

# LA SUCESIÓN SEDIMENTARIA SILICICLÁSTICA DEL CRETÁCICO SUPERIOR DEL BORDE SUR DE LA SIERRA DE GUADARRAMA (MADRID, ESPAÑA CENTRAL): ANÁLISIS DE FACIES Y RECONSTRUCCIÓN PALEOAMBIENTAL

R. Guidi<sup>1</sup>, R. Mas<sup>2</sup> y G. Sarti<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Via della Chiesa XXI n° 518, 55100 Lucca, Italia.

<sup>2</sup> Departamento de Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 28040 Madrid.  
ramonmas@geo.ucm.es

<sup>3</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Facoltá di Scienze Geologiche, Universitá di Pisa, Via S.Maria 54, 56126 Pisa, Italia.  
Sarti@dst.unipi.it

**Resumen:** El objetivo de este estudio es el análisis de facies y la reconstrucción de los ambientes sedimentarios de la parte basal, terrígena, de la sucesión sedimentaria del Cretácico Superior que aflora en el borde sur de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central). Las unidades estudiadas son las Fms Arenas de Utrillas, Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña y Arenas y arcillas de Segovia. En la Fm Arenas de Utrillas (Cenomaniano) han sido reconocidas 6 asociaciones de litofacies con características de ambiente fluvial de baja sinuosidad dominado por la sedimentación de arenas. En la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña (Turoniano) han sido individualizadas 13 asociaciones de litofacies de ambiente litoral (mareal y de baja energía). Esta formación ha sido interpretada evolutivamente como un ciclo sedimentario transgresivo-regresivo en el cual depósitos muy ricos en glauconita autigénica representan la fase de máxima inundación. En la Fm Arenas y arcillas de Segovia (Coniaciano inicial), se reconocen 8 asociaciones de litofacies; 2 de ambiente fluvial (localizadas en un afloramiento muy apartado respecto a los otros) y 6 de ambiente mareal. Estas últimas representan el principio de otro ciclo sedimentario que sigue con las formaciones carbonatadas de la parte superior de la serie cretácea. Sobre la base de los datos adquiridos se propone una hipótesis evolutiva para los sistemas de depósito del sector de la cuenca cretácea estudiado: 1) desarrollo en el Cenomaniano de un sistema fluvial que fluía hacia el SE, organizado en surcos paralelos; 2) ciclo marino transgresivo-regresivo en el Turoniano Inferior-Medio; 3) otra transgresión marina que comienza al principio del Coniaciano. Además se ha detectado un escalón morfológico del basamento que habría influenciado la sedimentación de las formaciones estudiadas.

**Palabras clave:** análisis de facies, depósitos siliciclásticos, ambientes sedimentarios, Cretácico Superior, Sierra de Guadarrama.

**Abstract :** This study concerns the facies analysis and the reconstruction of depositional environments of the basal, terrigenous portion of the Upper Cretaceous's sedimentary succession, located in the southern margin of the «Sierra the Guadarrama» Mountains (North of Madrid, central Spain), which is a portion of the Spanish Central Mountain Chain called «Sistema Central». The terrigenous deposits are constituted by three formations: the Arenas the Utrillas Fm (Cenomanian), the Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña Fm (Turonian), and the Arenas y arcillas de Segovia Fm (Early Coniacian). Six lithofacies associations where detected in the Arenas de Utrillas Fm (Cenomanian), and interpreted as low sinuosity bed-load coarse sand river's deposits. The Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña Fm (Turonian) is constituted by 13 lithofacies associations. Their features support coastal depositional setting, as tidal or low energy coastal environments. This formation represented a transgressive-regressive sedimentary cycle and the autochthonous glaucony-rich deposits correspond to maximum flooding. In the Arenas y arcillas de Segovia Fm (Earliest Coniacian), 8 lithofacies associations where recognized. Two associations, identified in the Soto del Real area, have been interpreted as fluvial deposits (located in a very distant place from the other outcrops), while the other 6 lithofacies associations matched to tidal depositional environment and represented the beginning of another sedimentary cycle, also including the immediately superposed carbonate formation (Dolomías tableadas de Caballar Fm). The acquired dates prompt to a paleoenvironmental reconstruction in the study area: 1) a fluvial depositional environments, flowing from NW to SE developed during the Cenomanian; 2) a marine transgressive-regressive cycle, which flooded the all studied area, took place during Early-Middle Turonian; 3) and finally the beginning of a new transgressive cycle, characterized the Early Coniacian record. Moreover, a morphologic step in the basement has been identified, which could have strongly controlled the sedimentation.

**Key words:** *Facies analysis, terrigenous deposits, sedimentary environments, Late Cretaceous, Sierra de Guadarrama.*

Guidi, R., Mas, R. y Sarti, G. (2005): La sucesión sedimentaria siliciclastica del Cretácico Superior del borde sur de la Sierra de Guadarrama (Madrid, España central): análisis de facies y reconstrucción paleoambiental. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 18 (1-2): 99-111.

Este estudio aborda el análisis de facies y la reconstrucción de los ambientes de depósito para las formaciones sedimentarias principalmente siliciclasticas incluidas entre el Cenomaniano y el Coniaciano inicial que se encuentran en el borde sur de la Sierra de Guadarrama, que constituye un sector del Sistema Central español, situado a pocas decenas de kilómetros al norte de la ciudad de Madrid (Fig. 1).

La totalidad de la sucesión sedimentaria cretácica del Sistema Central está incluida entre el Cenomaniano y el Maastrichtiano (Fig. 2).

Está formada por dos conjuntos: una porción basal principalmente siliciclastica y una porción superior predominantemente carbonático-dolomítica (Fig. 2). Fue interpretada como un ciclo sedimentario subdividido en cuatro megasecuencias (Alonso *et al.*, 1993; Fig. 2).

La región de estudio está incluida en su mayor parte en la región administrativa de la Comunidad de Madrid, y parcialmente en la Provincia de Guadalajara (Comunidad de Castilla-La Mancha). En particular, la zona en donde afloran las formaciones estudiadas se extiende a lo largo de más de cien kilómetros entre los pueblos de Valdemorillo al SO y Tamajón al NE (Fig. 1). El registro sedimentario del Cretácico Superior del sur de la Sierra de Guadarrama se apoya discordantemente sobre

el basamento paleozoico (varisco) constituido por materiales metamórficos e ígneos y hacia el noreste sobre materiales triásicos de carácter siliciclastico; como suyacente presenta los depósitos del Terciario de la Cuenca de Madrid y del Cuaternario de la cuenca del río Jarama, afluente del Tajo.

Las formaciones estudiadas son la Fm Arenas de Utrillas (Alonso *et al.*, 1982), la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña (Alonso *et al.*, 1982) y la Fm Arenas y arcillas de Segovia (Alonso, 1981; Alonso *et al.*, 1982). Para un análisis más completo de estas formaciones, han sido tomadas en consideración algunas formaciones de referencia, cuyas relaciones estratigráficas con las formaciones de estudio son definidas en la figura 3. Las formaciones de referencia, definidas por Alonso *et al.* (1982), son las Fms Arenas, arcillas y calizas de Santa María de las Hoyas, Margas de Picofrentes, Calizas bioclásticas de Muñecas y Dolomías tableadas de Caballar. Con el objeto de simplificar la lectura y facilitar la separación de las unidades litoestratigráficas, en este estudio, para las formaciones cretácicas mencionadas, ha sido utilizada la nomenclatura definida por Alonso *et al.* (1982) en el capítulo «La Meseta Norcastellana» del libro «El Cretácico de España», editado por la Universidad Complutense de Madrid; aun-

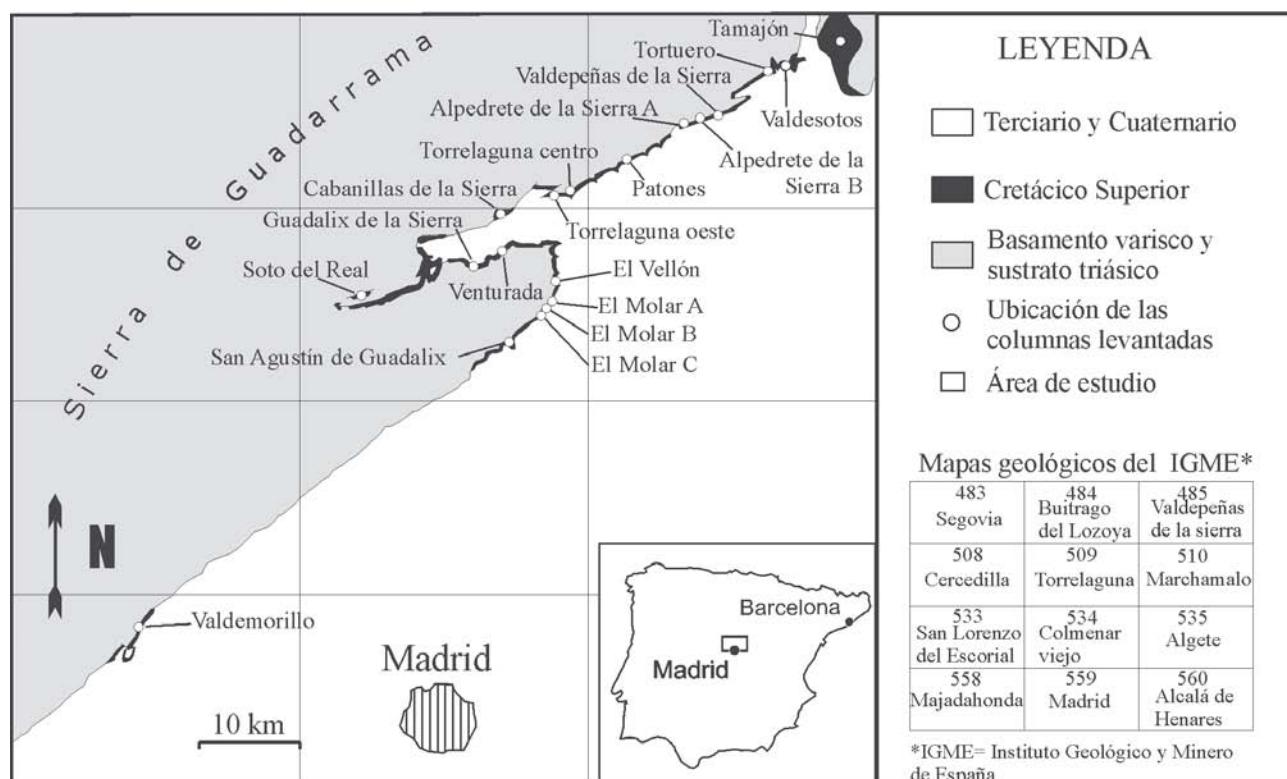


Figura 1.- Ubicación de la región de estudio y de los afloramientos del Cretácico Superior.

