

Relación entre composición de areniscas y procedencia. Casos de estudio en areniscas paleozoicas de la Zona Surportuguesa

Relationship between sandstone composition and provenance. Examples from Palaeozoic sandstones of the Southportuguese Zone.

C. Moreno y S. Sierra

Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Huelva. 21071-Huelva. carmor@uhu.es; sonia@uhu.es

ABSTRACT

Two different types of Upper Paleozoic sandstones from Southportuguese Zone are studied. Data coming from petrographic, sedimentological and regional analyses of the sandstones point to two different anomalies in relation with Dickinson and *et al.*'s provenance model. Discrimination between modal analysis and petrographic study of arenites is noted, as well as discrimination between source and tectonic setting of the provenance area.

Key words: Sandstone petrography, provenance, Southportuguese Zone, flysch, molassa.

Geogaceta, 41 (2007), 139-142
ISSN: 0213683X

Introducción

La petrografía de areniscas es una herramienta eficaz en el análisis paleogeográfico, tectónico y sedimentológico de las cuencas implicadas en la acumulación de tales sedimentos. La relación composicional entre área fuente y cuenca sedimentaria es una evidencia que resulta estridente para el caso de areniscas composicionalmente inmaduras y con alta proporción en fragmentos líticos, pero que puede aparecer enmascarada en el caso de detritus altamente enriquecidos en granos monocristalinos de cuarzo.

La identificación del área fuente con su propio marco tectónico obviando todo tipo de características paleogeográficas y sedimentológicas es un hecho frecuente en el análisis de procedencias. Esta cuestión ha sido largamente discutida desde la publicación del trabajo original de Dickinson y Suczek (1979) pues la influencia de procesos autocíclicos en la composición de areniscas introduce numerosas excepciones y modificaciones en la relación composición - marco tectónico (Mack, 1984; Zuffa, 1985; Suttner y Dutta, 1986; Savoy *et al.*, 2000; Condie *et al.*, 2001).

Por otra parte, el análisis petrográfico de arenitas actuales/recientes y su cotejo con areniscas antiguas de historias geológicas comparables permite evaluar las excepciones mencionadas anterior-

mente y establecer el grado de acierto de los estudios netamente tectonicistas (Zuffa, 1985; Kasper-Zubillaga *et al.*, 1999; Le Pera *et al.*, 2001; Critelli *et al.*, 2003). Es fácil deducir que factores tales como clima, paisaje, transporte, medio/submedio sedimentario e, incluso, diagénesis son factores específicos de cada cuenca en particular o, más aun, de cada sector de cada cuenca. Por lo tanto un modelo único e integrador que potencie la influencia de tales factores frente al marco tectónico del área fuente tendría tantas excepciones que perdería su utilidad.

Por el contrario, el modelo de procedencias de Dickinson *et al.* (1983) es de carácter general y unificador a pesar de todas las excepciones y anomalías que numerosos investigadores han señalado. Ahora bien, su uso requiere un análisis crítico que implique, siempre que sea posible, la consideración de datos paleogeográficos, ambientales y sedimentológicos. Se trata de diseñar el análisis modal más adecuado a cada caso, adaptando los parámetros petrográficos a contabilizar con la finalidad de potenciar los componentes más significativos independientemente de sus proporciones modales para, posteriormente, integrarlos en el análisis de la cuenca en cuestión.

En este trabajo se comparan los resultados de los estudios de procedencia realizados a partir del análisis petrográfico de areniscas del Culm de la Faja Pirítica Ibérica y de areniscas continentales del

pérmico de la Cuenca del Viar, ambas en la Zona Surportuguesa (Fig. 1). El objetivo es ilustrar dos anomalías diferentes en la relación composición-procedencia para areniscas antiguas con historias geológicas entrelazadas, que fueron depositadas en áreas tectónicamente activas con altas tasas de acumulación y enterramiento.

Marco geológico

La Zona Surportuguesa (ZSP) está en el extremo suroccidental del Macizo Ibérico (Fig. 1). Por el norte limita con la Zona de Ossa-Morena (ZOM) mediante un contacto tectónico complejo interpretado como una sutura del orógeno generada por colisión oblicua. Entre ambas zonas se sitúa un complejo de acreción constituido por elementos de diferente naturaleza y procedencia, unos asignados a Ossa-Morena y otros a Surportuguesa. El límite sur de la ZSP debe representar el frente del orógeno Varisco, pero su posición en el océano Atlántico es desconocida. (Simancas, 2004).

