

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS ARENISCAS PALEOZOICAS Y TRIÁSICAS DE LA ISLA DE MENORCA: EVIDENCIAS DE PROCESOS DE RECICLADO

J. Arribas(1), D. Gómez-Gras(2), J. Rosell(2), y A. Tortosa(1)

(1) Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad Complutense de Madrid. 28040.- MADRID.

(2) Departamento de Geología. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra. 08193.-BARCELONA.

RESUMEN

Las formaciones siliciclásticas prehercínicas (Devónico inferior y Carbonífero inferior) y permotriásicas de la isla de Menorca están limitadas por una serie de discontinuidades sedimentarias. En el presente trabajo se estudia la composición de dichas formaciones detríticas con el fin de analizar los procesos de reciclado y variaciones en la litología de las áreas fuentes en relación con las citadas discontinuidades.

La composición modal de dichos depósitos detríticos analizada en un diagrama QFR permite distinguir tres etapas fundamentales durante su génesis:

a) *Devónico inferior (Q₉₅, F₃, R₂) - Unidad Inferior del Carbonífero (Q₅₂, F₁₃, R₃₅)*: representa una reactivación importante de las áreas fuentes, eminentemente metamórficas de bajo grado.

b) *Unidad Inferior del Carbonífero-Buntsandstein inferior (Q₉₇, F₁, R₂)*: supone un período de ganancia progresiva de madurez de los depósitos, donde se infieren importantes procesos de reciclado.

c) *Buntsandstein inferior-Buntsandstein superior (Q₈₇, F₇, R₆)*: refleja un cambio leve pero sustancial en los aportes, detectándose la influencia de áreas fuentes granítico-gneíscas.

Analizando los depósitos arenosos en un diagrama QmFLt se observa cómo, dentro de la segunda etapa descrita anteriormente, se produce un considerable incremento de cuarzos policristalinos (Qp) con la sedimentación pérmica, que denota una participación de áreas fuentes metamórficas de bajo grado. La escasa presencia de los fragmentos metamórficos (lábilés) en las areniscas pérmicas indica la existencia de importantes procesos de retrabajamiento durante el transporte de estos materiales. El empleo de determinados índices composicionales (Qp/Qt, F/Qt y Ch/Qt) permite corroborar la existencia de procesos de reciclado ligados a las discontinuidades sedimentarias.

Se establece un modelo de procedencia de las areniscas analizadas, del que cabe señalar que las discontinuidades sedimentarias más importantes, en cuanto a cambios litológicos de las áreas fuentes, tienen lugar en los momentos de tránsito entre el Devónico inferior y la Unidad Inferior del Carbonífero, entre la Unidad Superior del Carbonífero y el Pérmico, y por último entre el Buntsandstein inferior y el Buntsandstein superior. Además, es de resaltar que los depósitos de la Unidad Superior del Carbonífero y del Buntsandstein inferior representan las unidades con mayor grado de reciclado a partir de los materiales sedimentados previamente.

Palabras clave: areniscas, Menorca, Mesozoico, procedencia, Paleozoico, reciclado, Triásico.

ABSTRACT

Prehercinian and permotriassic siliciclastic formations (Lower Devonian and Lower Carboniferous) in the Menorca island are bounded by sedimentary unconformities. The aim of this paper is to analyze the recycling processes and the main variations in source area lithologies related with sedimentary unconformities, by the light of petrographic composition of those detrital formations.

Three main stages in the accumulation of detrital deposits can be distinguished by analysis of modal composition on a QFR diagram:

a) *Lower Devonian (Q₉₅, F₃, R₂) - Carboniferous lower unit (Q₅₂, F₁₃, R₃₅)*: it represents a significant reactivation of source areas of low-rank metamorphic lithologies.

b) *Carboniferous lower unit - Lower Buntsandstein (Q₉₇, F₁, R₂)*: it represents a period of progressively increasing detrital maturity. In this period important recycling processes are inferred.

c) *Lower Buntsandstein - Upper Buntsandstein (Q₈₇, F₇, R₆)*: it shows a slight but definitive change in source lithology with influence of granitic-gneissic source rocks.

On a QmFLt diagram, sandstones of the second stage defined above display an important increase in polycrystalline quartz during permian sedimentation. This fact outlines a low-rank metamorphic contribution from the source area. Scarce content of metamorphic fragments in permian sandstones suggests that intense reworking of those sandstones took place during transport. Compositional indices (Qp/Qt, F/Qt and Ch/Qt) permit to corroborate the existence of recycling processes related to unconformities.

Finally, a general provenance model of sandstones of Menorca is proposed. In this model the main sedimentary unconformities related with substantial lithological changes of source areas are the boundaries between Lower Devonian and Carboniferous lower unit, the Carboniferous upper unit and the Permian, and that beated between the Lower and Upper Buntsandstein. In addition, the Carboniferous upper unit and Lower Buntsandstein are the sandstone formations with greatest recycling processes from sandstone formations deposited previously.

Key words: sandstones, Menorca (Spain), Mesozoic, provenance, Palaeozoic, recycling processes, Triassic.

Arribas, J., Gómez-Gras, D., Rosell, J. y Tortosa, A. (1990): Estudio comparativo entre las areniscas paleozoicas y triásicas de la isla de Menorca: Evidencias de procesos de reciclado. *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 105-116.

Arribas, J., Gómez-Gras, D., Rosell, J. y Tortosa, A. (1990): Comparative study of Palaeozoic and Triassic sandstones of Menorca Island: Evidences of recycling processes. *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 105-116.

1.- INTRODUCCIÓN

En los últimos años los estudios sobre la procedencia de areniscas basados en la composición de las mismas han cobrado una gran importancia debido a la valiosa información que suministran en relación con los análisis de cuencas sedimentarias en general (paleogeografía, tectónica, etc) y, en definitiva, para una mejor comprensión de la dinámica de la corteza terrestre (Dickinson, 1985; Zuffa, 1985, 1987).

Algunos estudios de procedencia se han realizado sobre depósitos actuales, generalmente de primer ciclo (Suttner, 1974; Basu *et al.*, 1975; Young, 1976; Dickinson y Suczek, 1979; Suttner *et al.*, 1981; Franzinelli y Potter, 1983; Tortosa *et al.*, 1988) con la intención de analizar los factores que inciden directamente en su composición, y extrapolar estos resultados a depósitos antiguos. Dichos trabajos sirven de punto de referencia en el análisis de depósitos reciclados (según el sentido de Suttner *et al.*, 1981), más complejos a la hora de definir los distintos parámetros que intervienen en su génesis (litología del área fuente, madurez, etc) (Blatt, 1967). Blatt y Jones (1975) han señalado la elevada representatividad en el registro fósil de los depósitos reciclados frente a los depósitos de primer ciclo.

Si bien son frecuentes los trabajos de procedencia en areniscas recicladas (Mack, 1978; Gandolfi *et al.*, 1983; Arribas y Arribas, 1986; Dickinson *et al.*, 1986; Ingersoll *et al.*, 1987; Zuffa, 1987; entre otros) consideramos que aún no se ha prestado excesiva atención a las implicaciones que la presencia de dichos depósitos puede tener en el análisis global de las cuencas sedimentarias.

El hecho de que los depósitos reciclados puedan marcar la presencia de discordancias y, en general, de discontinuidades sedimentarias pone de manifiesto la necesidad de su estudio en el registro geológico. En publicaciones recientes, el estudio de discontinuidades sedimentarias, su importancia, reconocimiento y origen,

se han tratado detenidamente. No obstante, la ausencia en ellas de referencias a criterios composicionales para su reconocimiento es general (p. ej. Shanmugan, 1988).

Con el presente trabajo pretendemos verificar, en base a la composición, la existencia de procesos de reciclaje en depósitos arenosos. La elección de las areniscas aflorantes en la isla de Menorca ha sido motivada por el reciente establecimiento de una serie de discontinuidades sedimentarias que afectan a distintas formaciones detríticas (Rosell y Elizaga, 1989). Dichas formaciones corresponden al Prehercínico (Devónico inferior y Carbonífero inferior) y al Permotrias (Pérmico superior y Triásico inferior en facies Buntsandstein), y han sido estudiadas por Bourrouilh (1973), Llompарт *et al.* (1979) y recientemente por los autores durante la elaboración de las memorias de las hojas del mapa a escala 1/50.000 del Plan M.A.G.N.A.