Edad	Tipo de formaciones	Megasuccesiones (Alonso <i>et al.</i> 1993)
Maastrichtiense		Santoniense terminal -Maastrichtiense
Campaniense	Formaciones calcáreas y dolomíticas (Fm Caballar y superiores)	Coniaciense inicial- Santoniense terminal
Santoniente		
Coniaciense		
Turoniense	Formaciones siliciclasticas (Fm Utrillas; Fm Castro de Fuentidueña; Fm Segovia)	Turoniense inicial- Coniaciense inicial
Cenomaniente		Cenomaniente

Figura 2.- Sucesión sedimentaria del Cretácico Superior en el borde sur de la Sierra de Guadarrama.

que en estudios más recientes han sido introducidos algunos cambios en la nomenclatura de las unidades para una mejor definición de las relaciones cronoestratigráficas de las formaciones cretácicas a nivel de toda la región central y oriental de España (Gil, 1993; Gil *et al.*, 1993; García *et al.*, 1996; Gil y García, 1996; Gil *et al.*, 1999; García-Hidalgo *et al.*, 2001; Gil *et al.*, 2001; García *et al.*, 2004; Gil *et al.*, 2004).

## Métodos

La parte más importante y el objetivo principal de este trabajo ha sido el análisis de facies. Han sido reconocidas para cada formación una serie de litofacies sobre la base de sus características litológicas, como la composición, la textura, la granulometría, el contenido fosilífero, las características geométricas y las estructuras sedimentarias. Las litofacies han sido agrupadas en asociaciones de litofacies, mientras que para la descripción de las facies continentales de la Fm Arenas de Utrillas han sido tomados como referencia los *architectural elements* de Miall (Miall, 1996). La organización de estas asociaciones de litofacies y sus relaciones laterales y verticales han permitido definir y caracterizar determinados ambientes sedimentarios y subambientes y su evolución espacio-temporal. El análisis de facies ha sido realizado mediante el levantamiento de columnas estratigráficas, la recogida de más de cien muestras, el análisis de éstas al microscopio en láminas delgadas y levigados y el análisis paleontológico. Este último tipo de análisis ha sido muy reducido a causa del escaso contenido fosilífero y de los fuertes procesos diagenéticos que han recristalizado o disuelto la mayoría de los fósiles presentes.

**Analisis de facies**

### Fm Arenas de Utrillas

Ésta formación se ha asignado al Cenomaniente mediante correlación estratigráfica con la Fm «Arenas, arcillas y calizas de Santa María de la Hoyas» (Alonso *et al.*, 1982; Alonso y Mas, 1982; Fig. 3) y corresponde al Mb Atienza de la Fm Arenas de Utrillas tal y como ha sido definida por Gil *et al.* (2004). Su registro en la zona estudiada es discontinuo y se encuentra exclusivamente en los siguientes afloramientos: el de Torrelaguna centro, el de Patones, los afloramientos comprendidos entre Alpedrete de la Sierra y Valdepeñas de la Sierra y los comprendidos entre Tortuero y Tamajón (Figs. 1 y 4). Yace en discordancia sobre el basamento paleozoico y el sustrato triásico. Pertenece a la megasecuencia del Cenomaniente (Alonso *et al.*, 1993; Fig. 2).

Han sido reconocidas 6 asociaciones de litofacies (Fig. 5), que equivalen a los «*architectural elements*» (Miall, 1996), que han sido agrupados en asociaciones

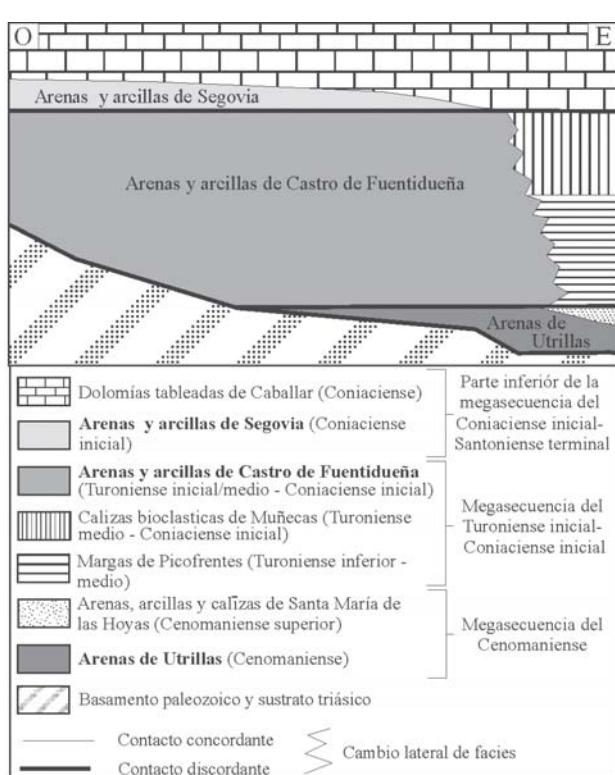


Figura 3.- Relaciones estratigráficas entre las formaciones estudiadas.

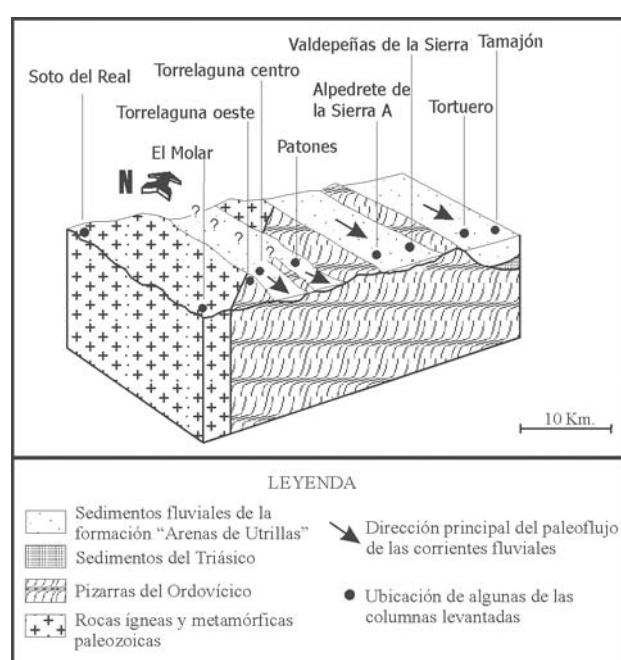


Figura 4.- Interpretación de los ambientes sedimentarios para la Fm Arenas de Utrillas, Cenomaniente.

de litofacies de canal y asociaciones de litofacies de desbordamiento. Las asociaciones de litofacies de canal se caracterizan por su base erosiva con o sin *lag* (de fondo) de cantes, las litologías arenosas o conglomeráticas con estructuras sedimentarias como estratificación cruzada, imbricación de los cantes, presencia de cantes blandos y usualmente tendencia granodecreciente (que es típica de asociaciones de litofacies de canal), donde después de una primera fase con alta energía de las corrientes y erosión del fondo, hay una fase de deposición con la disminución de la energía y el relleno del canal. Evidencias de exposición subaérea son testimoniadas por la presencia de superficies ferruginosas de oxidación y paleosuelos.

Las asociaciones de litofacies de desbordamiento se caracterizan por litologías más finas, como arcillas, limos o areniscas de grano fino y medio, bioturbadas, con restos vegetales, trazas de raíces, superficies de oxidación, y con evidencias de paleosuelos. Los ambientes sedimentarios que representan éstos depósitos son la llanura de inundación y lóbulos de derrame (*crevasse splay*). La llanura de inundación está representada por los depósitos más finos, como arcillas y limos, mientras que los lóbulos de derrame están constituidos por cuerpos tabulares de areniscas finas y medias, de menor espesor respecto a los cuerpos canalizados.

Los *architectural elements* y las relaciones entre ellos son coherentes con un medio fluvial de baja sinuosidad con predominio de transporte de fondo de arenas (*bed-load coarse sand river* según la denominación de Orton y Reading, 1993).

### Discusión.

Las medidas de paleocorrientes para esta formación dan direcciones entre N110 y N170, con sentido del flujo desde noroeste hacia el sureste, aproximadamente perpendicular a los afloramientos del Cretácico (Figs. 1 y 4). Por esto, y dada la gran extensión de la zona en donde han sido analizados, los depósitos de la Fm Arenas de Utrillas de los diferentes afloramientos no podían pertenecer al mismo cauce fluvial, sino a surcos diferentes, subparalelos, que pertenecían probablemente al mismo sistema fluvial, con dirección y sentido del flujo de las corrientes de noroeste hacia sureste. Dado que no hay diferencias composicionales sustanciales entre los sedimentos de los diferentes afloramientos, probablemente estos surcos fluviales eran alimentados por la misma área madre, que tenía que ser el Macizo Ibérico formado por rocas ígneas ácidas y rocas metamórficas del paleozoico. En el esquema de la figura 3 está representada la interpretación del ambiente sedimentario durante el Cenomaniense, con la sedimentación de la Fm Arenas de Utrillas, se señalan al menos 3 diferentes surcos fluviales que se han distinguido teniendo en consideración las direcciones de las paleocorrientes y los datos cartográficos de la Fm Arenas de Utrillas.

