

Características estratigráficas y sedimentológicas del “Garumniense” en el sector de Ager (Pre-Pirineo, Lleida).

F. Colombo y J.L. Cuevas

Dept. de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Fac. de Geologia. Universitat de Barcelona. E-08071 Barcelona.

RESUMEN

La sucesión estratigráfica de los depósitos continentales de la cuenca de Ager corresponde a sedimentos lacustres (Fm Massana), depósitos fluviales y de llanura de inundación (Fm. Figuerola), sedimentos lacustres (Fm. Millà) y una sucesión de materiales palustres, lacustres, fluviales, de lagunas evaporíticas y aun mareales (Complejo de Perauba). Todos esos materiales fueron depositados en los diferentes medios sedimentarios citados que se desarrollaron en esa zona entre el Maastrichtiense y el Paleógeno inferior. En concreto, el tránsito entre el Cretácico y el Terciario (K/T) se produjo en uno de esos medios sedimentarios. Anteriormente se había correlacionado ese límite con un nivel litoestratigráfico concreto (carbonatos de la Fm. Millà), pero actualmente se conoce que ese evento se produce en el tercio superior de la unidad terrígena de la Fm. Figuerola. Los datos de paleomagnetismo sugieren que los dinosaurios y las carófitas cretácicas empezaron a desaparecer, en esta zona, unos dos millones de años antes que sucediera el evento asociado al límite K/T.

Palabras clave: Garumniense. Fluvial, lacustre, palustre, llanuras fangosas. Límite Cretácico-Terciario. Pirineos. España.

ABSTRACT

The depositional sequences of the Paleogene non-marine deposits in the Ager basin show the vertical succession of lacustrine sediments (Massana Formation), fluvial and floodplain deposits (Figuerola Fm), basin-wide lacustrine sediments (Millà Fm) and different successions of lacustrine-palustrine, floodplain, fluvial, sabkha and tidal deposits (Perauba Complex). These different sedimentary environments were developed during Upper Maastrichtian-Lower Paleogene time span. The fossil assemblages suggest that the K/T event occurred during the sedimentation of one of these sedimentary environments. Formerly it was assumed that the K/T boundary event was strictly related to a particular carbonate level (Millà Fm), but now this event is related to the deposition of floodplain and fluvial sediments at the Upper portion of the Figuerola Fm. Accordingly with the new paleomagnetic and paleontologic data, the disappearance of the cretaceous charophytes and dinosaurs seems to have occurred in the studied area about two million years before K/T boundary event.

Key Words: Garumnian. Fluvial, lacustrine, palustrine, mud flats. K/T boundary. Pyrenees. Spain.

INTRODUCCION

Los materiales que constituyen el tránsito entre el Mesozoico y el Cenozoico en la región estudiada (Fig. 1), se acumularon en diferentes medios sedimentarios continentales tal y como lo atestiguan los abundantes fósiles no marinos que contienen. Por esta razón, y dada la imprecisión cronoestratigráfica existente, el problema del límite entre el Secundario y el Terciario en la región de Ager-Tremp ha merecido la atención de muchos autores desde hace ya bastante tiempo.

Los primeros hallazgos de restos fósiles mesozoicos y cenozoicos incentivaron los estudios geológicos y paleontológicos en esa región ya desde antiguo (Leymerie, 1863, 1877; Vidal, 1873; Lapparent y Aguirre, 1956; Bataller, 1958, etc.). Como que los materiales continentales (conocidos como "Garumniense") mostraban fósiles mesozoicos en su tramo inferior y fósiles cenozoicos en su tramo superior, separados por una zona intermedia considerada como azoica, la acepción cronoestratigráfica no quedó muy clara. A finales del siglo pasado y principios de éste, existía una cierta confusión respecto

al valor cronoestratigráfico de algunos grupos fósiles, de manera que para algunos autores las facies continentales correspondían al Cretácico mientras que para otros ya eran claramente del Terciario. Finalmente se llegó a la solución de compromiso de proponer un "piso geológico" que correspondiera al tránsito entre el Cretácico y el Terciario con la denominación de "Garumniense" (Leymerie, 1863, 1877; Bataller, 1958, etc.). Posteriormente se ha constatado que esa propuesta presentaba muchos problemas y por tanto actualmente está desestimada.

La denominación de "Garumniense" tuvo una amplia aceptación en los estudios geológicos de tipo regional y por esa razón todavía se utiliza en algunos trabajos regionales centrados en el área. Así, algunos autores la emplean con acepción de piso estratigráfico (ej. "El Garumniense"), mientras que otros la utilizan para denominar a los materiales, en facies continentales, existentes en el tránsito Cretácico-Terciario (K/T).

Los estudios realizados posteriormente (Bataller, 1959; Rosell, 1967; Liebau, 1973) han permitido conocer que una parte de esos materiales continentales fueron depo-

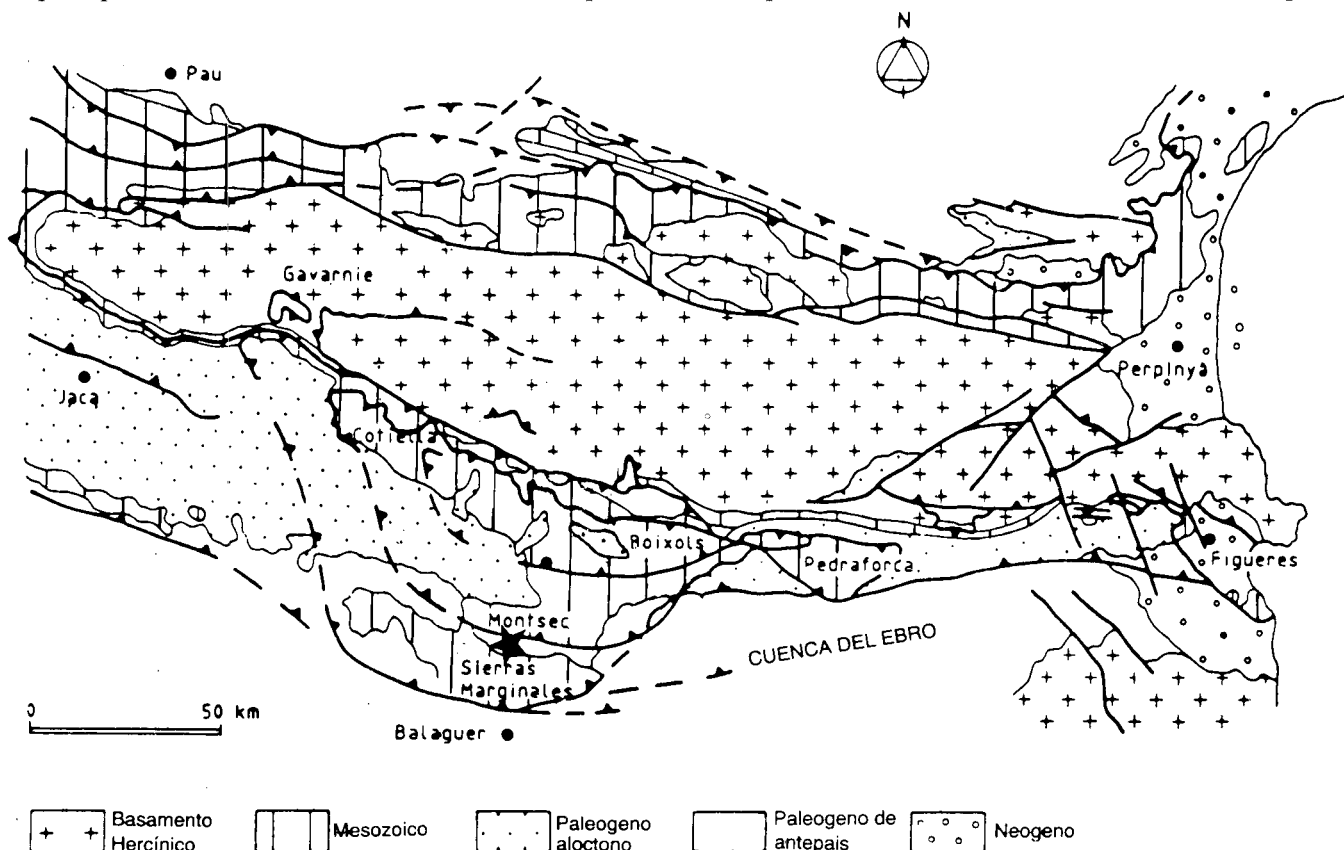


Figura 1. Situación de la zona estudiada (estrella), en los Pirineos sud-orientales (modificado de Puigdefábregas et al., 1989).

Figure 1. Location of the studied area (star) in the South-Eastern Pyrenees (after Puigdefábregas et al., 1989, modif.).