Datos específicos sobre la composición de estos depósitos pueden encontrarse, por un lado, en Stattegger (1979), Henningsen (1982) y (1984) y Rosell y Arribas (1989) en lo referente a las formaciones arenosas prehercínicas y, por otro, en Gómez-Grás (1987) y Rosell *et al.* (1988) respecto a las formaciones permotriásicas de la isla.

El análisis petrológico de conjunto de los niveles arenosos de la isla, que a continuación se desarrolla, está basado en datos publicados, correspondientes a algunas de las citas mencionadas anteriormente, y en datos inéditos.

2. METODOLOGÍA

Como se ha comentado previamente, este estudio se ha basado en aspectos composicionales de los depósitos arenosos. Para ello, se han analizado un total de 103 láminas delgadas realizadas a partir de un número equivalente de muestras, representativas de cada una de

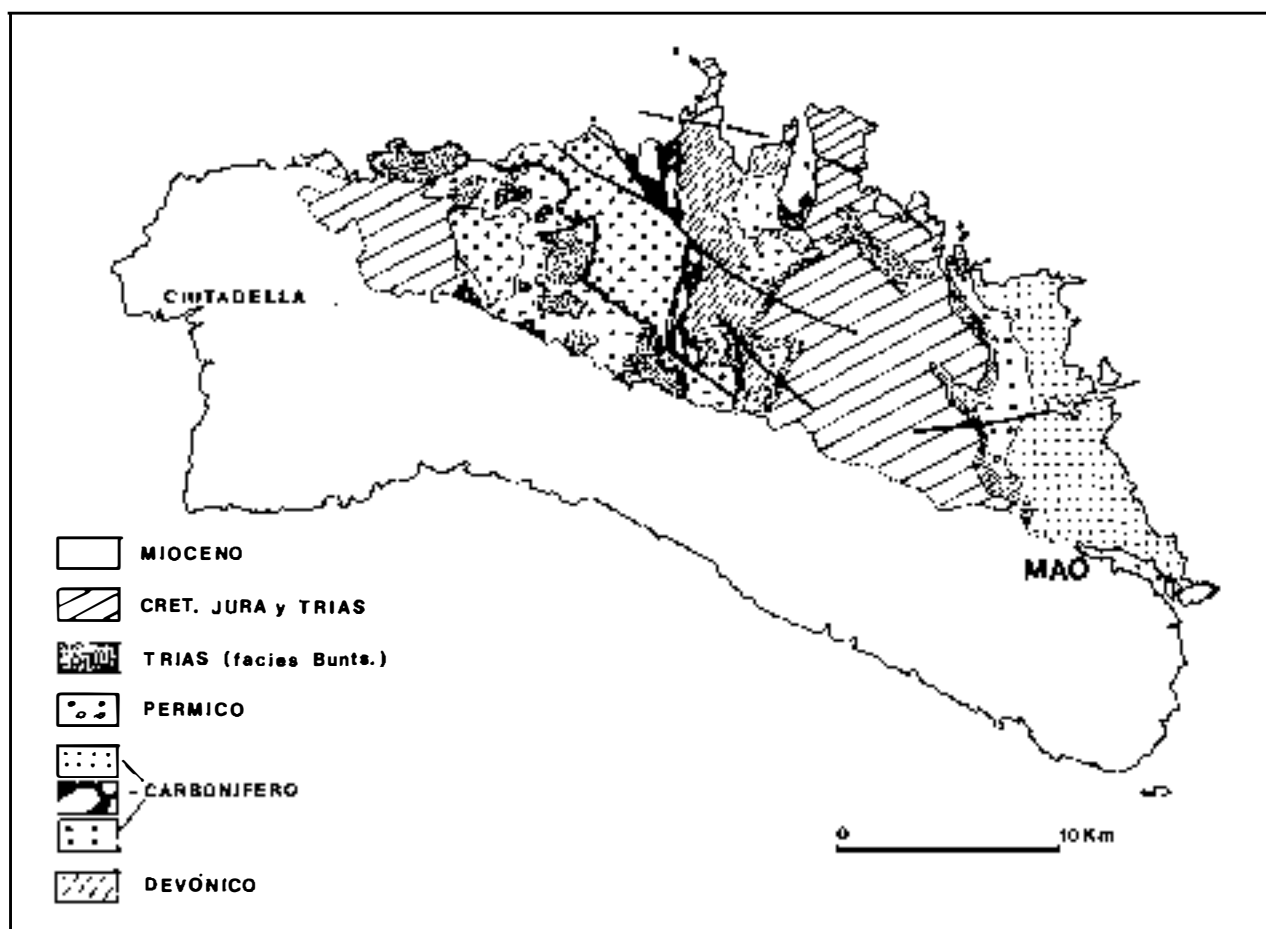


Fig. 1.-Esquema geológico de la isla de Menorca.
Fig. 1.-Geologic setting of Menorca island.

las formaciones detríticas. Las muestras se eligieron con tamaños de grano comprendidos en el intervalo clasto-métrico 0.5-0.25 mm. Se recogieron 12 muestras del Devónico inferior, 31 del Carbonífero inferior y 60 de las areniscas del Permotrias. En las sucesiones del Devónico y Carbonífero aparecen, intercaladas entre los niveles siliciclásticos, capas calcareníticas que, si bien se han tenido en cuenta a la hora de las interpretaciones globales, no se han incluido en el objeto de estudio de este trabajo.

En todas las láminas delgadas se realizó un conteo de 400 puntos, exclusivamente de los componentes del esqueleto de la roca, y siguiendo los criterios de Zuffa (1980). Asimismo, se utilizaron las tinciones selectivas convencionales para facilitar la identificación mineralógica (feldespatos potásicos y carbonatos).

Los datos analíticos obtenidos a partir de estos contajes han sido utilizados en representaciones triangulares de composición modal QFFR y QmFLt de Pettijhon *et al.* (1973) y Dickinson *et al.* (1983), respectivamente. Asimismo, se han elaborado distintos índices a partir de las relaciones existentes entre diferentes tipos de componentes clásticos (Qp/Qt, F/Qt y Ch/Qt), que permiten conocer en detalle la evolución en la composición de los depósitos arenosos de las diferentes formaciones detríticas.

3. ESTRATIGRAFÍA DE LOS DEPÓSITOS ARENOSOS, COMPOSICIÓN GENERAL Y SU GÉNESIS

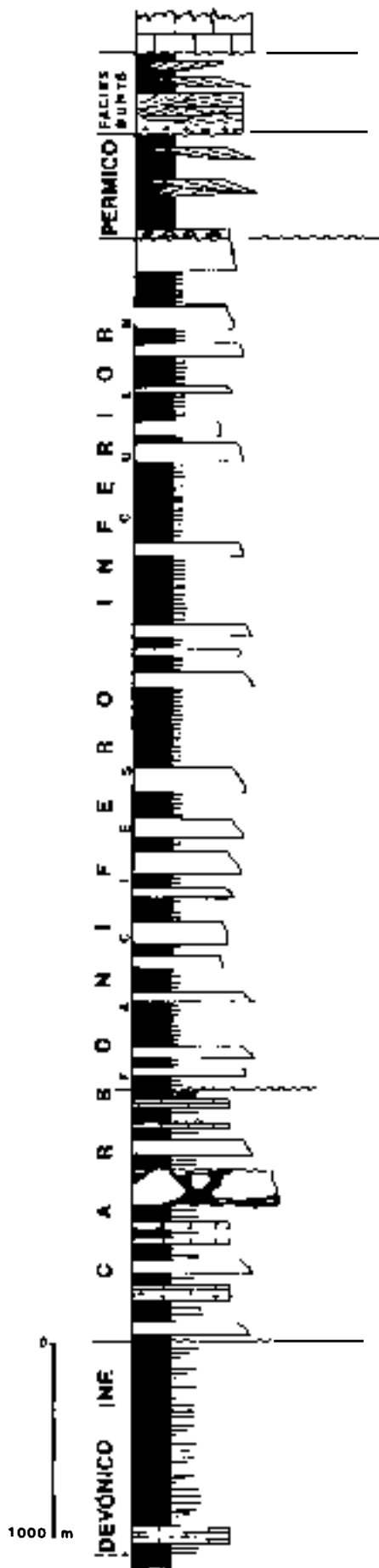
Los afloramientos de areniscas se localizan en la mitad N de la isla o región de Tramuntana (Fig. 1).