La ZSP está constituida por rocas sedimentarias e ígneas con edades comprendidas entre el Devónico medio y el Pérmico inferior que reflejan las fases de evolución tectono-estratigráfica de la orogenia Varisca (Moreno y González, 2004):

Fase pre-orogénica. Desde el Devónico medio hasta el Famenense su-

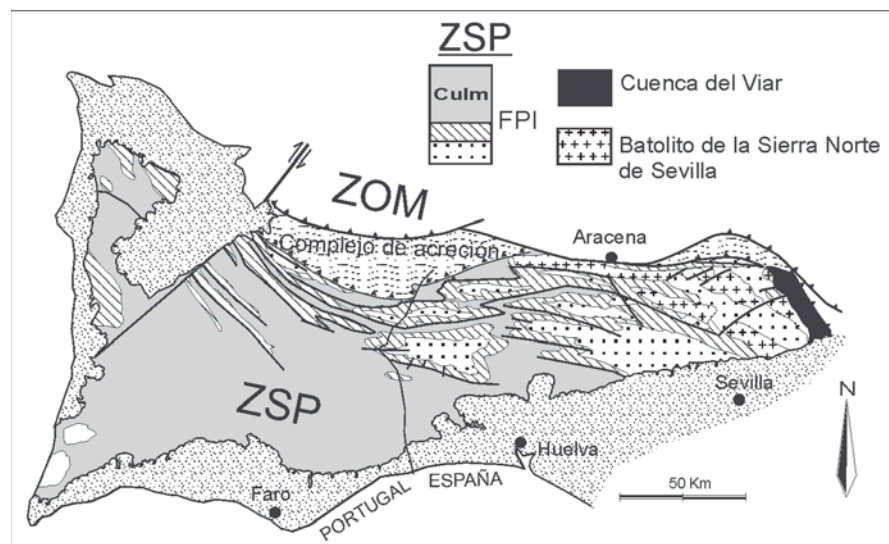


Fig. 1.- Mapa geológico de la Zona Surportuguesa. ABREVIATURAS: ZSP) Zona Surportuguesa; FPI) Faja Pirítica Ibérica; ZOM) Zona de Ossa-Morena

Fig. 1.- Geological map of the Southportuguese Zone. ABBREVIATIONS: ZSP) Southportuguese Zone; FPI) Iberian Pyrite Belt; ZOM) Ossa-Morena Zone

perior, la ZSP fue una plataforma marina somera dominada por el oleaje y con ausencia de manifestaciones tectónicas.

Fase sin-orogénica. Entre el Devónico terminal y el Visense medio se registra el desarrollo de un período extensional que dio lugar a la fragmentación de la plataforma detrítica devónica, un abundante magmatismo y un elevado gradiente térmico en la corteza superior. Este es el contexto de la cuenca donde se originaron los depósitos de sulfuros masivos que caracterizan la Faja Pirítica Ibérica (FPI, Fig. 1). Además del depósito de sulfuros, una sedimentación fundamentalmente detrítica y un vulcanismo bimodal con abundantes manifestaciones intrusivas y extrusivas completan el complicado entramado de la cuenca. A partir del Visense superior, una ola de deformación contractiva se propagó hacia el suroeste desde el límite con la Zona de Ossa-Morena, precedida por depósitos de flysch representados por una potente serie turbidítica de facies Culm y culminada por el plegamiento y superposición de escamas según un modelo estructural tipo *thin skinned*.

Fase post-orogénica. Durante el Carbonífero superior y el Pérmico inicial, se generaron intrusiones ígneas, distensión tectónica y depósito de molasas cuyas principales manifestaciones son el batolito de la Sierra Norte de Sevilla y la cuenca continental del Viar (Fig. 1).

El Culm de la FPI

El Grupo Culm comprende todos los depósitos postvolcánicos de la FPI. Incluye tres unidades estratigráficas, de las

cuales la más significativa para este trabajo es la Formación turbidítica de facies Culm. Se trata de una secuencia turbidítica de pizarras, litarenitas y escasos conglomerados que representa el flysch de la orogénia Varisca en la región. Su potencia mínima es de 600 metros.

