

Sedimentología de los términos basales de la sucesión cretácica en el borde sur del Sistema Central

Sedimentology of the basal units of the Cretaceous succession in the southern margin of the Central System

J. F. GARCÍA-HIDALGO, J. GIL Y M. SEGURA

ABSTRACT

Terrigenous sediments forming the base of the Cretaceous succession at the south of the Central System (central Spain) form a transgressive - regressive cycle, that can be divided into three depositional sequences (here named from the lithostratigraphic units they belong to, Atienza, Patones and El Molar sequences, from base to top), separated by type - II sequence boundaries. The base of the cycle is a, locally thick, paleosoil developed on underlying Hercynian shales and gneises. The upper boundary of the cycle corresponds to a type - I sequence boundary related to an important basinwards advance of the facies belts and by the presence of brecciation processes at the top of underlying unit.

The Atienza sequence is composed of fluvial? - coastal deposits at the base and low-energy coastal association bearing root traces (rhizolites) at the top, which probably reflect the presence of emersion processes at the sequence boundary. Patones sequence is composed of 4 shallowing-upwards parasequences, formed mainly by shoreface - offshore facies associations in which alternate low-energy deposits (offshore grey to black, glauconite-rich, muds), that indicate a low-sedimentary rate and oxygen-poor bottom waters (no traces of bioturbation

and preservation of the organic matter) and high-energy deposits (cross-bedded sands) bearing detrital glauconite and bioturbation, which clearly suggest a greater sedimentary rate in an aerobic environment; rarely the existence hummocky cross-bedded sands suggests the presence of very high-energy episodes (storms). Finally, the Molar sequence is composed of three parasequences; the main facies associations are a shoreface association where cross-bedded and massive sands of beach aspect, prevails, a shoreface – offshore association, and a tidal association with stromatolitic dolostones and burrowed clays bearing rhizolites suggesting the presence of emersion events related to the top of the transgressive – regressive cycle.

Keywords: Cretaceous, coastal, tidal, shoreface, offshore, central Spain

RESUMEN

Los sedimentos terrígenos que forman la base de la sucesión cretácica en el borde sur del Sistema Central forman parte de un ciclo transgresivo-regresivo, que puede ser dividido en tres secuencias deposicionales (denominadas, de base a techo, secuencias Atienza, Patones y El Molar), separadas por límites de secuencia de tipo-II. La base de la sucesión es un paleosuelo, localmente muy potente, desarrollado sobre pizarras y gneises hercínicos. El límite superior se interpreta como un límite de secuencia tipo-I relacionado con un importante avance de los cinturones de facies hacia la cuenca y con la presencia de brechas en el techo de la unidad infrayacente.

La secuencia Atienza está formada por depósitos fluvio? – costeros en la base y depósitos costeros de baja energía a techo, que contienen huellas de raíces (rizolitos), lo cual refleja la existencia de procesos de emersión en relación con el límite de secuencia. La secuencia Patones está formada por 4 parasecuencias de somerización en las que predomina una asociación de facies *offshore* – *shoreface* compuesta por depósitos de baja energía en la base (arcillas grises a negras, localmente ricas en glauconita), que indican una tasa de sedimentación baja y unos fondos empobrecidos en oxígeno (debido a la ausencia de bioturbación y la conservación de la materia orgánica), y de alta energía a techo (areniscas dolomíticas con estratificación cruzada) que contienen glauconita detrítica y están bioturbadas, lo que sugiere la existencia de una tasa de sedimentación más alta y unos fondos aeróbicos; la existencia de estratificación cruzada de tipo *hummocky* sugiere la existencia de eventos de muy alta energía (relacionados con tormentas). Finalmente, la secuencia El Molar está compuesta por 3 parasecuencias, cuyas asociaciones de facies principales son: asociación de *shoreface* en la que dominan arenas masivas o con estratificación cruzada, asociación *shoreface* – *offshore* y asociación mareal con la presencia de dolomías estromatolíticas y niveles edáficos con rizolitos que sugieren la existencia de procesos de emersión relacionados con el techo del ciclo transgresivo – regresivo.

Palabras clave: Cretácico, sedimentos costeros, sedimentos mareales, sedimentos sublitorales, sedimentos de plataforma, Sistema Central

INTRODUCCIÓN

El Cretácico Superior del borde sur del Sistema Central está formado por un conjunto terrígeno basal (arenas, areniscas, arcillas y dolomías) y un conjunto carbonatado superior (dolomías, calizas y margas), cuyo espesor se incrementa desde el SO hacia el NE pasando de 30 m en Valdemorillo a 300 m en Alcorlo, debido principalmente al aumento de espesor de la mitad inferior de la serie. Los materiales cretácicos yacen mediante una discordancia angular sobre diferentes unidades del zócalo hercínico, granitos y gneises al SO, pizarras y cuarcitas del Paleozoico en la zona central, y mediante una suave discordancia cartográfica al NE donde se apoya sobre las areniscas, arcillas y dolomías del Pérmico y del Triásico.

En general es una sucesión poco fosilífera en la que, sólo recientemente, se han realizado dentro del conjunto calcáreo superior las primeras determinaciones paleontológicas con valor cronoestratigráfico (Segura *et al.*, 2000). Pese a sus buenas condiciones de afloramiento existen pocos trabajos de detalle de estos materiales cretácicos ya que la mencionada ausencia de fósiles ha dificultado su correlación detallada, incluso entre áreas relativamente próximas. En el presente trabajo se pretende realizar el análisis sedimentológico del conjunto terrígeno basal de esta sucesión cretácica (Fig. 1).

ESTRATIGRAFÍA

Aparte de los trabajos para la cartografía geológica de la 1ª serie MAGNA, los primeros trabajos específicos son de Arias (1969), quien describe el Cretácico de los alrededores de Guadalix de la Sierra y de Corchón (1976) en los alrededores de Torrelaguna; quien, como parte de un estudio hidrogeológico regional, establece para el Cretácico dos Formaciones que se corresponden aproximadamente con el conjunto terrígeno basal (Fm. Patones, a la que atribuye una edad Albiense - Cenomaniense) y el conjunto carbonatado superior (Fm. Pontón de la Oliva, que atribuye al Cretácico Superior).

Posteriormente, Alonso y Mas (1982) correlacionan estos materiales con los descritos al norte del Sistema Central, correlación que, con modificaciones, es utilizada para la nueva cartografía geológica (MAGNA) por Portero *et al.* (1990) y Martín Parra *et al.* (1990).