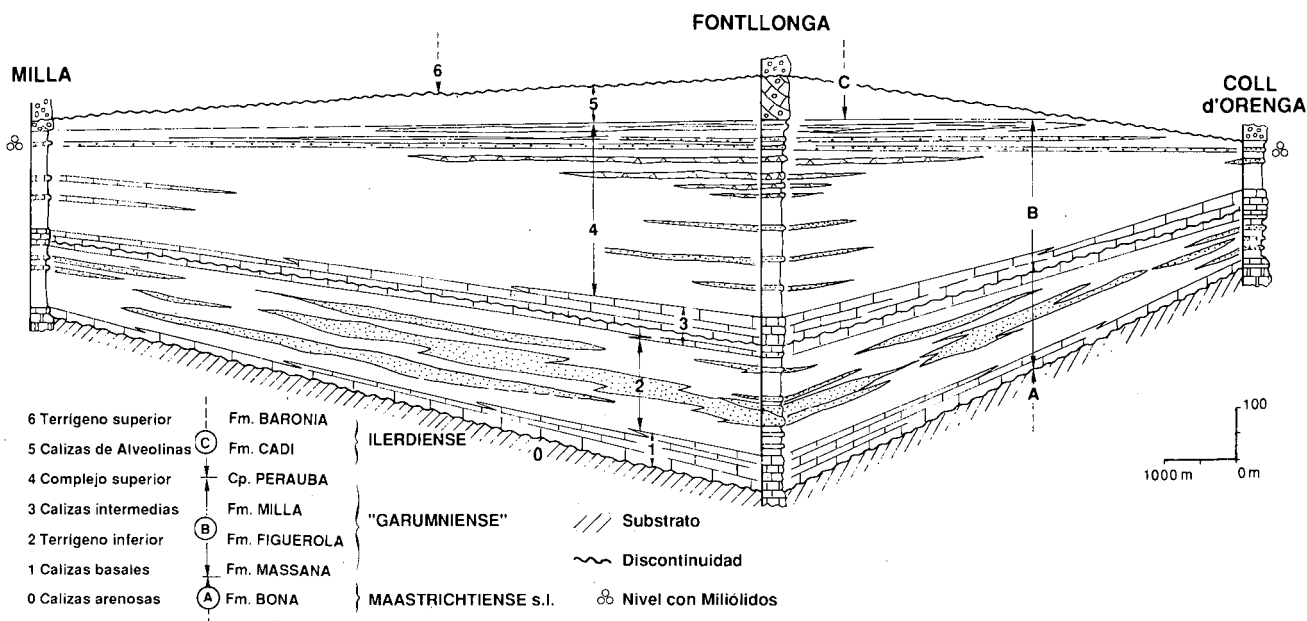


Figura 2. Esquema geométrico general de la Cuenca de Ager y distribución de las principales unidades litoestratigráficas diferenciadas (modificado de Cuevas y Mercadé, 1986).

Figure 2. Schematic correlation diagram of the Ager Basin showing the distribution of the main lithostratigraphic units (after Cuevas and Mercadé, 1986, modif.).

sitados durante el Mesozoico y otra parte durante el Cenozoico inferior. Eso, en parte, ha contribuido a incrementar la imprecisión, ya que a algunos tramos caracterizados por una litología concreta se les ha supuesto una acepción cronoestratigráfica específica. De manera que se ha establecido una subdivisión estratigráfica con un "Garumniense inferior" (Cretácico) y un "Garumniense superior" (Terciario) separados por un nivel carbonatado que se extiende por toda la cuenca de Ager, similarmente a lo que sucede, al menos en parte, en la Cuenca de Tresp (Rosell, 1967; Rosell y Llompart, 1988; Liebau; 1973; Cuevas, 1992). Así, durante mucho tiempo, se ha supuesto que el límite K/T estaba relacionado con un tramo carbonatado concreto, persistiendo de esta manera las ideas erróneas antiguas que asociaban un cambio litológico a un cambio cronoestratigráfico.

Como que la precisión cronoestratigráfica lograda hasta ese momento no estaba en consonancia con lo que los nuevos procedimientos permitían, se intentó precisar al máximo, dónde se encontraba exactamente el límite entre el Secundario y el Terciario en el NE de España en general y en la región de Ager en particular. Para realizar un trabajo de este tipo, en primer lugar se deben conocer los límites bioestratigráficos y cronoestratigráficos aceptados actualmente y luego intentar su aplicabilidad a la zona estudiada. Además hay que tener

en cuenta que en medios sedimentarios continentales todavía ahora no existe un acuerdo unánime sobre dónde, cómo y cuándo se efectúa claramente el tránsito entre el Mesozoico y el Cenozoico (límite K/T).

De manera que se ha constatado que en el tránsito K/T los límites no son coincidentes según sean los grupos de fósiles considerados (Feist y Colombo, 1983; Ashraf y Erben, 1986; ...etc.). Aunque en principio se propuso que ese límite quedara definido por la desaparición de los grandes reptiles, otros grupos de organismos fósiles tienen una dispersión vertical diferente. Así algunos se pueden prolongar, con características mesozoicas, por encima de los últimos niveles con restos de grandes reptiles.

Con el impulso que supuso el cambio de paradigma propuesto en los trabajos originales de Alvarez *et al.*, (1977; 1982), se han realizado estudios específicos (Medus *et al.*, 1988; Medus y Colombo, 1991; Medus, Colombo y Durand, 1992; Galbrun *et al.*, 1993) con el fin de localizar el nivel de enriquecimiento en Iridio, que ha sido citado con dispersión mundial como correspondiente a un evento catastrófico asociado al límite K/T. Hasta el momento no se ha podido hallar con certeza ese nivel de Iridio pero en cambio se ha llegado a un cierto grado de precisión en la delimitación del tránsito K/T en la región de Ager, mediante estudios estratigráficos y de paleomagnetismo.

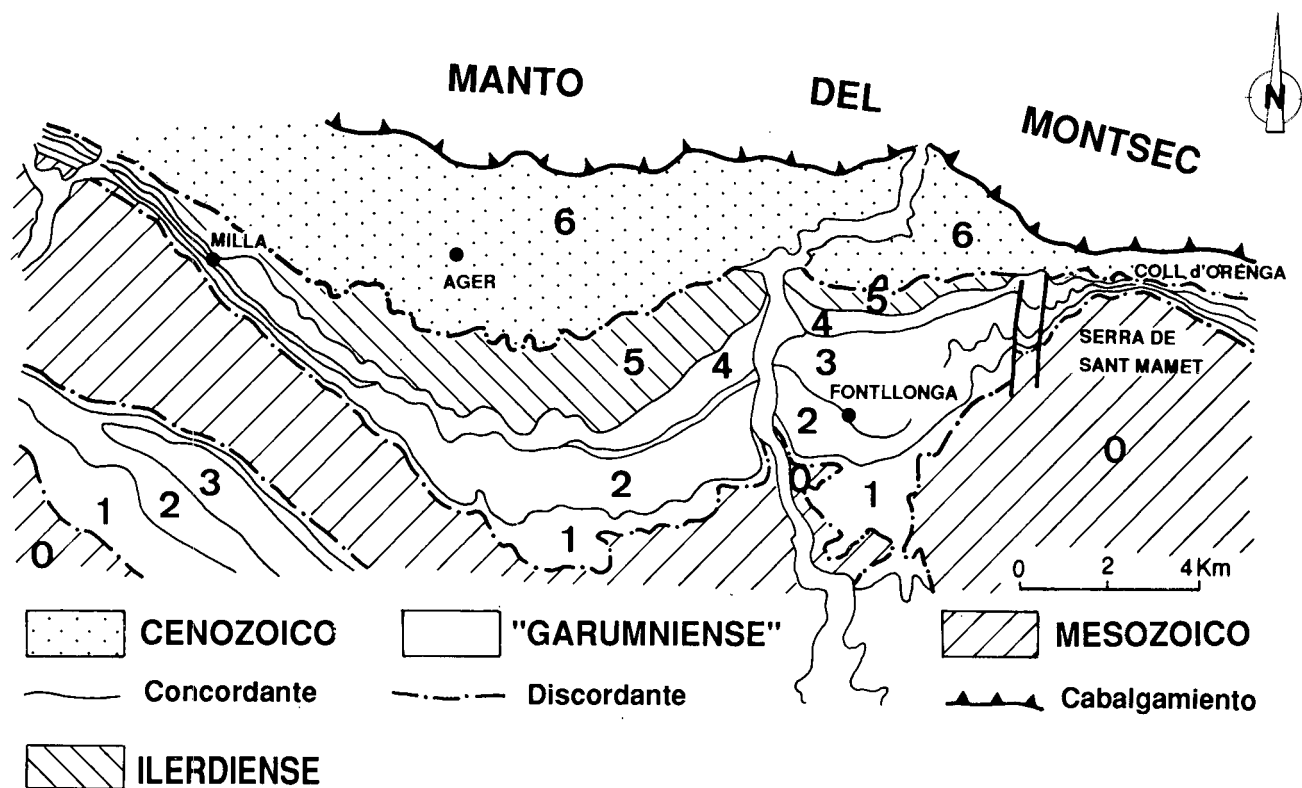


Figura 3. Cartografía simplificada de la Cuenca de Ager. La numeración es la misma que la de la figura 2.

Figure 3. Simplified geological map of the Ager Basin. Same legend as in figure 2.

ENCUADRE ESTRATIGRAFICO Y SEDIMENTOLOGICO

Tradicionalmente se ha considerado que el relleno sedimentario continental del sector meridional de la pequeña cuenca de Ager, situada en la vertiente meridional de los Pirineos Centrales-Orientales, corresponde al Grupo Trepmp (Cuevas, 1992) definido anteriormente como Formación Trepmp (Mey *et al.*, 1968), que a grandes trazos se sitúa entre las unidades de la Fm. Aren (inferior) y la Fm. Cadí (superior). Aunque en principio los materiales continentales fueron asimilados a esa Formación, la variabilidad del yacente, las diferencias litológicas y el aislamiento de los afloramientos de Ager con respecto a los de Trepmp, aconsejan no utilizar esta denominación para designar a los materiales "Garumnienses" en la cuenca de Ager.

Se han medido diversas columnas estratigráficas con el fin de realizar un control de las variaciones laterales de potencia que puedan mostrar las unidades diferenciadas.

Así, la columna principal se ha levantado en la carretera del Doll desde la zona de La Massana al Sur hasta las cercanías de la Baronia de Sant Oïsmè al Norte, y las columnas de referencia se han medido en la transversal de la población de Millà al Oeste y en las cercanías de la collada de Perauba (inmediaciones del Coll d'Orenga) al Este, respectivamente.

