

# El Mioceno marino entre las playas de L'Arrabassada y El Miracle (Tarragona): aspectos paleontológicos e implicaciones sedimentológicas

J. M. de GIBERT, J. MARTINELL y R. DOMÈNECH

Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Facultat de Geologia. Universitat de Barcelona. Campus de Pedralbes. E-08071 BARCELONA.

## RESUMEN

En el sector comprendido entre las playas de L'Arrabassada y El Miracle (Tarragona) han sido reconocidas las dos secuencias deposicionales (Garraf y Tarragona) presentes en el área del Camp de Tarragona. El límite entre ellas constituye una superficie de omisión señalada por la presencia de estructuras biogénicas que indican un endurecimiento total o parcial del sedimento. La Secuencia Garraf se halla poco representada y se instala sobre una superficie de erosión marina que afecta al substrato jurásico. Esta superficie presenta abundantes evidencias de bioerosión que permiten reconocer diferentes fases en su formación. Los materiales pertenecientes a la Secuencia Tarragona, corresponden a la Unidad Ardenya y incluyen diversas facies diferentes: conglomerados, lumaquelas, biocalcarenitas, areniscas y margas. El estudio tafonómico e icnológico de estas facies ha permitido reconocer unas condiciones de sedimentación litorales a sublitorales, con una tendencia general a la profundización.

*Palabras clave:* Mioceno. Tafonomía. Bioturbación. Bioerosión. Paleoecología. Sedimentología. Catalunya.

## ABSTRACT

**Marine Miocene sequences between L'Arrabassada and El Miracle beaches (Tarragona, NE Spain): Paleontological approach and sedimentological implications.**

The Miocene deposits between L'Arrabassada and El Miracle bea-

ches (Tarragona, Spain) have been studied in this paper. Two stratigraphic sequences (Garraf and Tarragona) previously defined by other authors in former papers have been recognized. The boundary between them is an omission surface with biogenic structures indicating some hardening of the sediment. This hardening was complete in one of the sections and allowed the development of a hardground with bioerosion structures, but it was partial in another producing a firmground with well-bounded dwelling burrows. The Garraf Sequence outcrop is very small and overlies an erosional surface developed over the Jurassic substrate. On this surface, there is abundant bioerosion evidence that allows to recognize three different phases in its formation. The Tarragona Sequence is represented by the Ardenya Unit, with several different facies -conglomerates, lumachelles, bioclastic calcarenites, sandstones and marls-, including very abundant and diverse fossils -algae, corals, molluscs, bryozoans, echinoids, vertebrate remains and trace fossils. The taphonomic and ichnologic study of these facies has permitted to recognize littoral to sublittoral sedimentary conditions, with a general tendency to increase the depth.

*Keywords:* Miocene. Taphonomy. Bioturbation. Bioerosion. Palaeoecology. Sedimentology. Catalunya. NE Spain. Western Mediterranean.

## INTRODUCCIÓN

Los materiales miocenos del Camp de Tarragona han sido estudiados por diversos autores desde el punto de

vista de la sedimentología y de la estratigrafía secuencial (Barnoles *et al.*, 1983; Cabrera *et al.*, 1991). Los trabajos realizados desde una perspectiva más paleontológica tratan fundamentalmente problemas de tipo bioestratigráfico (Porta, 1971; Porta *et al.*, 1977, 1985; González-Donoso, 1985; Porta y Civis, 1990) o sistemático (Reguant, 1960).

En este trabajo se describen tres sucesiones de edad miocénica situadas en el litoral de la ciudad de Tarragona. El análisis tafonómico y paleoecológico de los fósiles, de la bioturbación y de la bioerosión proporciona datos de gran interés sobre las características deposicionales y paleoambientales de estos depósitos miocenos. La información que se puede obtener a partir del análisis paleontológico de detalle permite precisar la que se puede conseguir únicamente a partir de datos sedimentológicos y, por tanto, constituye un elemento imprescindible en cualquier tipo de estudio paleoambiental.

El objetivo de este trabajo es, por lo tanto, mostrar los resultados de las observaciones tafonómicas y paleobiológicas, que aportan nuevos datos sobre los paleoambientes deposicionales y las superficies de discontinuidad sedimentaria representados en el Mioceno marino del Camp de Tarragona. Para llevar a cabo el tipo de observaciones propuesto no es necesaria la identificación específica de los fósiles, sino que basta con el reconocimiento de grandes grupos. Por lo tanto, dentro de los propósitos de este artículo no se incluye la revisión sistemática de la fauna y flora en los perfiles levantados.

## SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y CONTEXTO GEO-LÓGICO

Los tres perfiles realizados se hallan en el cabo situado entre las playas de El Miracle y L'Arrabassada, en la línea de costa de la ciudad de Tarragona. Los perfiles se localizan en un intervalo de 1 Km a lo largo de dicha costa, cuya orientación es aproximadamente WSW-ENE (Fig. 1).

Los materiales miocenos del Camp de Tarragona se encuentran rellenando una semifosa de orientación NE-SW. Esta depresión, junto con la del Vallés-Penedés, constituye el borde emergido de un sistema de horsts y semifosas conocido como el Surco de Valencia, activo durante el Neógeno y que se extiende entre el litoral catalano-valenciano y las islas Baleares (Fontboté *et al.*, 1990).

En el litoral catalán, los materiales miocenos medios se estructuran en dos secuencias deposicionales principales bien diferenciadas (Agustí *et al.*, 1990; Cabrera *et al.*, 1991): la secuencia Garraf y la secuencia Tarragona. La primera, de edad fundamentalmente Langhiense, se halla mejor desarrollada en el área del Penedés, y está constituida por depósitos deltaicos y de plataforma carbonatada. La secuencia Tarragona está datada como Serravaliense inferior y aflora en la depresión del Camp donde registra el desarrollo de una plataforma mixta siliciclástica-carbonatada (Cabrera *et al.*, 1991).

Únicamente el tramo más superior de la Secuencia Garraf aflora en el área de la ciudad de Tarragona, recubierto por los depósitos de la Unidad Ardenya. Dicha unidad, perteneciente a la Secuencia Tarragona, fue definida por Barnoles *et al.* (1983) para designar un conjunto de materiales constituidos básicamente por calcisiltitas, areniscas, calcarenitas y lumaquelas, que son el objeto fundamental de este estudio.

## DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES

### Perfil de L'Arrabassada

Este perfil (Fig. 2) se localiza al Oeste de la playa de L'Arrabassada (Fig. 1) y está constituido por 11.5 m de materiales miocenos que recubren un substrato formado por dolomías jurásicas. El contacto entre los carbonatos mesozoicos y la serie miocena viene marcado por una importante superficie de abrasión marina con abundantes perforaciones producidas por bivalvos litófagos (*Gastrochaenolites lapidicus* y *G. torpedo*) o por esponjas cliónidas (*Entobia* isp.) (Fig. 2A). Las estructuras tipo *Gastrochaenolites* no se presentan completas sino que están truncadas mostrando solamente su parte inferior. Los materiales que cubren esta superficie han sido divididos en diversos tramos que seguidamente describiremos.

#### Tramo 1

Está constituido por 1.5 m de conglomerados de clastos calizos con componentes litológicamente iguales a los materiales mesozoicos infrayacentes (Fig. 2). Muestran una ordenación interna claramente granodecreciente, pasando desde bloques de hasta 20 cm en la base hasta cantos de unos 2 cm a techo. Los cantos aparecen intensamente perforados, reconociéndose las mismas estructuras bioerosivas mencionadas para el contacto con el substrato mesozoico. La fauna se encuentra re-