Recientemente Gil y García (1996), García *et al.* (1996) y Gil *et al.* (2001 a) han establecido una primera aproximación a la arquitectura estratigráfica de estos depósitos, lo que les ha permitido reconocer la presencia de diversos litosomas terrígenos, margosos y carbonatados que correlacionan y encuadran con las unidades litoestratigráficas ya generalizadas para la Cordillera Ibérica noroccidental y definidas por Floquet *et al.* (1982) y por Vilas *et al.* (1982). El conjunto de litosomas terrígenos los incluyen en la Fm. Arenas de Utrillas, en sentido amplio, en virtud de su naturaleza siliciclástica y de su posición estratigráfica en la base de la sucesión; dentro de este conjunto reconocen 5 unidades para las que proponen los nombres de (Arenas o Areniscas de: Atienza, Patones, El Molar, Tortuero y Valdemorillo). La

individualización de estos cuerpos se ve favorecida tanto por la existencia de intercalaciones margosas, que son cuerpos con gran continuidad lateral y suficiente espesor: las Margas de Picofrentes y de Alcorlo; como por la presencia de litosomas carbonatados que, aunque están mayoritariamente dolomitizados, se pueden correlacionar con unidades similares de la Cordillera Ibérica: Dolomías de Villa de Vés y dolomías de la Ciudad Encantada, con dos Miembros, calcarenitas de Riofrío del Llano y Dolomías de Muriel.

Desde un punto de vista secuencial la ruptura más importante se sitúa en las Margas de Alcorlo (García *et al.*, 1996), se trata de un límite de ciclo de segundo orden entre dos conjuntos transgresivo-regresivos (Segura *et al.*, 2001), y claramente observable al este de la zona estudiada en Alcorlo, Somolinos, etc., ya que estas margas presentan paleosuelos e intercalaciones de arenas (Arenas de Somolinos), la presencia de estos niveles arenosos es discontinua en el borde sur del Sistema Central. En la región de Torrelaguna, y especialmente hacia el oeste, están siempre presentes y muestran unas facies muy próximas a las de las arenas de Utrillas de la Cordillera Ibérica. La realización a lo largo de este borde sur del Sistema Central de numerosas y detalladas secciones (más de 20) utilizando los criterios de la estrati-

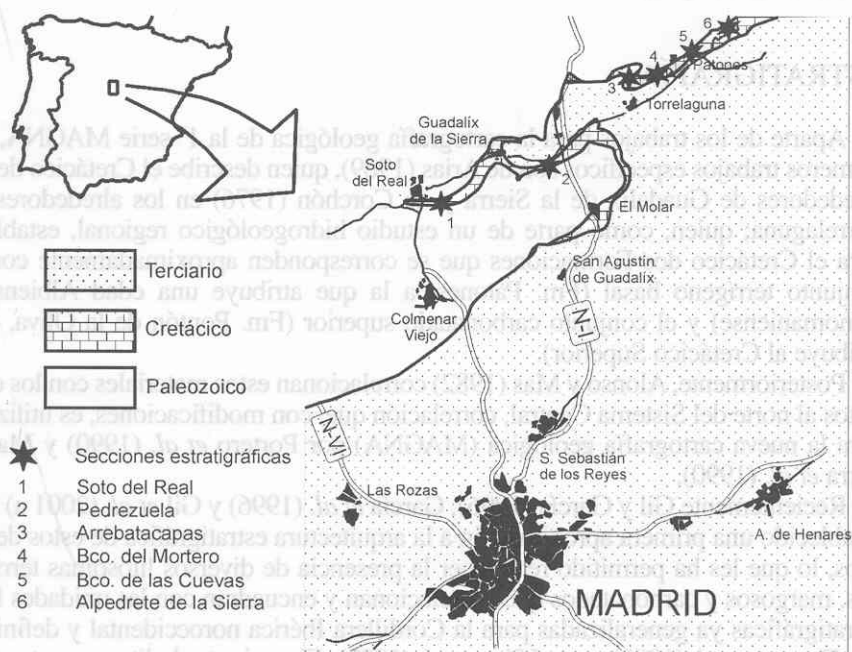


FIG. 1.- Situación geográfica de los afloramientos del Cretácico y localidades citadas en el texto, en el borde sur del Sistema Central.

FIG. 1.- Geographical location of Cretaceous outcrops and localities mentioned in text, in the southern edge of the Central System.

grafía secuencial de alta resolución, ha permitido seguir este límite, constatándose un acusado desplazamiento de los cinturones de facies terrígeno costeros de las arenas de Somolinos hacia el interior de la cuenca, asociado a una caída importante del nivel del mar relativo de orden mayor. La reconstrucción estratigráfica detallada muestra como las margas de Alcorlo-arenas de Somolinos se disponen discordantes sobre los materiales infrayacentes y hacia el oeste van apoyándose sobre diferentes secuencias deposicionales o parasecuencias.

El análisis estratigráfico secuencial permite, además, reconocer la presencia de ciclos de 3er orden por la presencia de intercalaciones dolomíticas y de cambios en la composición mineralógica de los sedimentos, o en su tendencia a lo largo de la sucesión (Gil *et al.*, 2001 a) o por la presencia de discontinuidades importantes y generalizadas (Gil *et al.*, 2001 b). Se pueden reconocer así tres secuencias deposicionales (Fig. 2), cuya edad Cenomaniense superior – Turoniense se establece en base a correlación con sucesiones de otras áreas de la Cordillera Ibérica, pudiéndose a su vez relacionar con las secuencias UZA 2.4, 2.5 y 2.6, en la nomenclatura de Haq *et al.* (1988). En este trabajo nos referiremos a ellas como Secuencia Atienza (Fig. 2), equivalente del Miembro Atienza (Gil y García, 1996) y la secuencia UZA 2.4; Secuencia Patones (Fig. 2), Miembro Patones de Gil y García (*op. cit.*) y secuencia UZA 2.5; y Secuencia El Molar (Fig. 2), Miembros Molar y Tortuero de Gil y García (*op. cit.*) y secuencia UZA 2.6.

SEDIMENTOLOGÍA

SECUENCIA ATIENZA

Se sitúa sobre una paleoalteración de espesor variable que representa los restos de un paleosuelo desarrollado sobre las pizarras paleozoicas. Sobre este paleosuelo se pueden reconocer dos asociaciones de facies que caracterizan esta secuencia.