Una característica peculiar de esta formación es la presencia, en todos los afloramientos, de un paleosuelo (Figs. 5 y 6A) a techo de la formación, que se reconoce principalmente por los nódulos y las manchas de oxidación que dan un color rojizo no homogéneo a los sedi-

(*)	Gráfico	Interpretación	Leyenda
Architectural elements de canal	U1 De 1 a 2 m	CH (Miall): canales fluviales con <i>Lag</i> de cantes en la base y barras transversas con estratificación cruzada planar.	
	U2 De 0,5 a 1,5 m	CH: (Miall): canales fluviales con carga de fondo de cantes y barras transversas de arenas.	
	U3 De 1 a 5 m	CH (Miall): canales fluviales amalgamados, pueden presentar <i>Lag</i> de cantes en la base.	
	U4 De 1 a 2 m	CH (Miall): canales fluviales con base de conglomerados y relleno de arenas; tendencia <i>finning upwards</i> .	
	U5 De 0,2 a 4 m	FF (Miall): depósitos finos de decantación, con superficies edáficas que representan períodos de exposición	
	U6 De 1,5 a 5 m	FF/CS (Miall): depósitos finos de decantación con intercalados estratos de areniscas interpretados como probablemente debidos a procesos de <i>crevasse splay</i>	

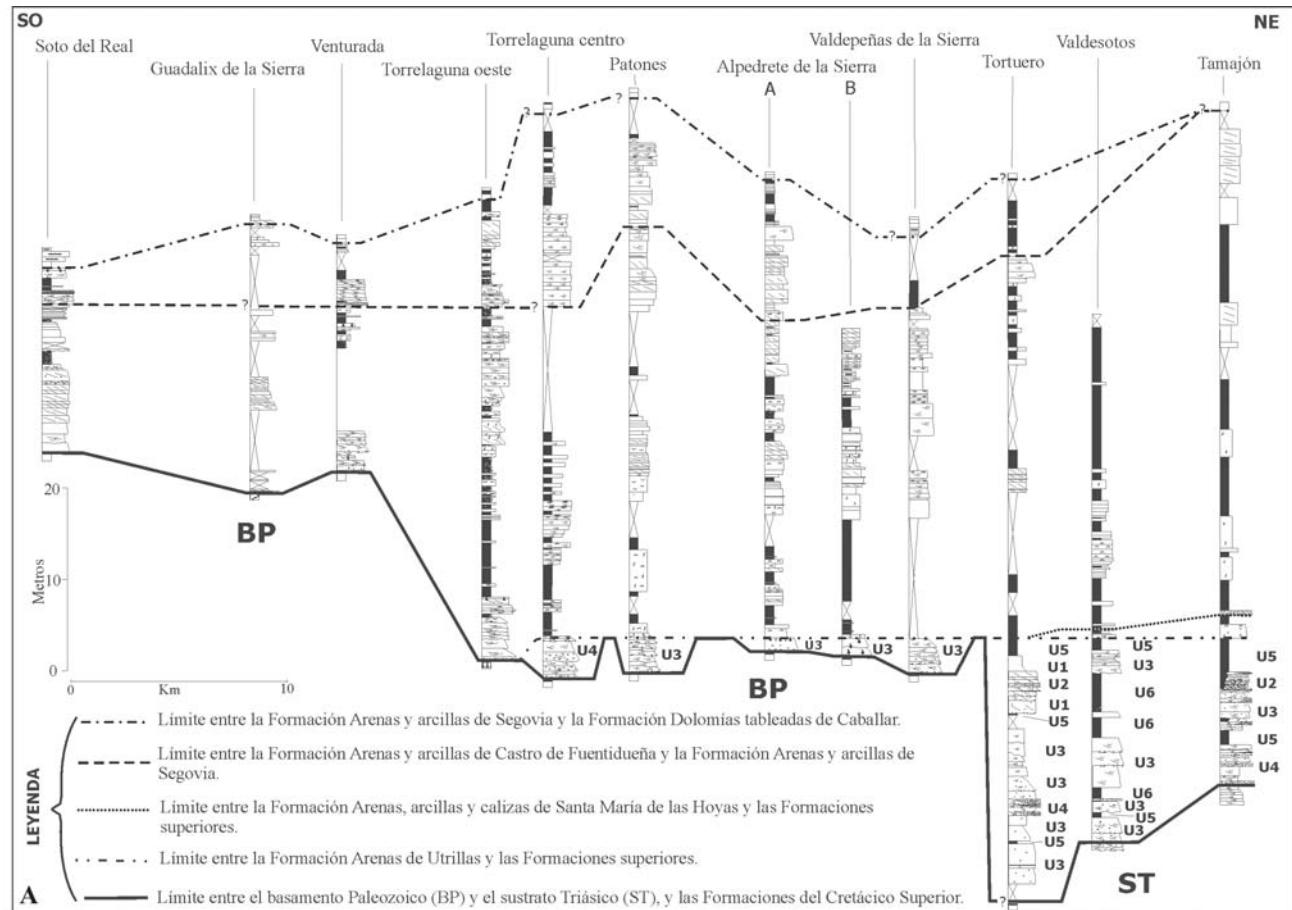
(\*) Asociaciones de litofacies o *Architectural elements* (Miall, 1996)

Figura 5.- Asociaciones de litofacies reconocidas en la Fm Arenas de Utrillas

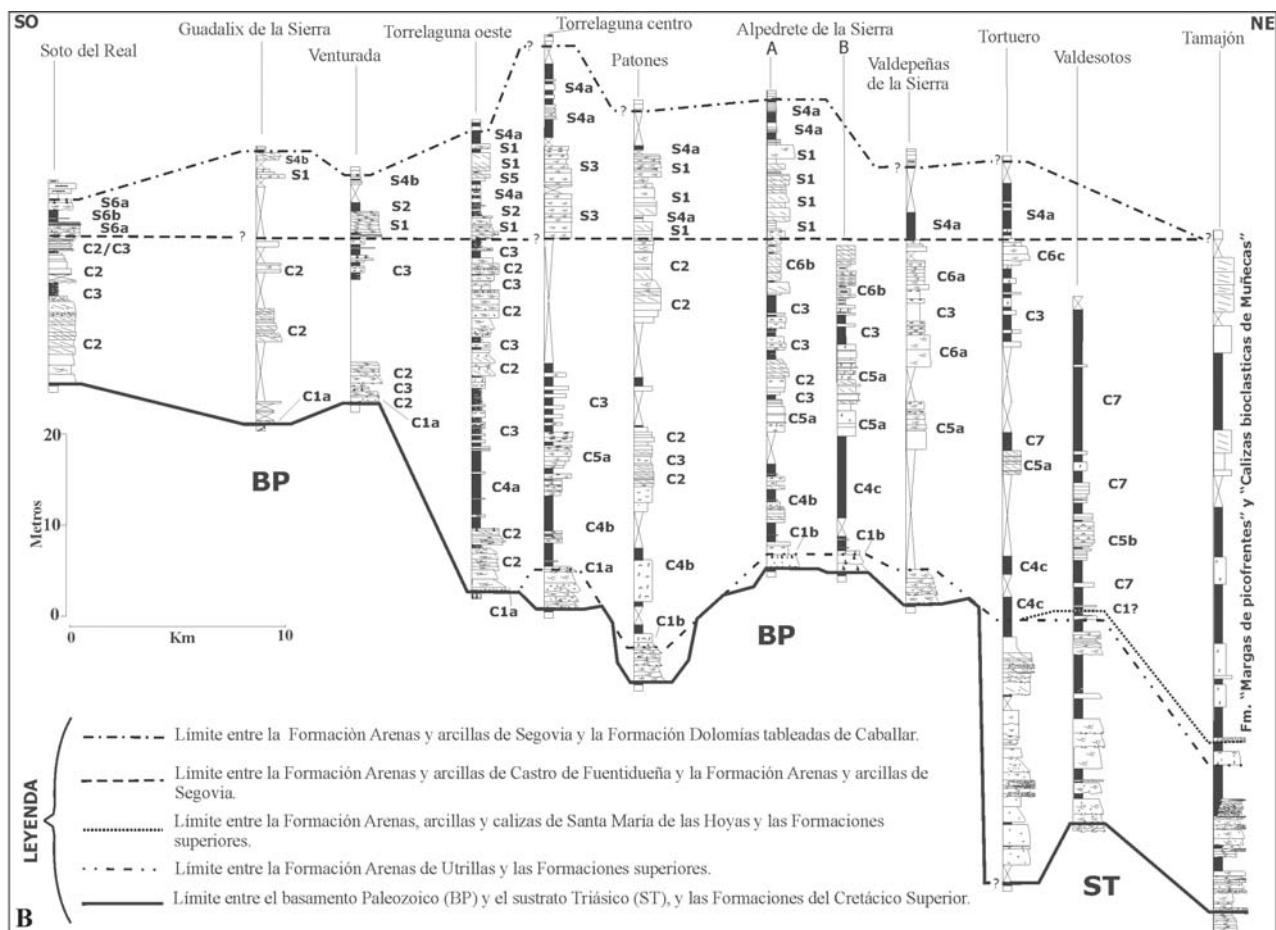
mentos, en origen blancos. Este paleosuelo puede representar una superficie adecuada como horizonte de correlación, y así ha sido usada en el esquema de la figura 6A.