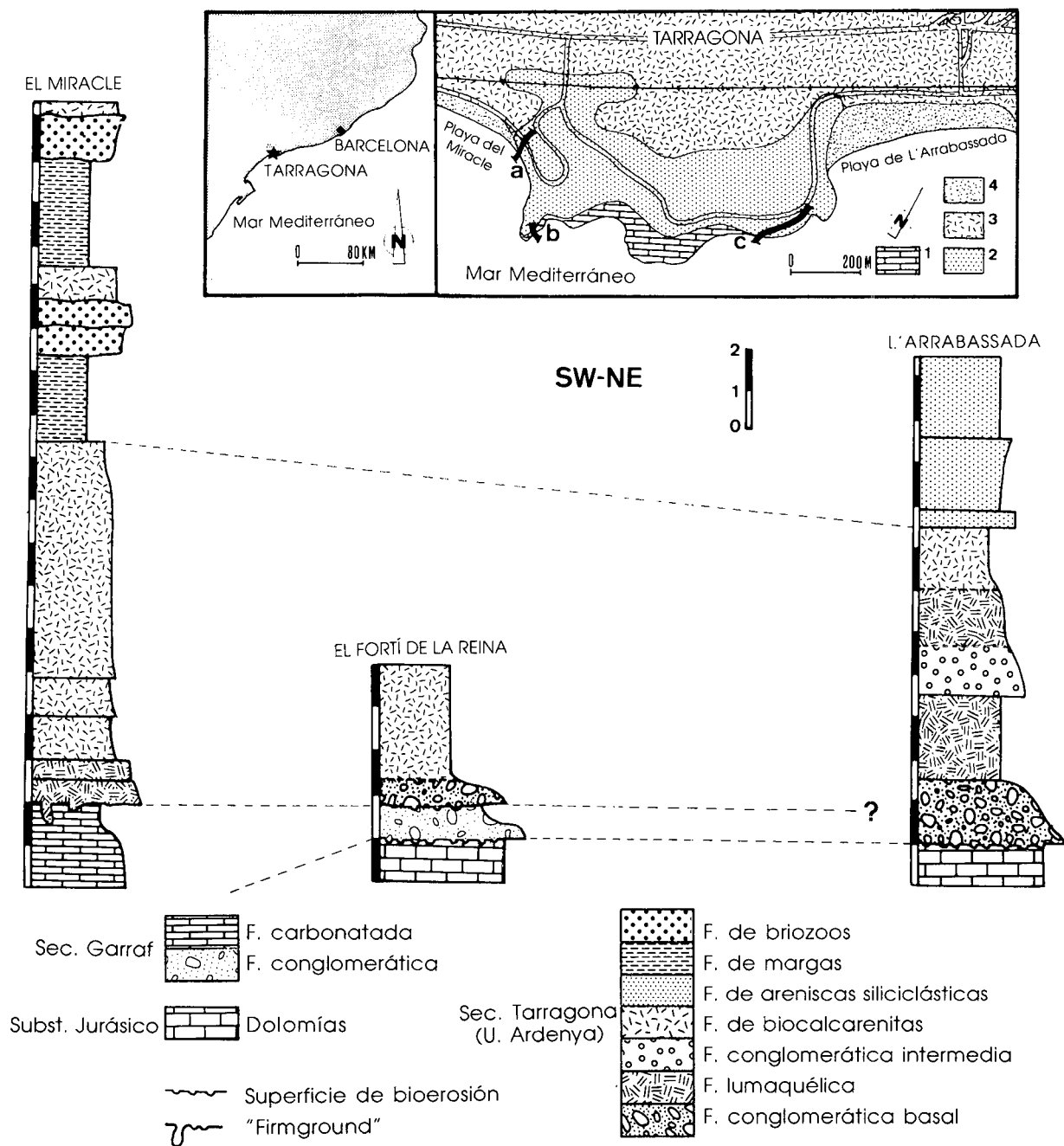


Figura 1. Correlación de los tres perfiles realizados (escala vertical en metros) y emplazamiento de los mismos sobre un esquema geológico del sector estudiado. a. Perfil de El Miracle, b. Perfil del Fortí de la Reina, c. Perfil de L'Arrabassada, 1. Jurásico, 2. Mioceno, 3. Cuaternario indiferenciado, 4. Depósitos de playa actuales.

Figure 1. Correlation of the three sections that have been studied (vertical scale in meters) and their location on a geological sketch of the area between El Miracle and L'Arrabassada beaches. a. El Miracle section, b. Fortí de la Reina section, c. L'Arrabassada section, 1. Jurassic dolomites, 2. Miocene deposits (Ardenya Unit), 3. undifferentiated Quaternary deposits, 4. recent sand beaches.

presentada por ostreidos, corales coloniales y dientes de seláceos, así como por actividad bioerosiva sobre las ostras (*Entobia* isp., fundamentalmente).

Los ostreidos presentes en este tramo se distribuyen en dos grupos, según el tamaño de las valvas. La mayor parte son de dimensiones considerables (con el diámetro umbonopaleal igual o superior a 20 cm) y grosores importantes (llegando a tener hasta 4 cm de valor máximo). Las valvas de estas conchas se encuentran separadas y presentan perforaciones (*Entobia* isp.) en abundancia. Por el tipo de afloramiento y a causa del grado de alteración tafonómica, resulta difícil dilucidar en todos los casos si se trata de valvas derechas o izquierdas, pero queda patente su desarticulación y la disposición al azar de las conchas. El resto de los ostreidos no supera los 5 cm de diámetro umbonopaleal y se encuentran en pequeños bancos lenticulares constituidos por algunas decenas de ejemplares representados sólo por la valva izquierda. Las ostras de mayor tamaño se hallan distribuidas de forma casi homogénea en toda la unidad, mientras que las agrupaciones de ostras menores se concentran en la parte inferior del tramo.

Otras entidades registradas que resaltan por su abundancia corresponden a esqueletos de corales coloniales. Se trata de construcciones de morfología redondeada y dimensiones no superiores a los 10 cm. Por su apariencia externa, pueden confundirse en primera instancia con fragmentos de ostreidos ya que su coloración blanca coincide exactamente. Sin embargo, una inspección detallada permite reconocer con cierta facilidad los corallites y sus correspondientes septos, a pesar de la diagénesis sufrida.

Otros restos identificados corresponden a briozoos incrustantes (sobre las conchas de los ostreidos o sobre cantos) y dientes de seláceos, aunque ambos tipos de entidades sólo aparecen de forma esporádica en el tramo.

## Tramo 2

Está formado por 2 m de biocalcarenitas muy ricas en macrofauna (Fig. 2). El contacto inferior con los conglomerados es neto y bien definido. La matriz que incluye la fauna está constituida por fragmentos bioclásticos indeterminables de menos de 3 mm y cantos calcáreos de diámetro inferior a 1 cm. El tramo se aprecia homogéneo desde el punto de vista sedimentario, sin superficies de discontinuidad o cicatrices en su interior.

