profundidad de enterramiento (Morton, 1984). En este sentido, la ausencia de anfíbol, epidota, titanita, cianita y estauroлита sugiere un enterramiento mínimo de 2400 m para todas las muestras. La falta de granate en las muestras de Camarasa i Canelles 2 (base de la serie) quizás apunta a que han sufrido un enterramiento mayor (mínimo 3500 m).

Dichas profundidades de enterramiento son compatibles con las postuladas por Fillon *et al.* (2013) quienes, basándose en datos de termocronología, establecieron profundidades de entre 2,6 km a 3,2 km para los materiales del Cretácico Superior en la zona surpirenaica central.

La ausencia en todas las muestras de apatito, que es el mineral más estable en relación con el enterramiento, se interpreta como el resultado de la circulación de aguas ácidas durante la diagénesis, ya que éste es el más vulnerable bajo estas condiciones (Morton y Hallsworth, 1999).

#### Petrografía de las areniscas

Los granos siliciclásticos, constituidos por cuarzo (principalmente monocristalino), son el componente más abundante en todas

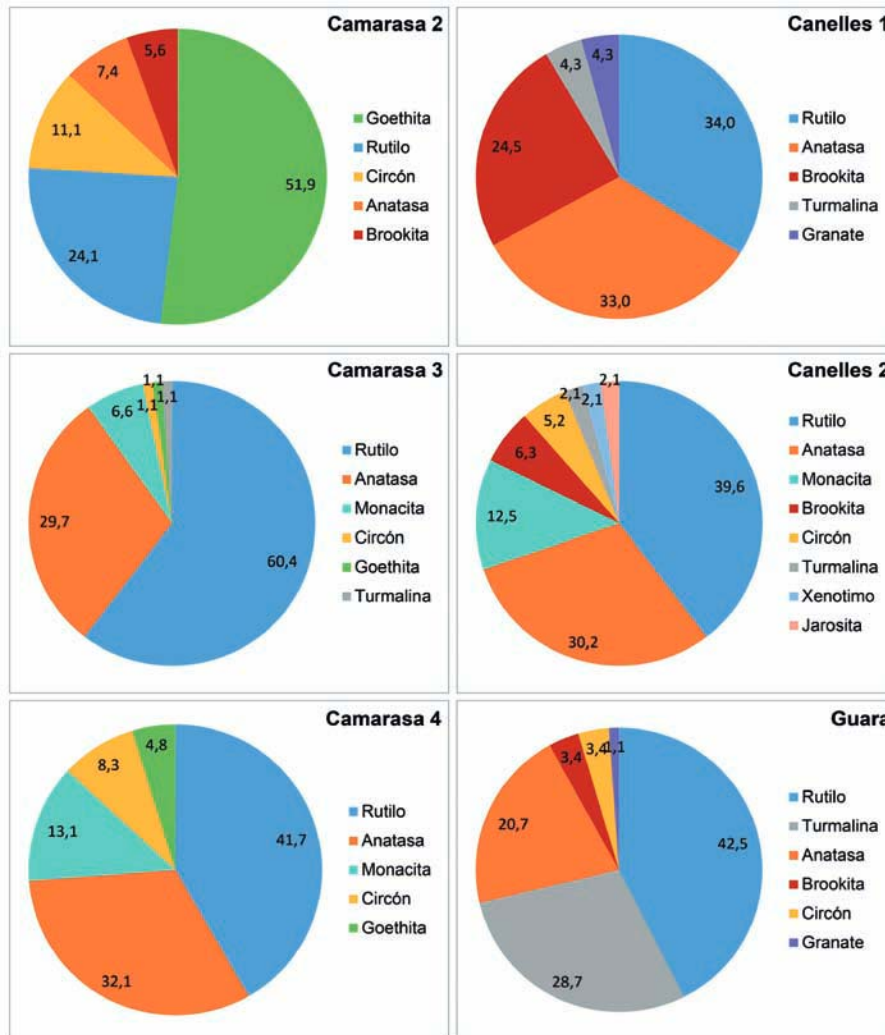


Fig. 2.- Asociaciones de minerales pesados para el Cretácico Superior de la cuenca surpirenaica central representadas en gráficos circulares con el porcentaje de abundancia de cada mineral. Ver figura en color en la web.