El esquema de la figura 6A evidencia unas características interesantes en la Fm Arenas de Utrillas: se observa como la formación está presente solamente a partir del afloramiento de Torrelaguna centro hacia el este; el espesor de la formación varía entre 1,5 y 5 metros entre Torrelaguna centro y Valdepeñas de la Sierra, mientras en los afloramientos más al este, Tortuero, Valdesotos y Tamajón, varía entre 16 y 29 metros, y además las litofacies finas de llanura de inundación solo aparecen en estos últimos afloramientos. Parece entonces que haya 3 zonas bien delimitadas para la Fm Arenas de Utrillas: la zona al oeste de Torrelaguna centro, donde no hay sedimentación de la formación; la zona entre Torrelaguna centro y Valdepeñas de la Sierra, donde el espesor no supera los cinco metros, y la zona al este de Tortuero, donde los espesores son mucho mayores y hay litologías finas, que se relacionan con ambientes de desbordamiento. En el esquema de la figura 6A se ve además como entre Valdepeñas de la Sierra y el afloramiento de Tortuero, que no se encuentra exactamente en la localidad de Tortuero, sino entre este pueblo y Valdesotos, en las curvas de la carretera

que desde la «Cuerda de la Gallinera» baja hacia el «Arroyo del Palancar» (Portero *et al.* 1990), parece haber un escalón paleotopográfico en el basamento de cerca de 20 metros; unas discontinuidades parecidas fueron detectadas por Alonso (1981) en el basamento paleozoico del borde norte del Sistema Central, en las zonas de Pedraza y Sepúlveda (Fig. 7). Alonso llamó estas discontinuidades «escalones». Una probable interpretación para estos escalones es que tengan la misma naturaleza tanto en el borde norte como en el borde sur del Sistema Central; podrían representar elementos morfológicos relictos en relación con la fase de *rifting* que hubo en la zona del Surco Ibérico durante el Mesozoico, y que en el Cretácico Superior eran prácticamente inactivos. La principal directriz tectónica de este *rifting* era N120 (Alonso y Mas, 1982; Vegas y Banda, 1982; Salas *et al.*, 2001); siguiendo esta dirección se podría correlacionar el escalón de Pedraza con el escalón de Tortuero en el borde sur, como se ha indicado en el esquema de la figura 7. Una discontinuidad morfológica en el basamento en la misma zona, ha sido detectada también en los estudios de Gil *et al.* (1993), y Gil y García (1996), por lo que los datos bibliográficos del Cretácico tanto del borde norte como del borde sur de la Sierra de Guadarrama parecen confirmar las hipótesis ilustradas.



**Figura 6A.-** Esquema de correlación para las columnas levantadas entre Soto del Real y Tamajón (véase figura 1). Como horizonte de referencia para las columnas donde ha sido detectada la Fm Arenas de Utrillas (entre Torrelaguna centro y Tamajón) ha sido tomado el paleosuelo que se encuentra en el límite entre la Fm Arenas de Utrillas y las formaciones superiores, para las otras columnas el mismo horizonte de la figura 6b; Se indican las siglas de las asociaciones de litofacies de la Fm Arenas de Utrillas (Fig. 5).



**Figura 6B.** Esquema de correlación para las columnas levantadas entre Soto del Real y Tamajón (véase figura 1). Como horizonte de referencia ha sido tomado el límite entre la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña y la Fm Arenas y arcillas de Segovia. Se indican las siglas de las asociaciones de litofacies de la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña (Figs. 8a y 8b) y de la Fm Arenas y arcillas de Segovia (Fig. 10)

Del esquema de la figura 6A se desprende también que en todas las columnas levantadas, la Fm Arenas de Utrillas tiene una tendencia a la disminución de la energía de las corrientes hacia techo; esta podría ser una consecuencia de la variación del nivel de base, es decir una variación en la sedimentación como consecuencia de un movimiento tectónico o una variación eustática general, pero no hay suficientes datos para afirmar con seguridad si se trata de variación del nivel de base, y por lo tanto de un control alocíclico sobre la sedimentación, o de una simple evolución de la sedimentación debida a procesos autocíclicos.

#### *Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña*

La Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña ha sido asignada al Turoniano inicial-Coniaciano inicial mediante correlación estratigráfica con las Fms Calizas, margas y arenas de Moral de Hornuez, Mb Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña (Alonso, 1981), unidad después elevada al rango de formación por Alonso *et al.* (1982), y las Fms Margas de Picofrentes y Calizas bioclasticas de Muñecas (Alonso *et al.*, 1982). En trabajos más recientes ha sido subdividida informalmente en tres litosomas con un carácter local: Areniscas de Patones, Areniscas de Tortuero y Areniscas de El

Molar (Gil y García, 1996; Gil *et al.*, 2004), aunque en este último se aconseje el empleo de la denominación Castro de Fuentidueña. Se encuentra en todos los afloramientos estudiados menos en el de Tamajón, donde afloran sus equivalentes laterales; la Fm Margas de Picofrentes y la Fm Calizas bioclasticas de Muñecas. Pertenece a la megasecuencia del Turoniano inicial-Coniaciano inicial (Alonso *et al.*, 1993; Fig. 2), aunque en esta zona puede que su base pertenezca ya al Turoniano medio (Alonso y Mas, 1982). Yace en discordancia sobre el basamento paleozoico en los afloramientos que se encuentran al oeste de «Torrelaguna centro», mientras que desde este sector hacia el Este, en aquellos afloramientos en los que aparece la Fm Arenas de Utrillas yace sobre esta unidad (Figs. 1 y 3), en cuyo techo frecuentemente presenta galerías de bioturbación (*burrows*) de color ocre llenas de material de la Fm Castro de Fuentidueña que cortan las manchas de oxidación rojizas del paleosuelo que aparece a techo de la Fm Utrillas.

Como se ve en el esquema de la figura 8A y B, han sido reconocidas 13 asociaciones de litofacies, incluidas en 7 grupos.

Las asociaciones C1 (Fig. 8A) están constituidas por arenas gruesas bioturbadas con cantos dispersos, indicadores de ambientes de alta energía, que presentan

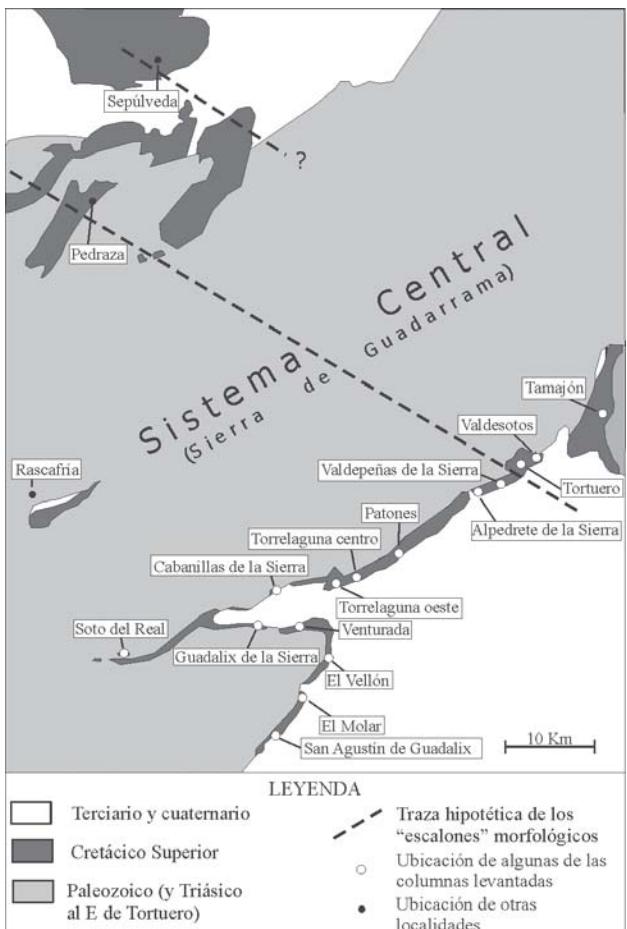


Figura 7.- Esquema que ilustra la probable traza de los escalones del basamento que debieron influenciar la sedimentación durante la deposición de la Fm Arenas de Utrillas.

granoselección positiva, en ellas se reconocen frecuentemente *ripples* de oscilación y restos de plantas o fragmentos y moldes de lamelibranquios. La interpretación del ambiente sedimentario es de depósitos litorales de alta energía, aunque no haya datos unívocos en ese sentido, y es debida principalmente a correlaciones con asociaciones de litofacies que tienen características litorales más evidentes y típicas, como las C2, C3 y C4, (Fig. 8A) descritas más adelante. Estas asociaciones de litofacies se encuentran solamente en la base de la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña, con lo cual pueden ser muy probablemente relacionadas con la superficie de retrabajamiento (*ravinement surface*) ligada a la transgresión marina basal del principio del Turoliense (Alonso y Mas, 1982; Alonso *et al.*, 1987; Alonso *et al.*, 1993).

La asociación C2 (Fig. 8A) está formada por niveles de areniscas de gruesas a finas, generalmente granodecrescentes, en los cuales se pueden reconocer muchas estructuras sedimentarias tractivas, como estratificación cruzada planar o de surco, *ripples* de oscilación, superficies de acreción lateral, y en muchos casos láminas de arcilla en los *foreset*s de la estratificación cruzada. Han sido observados frecuentemente ejemplos de doble sentido (uno principal y uno subordinado contrapuesto) de las paleocorrientes. En algunos casos se en-

cuentran cantos blandos y restos de plantas. Algunas de estas estructuras, como la acreción lateral, las láminas de arcilla en los *foreset*s y el doble sentido de las paleocorrientes, son típicas de un ambiente mareal (Dalyrymple, 1992; Vilas, 1989; Weimer *et al.*, 1982); de hecho esta asociación de litofacies se puede interpretar como canales mareales.

La asociación C3 (Fig. 8A) está compuesta generalmente por areniscas finas, limos y arcillas con *ripples* de oscilación o estratificación *flaser*, *wavy* o *lenticular*. A menudo se encuentran restos de plantas y a veces fragmentos y moldes de lamelibranquios, gasterópodos u ostrácodos. En un afloramiento los restos de plantas estaban lo bastante concentrados como para formar una capa de carbón. Esta asociación de litofacies se ha interpretado como de llanura mareal, o de ambiente supramareal en el caso de la capa de carbón (marisma).

Las asociaciones de litofacies C4 (Fig. 8A) están formadas por litologías finas, como arcillas, limos y areniscas finas. En estas últimas se pueden reconocer estructuras tractivas, como estratificación cruzada, estratificación *flaser* o *ripples* de oscilación, pero las arcillas son predominantes, y muy a menudo bioturbadas y con restos de plantas o de lamelibranquios, gasterópodos, o también fragmentos de equinodermos. Se pueden interpretar como asociaciones de litofacies de ambientes costeros de baja energía, como bahías protegidas.