Analizando la serie estratigráfica completa de Menorca es fácil constatar que los materiales inferiores al Ladinense (facies Muschelkalk) son predominantemente siliciclásticos, mientras que los del Triásico medio al Cuaternario son prácticamente carbonatados. La serie areniscosa de Menorca queda dividida en cinco unidades separadas por discontinuidades estratigráficas. Las tres unidades inferiores (prehercínicas) corresponden a turbiditas (Rosell y Elizaga, 1989) y las dos superiores (permotriásicas) a depósitos fluviales (Gómez-Gras, 1987).

A continuación se describe brevemente, de muro a techo, la serie estratigráfica de la isla de Menorca, infrayacente al Triásico medio, haciendo hincapié en los aspectos sedimentológicos y petrológicos fundamentales (Fig.2).

3.1. Devónico inferior

Los niveles más antiguos, aflorantes en Menorca



pertencen a la transición Silúrico-Devónico y están formados por pizarras negruzcas con Graptolitos, a las que se superponen capas siliciclásticas, carbonáticas o mezcla de ambas, producto de suspensiones turbulentas. Presentan estructuras *hummocky*, y marcan el inicio de una potente serie turbidítica siliciclástica.

Las turbiditas son diluidas, es decir, de granulometrías que, en raras ocasiones, alcanzan el tamaño medio (lo más frecuente es fino y muy fino) y son definibles mediante la secuencia de Bouma (secuencias dominantes Tb-e y, sobre todo, Tc-e, en capas delgadas).

Por lo general, no se observa ciclicidad alguna. No obstante, a veces poseen un cierto carácter estrato y granocreciente, semejante al de los ciclos de franja de lóbulo (Rosell y Elízaga, 1989).

Composicionalmente pueden distinguirse dos tipos de areniscas; por un lado las calcarenitas y, por otro, las cuarzoarenitas que se desarrollan a lo largo de dicha serie.

Las cuarzoarenitas presentan un contenido muy bajo en matriz ilitico-clorítica y una composición modal media del esqueleto de Q_{95} , F_3 y FR_2 . La composición de las areniscas tiene una escasa dispersión con respecto a dichos valores medios (Fig. 3A), manifestando una gran monotonía composicional a lo largo de la serie estratigráfica. Como componentes intracuencales cabe destacar la escasa presencia (0.5-5%) de intraclastos de composición calcárea y bioclastos (fragmentos de crinoides, fundamentalmente). Los componentes extracuencales, mayoritarios en estos depósitos, están representados principalmente por cuarzo monocristalino (50-88%) y, en proporciones claramente inferiores, por cuarzo policristalino (11-28%) y fragmentos de chert. Estos últimos aparecen de forma esporádica, en porcentajes siempre inferiores al 3%, y sin estructuras orgánicas internas reconocibles. Los feldespatos se presentan de forma constante en todas las areniscas, no superando nunca el 5% del total de la roca. Están formados en su totalidad por plagioclasas (albita), coexistiendo granos maclados y no maclados, con escasos síntomas de alteración a minerales arcillosos. Los fragmentos de roca son muy escasos (porcentajes inferiores al 6%) siendo los de bajo grado metamórfico (pizarras y esquistos) los más frecuentes. Otros fragmentos identificados han sido rocas sedimentarias de grano fino (cuarzoarenitas y arcosas) y rocas volcánicas con texturas traquíticas. Las micas (biotitas, moscovitas y cloritas) aparecen en porcentajes inferiores al 2%.

De los datos composicionales comentados se deduce que la cuenca de sedimentación devónica tiene, por un lado, un relleno por aportes de intraclastos y bioclastos (calcarenitas) provenientes de una plataforma eminentemente carbonática, y que manifiesta una

Fig. 2.-Columna estratigráfica general de las formaciones prehercínicas y permotriásicas aflorantes en la isla de Menorca.

Fig. 2.-Stratigraphic section of prehercinian and permotriassic formations in Menorca island.

cierta tranquilidad tectónica. Por otro lado, los depósitos turbidíticos cuarzoareníticos reflejan aportes, aparentemente extracuencales, a partir de rocas epicrustales (sedimentarias y metamórficas de bajo grado). No obstante, cabe reseñar la elevada madurez composicional de estos depósitos, que obliga a pensar en importantes etapas de retrabajamiento intenso de los mismos, previas a la sedimentación final. Rosell y Elízaga (1989) consideran que los estratos siliciclásticos han sido originados por el desmantelamiento de una plataforma deltaica.

3.2. Carbonífero

La serie carbonífera de Menorca puede dividirse en dos unidades, ambas pertenecientes al Carbonífero inferior: la basal, que comprende Tournaisiense y parte del Viseense, y la superior, de edad Viseense superior y, quizá, parte del Namuriense.

3.2.1. Unidad inferior (UIC)

Corresponde a una serie generada mediante flujos gravitatorios. Esta serie está compuesta por turbiditas siliciclásticas, turbiditas carbonáticas y por un potente nivel olistostrómico.

Turbiditas siliciclásticas: Constituyen el elemento dominante de la serie. Están formadas por dos tipos de facies: niveles integrados por gruesas capas de turbiditas densas canaliformes y capas delgadas de turbiditas diluidas. Las primeras se han interpretado como cuerpos canalizados y las segundas como depósitos de desbordamiento (Rosell y Elízaga, 1989).

Turbiditas carbonáticas: Intercaladas entre las anteriores, existen capas de turbiditas carbonáticas, a veces, con superficies onduladas que recuerdan a superficies de retoque (*hummockys*).

Nivel olistostrómico: Hacia la parte alta de esta unidad se intercala un potente nivel olistostrómico, formado por grandes bloques de cuarzoqueratófidos, basaltos doleríticos, radiolaritas, calizas y turbiditas empastados en una brecha *mud-supported* correspondiente a un *debris flow* poligénico. En los elementos que la componen se han reconocido faunas del Devónico inferior (Gedinniense) y del Devónico superior (Frasniense).

Los niveles turbidíticos siliciclásticos están formados por grauvacas con un alto contenido en matriz arcillosa (20%). Dicha matriz es de origen diagenético, generada por la disgregación de fragmentos de roca lábiles y cantos blandos. Teniendo en cuenta estos aspectos, la composición media original de estos depósitos es litoarenítica (Q_{52} , F_{13} , FR_{35}) (Fig. 3A). No se aprecia una variación significativa en la composición modal de estas areniscas de muro a techo de la serie.

Básicamente, los elementos que integran el esqueleto de la roca son equivalentes a los descritos en las turbiditas siliciclásticas devónicas. No obstante, sus contenidos relativos y la aparición de algunas clases detri-

ticas permiten establecer claras diferencias entre ambos depósitos.

En primer lugar, cabe destacar la presencia de componentes intracuencales arcillosos (cantos blandos) en contenidos generalmente inferiores al 3%, aunque pueden llegar a constituir el 7% del total de la roca. No se han identificado componentes intracuencales calcáreos.

El cuarzo sigue siendo la clase detrítica mayoritaria, si bien las tipologías policristalinas llegan con frecuencia a superar a las monocristalinas. Los feldespatos se encuentran mejor representados (10-20%), apareciendo, además de albita, feldespato potásico en porcentajes no superiores al 4%. Dentro de los fragmentos de roca, es de destacar la abundancia de fragmentos de roca metamórfica de bajo grado (pizarras y esquistos) que, en ocasiones, superan el 20% del depósito detrítico. Asimismo, suelen aparecer fragmentos de rocas granudas, volcánicas y sedimentarias, pero representados con escasos porcentajes (2%). Las micas (biotitas, moscovitas y cloritas) son más frecuentes (6-12%).