El análisis sedimentológico y petrográfico permitió deducir la existencia de dos dispositivos turbidíticos sincrónicos que, controlados por la morfología de la cuenca, proporcionaban sedimentos desde dos áreas fuentes distintas: la propia FPI y la ZOM (Moreno, 1988, 1993; Moreno y Sáez, 1989). El dispositivo turbidítico principal, paralelo a la dirección varisca (ONO-ESE), tuvo una alta eficacia de transporte y dio lugar al depósito de grandes lóbulos arenosos separados entre sí por secuencias de interlóbulo y/o niveles de pizarras autóctonas. La secuencia general presenta una tendencia estrato y granocreciente hacia arriba y aumenta de potencia en dirección Sur. El otro dispositivo turbidítico, de dirección NE-SO, fue mucho menos eficaz transportando sedimentos y poco significativo en cuanto al volumen total de turbiditas. La mayor parte de sus depósitos son asecuenciales con facies caóticas asociadas al depósito de flujos de alta densidad y viscosidad.

La Secuencia Detrítica Roja de la cuenca pérmica del Viar

La cuenca del Viar es un semigraben de dirección NO-SE, cuyo borde activo la pone en contacto con la ZOM y su borde pasivo con el batolito de la Sierra Norte de Sevilla y con la FPI (Fig. 1). Su relleno

está constituido por la Secuencia Detrítica Roja, una cuña de sedimentos heterogéneos continentales de carácter molásico que se intercalan con rocas volcánicas y volcanoclásticas, dando lugar a una arquitectura estratigráfica compleja. La potencia máxima alcanza 550 metros en las proximidades de la ZOM. Contiene flora fósil de edad Autuniense (Broutin, 1981).

La Secuencia Detrítica Roja está formada por conglomerados, areniscas y lutitas con intercalaciones menores de calizas y niveles centimétricos de carbón. Está dividida en tres subunidades de depósito: una aluvial, otra fluvial, y la tercera asociada a depósitos a pie de pendiente tipo *apron* (Sierra y Moreno, 1997 y 1998, Sierra *et al.*, 1999). Los sedimentos aluviales son el registro de abanicos procedentes de la ZOM. Los fluviales representan la sedimentación asociada a una red de drenaje longitudinal a la cuenca que evolucionó en el tiempo desde un sistema tipo *braided* hacia corrientes sinuosas con desarrollo de llanura de inundación y caliches. Su área fuente también se localizaba en la ZOM. Finalmente, los depósitos tipo *apron* constituyen una orla adosada al margen pasivo de la cuenca y representan acumulaciones de pequeña envergadura procedentes de la propia ZSP. La sedimentación estuvo controlada por procesos alocíclicos de tipo tectónico y, en menor medida, por factores autocíclicos ligados a unas condiciones climáticas de carácter semiárido y estacional.

Metodología del análisis petrográfico

El estudio petrográfico de las areniscas del Culm de la FPI y de la Secuencia Detrítica Roja de la cuenca del Viar se realizó en dos fases (Moreno y Sáez, 1989; Moreno, 1993; Sierra y Moreno, 1997): 1) Identificación pormenorizada de los componentes y sus texturas, y 2) Análisis modal.

La identificación de los componentes petrográficos se realizó grano a grano considerando los rasgos texturales y mineralógicos de cada tipo, independientemente de su abundancia. Para esta fase se estudiaron 193 láminas delgadas del Culm y 120 del Viar.

El análisis modal se basó en un conteo de puntos adaptado a las características texturales y mineralógicas de las areniscas. Las del Culm son más homogéneas granulométrica y mineralógicamente y con un tamaño de grano más fino, mientras que las del Viar son más heterogéneas y de tamaño de gra-

no grosero. Un mayor tamaño de grano aumenta el error analítico del conteo, por lo que tiene que ser compensado con un mayor número de puntos y un mayor espaciado de la red. Por esta razón, y en función del índice granulométrico de Chayes, se contaron 200 puntos por lámina en las muestras del Culm y 700 en las del Viar.

En las areniscas del Culm se seleccionaron 70 láminas de tamaño de grano fino a medio en las que se realizó un conteo clásico. Debido a que la mayoría de fragmentos líticos son ígneos afaníticos o sedimentarios de grano fino, los resultados se consideraron semejantes a los que se hubieran obtenido con un conteo G-D. Esta suposición se constató con el recuento de cuatro láminas elegidas al azar. Diagramas estandarizados de procedencia fueron utilizados.