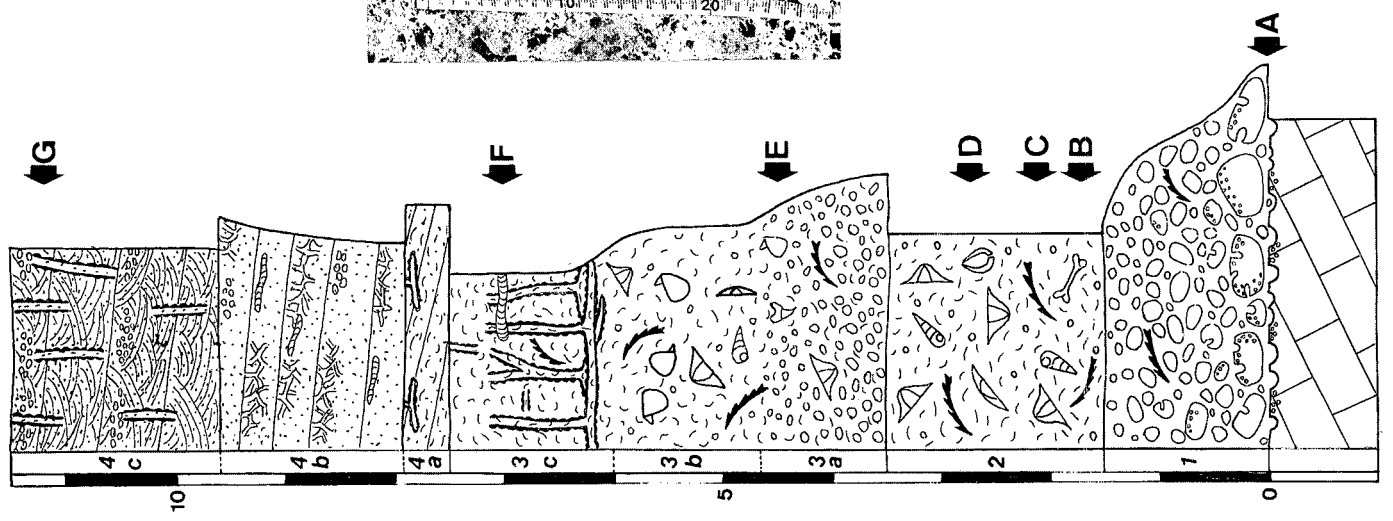
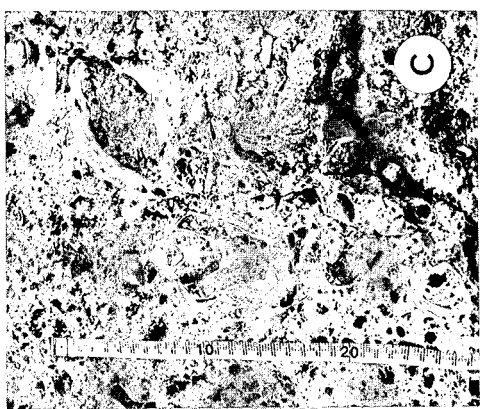
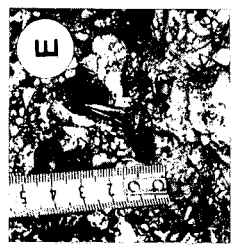
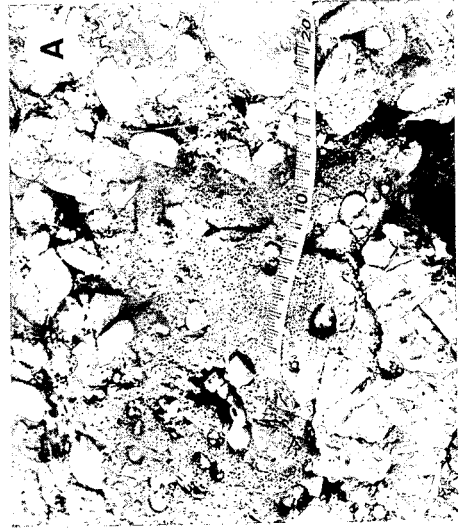
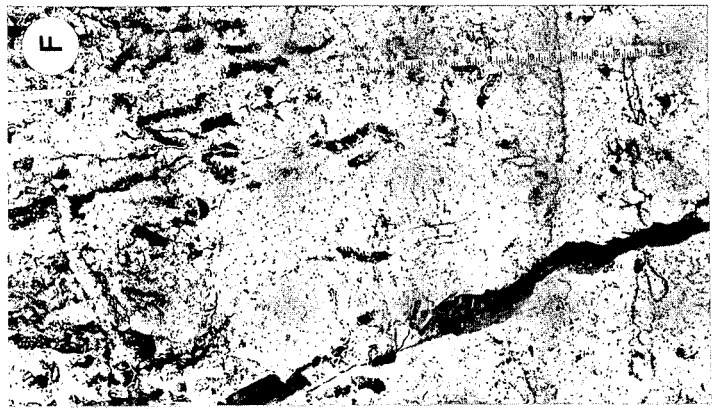
La macrofauna está representada por restos esqueléticos de numerosas especies, los cuales son de gran tamaño y en general aparecen poco fragmentados (Fig. 2B,C). Los fósiles principales son equínidos irregulares (*Clypeaster* sp., y menos frecuentemente *Scutella* sp.), ostreidos y otros bivalvos (*Glycymeris* y pectínidos principalmente), gasterópodos (*Turritella* sp., *Strombus* sp., *Conus* sp., *Nassarius* sp., etc.), corales coloniales, algas rodofíceas, restos óseos de mamíferos y dientes de seláceos y teleósteos. Lambert (1927) estudió los equínidos de esta área, reconociendo las especies *Clypeaster partschii* MICHELIN, *C. myriophyma* POMEL y *Scutella tarraconensis* LAMBERT.

Entre los gasterópodos destacan por su abundancia los turritélidos y los estrómbidos (Fig. 2C). En especial para los turritélidos, los ejemplares preservados son de gran tamaño (oscilan entre 10 y 20 cm de altura total de la concha). Los estrómbidos alcanzan también dimensiones importantes (hasta 14 cm de altura total).

La actividad bioerosiva es patente en los esqueletos tanto de ostreidos como de equínidos, aunque con una incidencia distinta. Así, mientras las ostras presentan abundantes *Entobia* isp. y *Gastrochaenolites* isp., los equínidos muestran una muy baja presencia de perforaciones de esponja y *Gastrochaenolites* isp. algo más frecuente.

Figura 2. Perfil estratigráfico de L'Arrabassada (escala vertical en metros) con ilustraciones de algunos de los aspectos puntuales más interesantes: A. Superficie de erosión marina sobre las dolomías jurásicas, con *Gastrochaenolites* y *Entobia*. B. Diversos ejemplares de *Clypeaster* en posiciones diferentes. C. *Strombus* (parte central), *Conus* (inferior izquierda) y *Glycymeris* (superior derecha). D. Madriguera con paredes construidas con pequeños cantos. E. Diente de seláceo. F. Sistemas de *Ophiomorpha nodosa* constituídos por pozos verticales que conectan hacia abajo con galerías horizontales ramificadas y pueden ser en algún caso cortados por cf. *Laminites* producidos por equínidos (parte superior izquierda). G. *Dactyloidites otto* preservados como epirelieves. Leyenda en la figura 3.

Figure 2. L'Arrabassada stratigraphic section (vertical scale in meters) with pictures showing some of the most interesting aspects: A. Marine bioerosion surface on the Jurassic dolomites, with *Gastrochaenolites* (bivalve boring) and *Entobia* (sponge boring). B. Some specimens of the echinoid *Clypeaster* showing different orientations. C. The gastropods *Strombus* (center) and *Conus* (lower left corner) and the bivalve *Glycymeris* (upper right corner). D. Pebble lined dwelling burrow. E. Selacean tooth. F. *Ophiomorpha nodosa* systems with vertical shafts connecting with an horizontal maze below. Meniscate structures attributed to irregular echinoids (cf. *Laminites*) overprinting the shafts (upper left corner). G. Star-shaped feeding trace fossils *Dactyloidites otto* preserved as epirelieves. Legend in figure 3.



La repartición de la fauna dentro de la unidad no es homogénea en la vertical. La densidad de *Clypeaster* aumenta de forma clara a partir del tercio superior de la unidad, contándose localmente más de 25 ejemplares por m<sup>2</sup>, distribuidos de forma caótica. Los turrítelidos siguen siendo en toda la unidad el segundo grupo en importancia, seguidos de los bivalvos gliciméridos.

La mayoría de los fósiles se encuentran enteros, sin fragmentación alguna. En el caso de los equínidos es interesante observar las diversas orientaciones que muestran respecto a la horizontal, pudiendo estar tanto en posición vertical, como horizontal o inclinada (Fig. 2B). Los gliciméridos aparecen con las valvas unidas y cerradas en el 80% de los casos (Fig. 2C). El relleno sedimentario de su interior, así como el de los equínidos, es el mismo que la matriz de la roca englobante. El tamaño máximo observado en los gliciméridos es de 15-20 cm de diámetro umbonopaleal. Las valvas de los pectínidos, en cambio, son más finas y aparecen separadas con mayor frecuencia.

Se han reconocido evidencias de bioturbación en forma de reagrupamiento de clastos o acumulaciones de fragmentos esqueléticos (Fig. 2D).

Los restos de mamíferos son huesos largos fragmentados, sin evidencias de transporte excesivo, ya que no están abrasionados. Cuando aparecen juntos, presentan una orientación similar aunque cada agrupación tiene su propia disposición sin relación con la de los demás.

Repartidos por toda la unidad, es frecuente la presencia de dientes de peces teleósteos (dientes palatales) y de seláceos (de hasta 3 cm de longitud máxima). Cabe resaltar el hallazgo de un fragmento de maxilar superior de teleósteo, conteniendo 13 dientes palatales. Exceptuando este último caso, son más abundantes los dientes sueltos de seláceo que los de teleósteo.

Gran parte de los restos son moldes recristalizados de esqueletos originalmente aragoníticos, lo que dificulta su identificación. En el caso de los ostreidos, los pectínidos, los equínidos y las algas rodofíceas, con esqueleto original calcítico, y de los restos de vertebrados, de composición fosfatada, se mantiene la misma composición.

### Tramo 3

Este tramo incluye 3 subtramos con características diferentes, pero que se presentan en continuidad estratigráfica con límites graduales (Fig. 2).

3a. Se trata de 1 m de microconglomerado situado sobre el tramo 2 del que le separa una clara discontinuidad erosiva. Los cantos son calcáreos, de pequeño diámetro (2-3 cm), y muestran una tendencia granodecreciente que conduce a la transición con el tramo 3b. Los fósiles son los mismos que comentaremos en la descripción del subtramo 3b.