Las áreas fuentes que generaban los depósitos de la Unidad Inferior del Carbonífero siguen siendo fundamentalmente epicrustales (rocas metamórficas de bajo grado y sedimentarias) pero con algunas aportaciones ígneas. La existencia de capas turbidíticas carbonáticas intercaladas entre las siliciclásticas, indican la presencia de una fuente intracuenal (plataforma?) que nutriría la cuenca al unísono con las áreas fuentes extracuencales.

Al contrario de las areniscas devónicas, son depósitos poco elaborados, con índices de madurez bajos, que se manifiestan tanto en sus texturas (redondez de los granos de cuarzo entre angulosos y subangulosos) como en sus aspectos composicionales (abundante contenido en clastos inestables -fragmentos de roca metamórfica de bajo grado y feldespatos-).

Consideramos que no existen criterios claros para poder afirmar que la litología de las áreas fuentes se mantiene desde el Devónico, tal y como han señalado otros autores (Stattegger, 1979; Henningsen, 1982).

3.2.2. Unidad superior (USC)

Corresponde a los afloramientos más orientales del Paleozoico menorquín y ha sido calificada de facies "Culm". Esta potente serie está compuesta por cuerpos canalizados y por facies de desbordamiento (Rosell, en preparación).

Los cuerpos canalizados están formados por capas de turbiditas densas, localmente amalgamadas, de clastometría predominantemente muy gruesa y conglomerática y, por lo general, sin estructura interna aparente. Estos cuerpos se hallan intercalados en facies finas, formadas por turbiditas de grano fino a muy fino, definibles mediante la secuencia de Bouma.

Las características petrológicas de las areniscas de esta unidad han sido analizadas recientemente (Rosell y Arribas, 1989). A continuación se exponen los aspectos más destacables de las mismas.

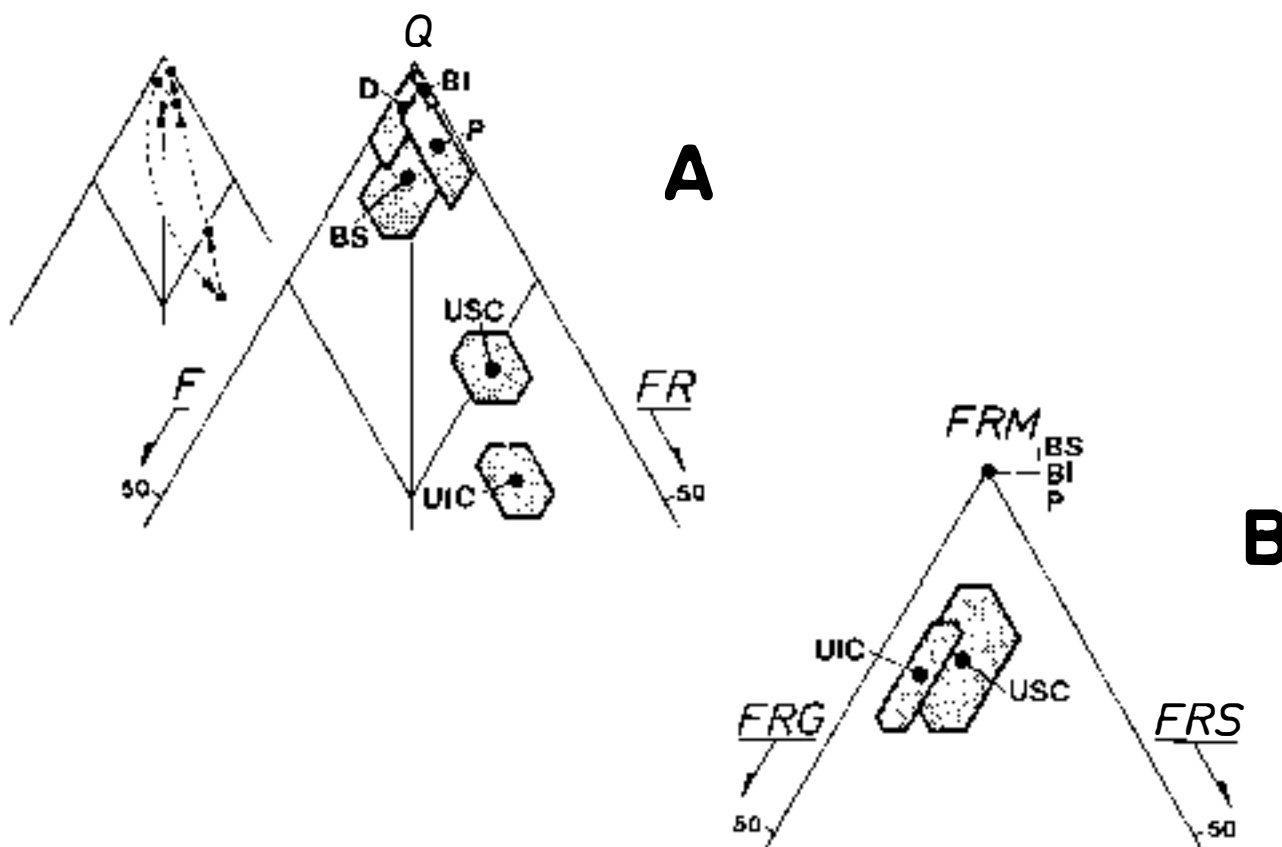


Fig. 3.-Composición modal de las areniscas siliciclásticas de la isla de Menorca. (A) Diagrama QFR de Pettijohn *et al.* (1973). (B) Tipologías de fragmentos de roca (FRM: fragmentos de roca metamórfica. FRG: fragmentos de roca granuda. FRS: fragmentos de roca sedimentaria). D: Devónico inferior. UIC: Unidad Inferior del Carbonífero. USC: Unidad Superior del Carbonífero. P: Pérmico. BI: Buntsandstein inferior. BS: Buntsandstein superior. Los campos hacen referencia a la dispersión de los valores medios.

Fig. 3.-Modal composition of sandstones in Menorca island. (A) QFR diagram of Pettijohn *et al.* (1973). (B) Tipology of rock fragments (FRM: metamorphic rock fragments. FRG: granule rock fragments. FRS: sedimentary rock fragments). D: Lower Devonian. UIC: Carboniferous Lower Unit. USC: Carboniferous Upper Unit. P: Permian. BI: Lower Buntsandstein. BS: Upper Buntsandstein. Dark fields represent the dispersion from mean values.

Al igual que en la Unidad Inferior, estas areniscas son grauvascas con un importante contenido en matriz diagenética generada por procesos de compactación mecánica (pseudomatrix). La composición modal media del esqueleto es ligeramente menos lítica que en las areniscas de la Unidad Inferior (Q_{65} , F_{10} FR_{25}) (Fig.3A). En ellas se encuentran representados componentes intracuencales de naturaleza variada (bioclastos, fosfatos, cantos blandos), con valores que no superan el 3%.

El cuarzo se mantiene como el componente extra-cuenal mayoritario, acompañado por fragmentos de chert, generalmente con estructuras orgánicas reconocibles (radiolarios). Los feldespatos están formados por plagioclasas (albita), bien macladas polisintéticamente, o bien formando individuos monocristalinos de mayor tamaño con abundantes inclusiones de ilita-clorita.

Las variedades litológicas de los fragmentos de roca son equivalentes a las de la Unidad Inferior. No obstante, aparecen con porcentajes distintos; así, el contenido global en fragmentos de roca es algo menor en las areniscas de la Unidad Superior. Cabe destacar la presencia de fragmentos de roca volcánica con importantes procesos de espilitización y de cuarzoqueratofidos de posible origen subvolcánico.

Rosell y Arribas (1989) consideran que estos depósitos se han generado a partir de áreas fuentes de composición muy variable, fundamentalmente epicrustales. Asimismo y sobre el origen de estos depósitos, se señala la importancia de retrabajamientos previos a su sedimentación definitiva, debido a su madurez composicional y textural y a la monotonía composicional a lo largo de los, aproximadamente, 4000 m de potencia de la serie.

Según el modelo tectosedimentario propuesto por Rosell y Elizaga (1989) la Unidad Superior del Carbonífero (USC) representa un conjunto sedimentario reciclado de las unidades detríticas anteriores.