Fig. 2.- Heavy-mineral assemblages for the Upper Cretaceous of the south-central Pyrenean basin displayed as percentage pie charts showing the relative abundance of each mineral. See Colour figure on the web.

las muestras (45,5%-70,1%). Entre ellos destaca la presencia de granos con abundantes inclusiones de minerales evaporíticos (4,65%). Los feldespatos potásicos presentan porcentajes menores (22,4%-30,5%) y son inexistentes en el sector de Guara.

Los fragmentos de roca metamórficos (esquistos, pizarras y cuarcitas) son poco abundantes (0,9%-6,9%) e inexistentes en Camarasa 2.

Los granos carbonáticos extracuencales únicamente presentan proporciones considerables en Guara y Canelles 1 (13,5%) y están representados por fragmentos de calizas esparíticas y biomicríticas.

Desde el punto de vista composicional, estas areniscas se clasifican como cuarzoarenitas y arcosas (Fig. 3). El contenido elevado en cuarzo y feldespato potásico (más resistentes a la meteorización y disolución)

son indicativos de una madurez composicional elevada. Los feldespatos potásicos se atribuyen a rocas cristalinas paleozoicas como granitoides, ya que frecuentemente aparecen junto con el cuarzo formando fragmentos plutónicos, mientras que los granos de cuarzo con inclusiones evaporíticas (halita y anhidrita), se relacionan con la erosión de las facies Keuper (Marfil 1970), indicando un área fuente con presencia de cobertera mesozoica.

Los fragmentos de roca metamórficos son indicativos de un área fuente metamórfica de edad paleozoica. Por el contrario, el área fuente más probable para los granos carbonáticos se establece en las calizas que forman la cobertera mesozoica, donde los fragmentos de rocas micríticas y biomicríticas procederían de la erosión de formaciones del Triásico y Cretácico.

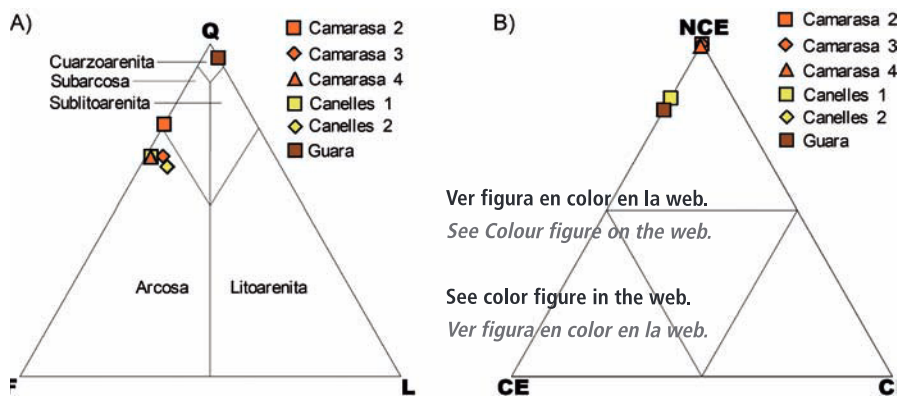


Fig. 3.- Proyección ternaria composicional de las areniscas del Cretácico Superior. A) Diagrama Q-F-L en el sentido Pettijohn *et al.* (1972) en donde los granos de cuarzo corresponden a la abreviatura Q, F corresponde a granos de feldespato y L a litoclastos. B) Diagrama NCE-CE-CI en el sentido de Zuffa (1980), donde granos no-carbonáticos extracuencales corresponden a la abreviatura NCE, CE corresponde a granos carbonáticos extracuencales y CI a granos carbonáticos intracuencales.

Fig. 3.- Compositional ternary plot for the Upper Cretacic sandstones A) Ternary plot Q-F-L, in the sense of Pettijohn *et al.* (1972), where quartz grains are abridged as Q, feldspars as F and lithic grains as L; B) Ternary plot NCE-CE-CI, in the sense of Zuffa (1980), where non-carbonate extrabasinal grains are abridged as NCE, carbonate extrabasinal grains as CE and CI are carbonate intrabasinal grains.

Según Gómez-Gras *et al.* (2016), el Macizo del Ebro actuó como área fuente principal durante el Cretácico para la mayor parte de los sedimentos depositados en la cuenca surpirenaica central. Las reconstrucciones paleogeográficas registran una zona expuesta inmediatamente al sur de esta cuenca, donde las rocas cristalinas fueron sometidas a una intensa meteorización desde el Triásico hasta el Cretácico.