3b. Está formado por 1.5 m de una biocalcarenita con abundante fauna. Litológicamente es muy similar al tramo 2 de este mismo perfil, aunque la proporción faunística es ligeramente diferente y la abundancia algo menor. En este tramo son más abundantes los pectínidos de gran tamaño (hasta 25 cm), y *Clypeaster* sigue estando bien representado, así como los ostreidos, otros moluscos y los restos de vertebrados (dientes de peces -Fig. 2E- y huesos de mamíferos).

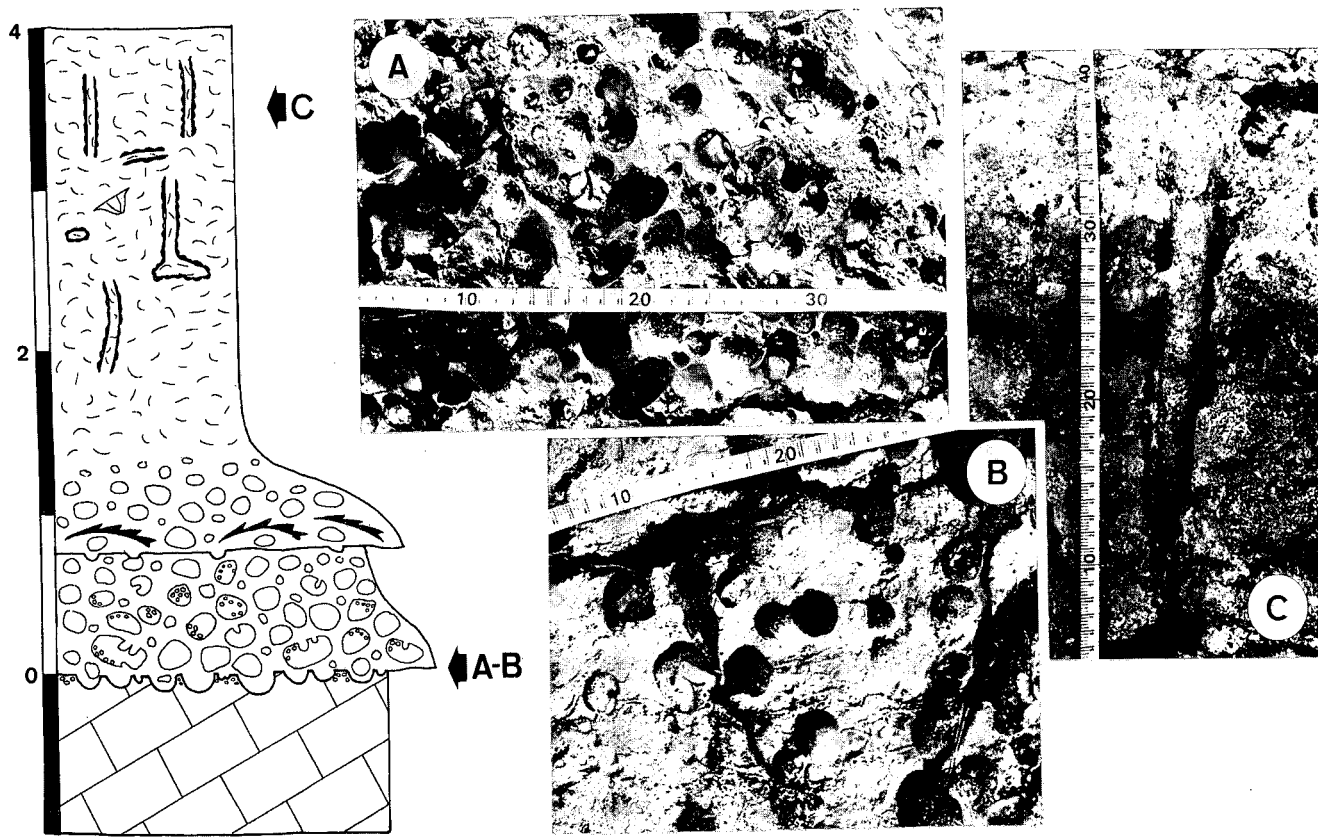
3c. Este tramo está constituido por 1.5 m de biocalcarenitas con macrofauna muy escasa y bioturbación muy abundante. Esta bioturbación se presenta fundamentalmente en forma de sistemas tridimensionales de galerías de tipo *Ophiomorpha nodosa*, LUNDGREN. Estos están compuestos por dos componentes principales: unos pozos verticales de cerca de un metro de longitud que aparecen en densidades de hasta 700 por m<sup>2</sup>, y unos sistemas de túneles ramificados con desarrollo horizontal (tipo "maze" *sensu* Frey *et al.*, 1978) que aparecen en la parte inferior en conexión con los pozos. Asociadas a *O. nodosa*, se encuentran también estructuras meniscadas horizontales de trazado más o menos sinuoso (cf. *Laminites*), que cortan los pozos verticales en su parte superior (Fig. 2F). En el límite superior del tramo la bioturbación desaparece bruscamente unos 35 cm por debajo del techo del mismo.

### Tramo 4

Este tramo está constituido por 4 m, de arenas finas y medias de composición silícica con estratificación cruzada (Fig. 2). Puede ser subdividido en tres subtramos en función de su contenido icnológico.

4a. Se trata de algo menos de 0.5 m de arenas medias a gruesas con un importante contenido bioclástico. Muestran estratificación cruzada. La bioturbación se limita a algunos sistemas de galerías de desarrollo horizontal (tipo "maze") de *Ophiomorpha nodosa*.

4b. Está constituida por algo más de 1.5 m de arenas finas a medias, sin contenido bioclástico y con una ligera tendencia granulométrica negativa. Muestran estratifi-



- | LITOLOGÍA          | FAUNA Y FLORA            | ICNOLOGÍA                             |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Arcillas           | Ostreidos                | <i>Ophiomorpha nodosa</i>             |
| Areniscas          | Pectínidos               | cf. <i>Thalassinoides paradoxicus</i> |
| Biocalcarenitas    | <i>Glycymeris</i>        | <i>Dactyloidites otto</i>             |
| Conglomerados      | Gasterópodos             | Madrigueras sin determinar            |
| Calizas            | Briozoos celleporiformes | <i>Gastrochaenolites</i>              |
| Dolomías jurásicas | <i>Clypeaster</i>        | <i>Entobia</i>                        |
|                    | <i>Scutella</i>          |                                       |
|                    | Huesos de mamíferos      |                                       |
|                    | Dientes de peces         |                                       |
|                    | Algas rodofíceas         |                                       |

Figura 3. Perfil estratigráfico del Fortí de la Reina (escala vertical en metros) con ilustraciones de algunos de los aspectos puntuales más interesantes: A. Superficie de erosión marina con gran densidad de *Gastrochaenolites* y *Entobia*. B. Superficie de erosión marina con *Maeandropolydora* y *Gastrochaenolites*. C. Pozo vertical de *Ophiomorpha nodosa*.

Figure 3. Fortí de la Reina stratigraphic section (vertical scale in meters) with pictures showing some of the most interesting aspects: A. Marine bioerosion surface with a dense concentration of *Gastrochaenolites* and *Entobia*. B. Marine bioerosion surface with *Maeandropolydora* and *Gastrochaenolites*. C. Vertical shaft of *Ophiomorpha nodosa*.

cación cruzada, aunque la estructura interna se halla muy homogeneizada por la bioturbación. Ésta consiste en sistemas complejos de galerías tridimensionales (tipo "box-work", *sensu* Frey *et al.*, 1978) atribuibles a la actividad de decápodos y comparables a *Thalassinoides paradoxicus* (WOODWARD); estructuras horizontales, no ramificadas y más o menos sinuosas (cf. *Laminites*) atribuibles a equínidos irregulares; y algunas estructuras de alimentación del tipo *Dactyloidites ottoi* (GEINITZ) (Gibert *et al.*, *in litt.*).

4c. Se trata de unos 2 m de arenas finas-medias con estratificación cruzada. La bioturbación es menos intensa que en el subtramo 4b, permitiendo reconocer la presencia de laminación cruzada en surco. Son dos las estructuras de bioturbación que dominan en este tramo: *Ophiomorpha nodosa* y *Dactyloidites ottoi*. *O. nodosa* se presenta en forma de tubos verticales más abundantes hacia el techo del tramo; a diferencia del tramo 3b, no existen sistemas ramificados horizontales asociados. *D. ottoi* aparece en niveles en los que es muy abundante (Fig. 2G). Se trata de una estructura de alimentación (*Fodinichnia*). Además se pueden reconocer algunas madrigueras con relleno bioclástico.