Debido a la gran variabilidad litológica y a la distribución geométrica de los diferentes niveles, se ha elevado el orden y cambiado la denominación de la mayor unidad litoestratigráfica que, a su vez, admite una subdivisión estratigráfica más detallada (Fig. 2). Por tanto se propone la subdivisión litoestratigráfica siguiente:

Grupo Fontllonga:

Entre los materiales cretácicos, carbonatados y terrígenos de la Fm. Bona, que constituyen el substrato y los materiales carbonatados marinos (calizas con alveoli-

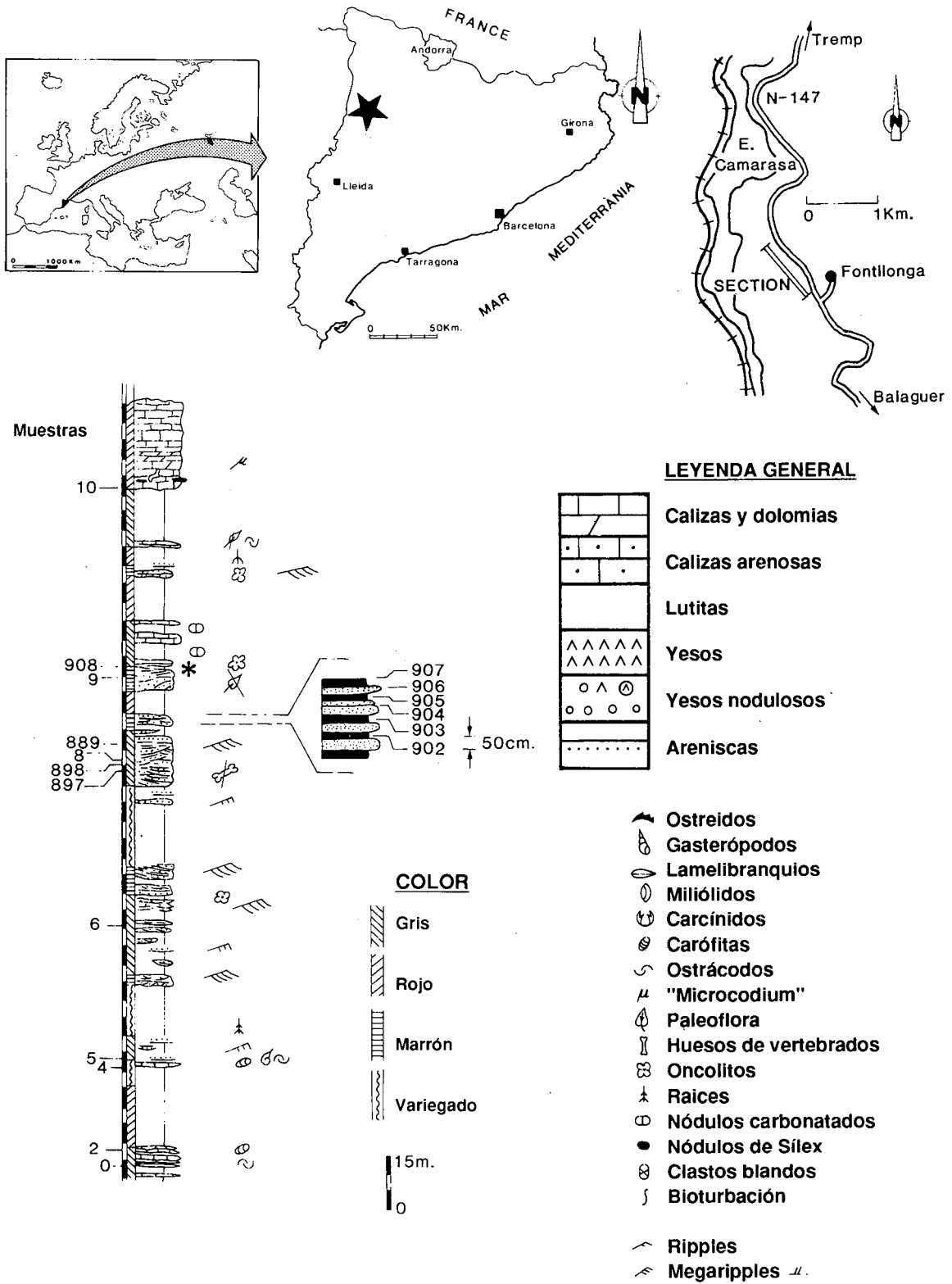


Figura 4. Columna estratigráfica estudiada en detalle en el corte de Fontllonga. Se resaltan las muestras con contenido paleontológico estudiado. El asterisco indica el nivel con restos de peces seláceos tipo Raya.

Figure 4. Stratigraphic profile of the Fontllonga area. The samples with studied paleontological remains can be noted. Remark the level with selacean remains (star).

nas) ilerdienses (Fm. Cadí) que constituyen el límite superior, se hallan comprendidos los materiales predominantemente continentales objeto de este trabajo y que reciben la denominación de Grupo Fontllonga (Fig. 3).

A grandes rasgos se distinguen cuatro unidades concordantes entre sí (Colombo, Cuevas y Mercadé, 1986): calizas basales (Fm. Massana), tramo detrítico inferior (Fm. Figuerola), carbonatos intermedios (Fm. Millà) y complejo superior (Compl. de Perauba). Estas unidades han recibido, respectivamente, las denominaciones formales siguientes:

Formación Calizas de La Massana:

Con esta denominación se han citado (Puigdefábregas *et al.*, 1989) las calizas basales que muestran una potencia tipo del orden de unos 80 m. Se hallan intercaladas con algunos tramos lutíticos que cambian lateralmente de potencia unitaria y son más potentes a techo de la Unidad. Se hallan bien representadas en la zona de La Massana, cercana a la presa del Embalse de Camarasa de donde toman la denominación y donde tienen una potencia del orden de 80 m. Lateralmente presentan 40 m de potencia en Millà y 60 m en Perauba. Presentan un contacto basal neto con respecto a la infrayacente Fm. Bona, y concordante y transicional con respecto al tramo terrígeno que se le superpone. Contienen restos de fauna de agua dulce como ostracodos, carófitas y gasterópodos.

La distribución vertical de las facies está caracterizada por calizas laminadas hacia la parte inferior, donde se hacen muy patentes los bandeados claros y oscuros que representan variaciones importantes en el contenido en materia orgánica, y que a su vez muestran una brechificación relativamente importante. Le siguen unas facies de carbonatos micríticos más claros, con laminación que localmente ha sido generada por una gran acumulación de bioclastos. Finalmente existen facies predominantemente lutíticas grisáceas.

Las asociaciones de facies sugieren que esos materiales fueron depositados en un ambiente lacustre somero, con existencia de zonas protegidas que posibilitan la preservación de materia orgánica en condiciones anóxicas. Periódicamente, debido a fluctuaciones del nivel freático o a períodos de retracción lacustre, se implantaría una abundante vegetación que podría generar una importante brechificación de tipo edáfico.

En conjunto se trataría de una sedimentación lacustre-palustre sin evidencias de estratificación de aguas y por tanto con características someras. La distribución vertical de las facies sugiere diversos estadios de somerización, lo que implica diversos episodios de retracción lacustre que condicionan, a gran escala, una secuencia reactiva.

Formación Areniscas y Lutitas de Figuerola de Meià:

Corresponde (Puigdefábregas *et al.*, 1989) al tramo detrítico inferior con una potencia de unos 195 m., que se halla ampliamente representado en las inmediaciones de la población de donde toma su denominación. Lateralmente, en la zona de Millà su potencia es de 80 m, mientras que alcanza los 120 m en Perauba. Está constituida por lutitas rojas predominantes hacia las partes basales con intercalaciones, que van haciéndose más abundantes hacia la parte media del tramo, de niveles arenosos localmente muy potentes (Fig. 4). Estos se extienden a lo largo de toda la cuenca y se acuñan lateralmente.

Los niveles terrígenos más altos, con una potencia máxima del orden de 80 m. y gran continuidad lateral, se conocen con la denominación local de "Areniscas con reptiles" (Sole Sugrañes, 1970; Masriera y Ullastre, 1983; 1990). Debido a su gran extensión lateral y presencia en otros afloramientos pueden llegar a tener, como unidad litoestratigráfica, la categoría de Miembro (Fig. 5).

Las lutitas ocre-rojizas, predominantes hacia las partes basales de la unidad, muestran trazas verticales de bioturbación muy intensa con algunos tipos de paleosuelos no muy bien desarrollados. Los tramos terrígenos más gruesos, se hallan constituidos por areniscas cuarzo-arcósicas con granulometrias de finas a gruesas con escasos clastos blandos asociados a algunas cicatrices erosivas. También se presentan esporádicas intercalaciones carbonatadas con potencias decimétricas.

La distribución vertical de las facies arenosas muestra una gran predominancia de bancos tabulares con estratificación cruzada planar y abundantes superficies de reactivación hacia la base del tramo. Se les superponen bancos más potentes de areniscas con estratificación cruzada métrica en surco. Las areniscas acaban con unos delgados niveles decimétricos de granulometría más fina y con laminación subhorizontal.

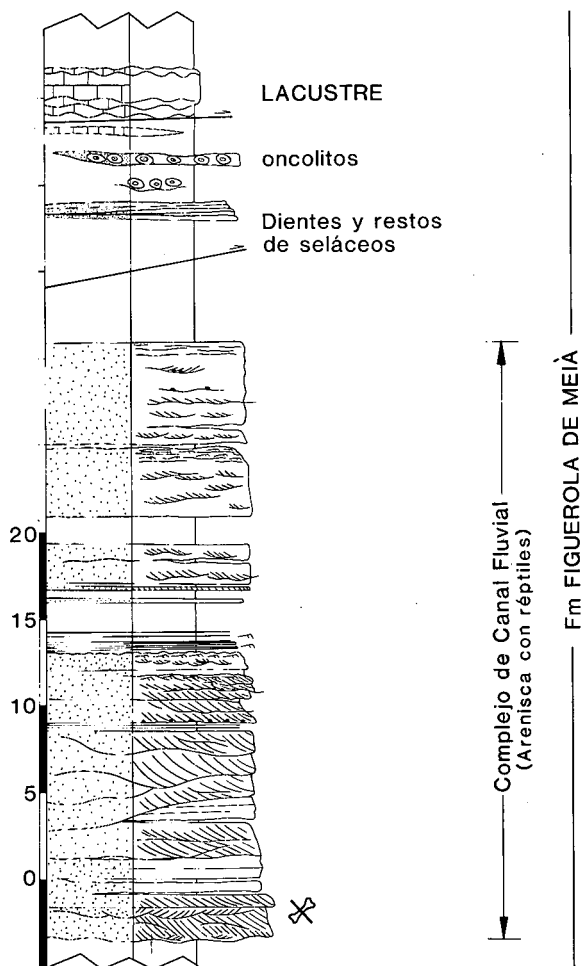


Figura 5. Sucesión estratigráfica de los diferentes niveles en el tramo terrígeno principal de la "Arenisca con reptiles".