En las areniscas del Viar se seleccionaron 87 láminas de grano medio a grueso. Los puntos se contaron aplicando un método híbrido en el que granos o cristales > 0.063 mm contenidos en fragmentos de roca se contabilizan por separado, aunque especificando a su vez el tipo de fragmento. Este conteo permitió reconstruir las categorías petrográficas estándar de los métodos clásico y G-D.

Areniscas del Culm de la FPI

Las areniscas del Culm de la FPI son grauvacas líticas según la clasificación de Pettijohn *et al.* (1972) y areniscas litofeldespáticas, ocasionalmente feldespátolíticas, siguiendo la terminología de Crook (1960). Presentan un alto contenido en ortomatrix (> 10%) que se encuentra recristalizada a un agregado de filosilicatos de neoformación. En la trama, los fragmentos monominerálicos más significativos son granos de cuarzo mono y policristalino y granos de feldespato que en todos los casos corresponden a plagioclasas sódicas ($An_{0.5}$). Como componentes minoritarios hay micas (fundamentalmente moscovita), rutilo, turmalina, circón y opacos. Entre los fragmentos de roca hay: 1) fragmentos volcánicos ácidos y básicos (riolitas, riodacitas, dacitas, andesitas y basaltos) que son los más abundantes, 2) fragmentos de roca sedimentaria (areniscas, pizarras, chert y calcarenitas), 3) fragmentos de roca plutónica ácida con texturas más propias de ambientes subvolcánicos que plutónicos *s.s.*, 4) fragmentos de diabasas y 5) fragmentos de roca metamórfica y/o con evidencias de deformación pre-depósito (esquistos micáceos, pizarras y cuarcitas).

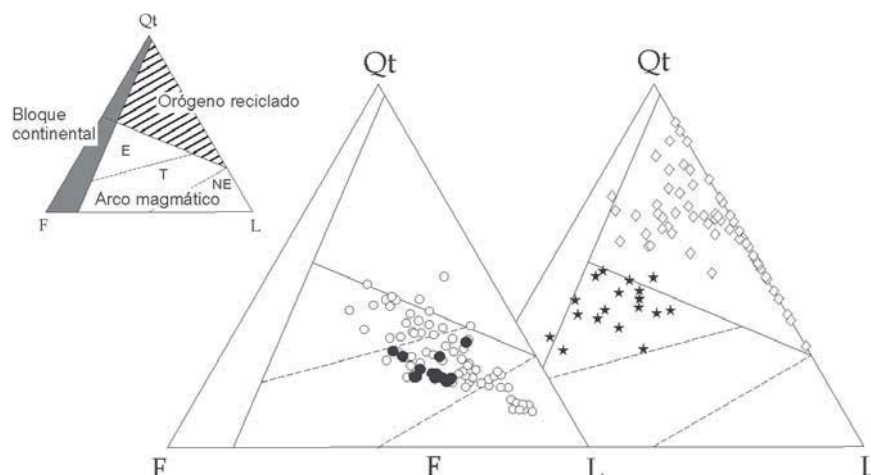


Fig. 2.- Representación gráfica de las muestras estudiadas en diagramas de procedencia de Dickinson *et al.* (1983). A la izquierda, areniscas del Culm de la FPI; Círculos blancos: areniscas del sistema turbidítico principal (ONO-ESE); Círculos negros: areniscas del sistema turbidítico secundario (NE-SO). A la derecha, areniscas de la cuenca del Viar; Estrellas: areniscas de los depósitos tipo apron; Rombos: areniscas fluviales y aluviales.

Fig. 2.- Dickinson *et al.* (1983) plots of the studied sandstones samples. Left: Culm sandstones of the Iberian Pyrite Belt; Open circles: samples from the main turbidite dispersal system (WNW-ESE); Black circles: samples from the subordinated turbidite dispersal system (NE-SW). Right: Sandstones of the Viar basin; Stars: samples from apron-type deposits; Diamonds: samples from fluvial and alluvial sandstones.