### Perfil del Fortí de la Reina

Este perfil (Fig. 3) se localiza al Sur del Fortí de la Reina, en la denominada Punta de El Miracle (Fig. 1). El principal interés es observar las características del contacto entre la serie miocena y el substrato constituido por dolomías del Jurásico. Este contacto es una superficie de abrasión marina con abundantes evidencias de erosión biológica (Fig. 4A). Las estructuras bioerosivas más importantes son las producidas por bivalvos litófagos; éstas están representadas por las icnoespecies *Gastrochaenolites lapidicus* y *G. torpedo* (menos abundante). Estas estructuras pueden llegar a densidades de más de 1500 por m<sup>2</sup>. La distribución por diámetros presenta dos máximos en los intervalos 0.4-0.8 y 1.6-2 (Fig. 4B). Estos *Gastrochaenolites* se presentan truncados, habiéndose preservado solamente su parte inferior. El espacio entre las diferentes perforaciones de bivalvos está ocupado por *Entobia* isp. (Fig. 3A). En las zonas donde la concentración de *Gastrochaenolites* es menor se encuentran perforaciones del tipo *Maeandropolydora*, atribuidas a la acción de anélidos (Fig. 3B).

Por encima de esta superficie aparece un nivel conglomerático de potencia variable que aumenta hacia el NE desde pocos cm hasta 80 cm. Los cantos son calcáreos y muestran tendencia granodreciente, con bloques

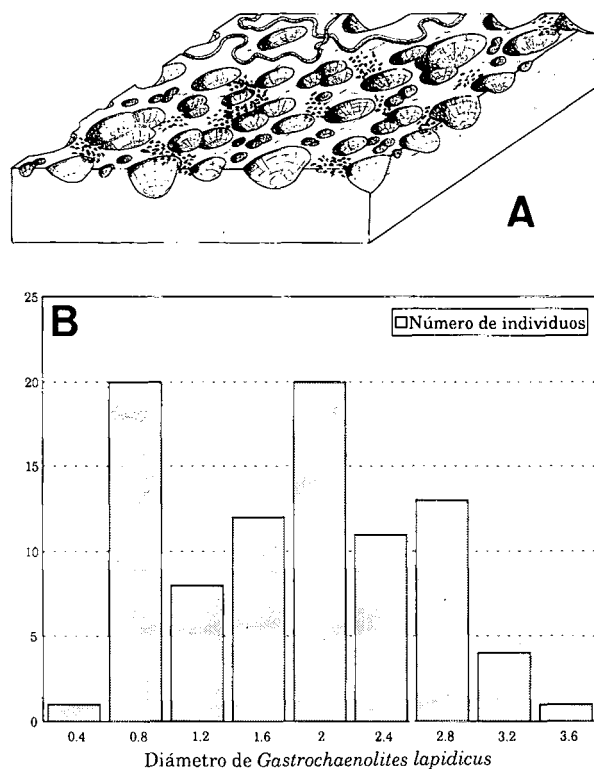


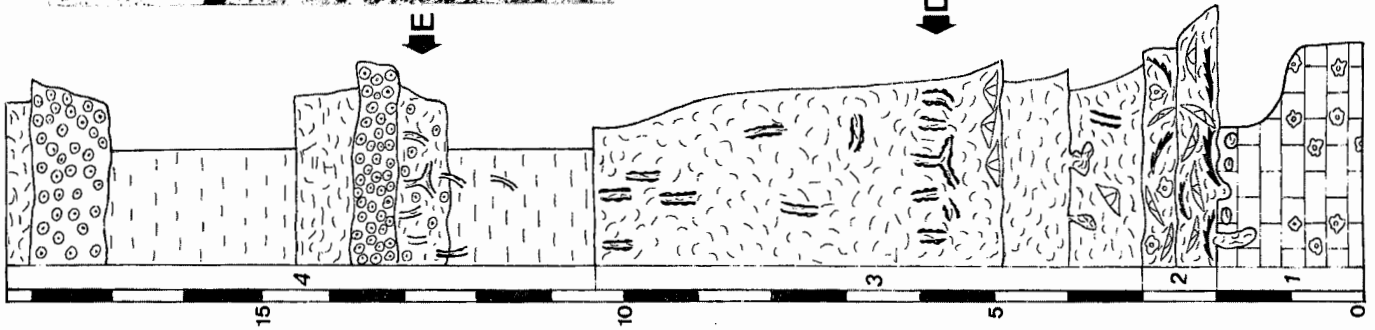
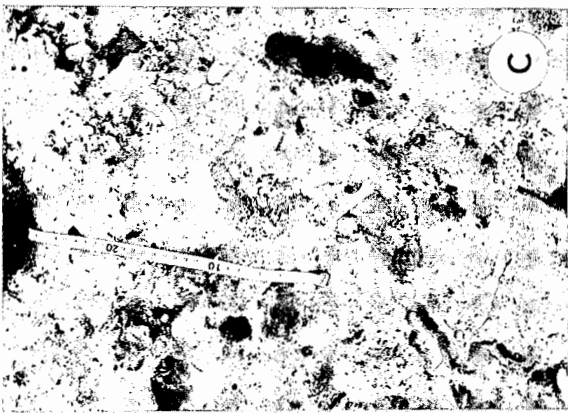
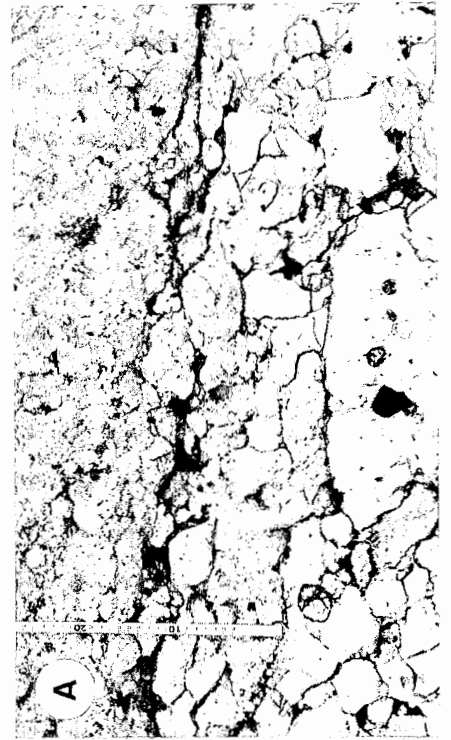
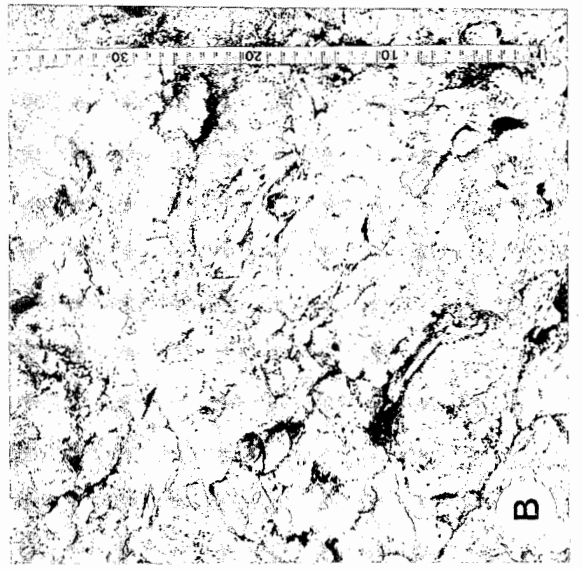
Figura 4. A. Esquema tridimensional mostrando el aspecto de la superficie de erosión marina desarrollada sobre las calizas mesozoicas en el Fortí de la Reina, con la presencia de *Gastrochaenolites*, *Entobia* y *Maeandropolydora*. B. Histograma de frecuencia del diámetro de *Gastrochaenolites* en el Fortí de la Reina, en el que se puede reconocer la existencia de dos máximos. Los números en abscisas indican el límite superior (en centímetros) del intervalo a que corresponden.

Figure 4. A. Tridimensional sketch showing the marine bioerosion surface on the Jurassic dolomites of El Fortí de la Reina, with *Gastrochaenolites*, *Entobia* and *Maeandropolydora*. B. Histogram showing the frequency distribution of the diameters of *Gastrochaenolites* in El Fortí de la Reina. Two peaks can be recognized. The numbers in the horizontal axis indicate the upper boundary (in centimeters) of the corresponding interval.