Las asociaciones de litofacies C5 (Fig. 8B) tienen la peculiaridad de estar formadas por depósitos muy ricos en glauconita. Esta glauconita, tras el análisis al microscopio, ha resultado ser en su mayor parte glauconita autigénica, y en menor porcentaje paraautóctona (Amorosi, 1997). La glauconita paraautóctona está concentrada en los *foreset*s de la estratificación cruzada o en los surcos de los *ripples*. De hecho, la mayoría de la glauconita examinada en láminas delgadas, forma agregados de gránulos que presentan fracturas internas, y tienen dimensiones mayores de las dimensiones medias de los otros gránulos monominerales (Guidi, 2003). Además, a menudo la glauconita pertenece a la matriz de la roca; estos datos demuestran que el mineral no ha sufrido ningún tipo de transporte (Amorosi, 1997; Guidi, 2003). Dada la gran cantidad de glauconita autigénica, parece poco probable una génesis en ambiente marino o costero en general, considerada la gran variabilidad de energía y sedimentación que tienen estos tipos de ambientes, donde generalmente, si hay concentraciones de glauconita, ésta es por la mayor parte detrítica (Amorosi, 1995; 1997; Chafetz, 1978; Plint, 1983). La asociación C5a, además, está formada por capas de areniscas glauconíticas, o glaucoarenitas, con estratificación cruzada, que tienen base plana, no erosiva; esto quiere decir que no se trata de cuerpos canalizados, sino de barras que pueden haberse formado en la parte transicional entre ambientes costeros y una plataforma interna siliciclastica. La asociación C5b está constituida por litologías principalmente carbonatadas, como caliclititas siliciclasticas o margas, pero siempre con un

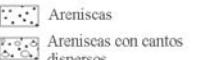
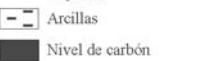
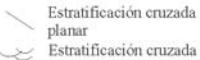
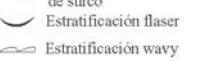
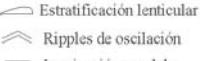
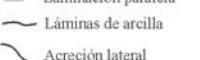
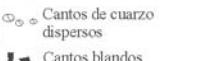
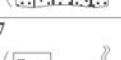
Gráfico	Interpretación	Leyenda
C1a De 0,1 a 0,4 m	Depositos litorales de alta energía, situados en la base de la formación (nivel de removilización que marca la transgresión).	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Areniscas</li> <li>Areniscas con cantos dispersos</li> <li>Arcillas</li> <li>Nivel de carbón</li> </ul>
C1b De 0,4 a 1 m	Depositos litorales de energía mayor respecto a los sedimentos superiores. Se encuentran en la base de la Formación.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Estratificación flaser</li> <li>Estratificación wavy</li> <li>Estratificación lenticular</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Laminación paralela</li> <li>Láminas de arcilla</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Cantos de cuarzo dispersos</li> <li>Cantos blandos</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Bioturbación</li> <li>Restos de plantas</li> <li>Fragmentos de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Ostrácodos</li> <li>Fragmentos de equinodermos</li> <li>Dirección principal de las paleocorrientes</li> <li>Dirección subordenada de las paleocorrientes</li> </ul>
C2 De 1 a 3 m	Cuerpos canalizadosmareales.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Estratificación flaser</li> <li>Estratificación wavy</li> <li>Estratificación lenticular</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Laminación paralela</li> <li>Láminas de arcilla</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Cantos de cuarzo dispersos</li> <li>Cantos blandos</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Bioturbación</li> <li>Restos de plantas</li> <li>Fragmentos de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Ostrácodos</li> <li>Fragmentos de equinodermos</li> <li>Dirección principal de las paleocorrientes</li> <li>Dirección subordenada de las paleocorrientes</li> </ul>
C3 De 1 a 2 m	Llanura de marea/supramareal.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Estratificación flaser</li> <li>Estratificación wavy</li> <li>Estratificación lenticular</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Laminación paralela</li> <li>Láminas de arcilla</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Cantos de cuarzo dispersos</li> <li>Cantos blandos</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Bioturbación</li> <li>Restos de plantas</li> <li>Fragmentos de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Ostrácodos</li> <li>Fragmentos de equinodermos</li> <li>Dirección principal de las paleocorrientes</li> <li>Dirección subordenada de las paleocorrientes</li> </ul>
C4a De 1 a 3 m	Ambiente costero protegido (bahía).	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Estratificación flaser</li> <li>Estratificación wavy</li> <li>Estratificación lenticular</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Laminación paralela</li> <li>Láminas de arcilla</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Cantos de cuarzo dispersos</li> <li>Cantos blandos</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Bioturbación</li> <li>Restos de plantas</li> <li>Fragmentos de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Ostrácodos</li> <li>Fragmentos de equinodermos</li> <li>Dirección principal de las paleocorrientes</li> <li>Dirección subordenada de las paleocorrientes</li> </ul>
C4b De 4 a 8 m	Ambiente costero protegido (bahía).	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Estratificación flaser</li> <li>Estratificación wavy</li> <li>Estratificación lenticular</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Laminación paralela</li> <li>Láminas de arcilla</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Cantos de cuarzo dispersos</li> <li>Cantos blandos</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Bioturbación</li> <li>Restos de plantas</li> <li>Fragmentos de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Ostrácodos</li> <li>Fragmentos de equinodermos</li> <li>Dirección principal de las paleocorrientes</li> <li>Dirección subordenada de las paleocorrientes</li> </ul>
C4c De 1,5 a 12 m	Arcillas de bahía protegida.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Estratificación flaser</li> <li>Estratificación wavy</li> <li>Estratificación lenticular</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Laminación paralela</li> <li>Láminas de arcilla</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Cantos de cuarzo dispersos</li> <li>Cantos blandos</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Bioturbación</li> <li>Restos de plantas</li> <li>Fragmentos de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Ostrácodos</li> <li>Fragmentos de equinodermos</li> <li>Dirección principal de las paleocorrientes</li> <li>Dirección subordenada de las paleocorrientes</li> </ul>

Gráfico	Interpretación	Leyenda
C5a De 2,5 a 5 m	Barras arenosas en la transición entre ambientes litorales y ambientes de plataforma interna.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Areniscas</li> <li>Areniscas a matriz carbonática</li> <li>Caliclititas limosas</li> <li>Biocalcarenitas arenosas</li> <li>Margas</li> </ul>
C5b De 1 a 2 m	Transición entre ambientes litorales con predominio de aportes terigénos y ambientes de baja energía de plataforma carbonatada interna abierta.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Glaucónita</li> <li>Bioturbación</li> <li>Estromatolitos</li> <li>Fragmentos de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Foraminíferos</li> <li>Dientes de peces</li> <li>Restos de Equinodermos</li> <li>Briozoos</li> </ul>
C6a De 2 a 4 m	Cuerpos canalizadosmareales.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Glaucónita</li> <li>Bioturbación</li> <li>Estromatolitos</li> <li>Fragmantes de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Foraminíferos</li> <li>Dientes de peces</li> <li>Restos de Equinodermos</li> <li>Briozoos</li> </ul>
C6b De 1 a 2 m	Cuerpos canalizadosmareales/zona intermareal.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Glaucónita</li> <li>Bioturbación</li> <li>Estromatolitos</li> <li>Fragmantes de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Foraminíferos</li> <li>Dientes de peces</li> <li>Restos de Equinodermos</li> <li>Briozoos</li> </ul>
C6c De 2 a 3 m	Cuerpos canalizadosmareales.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Glaucónita</li> <li>Bioturbación</li> <li>Estromatolitos</li> <li>Fragmantes de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Foraminíferos</li> <li>Dientes de peces</li> <li>Restos de Equinodermos</li> <li>Briozoos</li> </ul>
C7 De 3 a 10 m	Transición entre ambientes litorales con predominio de aportes terigénos y ambientes de baja energía de plataforma carbonatada interna abierta.	 <ul style="list-style-type: none"> <li>Estratificación cruzada planar</li> <li>Estratificación cruzada de surco</li> <li>Ripples de oscilación</li> <li>Acreción lateral</li> <li>Granoselección positiva</li> <li>Glaucónita</li> <li>Bioturbación</li> <li>Estromatolitos</li> <li>Fragmantes de bivalvos</li> <li>Gasterópodos</li> <li>Foraminíferos</li> <li>Dientes de peces</li> <li>Restos de Equinodermos</li> <li>Briozoos</li> </ul>

**Figura 8.-** A) Asociaciones de litofacies reconocidas en la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña (de C1 a C4), B) Asociaciones de litofacies reconocidas en la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña (de C5 a C7)

elevado contenido de glauconita autigénica. Esta asociación de litofacies se puede interpretar como de un ambiente de transición entre ambientes litorales predominantemente siliciclásticos y ambientes de plataforma interna carbonatada.

Las asociaciones de litofacies C6 (Fig. 8B) se encuentran a techo de la Fm Castro de Fuentidueña en los afloramientos al este de Alpedrete de la Sierra A incluido (Fig. 1). Son asociaciones de litofacies con un elevado porcentaje de carbonato, que puede ser incluso predominante. Son generalmente cuerpos con base erosiva y tendencia granodecreciente, con estructuras tracitivas como estratificación cruzada. Se pueden entonces interpretar como cuerpos canalizados; a techo de algunos de estos se encuentran calizas estromatolíticas, hecho que lleva a interpretarlos como canales en ambiente intermareal.

La asociación de litofacies C7 (Fig. 8B) se encuentra solamente en los afloramientos de Tortuero y Valdesotos. Está constituida por litologías principalmente carbonatadas como margas y biocalcarenitas siliciclásticas. En este caso el contenido fosilífero, constituido por dientes de peces (Órdenes Orectolobiformes y Pycnodontiformes), briozoos, fragmentos de equinodermos y bivalvos, y algún foraminífero planctónico no determinable, nos ha permitido establecer con seguridad el ambiente sedimentario; estos depósitos son de transición entre ambientes litorales con predominio de aportes siliciclásticos y ambientes de plataforma interna carbonatada.

## Discusión.

En el conjunto de la región de estudio, se observa como los ambientes sedimentarios pasan de litorales, como llanuras de marea o zonas protegidas como bahías, con aportes principalmente siliciclásticos, a plataformas carbonatadas hacia el este. También el espesor de la formación aumenta hacia el este. Las direcciones principales de las paleocorrientes varían entre N 175° E y N 100° E; este hecho nos permite reconstruir aproximadamente la dirección de la paleocosta en el borde sur del Sistema Central con una orientación entre N 20° E y N 30° E. La dirección de la paleocosta que interpretó Alonso (1981), para las formaciones del Cretácico del borde norte del Sistema Central, era aproximadamente entre N 110° E y N 120° E, lo cual permite interpretar que la línea de la paleocosta entre el borde norte y el borde sur del Sistema Central tenía que formar un promontorio hacia el Este que aproximadamente correspondía con la porción del actual Sistema Central llamada Sierra de Guadarrama (Fig. 9).