Figure 5. Stratigraphic series of the main terrigenous interval of the "Arenisca con Reptiles" unit.

Localmente existen grandes discontinuidades curvadas que delimitan cuerpos de diferente granulometría y litología (localmente lutíticos). En algunos lugares existen clastos blandos muy abundantes, mientras que en otros existen algunos gránulos cuarzosos dispersos y esporádicamente aparecen fragmentos de huesos de dinosaurios transportados como clastos. Sobre todo el conjunto arenoso se desarrolla un nivel carbonatado de gran extensión lateral, con restos de fauna de agua dulce y poca potencia unitaria (del orden de 3 m) que se intercala con algunos tramos lutíticos más abundantes hacia la parte superior del tramo (Fig. 5).

La interpretación sedimentológica general corresponde a un sistema fluvial con una extensa llanura de inunda-

ción afectada por prolongados períodos de exposición subaérea donde se desarrollarían diversos tipos de paleosuelos. Los esporádicos nódulos alabastrinos de yeso situados dentro de las lutitas sugieren un desarrollo mediante bombeo evaporítico y por tanto indican diversos episodios de aridez extrema.

El tramo terrígeno principal, con características arcóscicas parece haber sido depositado en un medio fluvial con paleocorrientes hacia el N y NW (Cuevas y Mercadé, 1986) en un complejo de tipo trenzado (*braided*), caracterizado por diversos canales con jerarquías diferentes y que fueron activos en períodos diferenciados. En los canales principales, los materiales arenosos se transportaban mediante diversos tipos de formas de fondo compuestas (barras), mientras que en las zonas intermedias entre ellos se depositaban materiales arenosos con formas de fondo de menor entidad (dunas y *ripples*). Localmente existen algunos cuerpos de areniscas con geometría tabular a gran escala, situados generalmente a techo de las principales unidades arenosas, que muestran discontinuidades oblicuas de primer orden. Han sido interpretados como canales secundarios con características funcionales de tipo meandriforme (Fig. 6).

Existen intercalaciones de lutitas grises con abundantes restos de fauna, entre la que destacan restos de huesos y huevos de dinosaurios, ostrácodos, carófitas y dientes de peces seláceos (*Raya*) localmente muy abundantes. Algunos tramos terrígenos muestran deformaciones locales (Llompart, 1979) producidas por huellas de dinosaurios (Fig. 7). Los restos de cocodrilidos son también localmente muy abundantes. Existen restos vegetales y abundantes oncolitos que en ocasiones se han desarrollado sobre valvas de lamelibranchios tipo *Unio* y tipo *Melanopsis* (Llompart y Krauss, 1982).

La interpretación sugiere diversos episodios de abandono del sistema fluvial entrelazado mediante la acumulación de lutitas grises con abundantes restos de fauna en los canales abandonados. Los oncolitos pueden representar diversos episodios de abandono esporádico del sistema funcional. Este acaba siendo abandonado definitivamente mediante la instalación de charcas y lagos extensos y relativamente poco profundos, donde se desarrollaría la sedimentación carbonatada y lutítica del nivel más alto de este tramo.

Formación Calizas de Millà:

Los carbonatos intermedios tienen una potencia del or-

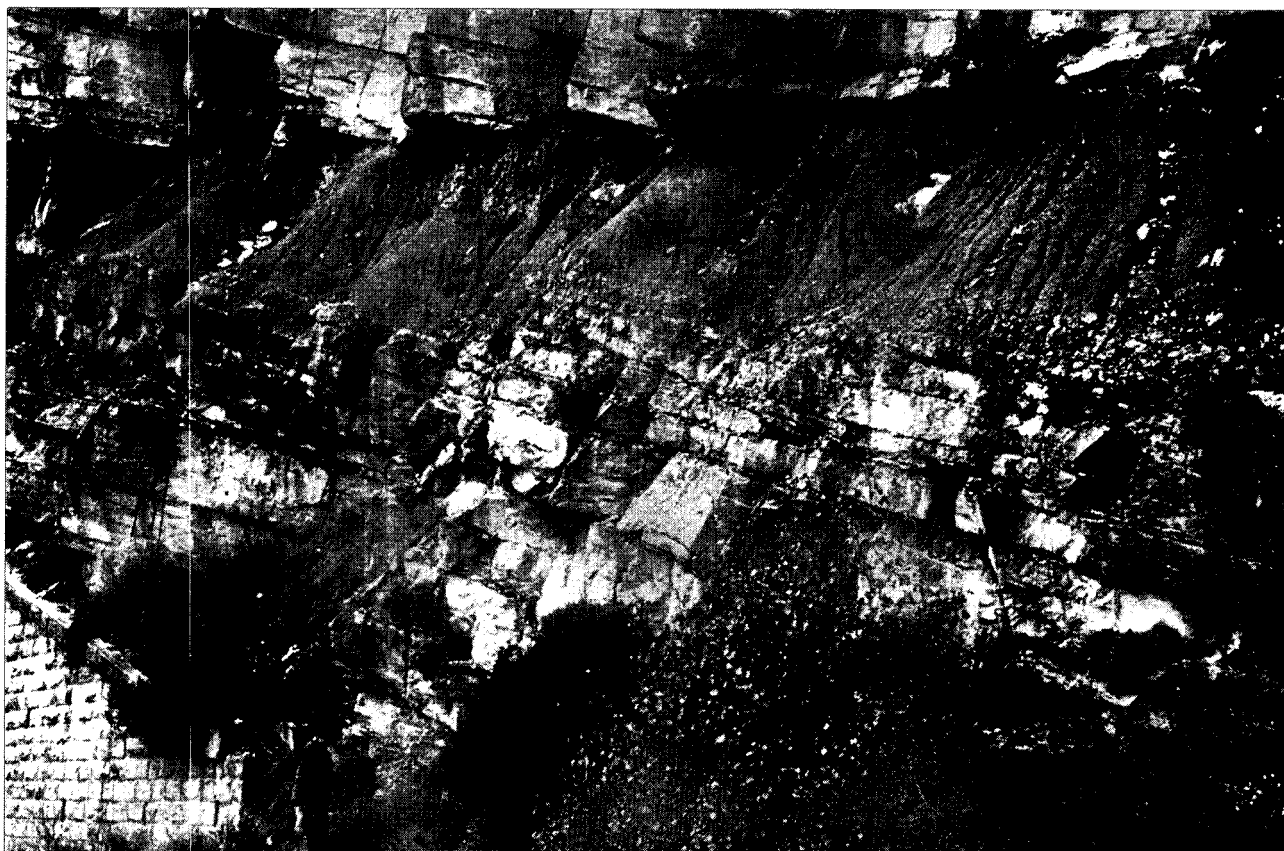


Figura 6. Cuerpos arenosos secundarios, con trazas evidentes de acreción lateral. Las terminaciones de las barras arenosas superiores con respecto a las lutitas suprayacentes son claramente transicionales.

Figure 6. Subsidiary sand bodies, showing lateral accretion features. Note that the upper end of the sandstone units merge transitionally into the upper mudstones.

den de unos 70 m en la columna de la Carretera del Doll, de 35 m en Perauba y de 50 m en Millà, de donde toman su topónimo. Anteriormente recibieron otras denominaciones, como Calizas de Fontllonga (Puigdefábregas *et al.*, 1989) y Calizas de Vallcebre (Solé Sugañes, 1970; Ullastre y Masriera, 1983). Se ha preferido cambiar de nomenclatura ya que las denominaciones previas o no estaban bien establecidas o adolecían de algunos defectos formales tal como la discontinuidad de afloramientos entre Vallcebre (región de Berga) y la zona aquí estudiada, etc.

En los tramos basales corresponden a dolmicritas masivas con algunos nódulos de sílex de hasta 80 cm de diámetro, además existen niveles de calizas bioclásticas con abundancia de restos de ostrácodos y carófitas, y niveles de carbonatos laminados. Hacia la parte superior se presentan calizas micríticas masivas brechificadas y con abundantes colonias de *Microcodium*. En conjunto se han depositado en un ambiente lacustre con una am-

plia faja palustre que implica una edafización y brechificación bien desarrolladas.

Existen asociaciones de facies predominantemente lacustres hacia la base mientras que las características palustres son más evidentes hacia la parte superior. Entre las dos partes existen unos niveles de arcillas rojas que engloban fragmentos brechoides de carbonatos inferiores y rellenan depresiones irregulares desarrolladas sobre los mismos carbonatos, a la vez que presentan carbonatos laminados con geometría bastante irregular. Esto ha sido interpretado como un episodio de carstificación bien desarrollado (Fig. 8).

Así, se produce una sedimentación carbonatada en un medio lacustre donde existiría también la acumulación de sílice procedente probablemente del lavado de los ácidos húmicos procedentes de los paleosuelos desarrollados en la zonas expuestas a la meteorización subaérea (Wells, 1983; Bustillo, 1984). Los delgados tramos car-



Figura 7. Sección de una huella de pisada de dinosaurio. La deformación ejercida sobre el sedimento inferior queda remarcada por el relleno de arenisca del hueco generado.

Figure 7. Section of a dinosaurian foot print. The deformation of the lower sediment is sharpened by the sandy infilling of the cast.

bonatados intercalados con lutitas sugieren la existencia de charcas de menor entidad. Todo ello, junto a la presencia de calizas laminadas (*caliche*), sugiere la existencia de un período de exposición subaérea más o menos prolongado que favorecería el desarrollo de un importante episodio de carstificación a lo largo de toda la cuenca.