Figura 5. Perfil estratigráfico de El Miracle (escala vertical en metros) mostrando algunos de los aspectos puntuales más interesantes: A. Contacto entre los tramos 1 y 2, mostrando estructuras de bioturbación desarrolladas en substrato parcialmente endurecido. B. Diversos ejemplares de *Scutella*. C. Diversos ejemplares de *Clypeaster* en posiciones diferentes. D. *Ophiomorpha nodosa*, mostrando un pozo vertical y dos ramificaciones horizontales. E. Facies con abundantes briozoos celloporiformes y bioturbación. Leyenda en la figura 3.

Figure 5. El Miracle stratigraphic section (vertical scale in meters) with pictures showing some of the most interesting aspects: A. Boundary surface between the units 1 and 2, showing bioturbation structures developed in a firmground. B. Several specimens of the echinoid *Scutella*. C. Some specimens of the echinoid *Clypeaster* showing different orientations. D. *Ophiomorpha nodosa*, showing a vertical shaft and two horizontal tunnels branching from it. E. Facies with abundant celloporiform bryozoans and bioturbation. Legend in figure 3





de más de 10 cm en la base y guijarros de entre 1 y 3 cm en el resto. Las perforaciones de tipo *Entobia* y *Gastrochaenolites* sobre los clastos son muy abundantes, siendo la primera la más frecuente. No se han observado restos esqueléticos. El techo de este tramo conglomerático viene marcado por la presencia de *Gastrochaenolites* afectando tanto a clastos como a la matriz, lo que indica una superficie de endurecimiento (*hardground*).

Cubriendo esta superficie se encuentran 0.5 m de conglomerados calizos con tendencia granodecreciente que contienen abundantes ostreidos de gran tamaño en su parte inferior. Estos conglomerados pasan progresivamente a una biocalcarenita (2.75 m) con macrofauna muy escasa (*Clypeaster* sp., *Scutella* sp., ostreidos, fragmentos de pectínidos y fragmentos de cirrípedos), en la que la matriz es fundamentalmente de origen orgánico. La bioturbación es abundante y se halla representada por *Ophiomorpha nodosa* con dominio de los componentes verticales (Fig. 3C).

### Perfil de El Miracle

Este perfil (Fig. 5) se localiza en el flanco Este de la playa de El Miracle (Fig. 1) y está constituido por 18 m de materiales miocenos. Este es el único de los tres perfiles realizados en que no aflora el substrato pre-mioceno. La serie ha sido dividida en varios tramos para su descripción.

#### Tramo 1

Su límite inferior no es observable pues sólo afloran los 2 m superiores. Se trata de un tramo formado por calizas micríticas ocreas que contienen abundantes algas rodofíceas, así como algunos moluscos (moldes de bivalvos y gasterópodos) y corales coloniales. En su parte superior los componentes se presentan dispersos, mientras que más abajo las algas en forma de rodolitos son muy frecuentes. El techo de esta unidad se encuentra afectado por actividad biológica mostrando estructuras biogénicas verticales y horizontales rellenas por el material suprayacente (Fig. 5 A). El tipo de estructuras con límites muy abruptos y evidencias de colapso permite asumir un cierto grado de endurecimiento (*firmground*) en el sedimento en el momento de su formación.

#### Tramo 2

Está constituido por 1 m de biocalcarenitas muy ricas en macrofauna. La matriz de la biocalcarenita está formada por fragmentos bioclásticos de entre 1 y 3 mm.

Como en los tramos 2 y 3b del perfil de L'Arrabassada, no se observan superficies de discontinuidad sedimentaria en su interior. Los fósiles son principalmente equínidos irregulares (*Scutella* sp. y, en menor proporción, *Clypeaster* sp.), ostreidos con gran cantidad de *Entobia* isp. y, localmente, algas rodofíceas en forma de rodolitos. El resto de componentes son otros moluscos (*Turritella* sp., *Conus* sp., pectínidos, *Glycymeris* sp.), briozoos (celleporiformes, fragmentos de ramificados e incrustantes) y corales coloniales. Los ejemplares del género *Scutella* alcanzan los 17 cm de diámetro (Fig. 5B), mientras que los de *Clypeaster* presentan exoesqueletos de hasta 15 cm de altura (Fig. 5C). Las valvas de ostreidos tienen dimensiones máximas superiores a los 20 cm y grosores de hasta 5 cm. En general, los fósiles no aparecen fragmentados, y se disponen con orientaciones variables desde horizontales hasta verticales, si bien dominan las primeras (Fig. 5B,C).

#### Tramo 3

Este tramo, de unos 7 m de potencia, está constituido por calcarenitas bioclásticas con macrofauna dispersa. La roca está formada por fragmentos bioclásticos de entre 1 y 5 mm, mostrando una ligera tendencia granodecreciente. Este tramo presenta diversas cicatrices internas pero que no representan cambios litológicos importantes. La macrofauna dispersa la constituyen equínidos irregulares (*Clypeaster* sp. y *Scutella* sp.), ostreidos y otros moluscos (*Turritella* sp., pectínidos, *Panopea* sp.), briozoos celleporiformes, y bastantes briozoos ramosos bilamelares (*Trigonopora gironnica tarraconensis* REGUANT), especialmente en la parte inferior del tramo. La bioturbación es importante en determinados niveles y está formada por galerías verticales y horizontales de *Ophiomorpha nodosa* (Fig. 5D).

#### Tramo 4

Este tramo constituye los 7.5 m superiores del perfil. Está formado por una secuencia que se repite dos veces. Esta comienza con arcillas ocreas con abundante microfauna, constituida por radiolas de equínidos y foraminíferos bentónicos (*Ammonia* y *Nonion*), así como madrigueras irregulares de difícil asignación. Por encima aparecen niveles formados casi exclusivamente por briozoos celleporiformes. Estos niveles presentan una parte inferior en que la matriz es importante y la bioturbación abundante (Fig. 5E), y una superior en que la fábrica es soportada por los briozoos y la bioturbación es casi inexistente. Por encima, con un contacto aparentemente erosivo se instalan unas biocalcarenitas similares a las del tramo 3.

## ANÁLISIS PALEOBIOLOGICO Y TAFONÓMICO

Los materiales estudiados en las diferentes secciones pueden ser divididos en dos unidades que se hallan separadas por una superficie que muestra evidencias de endurecimiento total ("hardground") o parcial ("firm-ground"). La existencia de este límite, así como las características litológicas de la unidad inferior, permiten suponer que ésta pertenece a la secuencia Garraf, mientras que la unidad superior corresponde a la secuencia Tarragona.

### Secuencia inferior (Sec. Garraf)

Esta secuencia incluiría únicamente el tramo inferior del perfil del Fortí de la Reina y el tramo 1 de la playa de El Miracle. Ambos tienen en común el estar limitados a techo por una superficie de interrupción de la sedimentación y endurecimiento (Fig. 1).

#### Límite inferior

El límite inferior de esta unidad se puede observar en la sucesión del Fortí, donde reposa sobre el substrato jurásico. El contacto es una superficie de erosión marina con *Gastrochaenolites lapidicus*, *G. torpedo*, *Entobia* isp. y *Maeandropolydora* isp. (Fig. 3A,B y 5). El análisis detallado de esta superficie permite reconocer la existencia de distintas fases en su formación (Fig. 6). En una primera fase el substrato se encontraría colonizado por bivalvos litófagos que perforarían la roca dando lugar a estructuras tipo *Gastrochaenolites* de diámetro medio alrededor de los 2 cm. Estas estructuras, cuya profundidad alcanzaría unos 10 cm, actualmente aparecen truncadas lo que permite estimar una erosión de varios cm de substrato. Esta truncación sería resultado de la combinación de la actividad perforante de otros organismos (esponjas, bivalvos, etc.) y un proceso de ligera somerización. La variación del nivel del mar pudo producir un incremento en la energía del medio que condujo a la abrasión del substrato, ya debilitado por la actividad bioerosiva. Posteriormente a este período de abrasión, el substrato sería recolonizado por esponjas (causantes de *Entobia*), anélidos (productores de *Maeandropolydora*) y bivalvos litófagos de menor tamaño que los primeros. Estos últimos serían los responsables de *Gastrochaenolites* de diámetro pequeño (<1 cm), y su presencia en esta última fase bioerosiva explicaría por qué existen dos máximos en la distribución por tamaños de *Gastrochaenolites*. Procesos similares han sido descritos en materiales de distintas edades (Fursich *et al.*,