En la correlación ilustrada en la figura 6B se observa como hacia el Este los ambientes sedimentarios varían desde litorales a ambientes de plataforma interna carbonatada (la Fm Margas de Picofrentes ha sido interpretada como plataforma interna carbonatada por Alonso *et al.*, 1982 y Alonso y Mas, 1982). También se puede deducir una interpretación de la evolución de la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña: después de una transgresión inicial, marcada por las asociaciones C1, siguió una tendencia de profundización con un

predominio inicial de ambientes de baja energía, como bahías o *lagoons* (representadas por las asociaciones de litofacies C4), que pasaron a facies más externas y profundas (asociaciones de litofacies C5 y C7), las cuales quedan registradas solamente en los afloramientos más al este (Fig. 6B); luego se produjo una inversión de tendencia, con la progradación hacia el este de facies marinales de mayor energía, predominantes a techo de la formación. El momento de máxima profundización está marcado muy probablemente por las asociaciones de litofacies C5, ricas en glauconita autigénica (Fig. 6B). La Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña, entonces, representaría un ciclo transgresivo-regresivo identificable con la Megasecuencia del Turoniense inicial-Coniaciense inicial según Alonso *et al.* (1993), aunque en el borde sur del Sistema Central puede que su base pertenezca ya al Turoniense medio (Alonso y Mas, 1982).

#### Fm Arenas y arcillas de Segovia

La Fm Arenas y arcillas de Segovia ha sido datada como Coniaciense basal-Coniaciense medio mediante correlación estratigráfica con la misma formación definida en el borde norte del Sistema Central por Alonso (1981) y su equivalente lateral «Dolomías tableadas de Caballar» (Alonso, 1981; Alonso *et al.*, 1982; Alonso y Mas, 1982). Recientemente ha sido reclasificada como Mb Valdemorillo de la formación Arenas de Utrillas (Gil *et al.* 2004), pero puede ser que la parte alta de nuestra formación Arenas y arcillas de Segovia, donde hay litofacies más margosas y mixtas terrigeno-carbo-

nadas corresponda a la nueva formación Margas de Alcorlo definida por Gil y García (1996) y Gil *et al.* (2004). Se encuentra en todos los afloramientos estudiados menos en Tamajón, donde la Fm Dolomías tableadas de Caballar yace directamente en discontinuidad estratigráfica sobre la Fm Calizas bioclásticas de Muñecas. Pertenece a la megasecuencia del Coniaciense inicial-Santoniense terminal (Alonso *et al.*, 1993; Fig. 2). Yace en discordancia sobre la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña, y pasa a techo y hacia el este, con un contacto gradual, mediante una corta alternancia, a la Fm Dolomías tableadas de Caballar.

Han sido reconocidas 8 asociaciones de litofacies, reunidas en 6 grupos (Fig. 10).

La asociación de litofacies S1 (Fig. 10) está compuesta por areniscas de gruesas a finas, con base erosiva, tendencia granodecreciente y estructuras tractivas, como estratificación cruzada y *ripples* de oscilación. A menudo se encuentran cantos blandos y láminas de arcilla que recubren los *foreset* de la estratificación cruzada; esta estructura sedimentaria es típica de mediosmareales (Dalrymple, 1992; Vilas, 1989; Weimer *et al.*, 1982). Esta asociación de litofacies cabe interpretarla como cuerpos canalizados en un medio dominado por las mareas.

La asociación de litofacies S2 (Fig. 10) tiene composición mixta terrigeno-carbonatada, con predominio de litologías arcillosas. En las arcillas se intercalan frecuentemente pequeñas láminas o lentículas de arena, formando estratificación *wavy* y *lenticular*. A menudo en las arcillas se intercalan también calcilitas, que en algunos casos tienen laminaciones estromatolíticas. Tanto las arcillas como las calizas están siempre muy bioturbadas. El desarrollo de estromatolitos se daría en un ambiente intermareal, que sería el mismo en el que formaban estructuras con alternancia de tracción y de cantación, como las estratificaciones *wavy* y *lenticular*, con lo cual se puede interpretar el medio sedimentario como una llanura de marea, que estaría surcada por los canales mareales representados por la asociación S1.

La asociación de litofacies S3 (Fig. 10) solo se encuentra en el afloramiento de Torrelaguna centro (Fig. 1). Está formada por estratos de areniscas gruesas superpuestos sin aparente granoselección con estratificación cruzada de surco a escala métrica, formando un espesor de 4-5 metros. Las medidas de las paleocorrientes indican dos direcciones divergentes, una principal y una subordinada, que forman un ángulo de alrededor de 90 grados. La base de este depósito no aflora, entonces no sabemos si es plana o erosiva. Dichas características, aunque la interpretación no sea sencilla, pueden indicar un ambiente mareal; cuando en una llanura de marea hay un pequeño gradiente topográfico puede pasar que las aguas de reflujo pasen por los surcos entre las dunas o los *ripples* formados durante la subida de la marea, y así se forman estructuras tractivas (como *ripples* o dunas) de menor tamaño con dirección a 90 grados con la de las estructuras formadas durante la subida de la marea. Viene a apoyar ésta interpretación el hecho

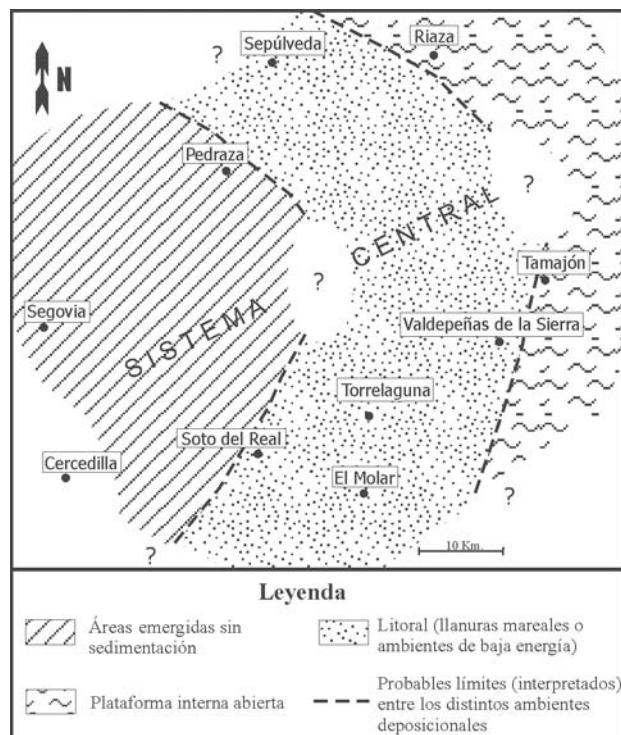


Figura 9.- Esquema de reconstrucción paleoambiental para la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña, modificado de Alonso y Mas (1982).

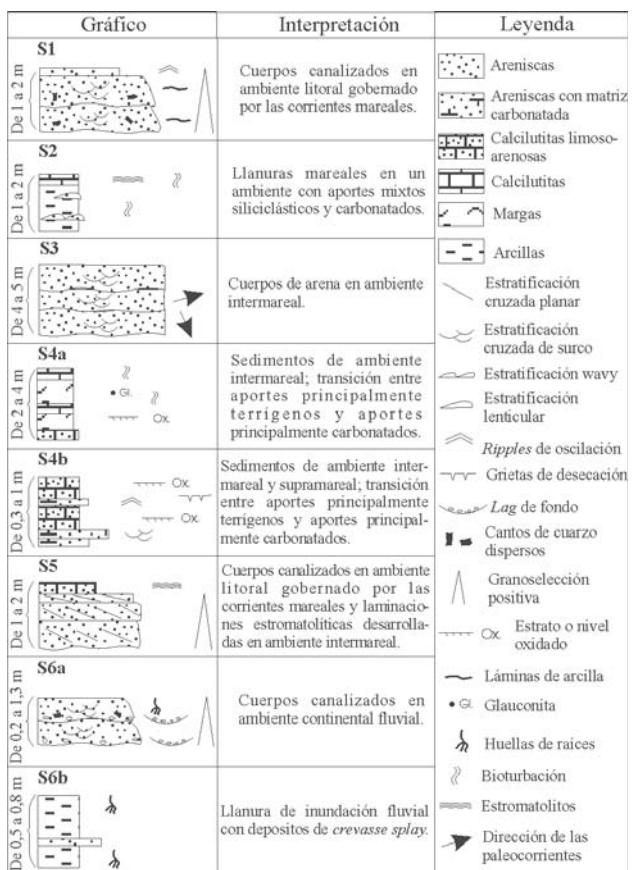


Figura 10.- Asociaciones de litofacies reconocidas en la Fm Arenas y arcillas de Segovia.

que estos depósitos pasan gradualmente hacia techo a los depósitos de la Fm Dolomías tableadas de Caballar, interpretada como de llanura de marea (Alonso *et al.*, 1982) y que en los afloramientos más cercanos la Fm Arenas y arcillas de Segovia tiene características mareas. Por lo expuesto anteriormente, cabe interpretar que estos depósitos muy posiblemente también debieron depositarse en ambientes mareas.

Las asociaciones de litofacies S4 (Fig. 10) se encuentran siempre a techo de la formación, marcando la transición gradual a la Fm Dolomías tableadas de Caballar. Las componen litologías mixtas terrígeno-carbonatadas como margas, areniscas carbonatadas, caliclititas silicicálicas y calcilititas. Dado que marcan la transición gradual a la Fm Dolomías tableadas de Caballar son seguramente de ambiente mareas (Alonso *et al.*, 1982; Bellido *et al.*, 1990); ocasionalmente se han reconocido estromatolitos, que apoyan esta interpretación (depósitos intermareales), mientras en la asociación S4b son frecuentes las superficies de exposición, como grietas de desecación o costras ferruginosas, que indican un ambiente supramareal.