Asociación de facies fluvio? – costera (Fig. 3a)

Corresponde a las características arenas de grano medio a grueso con estratificaciones cruzadas planares y de surco, que caracterizan las arenas de Utrillas en la mayor parte de la Cordillera Ibérica; se pueden reconocer lags de cantos en las bases de algunos tramos de grano grueso y niveles ferruginosos a techo con estructuras verticales, que se interpretan como paleoalteraciones asociadas a procesos edáficos (Ruiz, 1996). En esta región apenas afloran, sólo lo hacen a partir del Barranco de las Cuevas hacia el E (Fig. 1), y con un espesor bastante reducido (máximo 3 – 4 m). Aunque normalmente han sido interpretadas como depósitos fluviales, con predominio de los sistemas de baja sinuosidad (Portero *et al.*, 1990; Martín Parra *et al.*, 1990); trabajos más recientes, en una región más hacia el este, las han interpretado como sedimentos de llanura aluvial costera y de llanuras mareales (Ruiz, *op. cit.*); en la región estudiada su escaso afloramiento y espesor no permiten una mayor precisión sedimentológica. Por su posición estratigráfica deben corresponder a los depósitos de nivel del mar más bajo de todo el conjunto sedimentario cretácico.

Asociación de facies costera de baja energía (Fig. 2 y 3b)

Situada sobre la anterior mediante una superficie suavemente erosiva. Consta de tres términos en tránsito gradual, formando secuencias granodecrescentes (Fig. 4): arenas gruesas en bancos decimétricos con base suavemente erosiva, que presentan lags de cantos en la base y estratificación cruzada planar; arenas de grano medio a fino en niveles centimétricos separadas por pasadas de óxidos de hierro milimétricos, presenta foraminíferos bentónicos y rizolitos; y, finalmente, arcillas limosas y arcillas con pasadas arenosas, a veces discontinuas (estratificación lenticular), que se pueden presentar como boudines, debido a procesos de deformación hidrolástica; en esta facies es común la presencia de rizotubos verticales y horizontales rellenos de arenas medias y gruesas, especialmente en la secuencia de techo de la unidad.

Esta asociación ha sido interpretada como depósitos costeros de baja energía con canales efímeros (Gil *et al.*, 2001 b). Representan depósitos de una etapa de nivel del mar más alto (cortejo transgresivo o cortejo de alto nivel del mar), que los depósitos infrayacentes. Por otro lado, los rizolitos evidencian la instalación de una comunidad vegetal costera subaérea (¿manglares?) a techo de la secuencia deposicional, que refleja la presencia de una interrupción sedimentaria (*sensu* Kraus, 1999), que interpretamos (Gil *et al.*, 2001 b) como un límite de secuencia de tipo - II (Van Wagoner *et al.*, 1988).

Secuencia Patones

En esta zona se pueden reconocer cuatro conjuntos de parasecuencias (parasequence sets) (Fig. 2). Sedimentológicamente, están compuestas, por regla general, por secuencias sedimentarias de somerización, granocrecientes (Fig. 5 a y b), en la que predominan en la base los términos arcillo – margosos y a techo los términos arenoso – calcáreos (Fig. 2); muchas de las secuencias pueden estar incompletas, tanto por su base, como por su techo. Sólo la parasecuencia superior presenta una asociación de facies ligeramente diferente (Fig. 2).

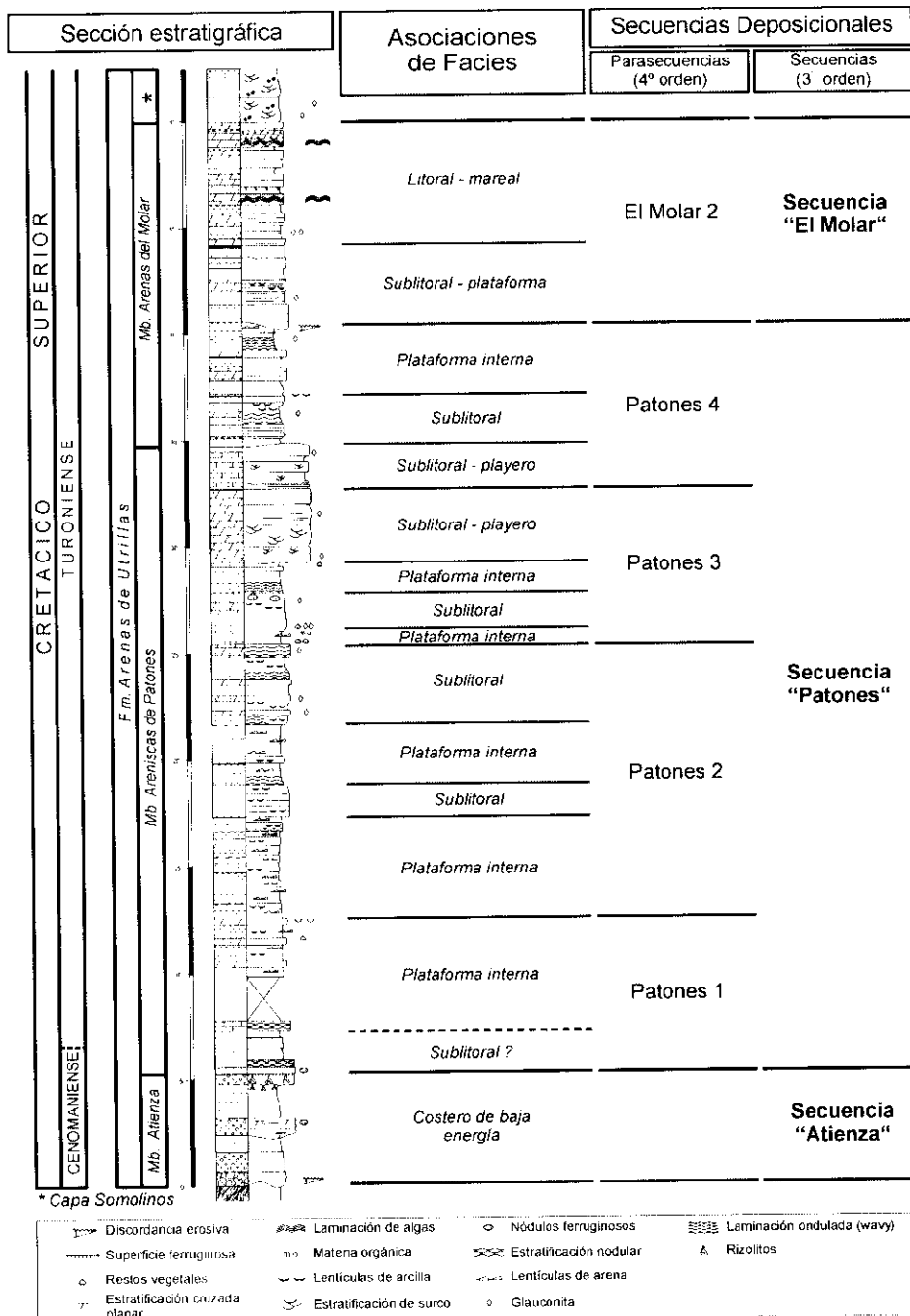
Asociación de facies de la Parasecuencia Patones I

Compuesta por tres términos (Figs. 2 y 5 a): arcillas ocreas lajosas, en la base; limos arenosos con pequeñas pasadas de lenticulas arcillosas y termina con dolomías arcillosas o arenosas, nodulares o masivas, que contienen fragmentos vegetales y bivalvos, tanto de concha lisa como estriada.