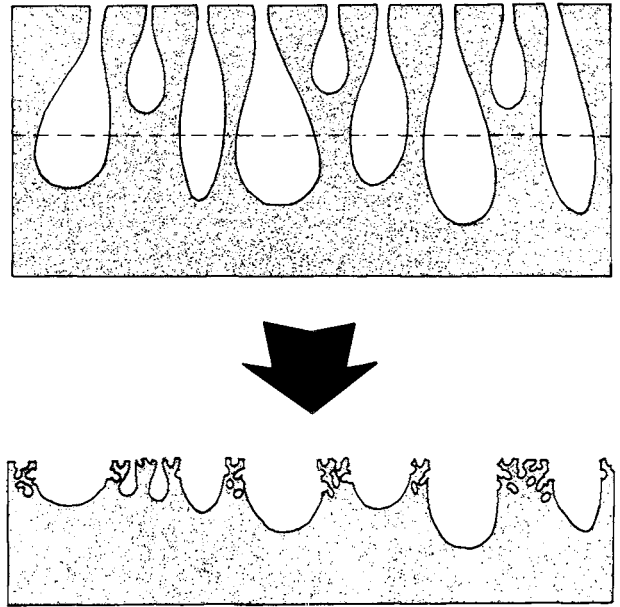


Figura 6. Diferentes fases en la formación de la superficie de erosión marina del Fortí de la Reina: primero formación de *Gastrochaenolites*, después abrasión y finalmente formación de *Maeandropolydora*, *Entobia* y nuevos *Gastrochaenolites* de menor tamaño.

Figure 6. Consecutive episodes in the formation of the marine bioerosion surface of Fortí de la Reina: first, boring by bivalves forming *Gastrochaenolites*, later physical erosion and finally activity of new bioeroding organisms -worms, sponges and bivalves- producing *Maeandropolydora*, *Entobia* and smaller *Gastrochaenolites*.

1991; Bromley y Asgaard, 1993, Martinell y Domènech, 1995, etc.).

Según Bromley y Asgaard (1993), el productor actual de *G. torpedo* en el Mediterráneo es *Lithophaga lithophaga*, especie restringida a aguas muy someras (0-10 m) con una tasa de sedimentación muy baja. En cambio, la especie productora de *G. lapidicus* admite un rango batimétrico algo mayor y una ligera tasa de sedimentación. Según estos mismos autores, la familia Clionidae, grupo de esponjas responsable de las perforaciones tipo *Entobia*, ocupa actualmente profundidades entre 0 y 20 m. El conjunto de estos datos señala unas condiciones de formación someras y de aguas claras para esta superficie de bioerosión. Además la densidad muy elevada de las perforaciones, tanto de *Gastrochaenolites* (1500 por m<sup>2</sup>), como de *Entobia*, es característica de ambientes muy someros, entre 0 y pocos metros de profundidad (Martinell y Domènech, 1986; Bromley y Asgaard, 1993).

Está superficie es perfectamente observable en la serie del Fortí de la Reina. Una superficie muy similar se reconoce en la serie de L'Arrabassada (Fig. 2A) y segu-

ramente se trate de la misma, si bien en este caso podría existir una superposición de dos episodios bioerosivos: el inferior y el que limita las secuencias inferior y superior, como ya se comentará más adelante.

#### *Facies conglomerática*

Esta facies corresponde al tramo conglomerático inferior de la serie del Fortí. Se halla constituida por conglomerados con *Gastrochaenolites* y *Entobia*. El tipo de icnoasociación y las características litológicas señalan unas condiciones de deposición muy litorales en un contexto de paleoacantilado (Bromley y Asgaard, 1993; Martinell y Domènech, 1995).

#### *Facies carbonatada*

Aparece sólo en la serie de la playa de El Miracle (tramo 1). Está constituida por calizas micríticas con abundantes algas rodofíceas. El escaso afloramiento no ha permitido un estudio detallado de estas facies correspondientes a depósitos de plataforma carbonatada somera.

#### *Límite superior*

Este límite presenta características diferentes en los dos perfiles en que se reconoce. En la serie del Fortí de la Reina este límite se desarrolla sobre los conglomerados y se presenta como una superficie donde se reconoce *Gastrochaenolites* afectando tanto a la matriz, como a los cantos, como a ambos a la vez. Esto implica un período de no sedimentación que transformaría el sedimento blando en un "hardground" submarino colonizable por organismos endolíticos. En la serie de la Playa de El Miracle el límite se desarrolla sobre los carbonatos con rodofíceas (Fig. 5A). En este caso no se reconocen estructuras de bioerosión, sí en cambio se observan estructuras de bioturbación que por sus características (límites abruptos y formación de brechas por colapso) indican la existencia de un cierto grado de endurecimiento pero sin llegar a la litificación. En este caso se trata de un "firmground". El tipo de límite representa en ambos casos una detención de la sedimentación y representa una superficie de omisión (*sensu* Heim, 1924 y Bromley, 1975). En otras localidades de la zona se han identificado superficies de detención de la sedimentación (ya sean superficies de bioerosión o presencia de horizontes de glauconita) en el límite entre las secuencias Garraf y Tarragona (Cabrera *et al.*, 1991), lo que permite pensar que todas ellas podrían ser equivalentes.

En la serie de L'Arrabassada este límite no se reco-

noce, si bien podría situarse o bien sobre el mesozoico, en cuyo caso la superficie de contacto mesozoico-mioceno representaría la superposición de dos superficies de bioerosión, o bien se encontraría en el interior del primer tramo de conglomerados y no se ha reconocido hasta el momento. Esta segunda posibilidad parece más probable, atendiendo a las características de la superficie erosiva en el Fortí, donde viene marcada por *Gastrochaenolites* dispersos que bien podrían pasar desapercibidos si las condiciones de afloramiento no son favorables.

#### **Secuencia superior (Sec. Tarragona: Unidad de Ardenya)**

La mayor parte de los depósitos estudiados en las tres secciones quedan incluidos dentro de esta secuencia y, más concretamente, pertenecen a la denominada Unidad Ardenya por Barnoles *et al.* (1983). Estos materiales se sitúan sobre la secuencia inferior, o bien, sobre el substrato mesozoico. Se han reconocido varias facies con características litológicas y paleontológicas diferentes (Fig. 1).

#### *Facies conglomerática basal*

Incluye el tramo 1 del perfil de L'Arrabassada y el tramo conglomerático superior del Fortí de la Reina. Se trata de materiales depositados en condiciones muy litorales, similares a las de la facies conglomerática de la secuencia inferior. De hecho, probablemente la parte inferior del tramo 1 del perfil de L'Arrabassada podría incluirse dentro de aquélla por los motivos que se han comentado antes.

La desarticulación de las conchas de los ostreidos y su disposición al azar en estos tramos permiten suponer una cierta resedimentación (*sensu* Fernández-López, 1987), aunque con un mínimo transporte, como lo atestigua la presencia de corales y briozoos poco fragmentados. Las agrupaciones antes descritas de ostras de menor tamaño podrían corresponder a pequeños bancos o fragmentos de bancos mayores desarrollados en las proximidades y que han sido transportados adheridos a su propio substrato. El estado de conservación de las valvas no permite, en el caso de los ostreidos grandes, averiguar las proporciones de valvas derechas/valvas izquierdas, que proporcionarían interesante información sobre las condiciones de formación del conjunto. Sin embargo, todas las evidencias tafonómicas, icnológicas y litológicas apuntan a un ambiente deposicional a pie de acantilado, con acumulación de fauna démica, autóctona y *in situ* (*sensu* Fernández-López, 1990). Además, cabe resaltar el domi-

nio de condiciones paleoecológicas estables en el área donde los organismos vivían, que habrían permitido el desarrollo extraordinario de las conchas de los ostreidos.