Complejo de Perauba:

Bajo esta denominación se ha englobado un tramo que se halla situado sobre los carbonatos de la Fm Millà y bajo los carbonatos (calizas con Alveolinas) superiores (Fm Cadí) que corresponden a los primeros materiales marinos paleógenos bien representados en la zona estudiada. En la sección de la Carretera del Doll (Barranc de la Baronía de Sant Oïme) alcanza una potencia del orden de 380 m, este espesor es de 190 m en la zona de Millà y de 80 m en el Collado de Perauba.

Esta Unidad se halla constituida predominantemente por

un tramo lutítico rojo y versicoloreado en el que se intercalan abundantes tramos arenosos con geometría tabular y granulometría de muy fina a media. Existen diversos litotipos con relaciones geométricas complejas. También existen, en menor medida, cuerpos arenosos con geometría lenticular y estratificación cruzada en surco. Generalmente se amalgaman y forman niveles lateralmente continuos a escala de afloramiento que contienen algunas concreciones oncolíticas y escasos restos de lamelibranquios de concha fina.

En las lutitas aparecen nódulos carbonatados muy abundantes y niveles nodulosos constituidos por calizas margosas que localmente muestran restos de gasterópodos. También existen algunas intercalaciones de carbonatos laminados con abundantes colonias de *Microcodium*. Los carbonatos muestran una bioturbación verticalizada localmente muy intensa. Son frecuentes los restos de gasterópodos pulmonados (*Romanella* ?). Dentro de las lutitas existen nódulos centimétricos de yeso. Localmente existen unos cuerpos yesíferos alargados vertical-



Figura 8. Tramo irregular intercalado en los niveles carbonatados de la Fm Millà. Corresponde a lutitas rojas con fragmentos de carbonatos. Se interpreta como el resultado de un paleokarst bien desarrollado. El espesor total es de 5 m.

Figure 8. Irregular layer embedded in the limestones of the Millà Fm. It is composed of reddish mudstones with limestone breccias. It has been interpreted as the regolith of a well developed paleokarst. Total thickness is 5m.

mente, de escala decimétrica y geometría columnar (Fig. 9). Están constituidos por nódulos de yeso alabastrino.

La interpretación general sugiere una sedimentación lutítica en una zona mal drenada con la posibilidad de desarrollo de "marmorizaciones" cromáticas (variaciones en los frentes de oxidación) en las lutitas (Freytet y Plaziat, 1982) y algunos niveles carbonatados depositados en pequeñas charcas que muestran facies predominantemente palustres. Correspondería a la sedimentación en llanuras fangosas continentales (*mud flats*) en ambiente climático árido que a su vez podrían estar conectadas a las partes más distales de un sistema fluvial. Este quedaría representado por litosomas de areniscas que corresponderían a canales funcionales episódicamente, tal y como lo sugieren los crecimientos oncólitos intercalados.

El conjunto se desarrollaría en un ambiente climático en el que los episodios marcadamente áridos quedarían separados por otros episodios, con humectación efectiva,

donde esporádicamente se pudieran desarrollar algunos paleosuelos calcimorfos. Los cuerpos columnares de yeso corresponderían a los efectos de la nucleación sin-sedimentaria de nódulos yesíferos entorno a la zona radicular de los vegetales (Fig. 10).

Hacia la parte superior del Complejo de Perauba aparece un tramo evaporítico localmente muy bien desarrollado (Fig. 11). Se caracteriza por la predominancia de yesos y lutitas con escasos niveles de areniscas y carbonatos intercalados. Los yesos son masivos, nodulares, bandeados y raramente enterolíticos. El conjunto correspondería (Fig. 12), a una deposición evaporítica con facies laminadas y facies nodulosas. La parte más alta ya presenta un tránsito a materiales carbonatados con restos de fauna marina. Estos corresponden a barras bioclásticas (con gran cantidad de *Miliólidos*), bancos de ostreidos y carbonatos micríticos.

El contexto general representaría un cinturón de facies



Figura 9. Distribución de cuerpos centimétricos y decimétricos columnares de yeso, intercalados en las lutitas. Hay que notar el incremento vertical del número de esos cuerpos hacia la parte superior del tramo.

Figure 9. Spatial arrangement of gypsiferous columnar bodies (up to few tens of centimeters in size), embedded in mudstones. Note the vertical increment of such bodies towards the upper part of the section.

más alejado de los *mud flats*, y dentro de la paleogeografía general correspondería a un conjunto de lagunas evaporíticas tipo *playa-lake*, sin aporte de sulfatos de origen marino (García Veigas, 1988), con oscilaciones repetitivas de la lámina de agua, que sugieren contracciones y expansiones lagunares. Sobre toda esta serie se instala, mediante bancos de ostreidos y materiales bioclásticos, la plataforma carbonatada ilerdense de la Caliza de Alveolinas (Fm. Cadí) con una marcada influencia mareal.

Este conjunto de unidades, con una potencia total del orden de 750 m controlada a lo largo de la sección estratigráfica de la carretera del Doll, corresponde a la parte central de una pequeña cuenca sedimentaria. Esta muestra una disposición geométrica caracterizada por una significativa disminución de potencia hacia el E (zona del Coll d'Orenga) y hacia el W (Millà), mientras que los tramos evaporíticos se hallan localizados únicamente en la zona central (Fig. 2). La disminución de potencia

hacia el E se debe al acúñamiento sedimentario de las series, así como por la erosión de la parte alta del Complejo de Perauba previa a la deposición de los materiales terrígenos basales del Eoceno (Fm. La Baronía).

Consideraciones generales:

La interpretación sedimentológica general implica una secuencia regresiva desde la parte superior del Maastrichtiense marino (Fm. Bona) hasta el techo de los carbonatos intermedios (Fm. Millà). Posteriormente se instala una secuencia transgresiva que corresponde al complejo superior (Complejo de Perauba) donde se pasa desde *mud flats* áridos a zonas de lagunas evaporíticas, y a zonas de tránsito a los materiales marinos superiores (Fm. Cadí) ilerdenses.

El máximo regresivo corresponde a los cuerpos arenosos de gran potencia (hasta 40 m.) intercalados hacia la

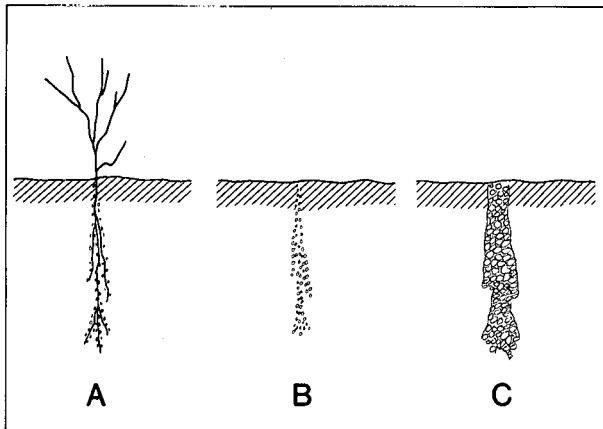


Figura 10. Esquema de la génesis de los cuerpos columnares de yeso, como resultado de la nucleación (A) de pequeños nódulos yesíferos (B) alrededor de las zonas radiculares de los vegetales. Posteriormente a la desaparición de la raíz se produce un aumento importante del volumen de la columna yesífera (C).

Figure 10. Inferred growing process of the columnar gypsiferous bodies, from the nucleation (A) of gypsum nodules (B) around the roots of plants. After the disappearance of the root remains, and increase in the volume of the gypsiferous columnar bodies can be noted (C).

parte media del tramo detrítico inferior y que localmente se conocen como "Areniscas con reptiles". Por contra, el máximo transgresivo corresponde a las calizas superiores con *Alveolinas* (Fm. Cadí).

La geometría de la pequeña cuenca de Ager queda reflejada por la subsidencia del depocentro localizado (Fig. 2) en la zona de la sección estratigráfica de la carretera del Doll, que a su vez ha estado controlada por movimientos tectónicos que han tenido lugar en esta zona desde el Maastrichtiense hasta el Paleoceno.

Se ha estudiado con especial interés el tramo detrítico inferior donde por criterios bioestratigráficos se conoce que se ubica el tránsito entre el Mesozoico y el Terciario (Llompart y Krauss, 1982; Feist y Colombo, 1983). Ahora bien, debido a la similitud de facies y sobre todo a la poca precisión cronoestratigráfica que han proporcionado los diferentes grupos de fósiles estudiados, hasta este momento no se conoce con suficiente exactitud donde se sitúa este tránsito.

Existen algunos datos de paleomagnetismo que ayudan a precisar la situación del tránsito K/T y a relacionarlo con los datos proporcionados hasta la fecha por el estudio de los diferentes grupos de organismos fósiles.

EL LIMITE CRETACICO-TERCIARIO (K/T)

Para concretar la situación de ese límite se ha partido del nivel de precisión/imprecisión conocido. Hasta hace poco, se conocía que ese límite se podía encontrar asociado a techo de los carbonatos intermedios (Fm. Millà) y coincidiendo con la superficie de emersión generalizada (Rosell, 1967; Rosell y Llompart, 1988, etc.) asociada al paleokarst. Posteriormente, los nuevos datos (Feist y Colombo, 1983) indicaban que el límite se hallaba asociado a la parte superior de la "Arenisca con Reptiles" (Fm. Figuerola de Meià), situada claramente por debajo de la Fm. Millà, tal y como lo sugerían las asociaciones de fósiles estudiados.

Los diversos trabajos que se han ido realizando se han focalizado hacia la concreción de ese límite. Los resultados (Medus *et al.*, 1988; Medus y Colombo, 1991; Medus, Colombo y Durand, 1992; Galbrun *et al.*, 1993) han permitido constatar una falta de unanimidad en cuanto a la precisión en la ubicación de ese límite (K/T). Así, por un lado todavía no se conoce con una precisión adecuada la distribución vertical de las palinofloras (Medus *et al.*, 1988; Medus y Colombo, 1992; Medus, Colombo y Durand, 1992) en ese límite, mientras que por otro lado existe una cierta imprecisión en cuanto a la distribución vertical de las carófitas, y los datos de los gasterópodos y los escasos lamelibranquios, no parecen ser de gran utilidad cronoestratigráfica (Fig. 4).