Se interpreta como facies de plataforma marina abierta en la que los términos basales corresponden a las facies más profundas, por debajo del nivel de base del oleaje en la que predominan los depósitos de suspensión, mientras que los términos superiores corresponden a facies de alta energía, más someras, depositadas por enci-

Fig. 2.- Columna de Arrebatacapas (ver Fig. 1), mostrando las facies, asociaciones de facies, parasecuencias y secuencias deposicionales reconocidas.

Fig. 2.- Arrebatacapas section (see Fig. 1 for location), showing facies, facies associations, parasequences and sequences recognised.



ma del nivel de base de tormentas, en la parte inferior del dominio sublitoral (*shoreface*) (Walker y Plint, 1992); corresponderían a depósitos de tormentas y contiene materiales costeros resedimentados como los fragmentos de bivalvos, e incluso materiales que proceden de áreas continentales (fragmentos vegetales).

Asociación de facies de la Parasecuencia Patones 2

Compuesta de muro a techo por (Fig. 2): arcillas grises masivas, plásticas, que pasan a limos arenosos; pueden presentar pequeñas pasadas mili a centimétricas arenosas, a veces discontinuas. Hacia techo pasan a arenas finas, limosas, con pequeñas pasadas arcillosas, pueden contener lenticulas o niveles arenosos de grano más grueso, centimétricos, con base erosiva, fragmentos vegetales, laminación cruzada, a veces algo ondulada. Suele culminar con arenas de grano grueso, calcáreas o dolomíticas, raras veces calizas o dolomías arenosas, en un banco único de hasta 50 cm de espesor, con base erosiva, frecuentemente bioturbado, presentan también estratificación cruzada muy obliterada por la bioturbación y fragmentos vegetales.

Al igual que la anterior se interpreta como depósitos de plataforma marina, los términos inferiores (arcillo – limosos) depositados por debajo del nivel de base del oleaje (plataforma interna u *offshore*) asociados a procesos de decantación o resedimentación desde zonas más someras; los términos superiores (arenosos) corresponden a sedimentos depositados por encima del nivel de base del oleaje, más próximos a la costa (ambientes sublitorales o *shoreface*) (Walker y Plint, 1992), corresponden a depósitos resedimentados por oleaje o tormentas con aportaciones de materiales costeros – continentales (fragmentos vegetales), la estratificación ondulada recuerda estratificación cruzada de tipo *hummocky*, que suele ser común en estas facies, lo cual indica unas condiciones locales de energía muy alta asociadas a depósitos de olas de tormentas (Hunter y Clifton, 1982). La presencia de bioturbación exclusivamente en los términos arenosos indica muy posiblemente que los fondos arcillosos eran relativamente anaeróbicos (Broomley, 1996) y sólo en épocas de tormenta, cuando se removilizaba suficientemente el fondo, este pasaba a ser aeróbico y los organismos oportunistas penetraban el sedimento arenoso bioturbándolo.

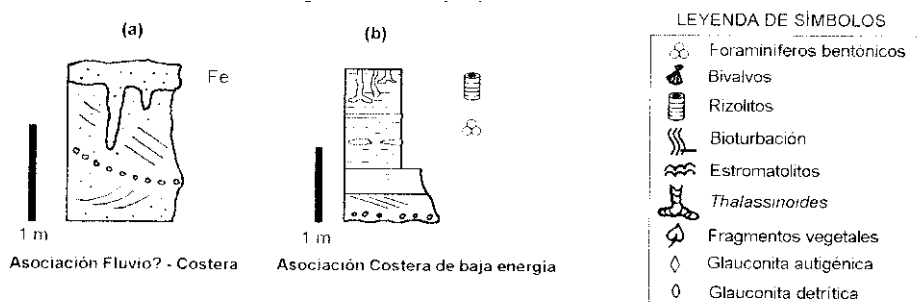


FIG. 3.- Asociaciones de facies de la Secuencia Atienza y leyenda de símbolos utilizados en las figuras 5 y 7.
 FIG. 3.- Facies associations of Atienza Sequence and legend of symbols used in Figs. 5 and 7.

Asociación de facies de la Parasecuencia Patones 3

Está compuesta por dos términos (Figs. 2 y 5 b), uno basal formado por arcillas negras a gris oscuras, ricas en materia orgánica (con abundantes fragmentos vegetales por zonas) y glauconita, masivas; y otro superior compuesto por dolomías (o calizas) arenosas y areniscas dolomíticas (o calcáreas) grises a verdes, que alternan con arenas cuarcíticas verdes; que suelen dar un resalte fácilmente distinguible en el paisaje. Las areniscas dolomíticas presentan base erosiva, abundante bioturbación (*Arenicolites*, *Planolites*, *Thalassinoides*), que llega sólo hasta la base de los niveles arenosos y apenas penetra uno o dos cm en las arcillas basales, estratificación cruzada planar, de surco y *hummocky* (HCS), que en ocasiones está deformada por escapes de fluidos, y muy frecuentemente apenas quedan restos de ella debido a la bioturbación. Las arenas glauconíticas son masivas o presentan estratificación cruzada de surco.

La asociación se interpreta como depósitos de plataforma marina; los términos basales corresponden a facies de plataforma interna (*offshore*) de baja energía en la que predomina la decantación, la gran cantidad de materia orgánica y la ausencia de bioturbación indican que los fondos eran anaerobios (Broomley, 1996); la presencia de glauconita suele estar asociada a bajas tasas de sedimentación (Chafetz y Reid,