Por lo que se refiere a los fragmentos de roca volcánica, que aparecen constantemente en las unidades carboníferas, no existen criterios para aceptar una coetaneidad de dicho proceso con la sedimentación (Rosell y Arribas, 1989).

3.3.- Pérmico

A excepción de la decena de metros inferior, formada por conglomerados, la serie del Pérmico supe-

rior de facies Saxoniense se compone de una monótona secuencia pelítica, en la que se intercalan niveles arenosos. Los niveles arenosos son capas de granulometría fina a muy fina, generalmente con *climbing ripples*, interpretados como producto de desbordamiento de canales. Asociados a estos niveles aparecen cuerpos canalizados de carácter meandriforme. Hacia la parte alta y como respuesta a una ralentización de la subsidencia, aparecen cuerpos arenosos generados por la imbricación de varias barras de meandro (Gómez-Gras, 1987; Rosell *et al.*, 1988).

Las areniscas pérmicas presentan un elevado grado de madurez, tanto textural como composicional (cuarzoarenitas y sublitoarenitas con una composición media de Q_{90} , F_2 y FR_8 , Fig. 3A-). La población de granos de cuarzo está constituida por un importante contenido en variedades policristalinas, entre las que cabe señalar los granos de chert con restos orgánicos (radiolarios). La escasa representación de feldespatos está formada exclusivamente por plagioclasa. Los fragmentos de roca son muy poco variados, predominando los fragmentos de rocas metamórficas de bajo grado (pizarras y esquistos).

A partir de los datos comentados, los autores mencionados anteriormente deducen una procedencia metasedimentaria para este tipo de areniscas.

3.4. *Trías inferior en facies Buntsandstein*

La serie roja de facies Buntsandstein puede dividirse en dos unidades en función de su litología (Gómez-Gras, 1987):

La *Unidad Inferior* (BI), monótona en composición, es conglomerática en la base y areniscosa (granulometría media dominante) en el resto. Las areniscas están organizadas en barras y algunos canales, que se cortan dando lugar a un tramo muy constante en composición, espesor, granulometría y facies.

La *Unidad Superior* (BS) es predominantemente pelítica y se intercalan pequeños canales de facies meandriforme, capas de areniscas producto del desbordamiento de los canales y niveles de caliche y de edafización, en general.

Petrográficamente es también posible diferenciar los depósitos de las dos unidades establecidas.

Las areniscas de la Unidad Inferior representan los depósitos de mayor índice de madurez composicional del registro sedimentario de Menorca (cuarzoarenitas con una composición media de Q_{97} , F_1 , FR_2). Los escasos feldespatos (plagioclasa) aparecen alterados, mientras que los fragmentos de roca siguen siendo de naturaleza metamórfica de bajo grado.

Por el contrario, las areniscas de la Unidad Superior son subarcosas líticas (Q_{87} , F_7 , FR_6 , -Fig. 3A-). La naturaleza de sus componentes es equivalente a la de los componentes de la Unidad Inferior, excepto para los feldespatos, fundamentalmente potásicos en esta unidad.

La procedencia deducida a partir de los datos com-

posicionales de la Unidad Inferior está relacionada con áreas fuentes metamórficas de bajo grado. No obstante, su elevado grado de madurez denota la existencia de transportes prolongados o procesos de reciclado. Rosell *et al.* (1988) apuntan la posibilidad de que estos materiales se hayan nutrido de los depósitos pérmicos.

Por lo que respecta a la Unidad Superior, se aprecia un cambio importante en la naturaleza de las áreas fuentes, materializado en un ligero incremento del contenido en feldespatos (potásicos), indicando una aportación de áreas fuentes cristalinas (granitos-gneises) en el relleno de la cuenca del Buntsandstein. Estos aportes de rocas cristalinas son los únicos que, de dicha naturaleza, se hacen notar en el registro estratigráfico de la isla.

4. EVOLUCIÓN DE LA COMPOSICIÓN: EVIDENCIAS DEL RECICLADO

Como ya se ha comentado en los capítulos anteriores, las unidades analizadas se encuentran separadas por discontinuidades sedimentarias más o menos importantes (Rosell y Elizaga, 1989). En un principio, dichas discontinuidades sedimentarias implican cambios en la naturaleza de los aportes.

Por otra parte, la presencia constante de granos de chert biogénico (radiolaritas) y de fragmentos de rocas metamórficas con características composicionales muy semejantes, a lo largo de toda la serie estratigráfica considerada, representan evidencias cualitativas de procesos de reciclado entre distintas unidades.

En los apartados siguientes se analiza, en base a los datos obtenidos de la composición modal de las areniscas y de índices composicionales específicos, la evolución de las áreas de procedencia y, en definitiva, de los posibles procesos de reciclado acaecidos entre el Devónico inferior y el Buntsandstein superior en la isla.

4.1. *Composición general.*

La composición de las areniscas, en la práctica totalidad de las unidades, tiene una componente lítica importante (Fig. 3A). Dicha componente lítica se manifiesta con la presencia de fragmentos de rocas, predominantemente metamórficas de bajo grado (Fig. 3B). No obstante, en el diagrama QFR ocupan distintas posiciones, bien definidas entre sí y con distintos grados de madurez composicional.

A partir de los datos de dicho diagrama (QFR), es posible afirmar que las areniscas devónicas son muy maduras, pero con una cierta componente feldespática clara. También cabe señalar que desde el Carbonífero inferior hasta el Buntsandstein inferior existe una evolución casi lineal, hacia una mayor madurez de los depósitos, con un incremento progresivo de granos de cuarzo. Por último, con el Buntsandstein superior se produce un cambio importante en la litología del área

fuelle, con "tímidos" aportes de feldespato potásico. Los cambios más importantes, en cuanto a la litología del área fuente, se han producido en los límites entre el Devónico y el Carbonífero inferior y entre el Buntsandstein inferior y el Buntsandstein superior. Estos momentos de cambios litológicos en el área fuente, delimitan tres etapas genéticas principales para estos depósitos.

- a) *Devónico-Carbonífero inferior (UIC)*: Representa un "rejuvenecimiento" de las áreas fuentes, pasando desde depósitos muy maduros y elaborados, con escasos fragmentos de roca metamórfica, a depósitos en los que se conserva un número importante de ellos.
- b) *Carbonífero inferior (UIC)-Buntsandstein inferior*: En este período existe, por el contrario, un tenue descenso en componentes inestables, pudiéndose interpretar como una intervención progresivamente menos importante de las áreas fuentes líticas. Cabe señalar, además, como existe un brusco "salto" entre USC y el Pérmico (Fig. 3A). No obstante, la ganancia en madurez composicional puede representar, no solo el desmantelamiento progresivo de las áreas fuentes en un único ciclo de sedimentación, sino que además pueden intervenir procesos de reciclado (Suttner *et al.*, 1981).
- c) *Buntsandstein inferior-Buntsandstein superior*: En este tránsito se ve truncada la hegemonía lítica en la composición de las areniscas que, si bien sigue manteniéndose en unos grados de madurez elevados, presenta la novedad de la influencia de áreas fuentes cristalinas con el aporte de feldespatos potásicos.

En la figura 3B se ha representado el contenido relativo de las tipologías principales de fragmentos de roca. En dicha figura se observa que los materiales carboníferos son los que presentan un mayor contenido en fragmentos de rocas granudas (FRG), frente a las unidades posteriores donde el dominio de los fragmentos de rocas metamórficas es evidente (FRM). En dicha figura no se han representado las areniscas devónicas por no existir datos suficientes ni representativos.