Las asociaciones de polen y esporas son bastante similares a las descritas en Norteamérica (Nichols *et al.*, 1986; Tschudy y Tschudy, 1986), pero con la particularidad de que algunas formas consideradas típicas del Terciario se han encontrado en niveles maastrichtienses y, por el contrario, formas características del Cretácico se han encontrado en materiales que pueden ser atribuibles a la base del Terciario. Ahora bien, el cambio en la composición de la palinoflora (Medus y Colombo, 1991; Medus, Colombo y Durand, 1992) en el tránsito entre el Daniense y el Paleoceno podría corresponder a una cuestión paleoclimática ya que las dos poblaciones de palinofloras, muy diferentes entre sí, se hallan separadas por un lapso de tiempo muy corto. Hasta el momento, las asociaciones palinoflorísticas halladas, no permiten diferenciar con gran precisión las floras de la parte superior del Maastrichtiense de las de la base del Terciario (Daniense-Taneiciense).

En concreto se ha llegado a la conclusión de que se produce un cambio en tres fases (Medus, Colombo y Durand, 1992): 1) un decrecimiento y una extinción de los

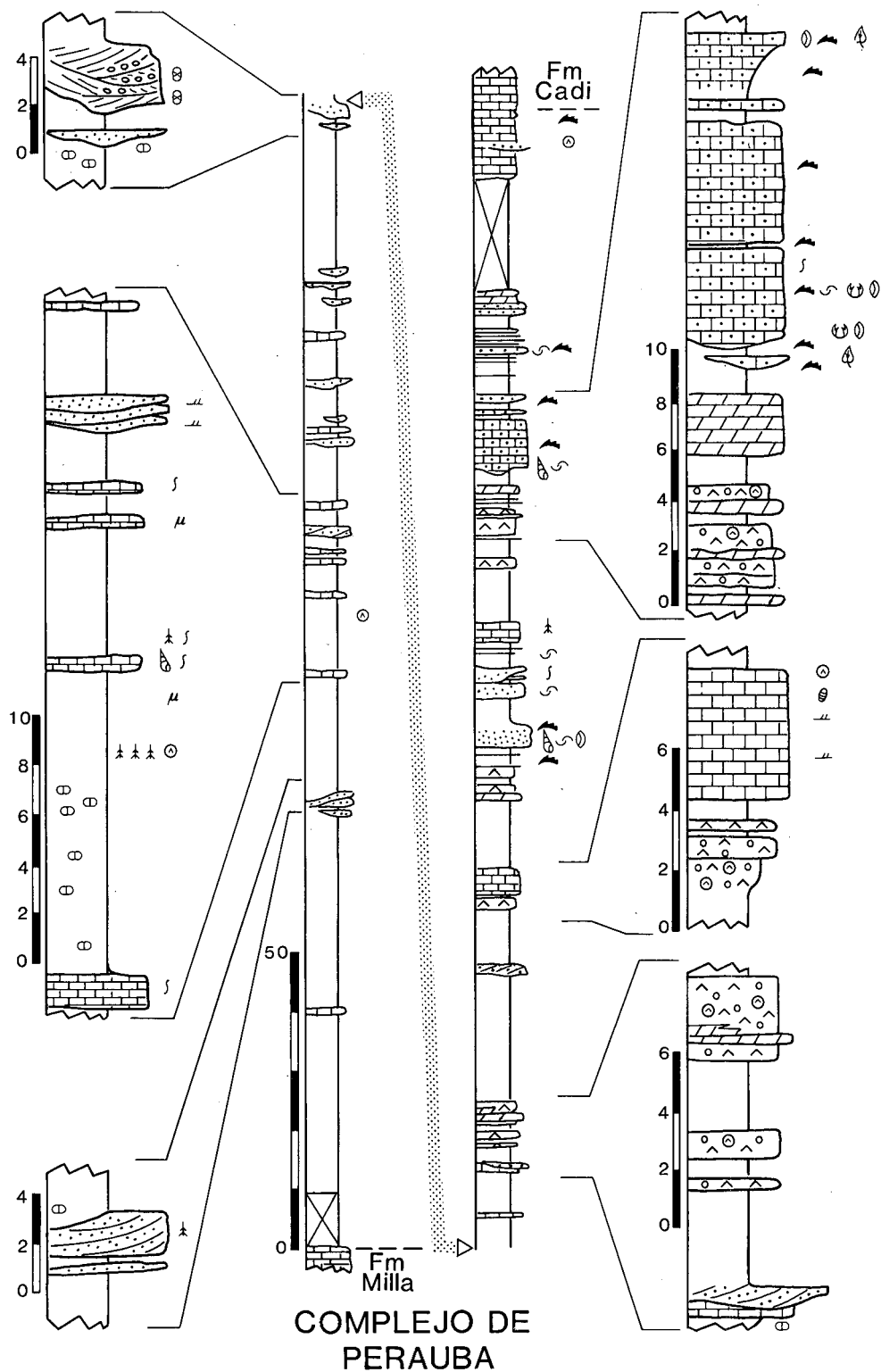


Figura 11. Columna estratigráfica sintética del Complejo de Perauba. Hay que notar las intercalaciones con fauna marina, muy importantes hacia la parte superior del tramo. En las ampliaciones se observan en detalle los diferentes litosomas presentes. Leyenda general en fig. 4.

Figure 11. Schematic stratigraphic profile of the Perauba Complex. Note the presence of sediments with marine fauna in the upper part of the unit. Same legend as in fig. 4.

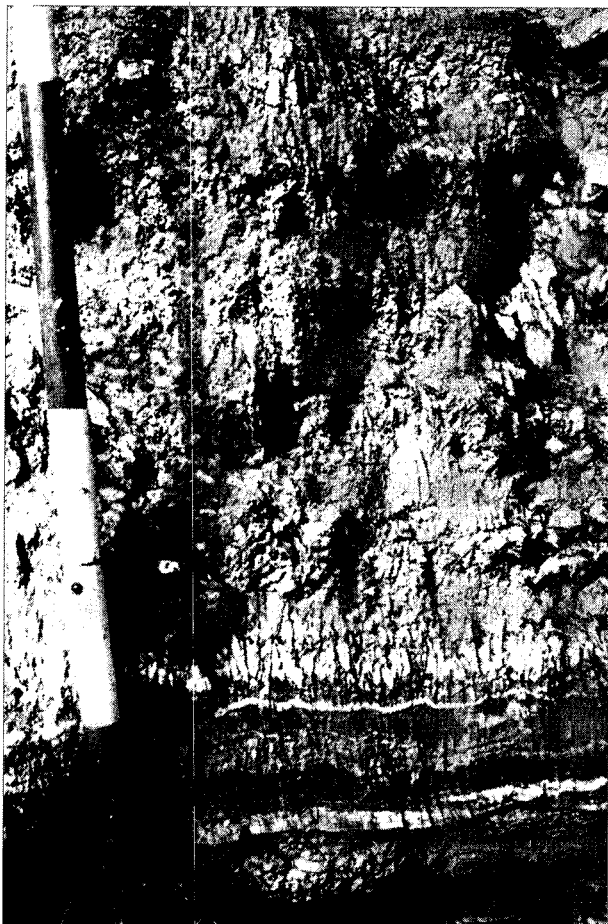


Figura 12. Disposición de los niveles yesíferos. Se interpretan como depositados en ambiente de *playa-lake*. La escala corresponde a tramos de 10 cm de potencia.

Figure 12. General view of the gypsum beds. They are interpreted as playa-lake deposits. Rule divisions are 10 cm thick.

especímenes senonenses (Cretácico superior): 2) una expansión de la flora Daniense a partir ya desde los niveles del Maastrichtiense inferior (Medus, 1977): 3) la introducción de especímenes más modernos, correspondientes ya al Terciario. El segundo cambio abre el camino, durante el Taneciense inferior a la expansión de la flora más moderna.

Los ostrácodos y los gasterópodos son bastante escasos y solo han proporcionado una información bioestratigráfica banal. Dentro de los niveles claramente cretácicos se han encontrado asociaciones de ostrácodos y gasterópodos que coexisten, en el SE de Francia, con restos de dinosaurios. Por otro lado existen asociaciones con restos de algunos ostrácodos que se distribuyen verticalmente desde el Maastrichtiense hasta el Paleoceno.

Igual sucede con algunos de los escasos gasterópodos presentes, que se distribuyen verticalmente sin ninguna relación aparente con el límite K/T.

Las carófitas presentan el problema de que el límite K/T no aparece relacionado exactamente con ningún tipo de asociación específica. De manera que hasta el momento existía un intervalo entre el Cretácico superior y el Paleoceno inferior no subdividido y que correspondía aproximadamente a 5 millones de años, comprendido entre las últimas floras cretácicas (Maastrichtiense superior) y la parte superior del Daniense-Montiense (Riveline, 1986). Aunque se han definido cinco biozonas superpuestas que abarcan el tránsito K/T, éste se hallaría ubicado dentro de la zona local nº 4 (Galbrun *et al.*, 1993). Ello se debe a que ahí coexisten formas claramente del Maastrichtiense superior con formas que corresponden a ancestrales del Taneciense (Fig. 13).

Así, los conocimientos actuales de tipo paleontológico, no permiten conocer con exactitud suficiente, la posición del límite K/T en el área de Ager, ya que existe un tramo de imprecisión del orden de 15-20m.