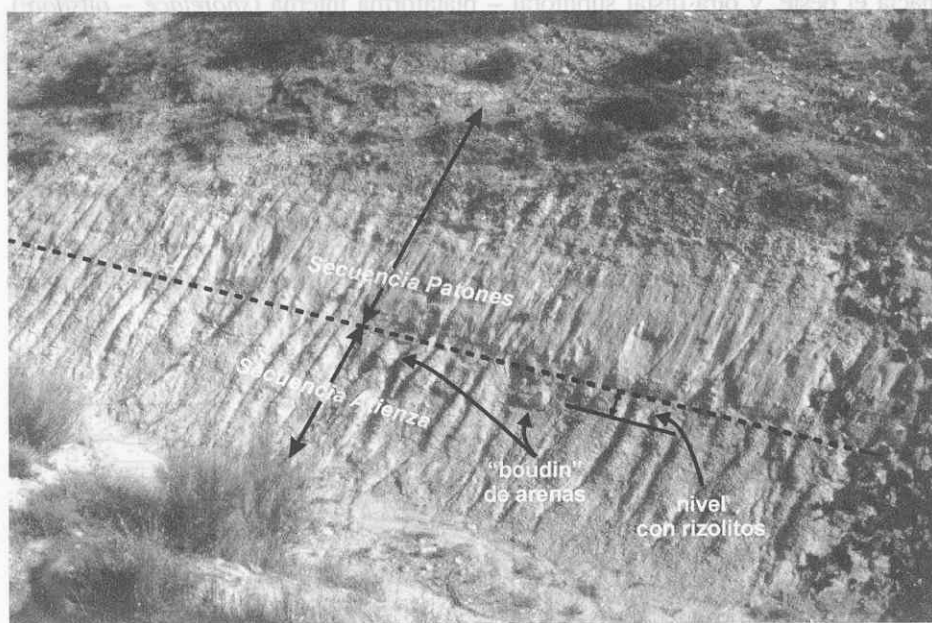


FIG. 4.- Contacto entre las Secuencias Atienza y Patones en las proximidades de la columna de Arrebatacapas. La Secuencia Atienza está compuesta por las facies arcilloso - arenosas de la asociación costera de baja energía y culmina a techo con un nivel de rizolitos.

FIG. 4.- Contact between Atienza and Patones Sequences in the proximities of the Arrebatacapas section. Atienza Sequence is composed by clayey - sandy facies of a low-energy coastal association including a level of rhizolites.

2000). Los términos superiores corresponden a facies de alta energía, por encima del nivel de base del oleaje en ambientes sublitorales (*shoreface*) la presencia de HCS indica unas condiciones locales de energía muy alta (Hunter y Clifton, 1982), la presencia de escapes de fluidos indica que la sedimentación debía ser muy rápida, posiblemente relacionada con las épocas de tormenta (que a su vez daban lugar a la HCS), que introducían grandes cantidades de sedimentos en la cuenca desde áreas más someras. Los términos arenosos glauconíticos posiblemente representan la reelaboración de estos materiales, junto con otros más profundos (ricos en glauconita), la glauconita es detrítica y su área de procedencia debe ser zonas más profundas, de plataforma interna, desde donde serían reelaboradas hacia zonas más someras. Estos niveles de arcillas negras se interpretan a su vez como la superficie de máxima inundación marina (maximum flooding surface, MFS) de toda la secuencia deposicional de 3er orden.

Por correlación los niveles de dolomías arenosas corresponden a la terminación *landward* o acuñaamiento hacia el margen costero de las Dolomías de la Ciudad Encantada, características de las áreas centrales de la Cordillera Ibérica

Asociaciones de facies de la Parasecuencia Patones 4

Se pueden distinguir dos asociaciones, una más proximal, sublitoral (*shoreface*), hacia el oeste, y otra distal sublitoral – plataforma interna (*shoreface – offshore*), hacia el este (Figs. 2 y 5 c). La primera está compuesta principalmente por facies arenosas de tonos amarillentos que alternan entre sí: 1) arenas de grano medio a grueso con estratificación cruzada planar de bajo ángulo, que viene marcada por alternancias de tamaños de grano y, en ocasiones, por la presencia de algún canto blando de arcillas verdes; son niveles tabulares, algo cementados; 2) arenas de grano fino, en ocasiones limos arenosos, con laminación paralela o masivas; 3) arenas dolomíticas de grano fino a medio cementadas y bioturbadas.

El tamaño de grano más grueso que en la otra asociación y la presencia de facies predominantemente tractivas indica la presencia de un medio de energía alta, como

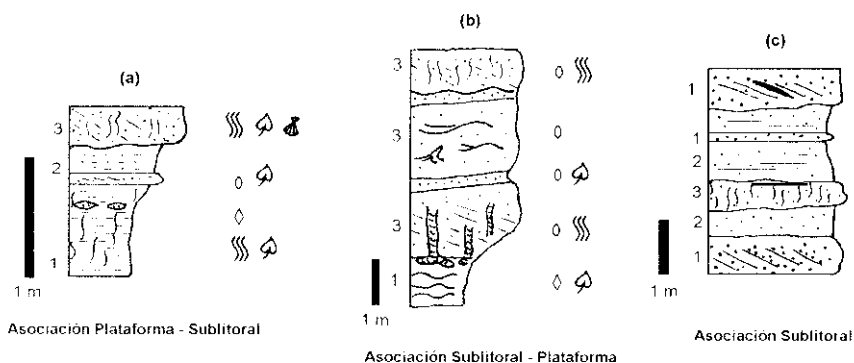


FIG. 5.- Asociaciones de facies de la Secuencia Patones. Leyenda en la Fig. 3.
 FIG. 5.- Facies associations of the Patones Sequence. Legend in the Fig. 3.

la zona sublitoral superior (*upper shoreface*; Seidler y Steel, 2001); la presencia de estratificación cruzada de bajo ángulo es también típica de esta zona, así como zonas de frente playero (*foreshore*) (Reinson, 1984); el grado de bioturbación, en estas facies, suele ser bajo (Zonneveld *et al.*, 2001).

La segunda está compuesta por una alternancia de facies arenosas de tonos ocres, glauconíticas, masivas que alternan con margas y arcillas margosas de tonos verdes, glauconíticas; las arenas se interpretan como depósitos de sublitorales (*shoreface*), en su parte inferior, mientras que las arcillas y margas corresponden a depósitos de plataforma interna (*offshore*), que se interpretan de forma similar que las asociaciones equivalentes de las parasecuencias infrayacentes.

El nivel de máxima inundación marina de la secuencia Patones se corresponde con uno de los niveles de arcillas negras en la parasecuencia Patones 3, de forma que las dos parasecuencias basales (Patones 1 y 2) forman parte del cortejo transgresivo (TST) de la secuencia Patones y presentan una disposición de *onlap* en su base; mientras que la parte superior de la parasecuencia Patones 3 y la parasecuencia Patones 4 forman parte del cortejo de alto nivel del mar (HST) y presentan una disposición principalmente progradacional, con desplazamiento de los cinturones de facies hacia zonas más marinas, lo que queda claramente patente por el desplazamiento de las facies de *shoreface* en ese sentido.

Además, la última parasecuencia (Patones 4) no aflora en toda la región estudiada, desapareciendo hacia el oeste. Esta relación se interpreta como un *toplap* con la base de la siguiente secuencia deposicional (El Molar), cuyas parasecuencias basales se disponen, a su vez, en *onlap* sobre la Secuencia Patones. Estas relaciones marcan claramente la existencia de un límite de secuencia, que por sus características se interpreta como un límite de secuencia de tipo-II. Este *toplap-onlap* se puede observar claramente en la sección de Arrebatacapas como una suave discontinuidad entre ambos conjuntos (Fig. 6).