El análisis modal revela la homogeneidad composicional de estas areniscas con respecto a los componentes mayoritarios. Su representación en el diagrama de procedencias de Dickinson *et al.* (1983) (Fig. 2) permite establecer un origen relacionado con el desmantelamiento de arcos magmáticos con distinto grado de arrasamiento. Escasas muestras caen en el campo de orógenos reciclados. No obstante, simplificar la procedencia de las areniscas del Culm a una sola área fuente resulta erróneo si se consideran otros datos petrográficos y sedimentológicos tales como diferencias texturales dentro de granos de la misma composición, distribución irregular de fragmentos de roca minoritarios, facies turbidíticas y direcciones de paleocorrientes. Es de destacar la angulosidad de granos de feldespatos y pizarras que indican un transporte corto y una procedencia local. Este dato junto con las características composicionales y texturales de los detritus mayoritarios apuntan a la propia Faja Pirítica como área fuente principal de las turbiditas del Culm en su totalidad. Granos de esquistos y los que muestran deformación pre-depósito son partículas minoritarias pero significativas paleogeográficamente, puesto que evidencian aportes desde la ZOM que ya durante el carbonífero estaba emergida, deformada y metamorfizada.

El análisis conjunto de los datos permiten deducir dos áreas fuentes que, aunque de naturaleza semejante según los esquemas de Dickinson, aportaron detritus desde posiciones paleogeográficas diferentes: FPI y ZOM. La FPI proporcionó la mayoría de los aportes a los dos dispositivos turbidíticos de la cuenca, mientras que la ZOM solo muestra su influencia en el dispositivo secundario, el que dispersó los sedimentos en dirección NE-SO.

Areniscas de la Secuencia Detrítica Roja de la cuenca del Viar

Las areniscas del Viar son litarenicas y grauvacas líticas (Pettijohn *et al.*, 1972), con un amplio espectro composicional que abarca desde los términos más líticos a los más arcóscicos (areniscas líticas-litofeldespáticas-feldespátolíticas según Crook, 1960). Presentan un contenido en pseudomatrix entre 7-30%. El cemento ferruginoso es otro componente intersticial común. Otros cementos silíceos, carbonatados y silicatados están presentes de manera esporádica.

Los componentes de la trama son muy variados en composición y textura (hasta 28 tipos de granos diferentes). Los fragmentos monominerálicos más representativos son granos de cuarzo mono y policristalinos, feldespatos y epidotas,

esta última en cantidades de hasta 13 % en algunas muestras. Como minoritarios aparecen biotita, moscovita, circón, turmalina, rutilo, esfena y opacos. Entre los fragmentos de roca hay: 1) fragmentos plutónicos (granitos/granodioritas y granófidos), 2) fragmentos volcánicos (vulcanitas félsicas y andesitas), 3) fragmentos de diabasas, 4) fragmentos sedimentarios extracuenca (pizarras y areniscas), 5) fragmentos con metamorfismo regional y térmico (esquistos, filitas, cuarcitas, corneanas y pizarras mosqueadas), 6) granos de tectonitas, 7) fragmentos minoritarios de naturaleza desconocida, y 8) fragmentos sedimentarios intracuenca.

El análisis modal refleja la heterogeneidad composicional de estas areniscas. El diagrama de procedencias (Fig. 2) establece dos poblaciones a las que asigna dos áreas fuente con marco tectónico diferente: orógenos reciclados y arcos magmáticos altamente erosionados. La primera población reúne las muestras de naturaleza fluvial y aluvial, mientras que la segunda se refiere a los depósitos tipo *apron*.

Las areniscas aluviales-fluviales son las más abundantes y constituyen el depósito principal de los sistemas sedimentarios dominantes en la cuenca. Están enriquecidas en fragmentos volcánicos félsicos, sedimentarios y metamórficos procedentes de ZOM, según indican los datos sedimentológicos. Por el contrario, las areniscas de los *aprons* son minoritarias y constituyen depósitos secundarios de carácter muy local. Presentan las mayores proporciones de feldespatos, epidota, fragmentos plutónicos, diabasas y fragmentos con metamórfico térmico. Esta mineralogía es equivalente a las rocas del batolito de la Sierra Norte de Sevilla que afloran en contacto con la cuenca del Viar, hasta tal punto, que las partículas se han podido correlacionar tipo-a-tipo con sus rocas madre.

La aplicación del diagrama de Dickinson discrimina bien la existencia de dos áreas fuente, pero le asigna a cada una un marco tectónico diferente. Desde una perspectiva exclusivamente tectónica, estos resultados son erróneos ya que ambas áreas son partes integrantes del orógeno Varisco, ya sometido a erosión en el Pensilvaniense y Pérmico. La integración de los datos composicionales y texturales de las areniscas con los sedimentológicos y regio-

nales no solo apunta el error citado, sino que acentúa la inconsistencia de los resultados obtenidos utilizando exclusivamente análisis modal.