Con respecto a la capa de enriquecimiento en Iridio, se recolectaron sistemáticamente muestras en los intervalos litoestratigráficos donde se conocía, por criterios paleontológicos, la posible ubicación del límite K/T. El resultado indica que no se llegaron a encontrar concentraciones significativas mayores que 100 pg/g. Por tanto se puede llegar a la conclusión de que en la sección de la carretera del Doll (inmediaciones de Fontllonga) no aparece una capa de enriquecimiento en Iridio en la zona donde, por criterios paleontológicos, se ubica el tránsito entre el Cretácico y el Terciario (Galbrun *et al.*, 1993).

El estudio paleomagnético de los mismos niveles muestra dos grupos principales de paleodirecciones claramente diferenciados que corresponden a polaridad inversa, normal, y escasas paleodirecciones intermedias. Cuando los datos se han incorporado a la columna estratigráfica (Fig. 13), han permitido proponer una secuencia de polaridad magnética, con la particularidad de que ésta es discontinua ya que existen pequeñas lagunas de observación y algunas muestras no son favorables. A grandes rasgos la parte inferior de la secuencia muestra una polaridad magnética normal mientras que la parte superior muestra una característica polaridad magnética inversa. Los niveles que representan variaciones locales de polaridad y que se han medido con una sola muestra, se ha dibujado en forma de pequeñas barras.

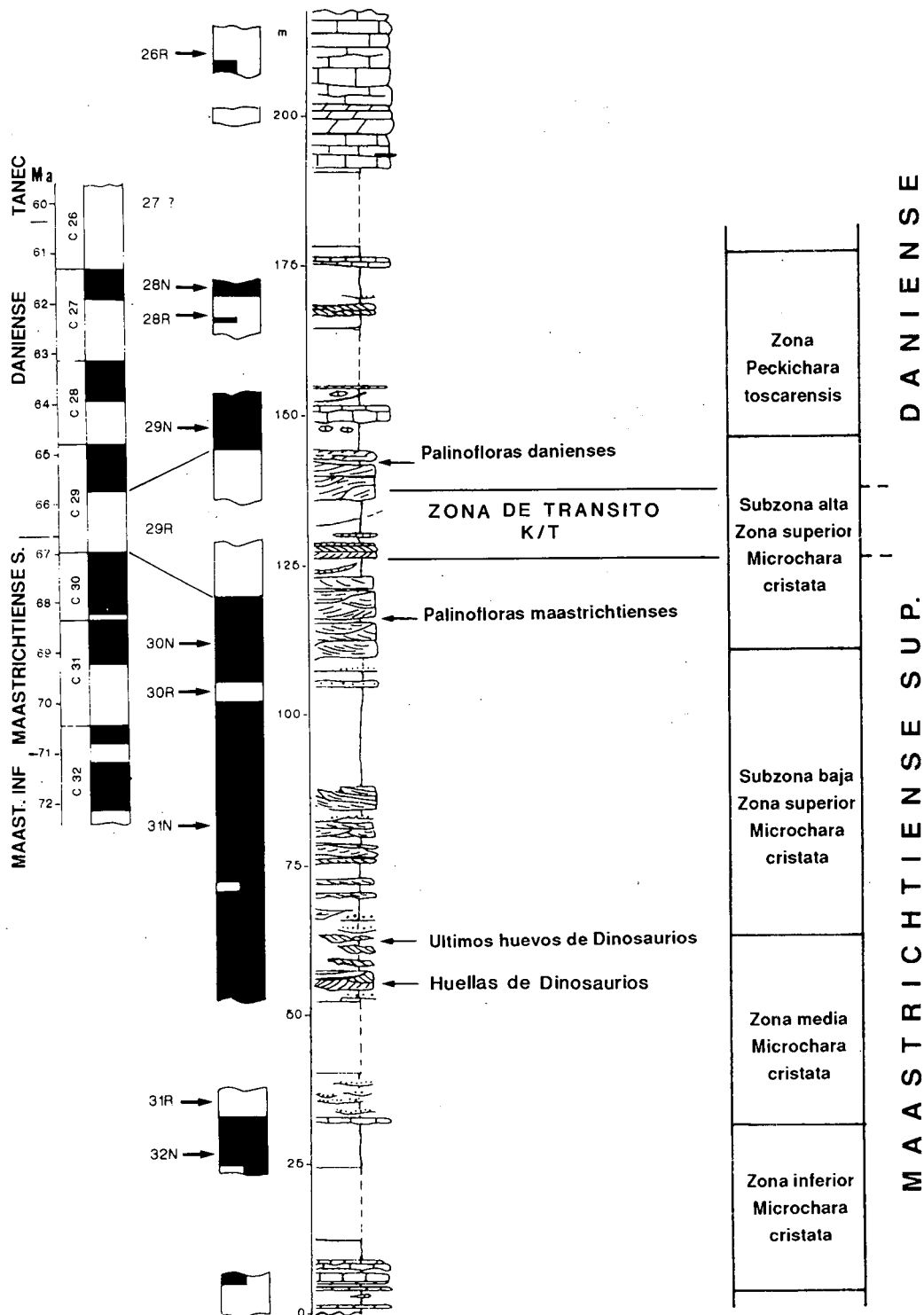


Figura 13. Magnetoestratigrafía de la columna estratigráfica de Fontllonga. La columna de polaridad magnética está referida a la estandar de Haq *et al.*, 1987. Obsérvese la distribución de las biozonas locales de carófitas y la posición del tramo de imprecisión situado entre el Maastrichtiense superior y el Daniense (modificado de Galbrun *et al.*, 1993)

Figure 13. Magnetostratigraphic section of the Fontllonga area. The magnetic polarities have been referred to the standard defined by Haq *et al.*, 1987. Note the distribution of the local charophyte biozones, and the position of the imprecision level located between the Upper Maastrichtian and the Danian (after Galbrun *et al.*, 1993, modif.).

DISCUSION Y CONCLUSIONES:

Como que el grado de precisión de los distintos grupos de fósiles estudiados no permiten una ubicación precisa del límite K/T, se ha preferido complementar los datos con los procedentes de los estudios de paleomagnetismo. Así, se conoce que el límite K/T se encuentra dentro del Cron 29R (Alvarez *et al.*, 1977; Chave, 1984; Petersen *et al.*, 1984) pero su posición exacta no está bien determinada ya que no existe una uniformidad sedimentaria en los afloramientos estudiados. Ahora bien, se utilizan las secuencias magnéticas standard bien correlacionadas con biozonaciones marinas (Haq., *et al.*, 1987) de amplitud global.

La existencia de datos procedentes del estudio de diferentes grupos de organismos fósiles, junto a los datos paleomagnéticos del perfil de la carretera del Doll (Fontllonga), permiten realizar una buena correlación con la secuencia paleomagnética standard. La sección abarca a grandes rasgos los Cronos 32R a 26R, desde el Maastrichtiense inferior a Taneciense inferior. A pesar de algunas discontinuidades en los datos, la sucesión más continua abarca desde los cronos 31N a 28R. Así, el Cron 29R donde se sitúa el límite K/T ha sido identificado claramente, tal y como sucede en Norteamérica (Wolbach *et al.*, 1985) y no tan claramente en el SE de Francia (Westphal y Durand, 1991; Galbrun *et al.*, 1991), siendo ésta una aportación significativa.

Por otro lado, las extinciones en esta zona de las carófitas cretácicas y de los dinosaurios (últimas apariciones de restos de huevos, huellas,...) parece haber ocurrido unos dos millones de años antes que el principio del Terciario. Así esas extinciones podrían haber tenido lugar antes e independientemente de la crisis asociada al límite K/T. Esta disociación ya fué sugerida en parecidos términos en el SE de Francia (Galbrun *et al.*, 1991). Así, esas extinciones habrían tenido lugar como consecuencia del deterioro climático en condiciones de importantes descensos de temperatura durante el Campaniense y el Maastrichtiense.

Por lo que se refiere a la ausencia de la anomalía de Iridio, aunque es una cuestión interesante, no conviene utilizarla como un argumento definitivo a favor de la presencia mundial de los efectos catastróficos de la crisis global asociada al límite K/T. En el perfil de la carretera del Doll (Fontllonga) todo el Cron 29R se halla contenido en unos materiales lutíticos y arenosos depositados en un medio fluvial de tipo trenzado (*braided*), cuyas características sedimentológicas implican una elevada

tasa de retrabajamiento sinsedimentario de los materiales. Por tanto, las posibilidades de preservación de los marcadores del límite K/T (Iridio, espinelas ricas en Ni, minerales de impacto, ...), que representan evidencias de un evento catastrófico a escala global, son muy escasas.

En concreto, la carencia del nivel de enriquecimiento en Iridio se puede deber a dos causas generales. En una primera hipótesis habría que pensar en la no deposición de Iridio en la zona de estudio. Ahora bien, eso parece estar en confrontación con su hallazgo en zonas geográficas relativamente próximas, como son las zonas de Caravaca y Zumaya, en España y Gubbio en Italia. Por otro lado, hay que tener en cuenta el tipo de medios sedimentarios en los que se depositaron los sedimentos en los que la capa de Iridio se halla contenida, de manera que en las localidades citadas se da el caso de que los materiales fueron depositados en un medio sedimentario claramente marino. En ese medio, cualquier variación sedimentaria externa (de tipo cinerítico, por ejemplo) puede quedar claramente evidenciada.

La segunda hipótesis correspondería a la posibilidad de que, en primera instancia el Iridio se pudo haber depositado. Así, la dinámica autocíclica propia de los medios sedimentarios fluviales sobre los que tuvo incidencia, puede impedir su detección actual teniendo en cuenta que las concentraciones buscadas se hallan muy próximas a los límites inferiores de las escalas de detección de los aparatos utilizados. Por otro lado hay que tener en cuenta que eso no implica la total desaparición de ese nivel de Iridio en medios continentales, ya que éste ha podido ser detectado en un contexto sedimentario similar (Raton Basin, USA) pero asociado a unos niveles carbonosos que sugieren un intenso episodio de concentración.