SECUENCIA EL MOLAR

Se pueden reconocer 2 conjuntos de parasecuencias (*parasequence sets*); la inferior es fundamentalmente arenosa y la superior heterolítica con arcillas, dolomías y arenas subordinadas. Se identifican tres asociaciones de facies, una de alta energía, sublitoral – playero? (*shoreface – foreshore?*; Fig. 7 a), característica de la parasecuencia basal (El Molar 1), otra de energía algo menor, sublitoral – plataforma interna (*shoreface – offshore*), que aparece hacia el este en las dos parasecuencias (Fig. 7 b); y, finalmente, otra de baja energía (litoral – mareal; Fig. 7 c), que es característica de la parasecuencia superior (El Molar 2; Fig. 2).

Asociación sublitoral - ¿playero? (*shoreface - ?foreshore*) (Fig. 7 a)

Está compuesta principalmente por tres tipos de facies arenosas de tonos amarillentos o rojizos, de forma muy esporádica aparece una cuarta facies de tipo dolomítico: 1) arenas de grano medio a grueso con estratificación cruzada planar de bajo ángulo, que viene marcada por alternancias de tamaños de grano y, en ocasiones, por la presencia de algún canto blando de arcillas verdes; son niveles tabulares, algo

cementados, que, en ocasiones parecen presentar morfologías de barras; 2) arenas de grano fino, en ocasiones limos arenosos, con laminación paralela o masivas; 3) arenas dolomíticas de grano fino a medio cementadas y bioturbadas; y 4) dolomías rojizas brechoides y nodulares, que presentan a veces morfologías algo columnares.

Las arenas de grano medio a grueso por su mayor granulometría y sus estructuras sedimentarias se interpretan como depósitos de la parte alta de ambientes sublitorales (*upper shoreface*), o quizás playeros (*foreshore*), que en ocasiones presentan claras morfologías de barras submareales playeras (Seidler y Steel, 2001; Reinson, 1984); las arenas de grano fino que presentan laminación paralela y las arenas dolomíticas con bioturbación deben representar depósitos de ambientes sublitorales (*shoreface*), en su parte inferior, con menor energía y más profundos que los primeros (Zonneveld *et al.*, 2001); finalmente las dolomías se interpretan como depósitos litorales que tienen sobrepuestos procesos edáficos.

Asociación sublitoral – plataforma interna (*shoreface – offshore*) (Fig. 7 b)

Está formada por (Fig. 2), limos dolomíticos con laminación paralela y bioturbación que pasan hacia techo a arenas amarillentas masivas o con bioturbación y final-

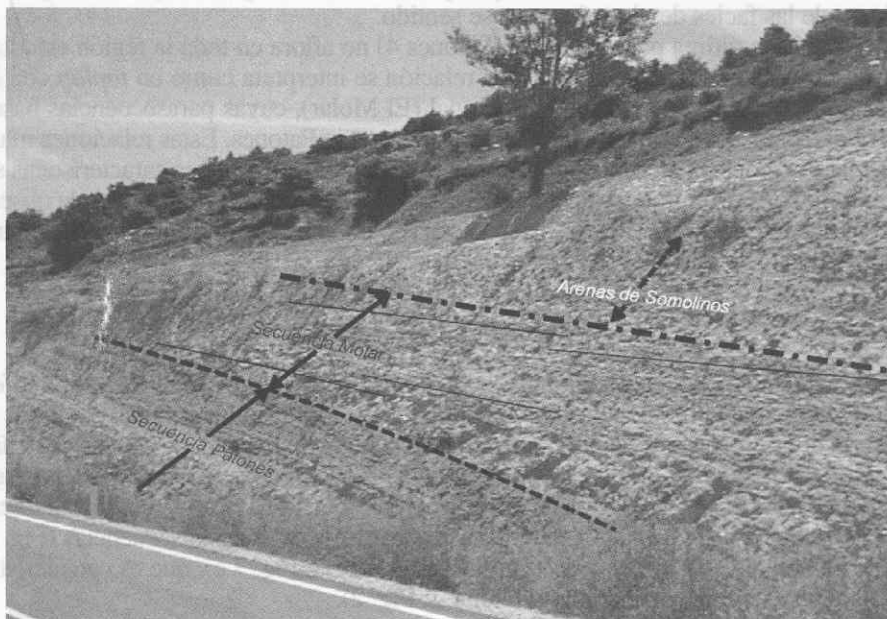


FIG. 6.- Detalle del límite entre las secuencias Patones y El Molar en Arrebatacapas, donde se puede observar el onlap basal de la Secuencia El Molar sobre Patones. Por encima se sitúan las arenas de Somolinos, cuya base se sitúa en suave discordancia (discordancia costera) sobre la Secuencia El Molar y pertenecen a otro ciclo transgresivo-regresivo.

FIG. 6.- Detail of the boundary between Patones and El Molar Sequences in Arrebatacapas section; the basal onlap of the El Molar Sequence on the Patones sequence can be observed. Somolinos Sands overlie El Molar Sequence with an unconformable contact (coastal unconformity), those Sands belong to other transgressive-regressive cycle.

mente, mediante una superficie ligeramente erosiva pasan a areniscas algo más cementadas, blancas, masivas o con estratificación cruzada planar o de tipo *hummocky*; estas arenas blancas están rellenando los tubos de bioturbación en las arenas amarillentas. En ocasiones la base de la secuencia contiene cantos redondeados a elipsoidales de las arenas amarillentas.

Se interpretan como depósitos de plataforma interna (*offshore*) de baja energía (limos con bioturbación), que pasan a depósitos sublitorales (*shoreface*), de alta energía, (arenas con bioturbación, sublitoral inferior? y areniscas con estratificación cruzada, sublitoral superior?); los niveles basales de cantos de las arenas amarillentas representan momentos de mayor energía con retrabajamiento de las facies arenosas más someras hacia zonas profundas de plataforma (*offshore*).

Asociación litoral – mareal (Fig. 7 c)

Está compuesta por una alternancia de dos tipos de facies (Fig. 2): arcillas verdes y rojas, masivas o con laminaciones paralelas que presentan bioturbación y rizocreaciones y dolomías rojizas masivas o con estructuras estromatolíticas, en ocasiones presentan grietas de retracción y brechas de cantos planos en el techo de algún banco; en ocasiones los niveles dolomíticos están totalmente brechificados.

Las primeras se interpretan como facies litorales de muy baja energía, la presencia de rizocreaciones supone la existencia de vegetación subaérea, posiblemente de tipo manglar; las dolomías estromatolíticas reflejan condiciones ínter a submareales con la presencia de estructuras que indican emersión (grietas de desecación, brechas de cantos planos, etc.) y, localmente, edafización (brechificación).