La asociación de litofacies S5 (Fig. 10) se encuentra solamente en los afloramientos de Valdemorillo y Torrelaguna oeste (Fig. 1). Está constituida por areniscas de gruesas a medias, con tendencia granodecreciente, base erosiva y calizas con laminaciones estromatolíticas a techo. Las areniscas tienen estratificación cruzada planar. El ambiente deposicional debió ser mareas, con

canales fosilizados por la llanura de marea, representada por las calizas estromatolíticas.

Las asociaciones de litofacies S6 (Fig. 10) solo se encuentran en el afloramiento de Soto del Real (Fig. 1). La S6a está formada por areniscas gruesas, que presentan base erosiva con un *lag* de fondo de cantos, estratificación cruzada, y tienen intercaladas delgadas costras ferruginosas y niveles con huellas de raíces. Tienen tendencia granodecreciente y la geometría típica de cuerpos canalizados. La frecuencia de superficies edáficas o ferruginosas y la madurez del sedimento indican un medio continental, posiblemente fluvial de alta energía. La S6b, que se encuentra intercalada entre los depósitos S6a, presenta arcillas con intercalaciones de arenas finas, y frecuentes niveles edáficos con huellas de raíces. Esta puede ser interpretada como la llanura de inundación asociada a los canales fluviales de la asociación S6a, donde los niveles de areniscas finas podrían representar lóbulos de derrame.

### Discusión.

Esta formación presenta características muy parecidas en toda la zona de estudio menos que en el afloramiento de Soto del Real. En general se observa como hacia techo pasa gradualmente a las facies carbonatadas de la Fm Dolomías tableadas de Caballar, y también hacia el Este los sedimentos silicicálicos de la Fm Arenas y arcillas de Segovia se acuñan hasta pasar totalmente a la Fm Dolomías tableadas de Caballar (Fig. 6). En la zona de Soto del Real ésta formación tiene características fluviales, en concreto de un medio fluvial predominantemente arenoso y de baja sinuosidad. En los otros afloramientos las características son de un ambiente de llanura de marea. Hacia el Este los depósitos principalmente terrígenos (Fm Arenas y arcillas de Segovia) pasan a ser principalmente carbonatados (Fm

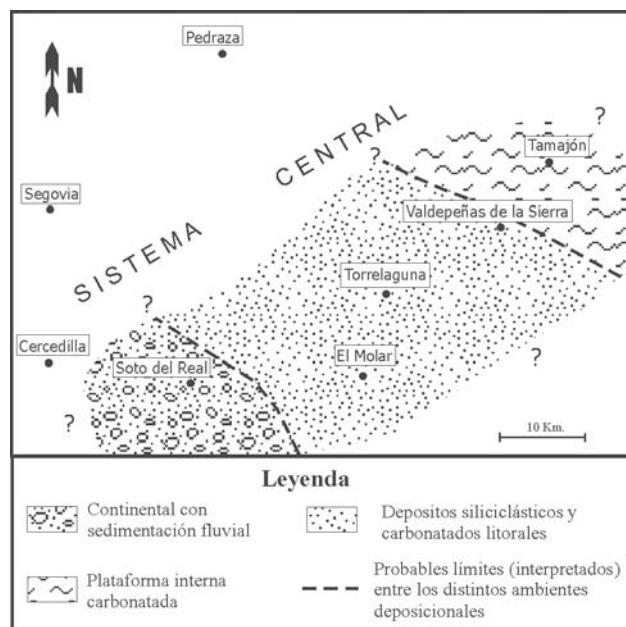


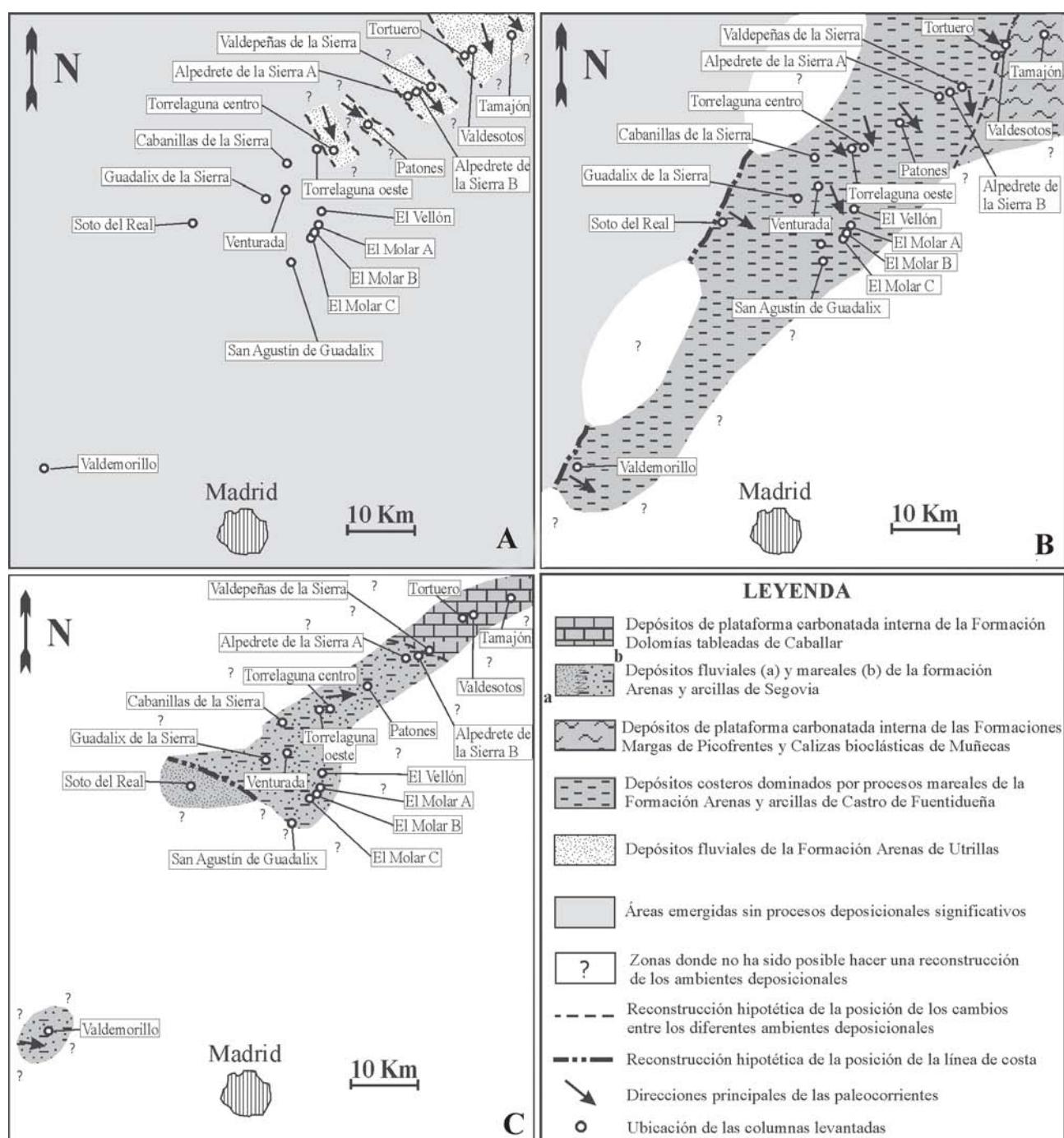
Figura 11.- Reconstrucción de los ambientes sedimentarios para la Fm Arenas y arcillas de Segovia, modificado de Alonso y Mas (1982).

Dolomías tableadas de Caballar), aunque siempre de ambientes mareales o litorales en sentido general. Aún más hacia el Este (Fig. 11), los ambientes deposicionales pasan a ser más profundos, correspondiendo a ambientes de plataforma interna carbonatada. Los datos de paleocorrientes recogidos en esta formación no han sido suficientes para establecer los límites de los ambientes deposicionales, por lo que los límites indicados en la figura 11 han sido interpretados utilizando también los datos de paleocorrientes de trabajos precedentes (Bellido *et al.*, 1990; 1991; Alonso, 1981; Alonso y Mas 1982).

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en el estudio de las tres formaciones, nos permiten interpretar los ambientes deposicionales de cada formación estudiada y plantear un cuadro hipotético de evolución sedimentaria general para la región de estudio durante el periodo de tiempo incluido entre el Cenomaniense y el Coniaciense inicial (Fig. 12).

En detalle la Fm Arenas de Utrillas esta compuesta por depósitos continentales de carácter fluvial de tipo *braided* de granulometría normalmente arenosa con



**Figura 12.-** Esquemas de reconstrucción paleoambiental interpretativos para el conjunto de la región de estudio (véase figuras 1, 3, 6 y 7): A) durante la sedimentación de las Arenas de Utrillas, B) durante la sedimentación de las Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña en la fase de máxima inundación, C) durante la sedimentación de las Arenas y arcillas de Segovia.

predominio de transporte de fondo (*bed-load coarse sand river*, sensu de Orton y Reading, 1993; Fig. 4) que se pueden subdividir en 6 asociaciones de litofacies (Figs. 5 y 6A).

La Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña, en la cual se han reconocido 13 asociaciones de litofacies (Figs. 8A, 8B B y 6B), está constituida por depósitos de facies marinas litorales, generalmente de ambientes mareales o de baja energía, o transicionales a facies de plataforma carbonatada interna (Fig. 8).

Los depósitos que constituyen la Fm Arenas y arcillas de Segovia se han interpretado como de facies marinas, menos en Soto del Real (Figs. 1 y 11), donde los depósitos de la asociación de litofacies S6 se han interpretado como fluviales. En la Fm Arenas y arcillas de Segovia ha sido posible reconocer 8 asociaciones de litofacies (Figs. 10 y 6B).

En conclusión la interpretación propuesta de la evolución de la cuenca entre el Cenomaniense y el Coniaciense inicial (Fig. 12) puede ser así sintetizada:

1) En el Cenomaniense la región de estudio estaba constituida por un ambiente continental emergido, con el basamento que probablemente tenía una morfología influenciada, aunque marginalmente, por el *riifting* que en el Mesozoico había afectado las regiones localizadas al Noreste de la zona de estudio con la directriz tectónica N 120° E (Alonso y Mas, 1982; Vegas y Banda, 1982; Salas *et al.*, 2001). En este sustrato se desarrolló un sistema deposicional de tipo fluvial de baja sinuosidad, organizado en surcos subparalelos (Fm Arenas de Utrillas), en dirección aproximadamente NO-SE, y con sentido del flujo hacia el SE (Figs. 4 y 12A).