Por tanto, desde el punto de vista sedimentológico no parece existir una relación muy estrecha entre eventos catastróficos a escala global y variaciones importantes en las condiciones de sedimentación, detectables preferentemente en medios sedimentarios marinos y de muy difícil precisión en medios sedimentarios continentales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos las indicaciones y sugerencias aportadas durante la revisión crítica del manuscrito por el Dr. Ignasi Queralt y dos revisores anónimos que han contribuido a mejorar el trabajo.

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Proyecto DIGICYT PB91-0805.

BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ, W., ALVAREZ, L. W., ASARO, F. y MICHEL, H.V., 1982; Current status of the impact theory for the terminal Cretaceous extinctions. *Geol. Soc. Spec. Paper*, 190: 305-315.
- ALVAREZ, W., ARTHUR, M. A., FISHER, A. G., LOWRIE, W., NAPOLEONE, G., PREMOLI SILVA, I. y ROGGENTHEN, W.M. 1977; Upper Cretaceous-Paleocene magnetic stratigraphy at Gubbio, Italy. V Type section for the Late Cretaceous-Paleocene geomagnetic reversal time scale. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 88: 367-389.
- ASHRAF, A.R. y ERBEN, H.K., 1986; Palynologische untersuchungen and der Kreide/Tertiär-Grenze West-Mediterraner Regionen. *Palaeontogr.*, 200: 111-163.
- BATALLER, J.R., 1958; El Garumniense español y su fauna. *Notas y Com. del Inst. Geol. y Minero de España*, 50:1-41.
- BATALLER, J.R., 1959; Paleontología del Garumnense. *Estudios Geológicos*, 15:39-53.
- BUSTILLO, M.A., 1984; Sedimentación lacustre-palustre, formación de ópalos y otras silicificaciones en el Mioceno medio al sur de Villaluenga. *Estudios Geológicos*, 40:137-152.
- COLOMBO, F., CUEVAS, J.L. y MERCADE, L., 1986; La facies garumnense del flanco sur del sinclinal de Ager: análisis sedimentológico. *XI Congreso Español de Sedimentología, Resúmenes de Comunicaciones*, : 50.
- CUEVAS, J.L., 1992; Estratigrafía del "Garumniense" de la Conca de Tremp. Prepirineo de Lérida. *Acta Geol. Hisp.*, 27:95-108.
- CUEVAS, J.L. y MERCADE, L., 1986; Estudio sedimentológico y estratigráfico de la facies garumnense del flanco sur del sinclinal de Ager. *Dept. Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Doc. Int.* 46 pp. Universitat de Barcelona.
- CHAVE, A.D., 1984; Lower Paleocene-Upper Cretaceous magnetostratigraphy, Sites 525, 527, 528 y 529. In T.C. Moore et al., eds. *Deep Sea Drilling Project Leg 74. Init. Rep. DSDP*, 74: 525-531.
- FEIST, M. y COLOMBO, F., 1983; La limite Crétacé-Tertiaire dans le nord-est de l'Espagne, du point de vue des charophytes. *Géol. Médit.*, 20, (3-4):303-326.
- FREYTTET, P. y PLAZIAT, J.C., 1982; Continental carbonate sedimentation and pedogenesis. Late Cretaceous and Early Tertiary of Southern France. *Cont. Sedim.*, 12, 217pp.
- GALBRUN, B., FEIST, M., COLOMBO, F., ROCCHIA, R. y TAMBAREAU, Y., 1993; Magnetostratigraphy and biostratigraphy of Cretaceous-Tertiary continental deposits, Ager Basin, Province of Lerida, Spain. *Paleogeog. Paleoclim. Paleoec.*, 102: 41-52.
- GALBRUN, B., RASPLUS, L. y DURAND, J.P., 1991; La limite Crétacé-Tertiaire dans le domaine provençal: étude magnétostratigraphique du passage Rognac-Vitrollien à l'Ouest du synclinal de l'Arc. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 312: 1467-1473.
- GARCIA VEIGAS, J., 1988; *La formación evaporítica de la facies garumniense de la Conca de Tremp (Lleida)*. Tesis de Licenciatura. UAB-UB. Inédita.
- HAQ, B.U., HARDENBOI, J., y VAIL, P.R., 1987; The chronology of fluctuating sea level since the Triassic. *Science*, 235:1156-1167.
- LAPPARENT, A. F. de, y AGUIRRE, E., 1956; Algunos yacimientos de Dinosaurios en el Cretácico de la Conca de Tremp. *Estudios Geológicos*, 12 (31-32): 377-382.
- LEYMERIE, A., 1863; Note sur la système Garumnien. *Bull. Soc. Géol. France*, 20: 483-488.
- LEYMERIE, A., 1877; Mémoire sur le type Garumnien comprenant une description de la Montagne d'Ausseing, un aperçu des principaux gîtes du Département de la Haute-Garonne et una notice sur la faune d'Auzas. *Ann. Sci. Géol.*, 9
- LIEBAU, A., 1973; El Maastrichtiense lagunar ("Garumniense") de Isona. In: ENADIMSA, *XIII Coloquio Europeo de Micropaleontología*, :87-100.
- LLOMPART, C., 1979; Yacimiento de huellas de pisadas de reptil en el Cretácico superior prepirenaico. *Acta Geologica Hispanica. Homenaje a Lluís Solé i Sabarís*, 14: 333-336.
- LLOMPART, C. y KRAUSS, S., 1982; Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al S. del Montsec (prov. de Lérida). *Bol. Geol. Min.*, 93:371-378.
- MASRIERA, A., y ULLASTRE, J., 1983; Essai de synthèse stratigraphique des couches continentales de la fin du Crétacé des Pyrénées Catalanes (NE de l'Espagne). *Géol. Méditerranéenne*, 20, (3-4): 283-290.
- MASRIERA, A., y ULLASTRE, J., 1990; Yacimientos inéditos de carófitas que contribuyen a fijar el límite Cretácico-Terciario en el Pirineo Catalán. *Rev. Soc. Geol. España*, 3: 33-42.
- MEDUS, J., 1977; Quelques palynoflores du Tertiaire inférieur du Sud de la France et du Nord de l'Espagne. *Rev. Esp. Micropal.*, 7:113-126.
- MEDUS, J., y COLOMBO, F., 1991; Succession climatique et limite stratigraphique Crétacé-Tertiaire dans le N.E. de l'Espagne. *Acta Geol. Hisp.* 26: 27-35.
- MEDUS, J., COLOMBO, F., y DURAND, J.P., 1992; Pollen and spore assemblages of the uppermost Cretaceous continental formations of south-eastern France and north-eastern Spain. *Cret. Res.*, 13: 119-132.
- MEDUS, J., FEIST, M., ROCCHIA, R., BOCLET, D., COLOMBO, F., TAMBAREAU, Y., y VILLATTE, J., 1988; Prospects for recognition of the palynological Cretaceous/Tertiary boundary and

- an iridium anomaly in nonmarine facies of the eastern Spanish Pyrenees: a preliminary report. *Newsl. Statigr.*, 18: 123-138.
- MEY, P.W.H., NAGTEGAAL, P.J.C., ROBERTI, K.J. y HARTEVELT, J.J.A., 1968; Lithostratigraphic sub-division of post-hercynian deposits in the south central Pyrénées, Spain. *Leidse Geol. Mededel.*, 41: 221-228.
- NICHOLS, D. J., JARZEN, D. M., ORTH, D.J. y OLIVER, P.Q., 1986; Palynological and Iridium anomalies at Cretaceous-Tertiary boundary. South-Central Saskatchewan. *Science*, 231: 714-717.
- PETERSEN, N.P., HELLER, F. y LOWRIE, W., 1984; Magnetostratigraphy of the Cretaceous/Tertiary geological boundary. In K.J. Hsü et al., eds. *Init. Rep. DSDP 73*: 657-661.
- PUIGDEFABREGAS, C., COLLINSON, J., CUEVAS, J.L., DREYER, T., MARZO, M., MERCADE, L., NIJMAN, W., VERGES, J., MELLÈRE, D. y MUÑOZ, J.A., 1989; Alluvial deposits of the successive foreland basin stages and their relation to the pyrenean thrust sequences. In M. Marzo y C. Puigdefàbregas, eds., "4th International Conference on Fluvial Sedimentology, Guidebook Series", Excursion nº 10, *Pub. Servei Geològic de Catalunya*, 175 pp.
- RIVELINE, J., 1986; Les Charophytes du Paléogène et du Miocène inférieur d'Europe Occidentale. *Cah. Paléont.* 1-227.
- ROSELL, J., 1967; Estudio geológico del sector del Prepirineo comprendido entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana (Prov. de Lérida). *Pirineos*, (1965), 21 (75-78): 9-225.
- ROSELL, J., y LLOMPART, C., 1988; *Guia Geològica del Montsec i de la Vall d'Ager*. Ed. Montblanc-Martin-CEC, 168 pp.
- SOLE SUGRAÑES, L., 1970; *Estudio geológico del Pirineo entre los ríos Segre y Llobregat*. Tesis Doctoral. Universitat de Barcelona.
- TSCHUDY, R.H. y TSCHUDY, B.D., 1986; Extinction and survival of plant life following the Cretaceous/Tertiary boundary event. Western interior, *North America*. *Geology*, 14: 667-670.
- VIDAL, L.M., 1873; Datos para el conocimiento del terreno Garumniense de Cataluña. *Bol. Com. Mapa Geol. Esp.*, 1: 209-247.
- WELLS, N.A., 1983; Carbonate deposition, physical limnology and environmentally controlled chert formation in the Paleocene-Eocene lake Flagstaff, Central Utah. *Sedim. Geology*, 35: 263-296.
- WESTPHAL, M., y DURAND, J.P., 1990; Magnétostratigraphie des séries continentales fluvio-lacustres du Crétacé supérieur dans le synclinal de l'Arc (région d'Aix-en-Provence, France). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 6 (4): 609- 620.
- WOLBACH, W.S., LEWIS, R. y ANDERS, E., 1985; Cretaceous extinctions: evidence for wildfires and search for meteoritic material. *Science*, 230: 167-170.