Por encima aflora localmente una brecha calcárea (Fig. 8) y arenas y areniscas blancas de grano fino a grueso con estratificación y laminación cruzada que se interpretan como depósitos del cortejo de bajo nivel del mar (*lowstand systems tract*, LST) de la siguiente secuencia deposicional. Estas arenas se interpretan como equivalentes laterales de las arenas de Somolinos (Segura *et al.*, 1999), las cuales marcan un importante avance de los cinturones de facies hacia la cuenca y parecen estar relacionadas con una importante discontinuidad estratigráfica (Ruiz *et al.*, 1994). En esta

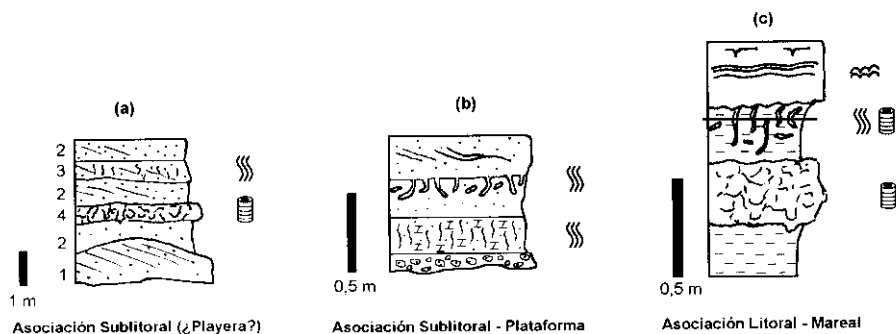


FIG. 7.- Asociaciones de facies de la Secuencia El Molar. Leyenda en la Fig. 3.
 FIG. 7.- Facies associations of the El Molar Sequence. Legend in Fig. 3.

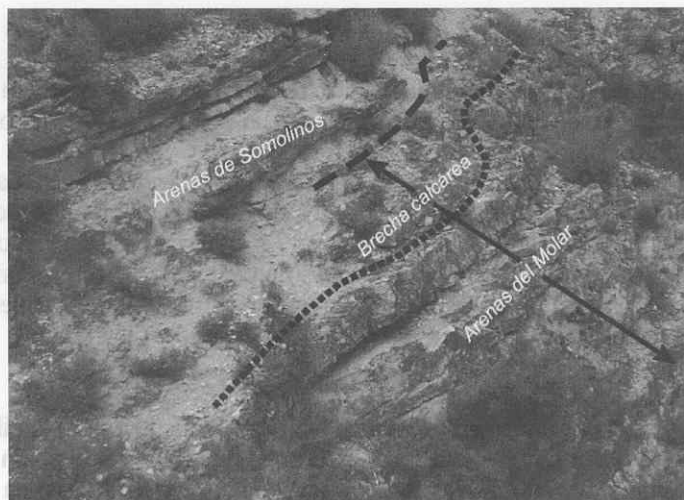


FIG. 8.- Techo de la Secuencia El Molar en el Barranco de las Cuevas. La unidad finaliza con una brecha calcárea sobre la que se sitúan en suave discordancia cartográfica las Arenas de Somolinos. Este límite corresponde a un límite entre dos ciclos mayores transgresivo-regresivos.

FIG. 8.- Top of the El Molar Sequence in Barranco de las Cuevas. The unit ends with a calcareous breccia, which is overlaid by the Somolinos Sands through a cartographic unconformity. This boundary corresponds with the limit between two major transgressive-regressive cycles.

región las parasecuencias de la secuencia El Molar presentan relaciones de *toplap* bajo este límite. La presencia de este *toplap* y el importante avance de los cinturones de facies junto a la presencia de brechificación local en el techo de la secuencia infra-yacente parecen sugerir que este es un límite de secuencia de tipo-I.

CONCLUSIONES

Los sedimentos terrígenos que forman la base de la sucesión cretácica al sur del Sistema Central conforman un ciclo transgresivo – regresivo, que se puede dividir en tres secuencias deposicionales (Atienza, Patones y El Molar), separadas por límites de secuencia tipo-II.

La Secuencia Atienza presenta en su base depósitos fluvio – costeros y por encima se sitúan depósitos costeros de baja energía que presentan a techo episodios muy someros, relacionados con procesos de emersión (rizolitos), que marcan el límite de la secuencia.

La Secuencia Patones está caracterizada por la presencia de 4 parasecuencias. Sedimentológicamente predominan las asociaciones sublitoral – plataforma interna (*shoreface – offshore*), en las que alternan depósitos de baja energía, de plataforma abierta (*offshore*), que indican una baja tasa de sedimentación (arcillas grises a negras con glauconita) con fondos muchas veces empobrecidos en oxígeno (ausencia de

bioturbación y conservación de la materia orgánica) y depósitos de alta energía, sublitorales (arenas con estratificaciones cruzadas), que indican una tasa mayor de sedimentación, con glauconitas detríticas y fondos más oxigenados (bioturbación) y que, en ocasiones, presentan episodios de muy alta energía (con estratificación cruzada *hummocky*). Las dos parasecuencias basales corresponden al cortejo transgresivo (TST), mientras que las dos superiores pertenecen al cortejo de alto nivel del mar de la secuencia, lo que viene indicado por la disposición progradacional de los cinturones de facies (especialmente de *shoreface*) hacia la cuenca sedimentaria. Las relaciones estratigráficas entre las secuencias Patones (*toplap*) y El Molar (*onlap* basal) (Figs 2 y 6), sugieren la existencia de un límite de secuencia de tipo-II entre ambas.

Por último, la Secuencia El Molar presenta dos parasecuencias y una distribución de las asociaciones de facies algo más compleja que en las secuencias inferiores. En la parasecuencia basal y hacia el oeste predomina una asociación de tipo sublitoral (*shoreface*), en las que predominan las arenas con aspecto playero, que pasa hacia el este a una asociación de tipo sublitoral – plataforma interna (*shoreface – offshore*), relativamente parecida a las de la secuencia infrayacente, aunque en este caso la frecuente presencia de bioturbación y menor cantidad de glauconita son elementos característicos. Finalmente, en la parasecuencia superior y hacia el este predomina una asociación de tipo litoral – mareal con dolomías estromatolíticas y arcillas con bioturbación y rizolitos que indican una zona claramente más somera con procesos de emersión asociados.

El límite superior de este ciclo corresponde a unos depósitos arenosos relacionados con procesos de brechificación local del techo de la unidad infrayacente, que marca un importante avance de los cinturones de facies hacia la cuenca y se interpreta como un límite de secuencia de tipo-I.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto de la DGES (PB 96-0676).