2) La Fm «Arenas, arcillas y calizas de Santa María de las Hoyas», que es una de las formaciones tomadas como referencia, fue formada en un contexto litoral durante una pequeña transgresión en el Cenomaniense superior, que llegó a afectar las zonas de Tamajón y probablemente Valdesotos (Figs. 1 y 6); a esta siguió una regresión, no registrada en la zona de estudio (Alonso *et al.*, 1982 ; Alonso y Mas, 1982; Alonso *et al.*, 1987; Alonso *et al.*, 1993).

3) A principio del Turoniense hubo otra transgresión que afectó todas las áreas de estudio, y se establecieron ambientes litorales, que son los que quedan reflejados en la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña; estos pasaban hacia el Este a ambientes de plataforma carbonatada interna (Fm Margas de Pico frentes). A la transgresión siguió una fase durante la cual se instauraron ambientes de llanuras de marea y bahías litorales. El momento de máxima profundización está representado por los depósitos caracterizados por el alto porcentaje de glauconita autigénica que contienen; probablemente correspondientes a depósitos de barras litorales en ambientes de transición con la plataforma carbonatada interna. Hubo después una inversión de la tendencia, evidenciada por la progradación hacia el este de las facies mareales, presentes en la parte más alta de la Fm Arenas y arcillas de Castro de Fuentidueña (Figs. 6B, 9 y 12B).

Posteriormente, en el Coniaciense inicial, se produjo una nueva transgresión marina, que afectó inicialmente toda la región de estudio menos en la zona de Soto del Real, que quedó emergida, con el desarrollo de redes fluviales de baja sinuosidad. En las zonas sumergidas se instauraron llanuras de marea silicicísticas, que gradualmente pasaron a ser principalmente carbonatadas. Estos depósitos son los que constituyen las unidades Arenas y arcillas de Segovia y Dolomias tabeadas de Caballar (Figs. 6B, 11 y 12C).

### Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por la Dirección General de Enseñanza Superior en Investigación Científica dentro del proyecto de investigación BTE2001-026 y por una beca para licenciados Erasmus concedida por la UE al primero de los autores firmantes para la realización de su *Tesi de Laurea* (trabajo que en Italia es equivalente a la Tesis de Licenciatura española). Los autores quieren agradecer las valiosas observaciones y sugerencias de surgidas de las revisiones realizadas por A. Alonso y M. Segura que han servido para mejorar la calidad del manuscrito. Además, agradecemos la inestimable ayuda técnica de G. Herrero y B. Moral para la realización de este trabajo.

### Referencias

- Alonso, A. (1981): El Cretácico de la provincia de Segovia (borde norte del Sistema Central). Tesis doctoral. *Seminarios de Estratigrafía. Serie Monografías*, 7, 271 p.
- Alonso, A., Floquet, M. y Meléndez, A. (1982): La Meseta Norcastellana. En: *El Cretácico de España*, Universidad Complutense de Madrid, 387-456
- Alonso, A. y Mas R. (1982): Correlación y evolución paleogeográfica del Cretácico al norte y al sur del Sistema Central. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 8 : 151-172.
- Alonso, A., Floquet, M., Mas, R., Meléndez, A., Meléndez, N., Salomon, J. y Vadot, J.P. (1987): Modalités de la régression marine sur le détroit ibérique (Espagne) a la fin du Crétacé. *Mémoires Géologiques de l'Université de Dijon*, 11 : 91-102.
- Alonso, A., Floquet, M., Mas, R. y Meléndez, A. (1993): Late Cretaceous carbonate Platforms: Origin and Evolution. Iberian Range, Spain. En: *Cretaceous Carbonate Platforms* (T. Simó, R.W. Scott y J.P. Masse, Eds.). *Memoir American Association of Petroleum Geologists* A. A. P. G., Spec. Vol. 56: 297-316.
- Amorosi, A (1995): Glaucony and sequence stratigraphy: A conceptual framework of distribution in siliciclastic sequences. *Journal of Sedimentary Research*, B65: 419-425.
- Amorosi, A. (1997): Detecting compositional, spatial, and temporal attributes of glaucony: a tool for provenance research. *Sedimentary Geology*, 109: 135-153.
- Bellido, F., Casquet, C., González Lodeiro, F., Martín Parra, L.M., Martínez-Salanova, J., Navidad, M. y Del Olmo, A. (1990): Mapa Geológico de España. Escala 1:50.000, hoja 509 (Torrelaguna). ITGE, Madrid.
- Bellido, F., Casquet, C., Escuder, J., Klein, E., Navidad, M., Peinado, M. y Del Olmo, A. (1991): Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 484 (Buitrago del Lozoya). ITGE, Madrid.
- Chafetz, H.S. (1978): A trough cross-stratified glauconite: a Cambrian tidal inlet accumulation. *Sedimentology*, 25: 545-559.

- Dalrymple, R.W. (1992): Tidal depositional systems. En: *Facies models, response to sea level change* (Walker R.G. y James N.P. Eds.). Geological Association of Canada, St John's, Newfoundland: 195-218
- García, A., Segura, M., García-Hidalgo, J.F., Ruiz, G., Gil, J. y Carenas, B. (1996): Discontinuidades estratigráficas y secuencias deposicionales del Cretácico medio (Albiense superior-Turoniano medio) en la Cordillera Ibérica central y el Sistema Central meridional. *Geogaceta*, 20(1): 119-122.
- García, A. (coord.), Mas, R. (coord.), Segura, M., Carenas, B., García-Hidalgo, J.F., Gil, J., Alonso, A., Aurell, M., Bádenas, B., Benito, M.I., Meléndez, A. y Salas, R. (2004): 5.3.4. Segunda fase de postriifting: Cretácico Superior. En: *Geología de España* (J. Vera, Ed.). Sociedad Geológica de España-Instituto Geológico y Minero de España, 509-522.
- García-Hidalgo, J.F., Gil, J. y Segura, M. (2001): Sedimentología de la sucesión Cretácea basal en el borde Sur del Sistema Central (Madrid). *Geotemas*, 3(2): 197-200.
- Gil J. (1993): *Estratigrafía secuencial del Cretácico del borde meridional del Sistema Central en el sector de San Augustín de Guadalix-Pálmaces de Jadraque (Madrid-Guadalajara)*. Tesis de licenciatura, Universidad Complutense de Madrid, 145 p.
- Gil, J. y García, A. (1996): El Cretácico del borde meridional del Sistema Central: Unidades litoestratigráficas y secuencias deposicionales. *Estudios Geológicos*, 52: 37-49.
- Gil, J., García, A. y Segura, M. (1993): Secuencias deposicionales del Cretácico en el flanco sur del Sistema Central. *Geogaceta*, 13: 43-45.
- Gil, J., Segura, M. y García-Hidalgo, J.F. (1999): Stratigraphic and Sedimentologic analysis of the Cretaceous at «Barranco de las Cuevas» (Patones, Madrid): a Geological Interest Site in the Community of Madrid. En: *Towards the balanced management and conservation of the Geological Heritage in the New Millennium* (D. Baretto, M. Vallejo y E. Gallego, Eds.). Sociedad Geológica de España, 172-176.
- Gil, J., Segura, M. y García-Hidalgo, J.F. (2001): Caracterización de los rizolitos en el Cenomaniense Superior de Torrelaguna (Madrid): significado sedimentológico y estratigráfico. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural (Geología)*, 96 (3-4): 39-47.
- Gil, J., Carenas, B., Segura, M., García-Hidalgo, J.F., García, A. (2004): Revisión y correlación de las unidades litoestratigráficas del Cretácico Superior en la región central y oriental de España. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17 (3-4): 249-266.
- Guido, R. (2003): *Sedimentologia delle facies silicoclastiche del Cretaceo superiore del versante sud della «Sierra de Guadarrama», nord di Madrid, Spagna centrale*. Tesis de licenciatura, Università di Pisa, 104 p.
- Miall, A.D. (1996): *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Springer-Verlag Inc., Berlin, 582 p.
- Orton, G.J. y Reading, H.G. (1993): Variability of deltaic processes in terms of sediment supply, with particular emphasis on grain size. *Sedimentology*, 40: 475-512.
- Plint, A.G. (1983): Facies environments and sedimentary cycles in the middle Eocene Bracklesham formation of the Hampshire basin: evidence for global sea-level changes? *Sedimentology*, 30: 625-653.
- Portero García, J.M., Aznar Aguilera, J.M., Pérez González, A. y González Lodeiro, F. (1990): Mapa Geológico de España 1:50.000, hoja nº 485 (Valdepeñas de la Sierra). ITGE, Madrid.
- Salas, R., Guimerá J., Mas, R., Martín-Closas, C., Meléndez, A. y Alonso, A. (2001): Evolution of the Mesozoic Central Iberian Rift System and its Cainozoic inversion (Iberian Chain). En: *Peri-Tethyan Rift/Wrench Basins and Passive Margins*, (P.A. Ziegler, W. Cavazza, A.H.F. Robertson y S. Scrasquin-Soleau, Eds.). *Memoires du Muséum National d'Histoire Naturelle*, 186: 145-185.
- Vegas, R. y Banda, E. (1982): Tectonic framework and Alpine evolution of the Iberian Peninsula. *Earth Evolution Sciences*, 4: 253-263.
- Vilas F. (1989): Estuarios y llanuras intermareales. En: *Sedimentología I* (A. Arche, Ed.). Nuevas Tendencias, 11. CSIC, Madrid, 453-493.
- Weimer R.J., Howard J.D. y Lindsay D.R. (1982): Tidal flats and associated tidal channels. En: *Sandstone depositional environments*, (P.A. Scholle y P. Spearing, Eds.). *American Association of Petroleum Geology, Memoir* 31: 191-245.

Manuscrito recibido el 4 de octubre de 2004  
Aceptado el manuscrito revisado el 18 de abril de 2005