Si analizamos la composición modal en un diagrama QmFLt (Dickinson *et al.*, 1983), observamos cómo la distribución de los campos de proyección varía considerablemente entre las distintas unidades (Fig. 4). Las areniscas del Devónico se siguen manteniendo en las proximidades del polo Qm, evidenciando su elevada madurez. Por el contrario, el resto de las unidades sufren una considerable translación hacia las proximidades del polo Lt. Este hecho es debido a la gran cantidad de cuarzos policristalinos (Qp) que presentan estas areniscas, que al ser contabilizados en el polo Lt, provocan su desplazamiento. En este diagrama la evolución desde el Carbonífero inferior al Buntsandstein inferior se produce mediante una ganancia general de Lt o, en definitiva, mediante un aumento general de granos poli-

cristalinos. Dicho aumento es considerablemente importante entre la Unidad Superior del Carbonífero y el Pérmico, por lo que habría que considerar en la génesis de este último la acción de áreas fuentes ricas en dichos componentes. Clásicamente, se relaciona dicha tipología con litologías metamórficas de bajo grado (Folk, 1965; Basu *et al.*, 1975; Blatt *et al.*, 1980). Sin embargo, las areniscas pérmicas contienen un bajo porcentaje de fragmentos de rocas metamórficas. Este hecho podría ser atribuido a procesos de transporte, en los que la inestabilidad de estos componentes provocaría su destrucción (Blatt, 1967).

En la figura 5 se han representado los contenidos en Qp en función del tamaño de grano en las unidades carboníferas y permo-triásicas, observándose un cambio muy importante entre sus distribuciones. Así, mientras que las unidades carboníferas presentan una distribución muy dependiente del tamaño de grano (pendiente fuerte de la recta de correlación), las areniscas del Pérmico-Buntsandstein inferior presentan un mayor contenido en Qp, siendo además menor su dependencia del tamaño de grano. La conclusión que puede deducirse es que durante la sedimentación de Pérmico-Buntsandstein inferior actúan áreas fuentes ajenas al registro detrítico previo (Carbonífero). Además, la distinta pendiente en la distribución refleja el dominio de tipologías de cuarzos policristalinos diferentes en ambas formaciones. Así, en los depósitos carboníferos existe una mayor dependencia del contenido en Qp con el tamaño de grano, como consecuencia del predominio de tipologías policristalinas constituidas por unidades cristalinas de mayor tamaño (posible influencia de áreas fuentes granudas). Por el contrario, en el Pérmico-

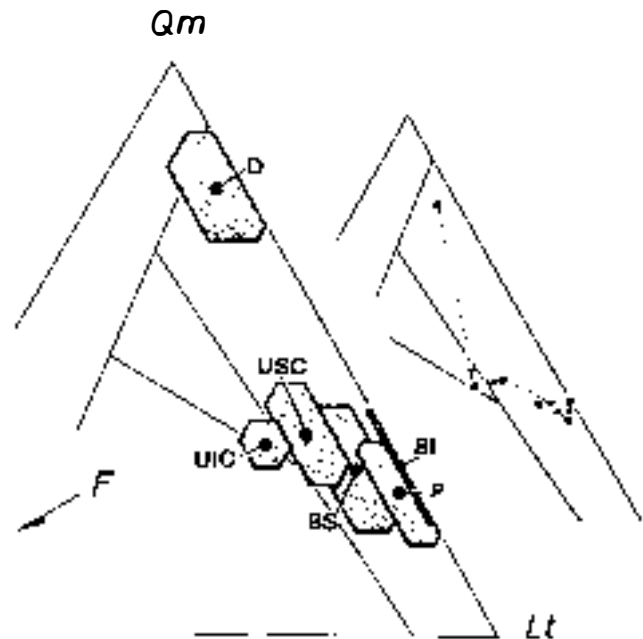


Fig. 4.-Composición modal de las areniscas siliciclásticas de la isla de Menorca en un diagrama QmFLt de Dickinson *et al.* (1983). Ver figura 3 para el significado de las siglas.

Fig. 4.-Modal composition of sandstones in Menorca island, following the criteria of Dickinson *et al.* (1983) in a QmFLt diagram. See figure 3 to abbreviation meaning.

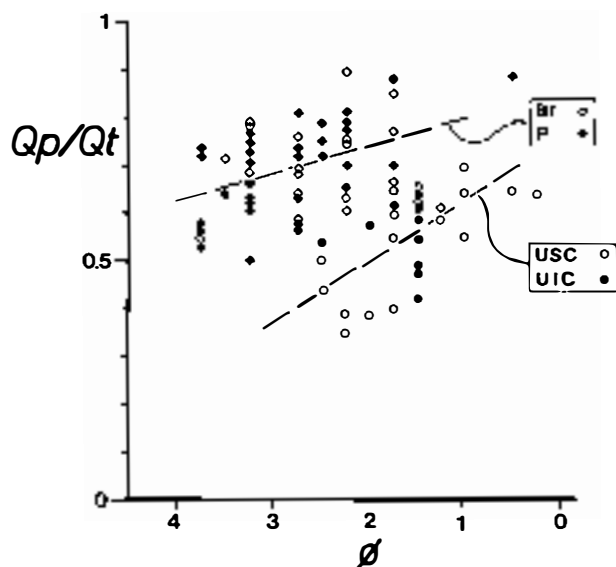


Fig. 5.-Variación de la relación Qp/Qt (cuarzos policristalinos/cuarzo total) en función del tamaño de grano (en escala "phi") de las areniscas carboníferas y permotriásicas de la isla de Menorca.

Fig. 5.-Qp/Qt (polycrystalline quartz/total quartz) ratios versus grain size ("phi" scale) of carboniferous and permotriassic sandstones in the Menorca island. See figure 3 to abbreviation meaning.

Buntsandstein inferior las tipologías de Qp son menos dependientes, quizá por ser granos formados por individuos de menor tamaño. Estas últimas tipologías han sido descritas asociadas a áreas fuentes metamórficas de bajo grado (Conolly, 1965; Young, 1976; Palomares, 1988; Tortosa *et al.*, 1988).

En este mismo diagrama es posible observar la similitud entre los valores correspondientes a las unidades carboníferas, por un lado, y entre la del Pérmico y la del Buntsandstein inferior, por otro; lo que nos induce a pensar en etapas de reciclado para la génesis de la Unidad Superior del Carbonífero (USC) y del Buntsandstein inferior.

Por último, el diagrama QmFLt muestra un ligero desplazamiento hacia el polo F del lugar de proyección de los depósitos del Buntsandstein superior, disminuyendo el contenido en componentes Lt.

4.2. Índices composicionales

Para evidenciar los procesos de reciclado de las unidades detríticas de Menorca, se han utilizado índices composicionales elaborados en base a determinados componentes sensibles a dicho reciclado. Se han elegido los índices Qp/Qt; F/Qt y Chert biogénico/Qt.

En la figura 6A se pone de nuevo en evidencia la elevada madurez de las areniscas devónicas con valores muy bajos de F/Qt y Qp/Qt. Estos datos, junto a los comentados anteriormente respecto a su composición global, hacen pensar en un origen netamente reciclado a partir de depósitos sedimentarios y metasedimenta-

rios de origen desconocido hasta el momento.

La discontinuidad sedimentaria entre el Devónico y la Unidad Inferior del Carbonífero queda patente con un brusco aumento de los índices comparados, que denotan cambios sustanciales en las litologías de las áreas fuentes.

Asimismo, la disminución progresiva del valor F/Qt hasta el Buntsandstein inferior refleja la pérdida progresiva de la importancia en sus aportes de las áreas fuentes granudas proveedoras de los feldespatos. Por lo que respecta al aumento de la relación Qp/Qt en este mismo periodo, se considera motivado por dos factores. En primer lugar, los leves incrementos en dicho índice entre la Unidad Inferior y la Unidad Superior del Carbonífero (UIC y USC, respectivamente) por un lado y entre el Pérmico (P) y el Buntsandstein inferior (BI) por otro, pueden estar relacionados con el tamaño de grano de los propios depósitos, aumentando el contenido en Qp en las areniscas de tamaño mediano más grueso (Fig. 5). En segundo lugar, el fuerte incremento en la relación Qp/Qt entre USC y P indica una mayor participación de las áreas fuentes metamórficas de bajo grado (ricas en dicho componente). Por último, el tránsito entre las dos unidades del Buntsandstein representa una nueva actividad, si bien suave, de áreas fuentes cristalinas, con un visible incremento en F/Qt.

Tal como se ha mencionado anteriormente, los granos de chert se encuentran, más o menos representados, en todas las unidades. El carácter biogénico (radiolaritas) de dichos granos de chert se hace notar a partir de la Unidad Superior del Carbonífero. En la serie estratigráfica los niveles más importantes de radiolaritas se concentran en la Unidad Inferior del Carbonífero (Rosell y Elízaga, 1989).