REFERENCIAS

- ALONSO, A., MÁS, R. (1982): Correlación y evolución paleogeográfica del Cretácico al N y S del Sistema Central. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8: 145-166.
- ARIAS, C. (1969): Estudio estratigráfico y sedimentología del Cretácico en los alrededores de Guadalix de la Sierra (Madrid). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 1: 309-333.
- BROMLEY, R.G. (1996): *Trace fossils*, 2nd ed. 361 p., Chapman & Hall.
- CHAFETZ, H.S., REID, A. (2000): Syndepositional shallow-water precipitation of glauconitic minerals. *Sedimentary Geology*, 136: 29-42.
- CORCHÓN, F. (1976): *Estudio hidrogeológico del Cretácico de los alrededores de Torrelaguna (Madrid y Guadalajara)*. 40 p., Servicio Geológico, 40.

- FLOQUET, M., ALONSO A., MELÉNDEZ, A. (1982): El Cretácico Superior. In: *El Cretácico de España*: 387-456, Univ. Complutense de Madrid.
- GARCÍA, A., GIL, J., SEGURA, M. (1996): La terminación sobre el Macizo Hespérico de las plataformas sedimentarias cretácicas del Surco Ibérico, a lo largo del flanco meridional de la Cordillera Carpetana (Guadalajara y Madrid). In: M. Segura, I. de Bustamante, T. Bardají (eds.), *Itinerarios Geológicos desde Alcalá*: 247-269, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alcalá.
- GIL, GIL, J., DOMÍNGUEZ, C., SEGURA M. (2001 a): Mineralogía y estratigrafía de los materiales terrígenos del Cretácico Superior en la sección de Arrebatacapas (Torrelaguna, Madrid). *Geogaceta*, 30: 151-154.
- GIL, J., GARCÍA, A. (1996): El Cretácico del borde meridional del Sistema Central. Unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. *Estudios Geológicos*, 52: 37-49.
- GIL, J., SEGURA, M., GARCÍA-HIDALGO, J.F. (2001 b): Rizolitos en el Cenomaniense Superior de Torrelaguna (Madrid): Caracterización, ambientes sedimentarios y significado estratigráfico *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Geología)*, 96 (3-4): 39-47.
- HAO, B.U., HARDENBOL, J., VAIL, P.R., 1988. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea level change. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G.S.C. Kendall, H. Posamentier, C.A. Ross, J.C. Van Wagoner (eds.) *Sea level changes.- An integrated approach*. The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 42: 71-108.
- HUNTER, R.E., CLIFTON, H.E. (1982): Cyclic deposits and hummocky cross stratification of probable storm origin in Upper Cretaceous rocks of the Cape Sebastian Area, south-western Oregon. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: 127-143.
- KRAUS, M.J. (1999): Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications. *Earth-Science Review*, 47: 41-70.
- MARTÍN PARRA, L.M., MARTÍNEZ-SALANOVA, J., DEL OLMO SANZ, A (1990): Introducción, estratigrafía e historia geológica de la Memoria de la Hoja geológica num. 509 (Torrelaguna). *Mapa Geológico de España E 1:50.000*. Segunda Serie. I.T.G.E., Madrid.
- PORTERO, J.M., DÍAZ MOLINA, M., GONZÁLEZ LODEIRO, F., PÉREZ GONZÁLEZ, A., GALLARDO, J., AGUILAR, M.J., LEAL, M.C. (1990): Hoja geológica num. 485 (Valdepeñas de la Sierra). *Mapa Geológico de España E 1:50.000*. Segunda Serie. I.T.G.E., Madrid.
- REINSON, G.E. (1984): Barrier islands and associated strand-plain systems. In: R.G. Walker (ed.) *Facies Models*. 2nd ed. 119-140, Geoscience, Canada.
- RUIZ, G. (1996): *Arquitectura deposicional de las Facies Utrillas en la zona central de la Cordillera Ibérica*. 187 p., Tesis Doctoral Univ. Complutense de Madrid (inérita).
- RUIZ, G., SEGURA, M., GARCÍA-HIDALGO, J.F. (1994): Carbonate platforms of a second order transgressive-regressive facies cycle in the Upper Cretaceous of the Iberian Ranges (Spain). *Géologie Méditerranéenne*, 21: 163-166.
- SEGURA, M., CARENAS, B., GIL, J., GARCÍA-HIDALGO, J.F., GARCÍA, A. (2001): Anatomy of the carbonate bodies in relation to their position with respect to the maximum transgressive in the 2nd-order Cycles of the upper Cretaceous from the Iberian Range. *Géologie Méditerranéenne*, 28 (1-2): 163-168.
- SEGURA, M., GARCÍA-HIDALGO, J.F., GARCÍA, A., RUIZ, G., CARENAS, B. (1999): El Cretácico de la zona de intersección del Sistema Central con la Cordillera Ibérica: Unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. In: *Libro Homenaje a José Ramírez del Pozo*, 129-139, Asociación de Geólogos y Geofísicos Españoles del Petróleo, Madrid.
- SEGURA, M., GIL, J., PONS, J.M. (2000): Identificación de *Bournonia gardonica* (Toucas, 1907) en el Cretácico Superior del Barranco de las Cuevas (Patones, Madrid). *Geotemas*, 1 (2): 321-324.

- SEIDLER, L., STEEL, R. (2001): Pinch-out style and position of tidally influenced strata in a transgressive-regressive wave-dominated deltaic sandbody, Twentymile Sandstone, Mesaverde Group, NW Colorado. *Sedimentology*, 48: 399-414.
- VAN WAGONNER, J.C., POSAMENTIER, H.W., MITCHUM, R.M., VAIL, P. PR., SARG, J.F., LOUTIE, T.S., HARDENBOL, J. (1988): An overview of the fundamentals of the sequence stratigraphy and key definitions. In: C. K. Wilgus, B. S. Hastings, C.G.S.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross, J.C. Van Wagonner (eds.) *Sea Level Changes: An Integrated Approach*. The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 42: 39-45.
- VILAS, L., MAS, R., GARCÍA, A., ARIAS, C., ALONSO, A., MELÉNDEZ, N., RINCÓN, R. (1982): Ibérica suroccidental. In: *El Cretácico de España*. 457-513, Univ. Complutense de Madrid.
- WALKER, R.G., PLINT, A.G. (1992): Wave- and storm-dominated shallow marine systems. In: R.G. Walker, N.P. James (eds.) *Facies Models - Response to sea level change*. 219-238, Geoscience, Canada.
- ZONNEVELD, J.-P., GINGRAS, M.K., PEMBERTON, S.G. (2001): Trace fossil assemblages in a Middle Triassic mixed siliciclastic-carbonate marginal marine depositional system, British Columbia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 166, 249-276.

Recibido / Received : 8/11/01

Accepted / Accepted: 13/02/02