Dichas interpretaciones son compatibles con los resultados obtenidos en el presente trabajo, en el que se postula un área fuente afectada por una intensa meteorización que daría como resultado sedimentos con una elevada madurez composicional (cuarzoarenitas y subarcosas).

## Conclusiones

Las asociaciones de minerales pesados empobrecidas, junto a la madurez composicional elevada que muestran las areniscas del Cretácico Superior de la zona surpirenaica, sugieren que estos sedimentos han estado sometidos a una intensa disolución que ha modificado profundamente la composición de su procedencia original. Esta composición original fue modificada por los procesos de meteorización acaecidos en el área fuente, por la abrasión mecánica durante el transporte y por la diagénesis du-

rante el enterramiento acompañada de la circulación de aguas ácidas. La acción conjunta de todos estos procesos condujo a la progresiva disolución de las especies minerales menos estables.

A partir de las asociaciones de minerales pesados encontrados se han deducido profundidades de enterramiento comprendidas entre 2400 m y 3500 m que son compatibles con las postuladas a partir de estudios de termocronología en los materiales del Cretácico Superior de la zona surpirenaica central.

## Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al CGL2014-54180-P, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España. Agradecemos a los revisores y editores sus comentarios para mejorar el texto.

## Referencias

- Andò, S. y Garzanti, E. (2014). *Geological Society, London, Special Publications* 386, 395-412.
- Cámara, P. y Klimowitz, J. (1985). *Estudios Geológicos* 41, 391-404.
- Clapés, C. (1997). *Els nivells de gresos Santonians de les Serres Marginals (Pre-Pirineu Central). Treball de recerca*. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona, 289p.

- Dickinson, W. (1970). *Sedimentary Petrology* 40, 695-707.
- Fillon, C., Gautheron, C. y van der Beek, P. (2013). *Journal of the Geological Society* 170, 67-77.
- Gazzi, P. (1966). *Mineralogica et Petrographica Acta* 12, 69-97.
- Gómez-Gras, D. (1993). *Boletín Geológico y Minero* 104, 115-161.
- Gómez-Gras, D. y Ferrer, C. (1999). *Revista de la Sociedad Geológica de España* 12, 281-299.
- Gómez-Gras, D., Núñez, J. A., Lacasa, G. y Parcerisa, D. (2004). En: *32nd International Geological Congress, Abstracts book 2*, p. 1099.
- Gómez-Gras, D., Roigé, M., Fondevilla, V., Oms, O., Boya, S. y Remacha, E. (2016). *Cretaceous Research* 57, 414-427.
- Lobato, A. y Meléndez, A. (1988). En: *II Congreso Geológico de España, Comunicaciones* 1, 99-102.
- Marfil, R. (1970). *Estudios Geológicos* 2, 113-163.
- Morton, A.C. (1984). *Clay Mineralogy* 19, 287-308.
- Morton, A. C. y Hallsworth, C. R. (1999). *Sedimentary Geology* 124, 3-29.
- Muñoz, J.A. (1992). En: *Thrust Tectonics* (McClay, K.R. Eds.). Chapman and Hall, New York, 235-246.
- Parcerisa, D., Gómez-Gras, D., y Martín-Martín, J. D. (2006). *Geological Society of America Special Papers* 416, 105-117.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., y Siever, R. (1972). *Sand and Sandstone*. Springer, Berlin-Herdelberg-New York, 618p.
- Roure, F., Choukroune, P., Berastegui, X., Muñoz, J. A., Villien, A., Matheron, P., Bareyt, M., Séguret, M., Camara, P. y Déramond, J. (1989). *Tectonics* 8, 41-50.
- Séguret, M. (1972). *Etude tectonique du versant sud des Pyrenees centrales: nappes et series decolles, role du serrage et de gravity'Presses*. Univ. Sci. Tech. Languedoc.
- Teixell, A. (1996). *Journal of the Geological Society of London* 153, 301-310.
- Teixell, A. (1998). *Tectonics* 17, 395-406.
- Ullastre, J. y Masriera, A. (1982). *Cuadernos de Geología Ibérica* 8, 949-964.
- Zuffa, G. (1980). *Journal of Sedimentary Petrology* 50, 21-29.