La importante concentración de este componente en las unidades posteriores a la UIC puede evidenciar la participación de esta unidad en la génesis de los depósitos posteriores (Fig. 6B). Las variaciones en el valor de la relación Ch/Qt en dichas unidades refleja el índice de participación de la UIC como área fuente y/o de los sucesivos reciclados en las unidades posteriores.

En resumen, las características composicionales de las areniscas estudiadas permiten establecer la existencia de procesos de reciclado más o menos intensos en las formaciones detríticas siliciclásticas de Menorca. En la figura 7 se han esquematizado los diferentes tipos de aportes en cada una de las unidades consideradas.

Cabe señalar que las discontinuidades sedimentarias más importantes, en cuanto a cambios composicionales en las áreas fuentes, se concretan en el tránsito Devónico inferior-UIC, USC-Pérmico (ambos marcados por hiatos sedimentarios importantes) y BI-BS.

Por otra parte, la Unidad Superior del Carbonífero y la Inferior del Buntsandstein representan los depósitos con mayor grado de reciclado a partir de los depósitos infrayacentes. En el primer caso, la presencia de un importante nivel olistostrómico (Rosell y Elízaga, 1989) corrobora dichas afirmaciones. Ambas unidades se apoyan en discontinuidades sedimentarias de menor rango que las anteriores al no implicar cambios

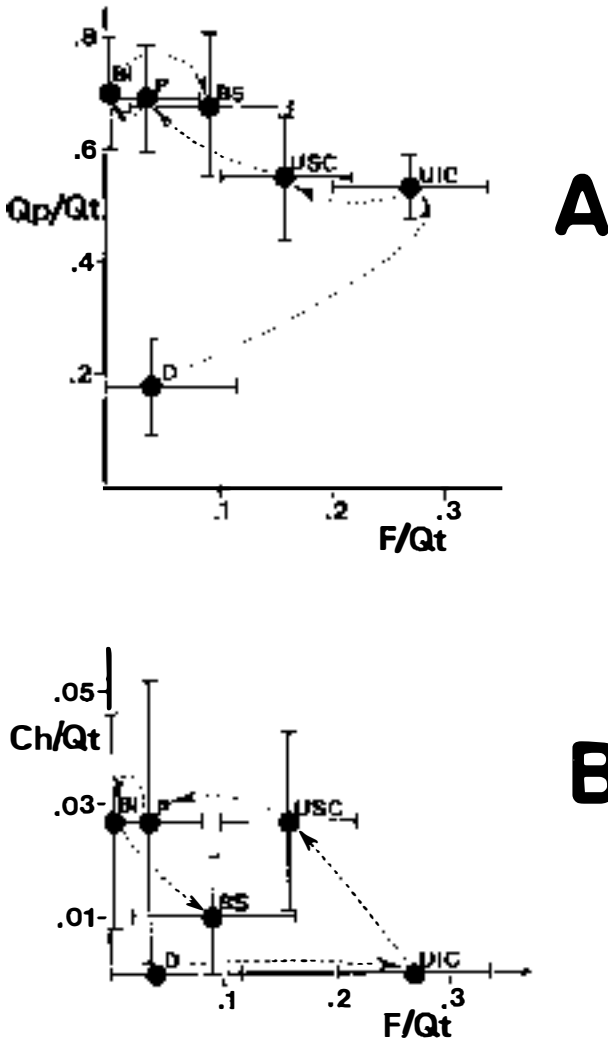


Fig. 6.- (A) Relación entre los índices composicionales Qp/Qt y F/Qt (feldespato/cuarzo total) en las areniscas siliciclásticas de la isla de Menorca. (B) Relación entre los índices composicionales Ch/Qt (chert biogénico/cuarzo total) y F/Qt. Ver la figura 3 para el significado de las siglas.

Fig. 6.- (A) Qp/Qt index versus F/Qt (feldspar/total quartz) index in sandstones of Menorca island. (B) Ch/Qt (biogenic chert/total quartz) index versus F/Qt index. See figure 3 to abbreviation meaning.

importantes en cuanto a la litología de las áreas fuentes.

Las conclusiones obtenidas del análisis composicional de los depósitos devónicos y carboníferos de la isla de Menorca concuerdan plenamente con las interpretaciones tectosedimentarias de Rosell y Elizaga (1989). Dichos autores consideran esta serie dividida en tres unidades : una inferior pretectónica (Devónico inferior), una intermedia sintectónica (Carbonífero inferior) y una superior postectónica (Carbonífero superior).

El carácter pretectónico de la unidad devónica queda marcado en su composición por su elevada madurez, reflejo de relieves poco acusados en el área fuente. La composición, eminentemente lítica, de la Unidad Inferior del Carbonífero concuerda con la fase sintectónica,

caracterizada por aportes directos desde áreas fuentes más activas. Por último, el reciclado de los depósitos de la USC a partir de la UIC, caracteriza la fase postectónica.

5. CONCLUSIONES

Del estudio composicional de las series siliciclásticas de Menorca (Devónico inferior, Carbonífero inferior, Pérmico y Buntsandstein) se aportan nuevos datos acerca de las litologías de las áreas fuentes, así como de los procesos relacionados con la génesis de estos depósitos.

Asimismo, se ha confirmado, en base a la composición de las areniscas, la existencia de discontinuidades sedimentarias que se manifiestan bien como cambios importantes en la litología del área fuente o bien mediante procesos de reciclado de unidades sedimentarias previas.

A partir del análisis de la composición modal en un diagrama QFR se diferencian tres etapas genéticas principales: a) *Devónico inferior-Unidad Inferior del Carbonífero*, representa un "rejuvenecimiento" impor-

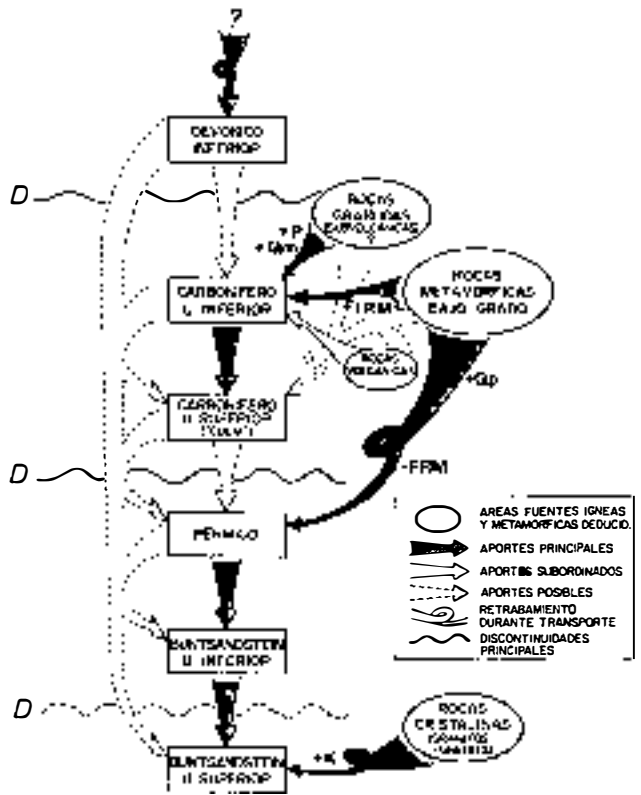


Fig. 7.-Esquema de los aportes y áreas fuentes deducidas a partir de la composición de las areniscas de las unidades siliciclásticas de la isla de Menorca. Qm: cuarzo monocristalino. Qp: cuarzo policristalino. P: plagioclasa. K: feldespato potásico. FRM: fragmentos de roca metamórfica.

Fig. 7.-Provenance sketch of sandstones in Menorca island deduced from sandstone composition. Qm: monocrystalline quartz. Qp: polycrystalline quartz. P: plagioclase. K: K-feldspar. FRM: metamorphic rock fragments.

tante de las áreas fuentes. b) *Unidad Inferior del Carbonífero-Buntsandstein inferior*, marcada por un aumento progresivo en el grado de madurez como consecuencia de importantes procesos de reciclado. c) *Buntsandstein inferior-Buntsandstein superior*, donde se produce la influencia de áreas fuentes cristalinas (granitos - gneises).