Conclusiones

El análisis modal de las areniscas del Culm de la FPI señala a un arco magmático como área fuente única. Aunque este marco tectónico no es aceptado en la actualidad para la ZSP, el resultado podría ser considerado válido de manera muy general, ya que las características de esta zona podrían ser equiparables a las de un arco magmático. No obstante, estos datos de procedencia tectónica resultan incompletos desde una perspectiva paleogeográfica, ya que no considera la participación de una segunda área fuente (ZOM). A esta conclusión se llega al conjugar datos sedimentológicos y petrológicos de carácter descriptivo. En el caso del Culm no se puede establecer una relación directa entre composición modal y procedencia.

El análisis modal de la Secuencia Detrítica Roja de la cuenca pérmica del Viar diferencia dos áreas fuente con marcos tectónicos distintos: arco magmático (ZSP) y orógeno reciclado (ZOM). Al contrario de lo que ocurre en el Culm, las procedencias del Viar pueden ser aceptadas desde una perspectiva paleogeográfica pero son erróneas desde un punto de vista tectónico. Tampoco en este caso se puede establecer una relación directa entre composición modal y procedencia.

El estudio petrográfico de areniscas no es solamente su análisis modal. De igual manera que tampoco el análisis de procedencias puede limitarse exclusivamente a la determinación del marco tectónico de su área fuente sin otras consideraciones paleogeográficas y ambientales.

Agradecimientos

Este trabajo es una contribución al proyecto CICYT PBE2003-04780, al Grupo «Tharsis» RNM-198 de la Junta de Andalucía y al IGCP-502.

Referencias

Broutin, J. (1981). *Étude paleoboanique et palynologique du passage Carbonifère-Permien dans les bassins continen-*

taux du Sud-Est de la Zone d'Ossa-Morena (environs de Guadalcanal, Espagne du Sud). Tesis Doctoral. Univ. de París, 234 p.

- Condie, K.C., Lee, D. y Farmer L. (2001). *Sedimentary Geology*, 141-142, 443-464.
- Crook, K.A.W. (1960). *American Journal of Science*, 258, 419-428.
- Critelli, S., Arribas, J., Le Pera, E., Tortosa, A., Marsaglia, K.M. y Alter, K.K. (2003). *Journal of Sedimentary Research*, 73, 1, 72-81.
- Dickinson, W.R. y Suczek, C.A. (1979). *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63, 2164-2182.
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Lindberg, F.A. y Ryberg, P.T. (1983). *Geological Society of America Bulletin*, 94, 222-235.
- Kasper-Zubillaga, J.J., Carranza-Edwards, A. y Rosales-Hoz, L. (1999). *Journal of Sedimentary Research*, 69, 5, 1003-1010.
- Le Pera, E., Arribas, J., Critelli, S. y Tortosa, A. (2001). *Sedimentology*, 48, 357-378.
- Mack, G.H. (1984). *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 212-220.
- Moreno, C. (1988). *Estudios Geológicos*, 44, 233-242.
- Moreno, C. (1993). *Journal of Sedimentary Petrology*, 63, 6, 1118-1128.
- Moreno, C. y González, F. (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed). IGME, 201-205.
- Moreno, C. y Sáez, R. (1989). *Boletín Geológico y Minero*, C-I, 134-147.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. y Siever, R. (1972). *Sand and Sandstones*. Springer-Verlag, 618 p.
- Savoy, L.E., Stevenson, R.K. y Mountjoy, E.W. (2000). *Journal of Sedimentary Research*, 70, 1, 181-193.
- Sierra, S. y Moreno, C. (1997). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22, 447-472.
- Sierra, S. y Moreno, C. (1998). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 11, 3-4, 197-212.
- Sierra, S., Moreno, C. y González, F. (1999). *Geogaceta*, 25, 195-198.
- Simancas, F. (2004). En: *Geología de España* (J.A. Vera, Ed). IGME, 199-201.
- Suttner, L.J. y Dutta, P.K. (1986). *Journal of Sedimentary Petrology*, 56, 329-345.
- Zuffa, G.G. Ed. (1985). *Provenance of Arenites*. Reidel Publishing Company, 408 p.