No obstante, el análisis composicional en un diagrama QmFLt revela un considerable incremento en Qp en el tránsito Carbonífero inferior-Pérmico, que se interpreta como el resultado de nuevos aportes metamórficos de bajo grado durante la sedimentación pérmica. Este hecho queda corroborado al analizar la variación del índice Qp/Qt en función del tamaño de grano en las unidades carboníferas y permo-triásicas.

La confrontación de determinados índices composicionales (Qp/Qt, F/Qt y Ch/Qt) ratifica la importan-

cia de los procesos de reciclado.

De las conclusiones anteriores cabe señalar que las discontinuidades sedimentarias más importantes, en cuanto a cambios composicionales en las áreas fuentes, se concretan en los momentos de tránsito entre el Devónico inferior y la Unidad Inferior del Carbonífero, entre la Unidad Superior del Carbonífero y el Pérmico (ambas marcadas por hiatos sedimentarios), y entre el Buntsandstein inferior y el Buntsandstein superior. Además, la Unidad Superior del Carbonífero y la Inferior del Buntsandstein representan los depósitos con mayor grado de reciclado a partir de los depósitos anteriores.

Por último, se establece un modelo de procedencia de las areniscas siliclásticas de Menorca acorde con el modelo tectosedimentario elaborado recientemente por Rosell y Elízaga (1989).

BIBLIOGRAFÍA

- Arribas, J. y Arribas, M.E. (1986): Caracterización y procedencia de las areniscas del Paleógeno del sector N de la cuenca del Tajo. *Rev. Inv. Geol.*, 42/43: 5-22
- Basu, A., Young, S.W., Suttner, L.J., James, W.C. y Mack, G.H. (1975): Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation. *Jour. Sed. Petrol.*, 45: 873-882.
- Blatt, H. (1967): Provenance determinations and recycling of sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 37: 1031-1044.
- Blatt, H. y Jones, R.L. (1975): Proportions of exposed igneous, metamorphic and sedimentary rocks. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 86: 1085-1088.
- Blatt, H., Middleton, G. y Murray, R. (1980): *Origin of sedimentary rocks*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 767 p.
- Bourrouilh, R. (1973): *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baliars). La terminaison nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale*. Tesis Univ. Paris, 2 vols, 822 p.
- Conolly, J.R. (1965): The occurrence of polycrystallinity and undulatory extinction in quartz in sandstone. *Jour. Sed. Petrol.*, 35: 116-135.
- Dickinson, W.R. y Suczek, C.A. (1979): Plate tectonics and sandstone compositions. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 63: 2164-2182
- Dickinson, W.R., Beard, L.S., Brakenridge, G.R., Erjavec, J.L., Ferguson, R.C., Inman, K.F., Knepp, R.A., Linaberg, F.A. y Ryberg, P.T. (1983): Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 94: 222-235
- Dickinson, W.R. (1985): Provenance relations from detrital modes of sandstones. In: G.G.Zuffa (Ed.) *Provenance of arenites*, NATO ASI Series: 333-361
- Dickinson, W.R., Lawton, T.F. y Inman, K.F. (1986): Sandstone detrital modes, central Utah foreland region: Stratigraphic record of Cretaceous-Palaeogene tectonic evolution. *Jour. Sed. Petrol.*, 56: 276-293
- Folk, R.L. (1965): *Petrology of sedimentary rocks*. Univ. de Texas. Hemphill's Austin Texas, 159 p.
- Franzinelli, E. y Potter, P.E. (1983): Petrology, chemistry and texture of modern river sands, Amazon River System. *Jour. Geol.*, 91: 23-39
- Gandolfi, G., Paganelli, L. y Zuffa, G.G. (1983): Petrology and dispersal pattern in the Marnoso-Arenacea Formation (Miocene, Northern Apennines). *Jour. Sed. Petrol.*, 53: 493-507
- Gómez-Gras, D. (1987): *Estratigrafía física y petrología sedimentaria del Pérmico y Buntsandstein de la isla de Menorca*. Tesis de Licenciatura. Univ. Autónoma de Barcelona, 117 p.
- Henningsen, D. (1982): Zusammensetzung und Herkunft der sandigen gesteine des Devons und Karbons von Menorca (Balearen, Mittelmeer). *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 11: 736-746
- Henningsen, D. (1984): The Upper Devonian conglomerates of Menorca (Balearic Islands, Mediterranean). *N. Jb. Geol. Palaont. Mh.*, 9: 539-548
- Ingersoll, R.V., Cavazza, W. y Graham, S.A. (1987): Provenance of impure calcilithites in the Laramide foreland of Southwestern Montana. *Jour. Sed. Petrol.*, 57: 995-1003
- Llompart, C., Obrador, A. y Rosell, J. (1979): Geología de Menorca. En: *Enciclopedia de Menorca*, T.1, pp. 183. Obra Cultural Balear de Menorca. Maó.
- Mack, G.H. (1978): The survivability of labile light-mineral grains in fluvial, aeolian and littoral marine environments: the Permian Cutler and Ceder Mesa Formations, Moab, Utah. *Sedimentology*, 25: 587-604.
- Palomares, M. (1988): *Análisis de las arenas actuales derivadas de rocas metamórficas del Sistema Central: Aplicación a los estudios de procedencia*. Tesis de Licenciatura. Univ. Complutense de Madrid, 191 p.
- Pettijohn, F.P., Potter, P.E. y Siever, R. (1973): *Sand and sandstones*. Springer-Verlag, New York, 618 p.
- Rosell, J., Arribas, J., Elízaga, E. y Gómez-Gras, D. (1988): Caracterización sedimentológica y petrográfica de la serie roja permo-triásica de la isla de Menorca. *Bol. Geol. Minero*, 99: 71-82
- Rosell, J. y Arribas, J. (1989): Características petrológicas de las areniscas del Carbonífero de facies Culm de la isla de Menorca. *Bol. Geol. Minero*, (en prensa).
- Rosell, J. y Elízaga, E. (1989): Evolución tectosedimentaria del Paleozoico de la isla de Menorca. *Bol. Geol. Minero*, 100: 193-204.

- Shanmugam,G. (1988): Origin, recognition and importance of erosional unconformities in sedimentary basins. En: C.P. Kleinspehn (Ed.) *New perspectives in basin analysis*. Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg: 83-109.
- Stattegger,K. (1979): Schwermineraluntersuchungen im Devon un Karbon von Menorca (Spain). *Mitt. 'osterr. Geol. Ges.*, 70: 43-48.
- Suttner,L.J. (1974): Sedimentary petrographic provinces: an evaluation. *Soc. Econ. Paleon. Miner. Spec. Pub.*, 21: 75-84
- Suttner,L.J., Basu,A. y Mack,G.H. (1981): Climate and the origin of quartzarenite. *Jour. Sed. Petrol.*, 51: 1235-1246.
- Tortosa,A., Palomares,M. y Arribas,J. (1988): Tipologías de cuarzo como indicadores de la procedencia en areniscas: Excepciones al método de BASU *et al.*, 1975. *Estudios Geol.*, 44: 385-390
- Young,S.W. (1976): Petrographic textures of detrital polycrystalline quartz as an aid to interpreting crystalline source rocks. *Jour. Sed. Petrol.*, 46: 595-603.
- Zuffa,G.G. (1980): Hybrid arenites: their composition and classification. *Jour. Sed. Petrol.*, 50: 21-29
- Zuffa,G.G. (1985): Optical analysis of arenites: influence of methodology on compositional results. En: G.G. Zuffa (Ed.) *Provenance of arenites* NATO ASI Series, C-148: 165-189.
- Zuffa,G.G. (1987): Unravelling hinterland and offshore palaeogeography from deep-water arenites. En: J.K. Leggett y G.G. Zuffa (Ed.) *Marine clastic sedimentology: Concepts and case studies*, Graham & Trotman, Londres, 39-61.

Entregado el 24 de septiembre 1989

Aceptado el 5 de diciembre de 1989