#### *Facies lumaquélica*

Esta facies incluye los tramos 2 y 3B del perfil de L'Arrabassada, y el 2 del perfil de la Playa de El Miracle. El conjunto fosilífero presente es característico de ambientes someros y de aguas cálidas. La composición paleontológica varía en cada uno de los tramos correspondientes a esta unidad. En el perfil de El Miracle dominan los escutélidos, los ostreidos y en algún nivel las rodofíceas, mientras que en L'Arrabassada los componentes principales son los clipeastéridos, bien con ostreidos o bien con pectínidos. Estas diferencias menores pueden ser debidas a pequeñas variaciones paleoecológicas. Los fósiles no aparecen fragmentados, y en el caso de los bivalvos conservan en la mayoría de los casos las valvas unidas. La disposición de los componentes de geometría más planar (equínidos y ostreidos) es variable respecto a la estratificación y, aunque dominen los que se disponen horizontales, son abundantes en otras posiciones. Todo ello hace pensar en un paleoambiente con un hidrodinamismo moderado, capaz de mover y girar componentes de gran tamaño aunque ligeros, pero sin romperlos ni desarticularlos. Otro aspecto de interés es la presencia de estructuras de bioturbación en el interior de estos niveles (Fig. 2D). Estas son indicativas de que la sedimentación de los tramos lumaquélidos no fue brusca ni resultado de un acontecimiento violento (tempestad o tsunamis) pues en este caso las pistas podrían haberse desarrollado únicamente a partir del techo del nivel, pero nunca en su interior. Este tipo de génesis brusca ha sido propuesta por Barnoles *et al.* (1983) y Cabrera *et al.* (1991) para unos potentes depósitos bioclásticos estudiados en la zona del pantano del Catllar, también en el Camp de Tarragona. La ya mencionada presencia de bioturbación en el interior de los niveles aquí tratados, las características tafonómicas de su fauna y el hecho de que no exista mezcla de fósiles de diferentes ambientes (sino que se trata de entidades démicas, autóctonas e *in situ*) no apoyan la extensión de esta hipótesis a todos los depósitos similares de la cuenca como sugieren aquellos autores, o cuanto menos a los ahora estudiados. A nuestro entender, estos depósitos se originarían en condiciones litorales a sublitorales, bajo un régimen hidrodinámico moderado que probablemente aportaría el material bioclástico fino que constituye la matriz de la roca y que movería ocasionalmente los componentes más grandes pero sin transportarlos fuera de su biotopo. La sedimentación sería más o menos con-

tinuada pero lo suficientemente lenta para que algunos organismos pudieran construir madrigueras.

La composición, diversidad y tamaño de la fauna, parece indicar un medio cálido, rico en nutrientes y con un grado de estabilidad ecológica importante. Esta estabilidad explica la importante longevidad de equínidos, ostreidos y turritélidos, por ejemplo, como atestigua el gran grosor y/o tamaño de sus conchas.

#### *Facies conglomerática intermedia*

Esta facies corresponde al tramo 3A de la serie de L'Arrabassada. Está constituida por conglomerados calcáreos y aparece intercalada entre dos tramos lumaquélidos, presentando unas características diferentes a la unidad basal. Los cantos son más pequeños y más rodados, y exhiben menos perforaciones. Además, el contenido en fauna es mayor. Estos depósitos serían resultado de un intervalo con aportes del continente, seguramente traídos por alguna corriente fluvial, que serían retrabajados en condiciones litorales.

#### *Facies de calcarenitas bioclásticas con Ophiomorpha*

Esta facies se encuentra representada en los tres perfiles (tramo 3 de la Playa de El Miracle; tramo superior del Fortí de la Reina y tramo 3C de L'Arrabassada). Está constituida por fragmentos bioclásticos y es similar a la matriz de la unidad lumaquélica. La macrofauna es escasa y dispersa, aunque variada. La presencia briozoos relativamente completos permite suponer un régimen energético débil, insuficiente para causar la rotura de estos esqueletos muy frágiles. Por tanto, los fragmentos bioclásticos que constituyen la roca probablemente hayan sido fragmentados en una zona de mayor energía y transportados hasta estos depósitos. Otro dato de gran importancia es la abundancia de bioturbación, entre la que predomina *Ophiomorpha nodosa*, que se encuentra constituyendo sistemas de galerías relativamente complejos con componentes verticales y horizontales (Fig. 2F, 4C y 7D). Su presencia indica una velocidad de sedimentación suficientemente lenta y/o unos momentos de disminución de la misma. De hecho, la bioturbación se concentra en determinados niveles, lo que parece indicar una intensificación debida a una disminución en la sedimentación. El nivel de bioturbación más importante se halla a techo de la unidad en el perfil de L'Arrabassada (Fig. 2F). Este nivel seguramente representa una parada sedimentaria mayor que en otros niveles semejantes. En él se pueden distinguir dos fases de bioturbación sucesivas: en la primera la actividad sería llevada a cabo por decápo-

dos que construirían sistemas de galerías relativamente profundos (1 m) y complejos de tipo *Ophiomorpha nodosa*; en la segunda, otros organismos que vivirían menos profundamente (hasta unos 35 cm) entre los que se hallarían equínidos irregulares, desarrollarían una importante actividad hasta homogeneizar los primeros dm de sedimento, truncando los pozos de *Ophiomorpha*. Esta segunda fase no dejaría estructuras reconocibles, pero sería la causante de la truncación de *Ophiomorpha* unos dm por debajo de la discontinuidad estratigráfica que constituye el límite del tramo. El análisis paleontológico sugiere unas condiciones de sedimentación correspondientes a un medio sublitoral algo más profundo que aquél donde se originó la unidad lumaquélica, con un hidrodinamismo moderado y algunos momentos de disminución de la tasa de sedimentación.

#### *Facies de areniscas siliciclásticas*

Esta facies incluye el tramo 4 del perfil de L'Arrabassada y los únicos datos paleontológicos que proporciona proceden de las evidencias de bioturbación. Esta es más intensa en la mitad inferior (4b), donde se reconocen estructuras del tipo *Thalassinoides paradoxicus*, otras producidas por equínidos (cf. *Laminites*), y *Dactyloidites ottoi*. En la parte superior (4c) la fábrica sedimentaria no se halla tan alterada y las pistas que dominan son pozos simples de *Ophiomorpha nodosa*, y *Dactyloidites ottoi*. Estas últimas aparecen en niveles donde son muy abundantes. Estos depósitos se interpretan como dunas submarinas formadas seguramente en un contexto estuarino. La variación vertical en la bioturbación parece indicar un aumento progresivo en la actividad migratoria de las dunas. En la parte inferior, la bioturbación muy intensa y en algunos casos presentando estructuras laberínticas relativamente complicadas (cf. *Thalassinoides paradoxicus*) indica importantes y frecuentes paradas en la migración de la duna. En cambio, la bioturbación es menos intensa en la mitad superior, preservándose en parte la fábrica sedimentaria, y la estructura más abundante (*O. nodosa*) presenta una configuración en pozos sencillos compatible con un substrato arenoso móvil. Sin embargo, la existencia de dos o tres niveles con abundancia de *D. ottoi* (Fig. 2G) -estructura compleja y cuya producción necesita de una cierta estabilidad- indica momentos de menor actividad en la duna. Esta sucesión indica una tendencia a aumentar la energía hidrodinámica y disminuir la profundidad en esta unidad arenosa. Cabrera *et al.* (1991) interpretan esta unidad como depósitos de playa y, su parte superior, como depósitos subaéreos de origen eólico. La presencia de madrigueras con relleno bioclástico, *Ophiomorpha nodosa* y

*Dactyloidites ottoi*, estas dos últimas de origen claramente submarino, descartan tal posibilidad.

*Dactyloidites ottoi* (GEINITZ) es poco frecuente en el registro fósil siendo esta la primera cita para el Terciario de la Península Ibérica. Se trata de estructuras que hasta hace poco solo eran conocidas como semirelieves de morfología estrellada denominadas *Haentzschelina ottoi*. Fürsich y Bromley (1985), a partir de ejemplares conservados en tres dimensiones, reconocieron su estructura radial con "spreiten" protrusivos y un pozo central. Estas características permitieron a dichos autores incluir esta traza dentro del icnogénero *Dactyloidites* e interpretarla como una estructura endogénica de alimentación (*Fodinichnia*) producida por un organismo sedimentívoro de identidad desconocida. Las características que exhiben los ejemplares de *D. ottoi* en L'Arrabassada, se ajustan plenamente al modelo de Fürsich y Bromley (1985). Recientemente han sido descritos ejemplares de esta misma icnoespecie en el Neógeno de Jamaica (Pickerill *et al.*, 1993), en ambientes muy similares a los identificados en este trabajo. La descripción detallada de los ejemplares de *Dactyloidites ottoi* de L'Arrabassada, así como un completo análisis de su interpretación etológica y significación paleoambiental es ofrecido por Gibert *et al.* (1995).

#### *Asociación de facies de margas ocreas con briozoos celleporiformes*

Esta asociación sólo se reconoce en el tramo 4 del perfil de la playa de El Miracle. Su sedimentación se debió producir en condiciones sublitorales someras tranquilas en las que se desarrollaron bancos de briozoos. Estas condiciones serían en algunos momentos alteradas por pequeñas corrientes que eliminarían la fracción fina de los niveles de briozoos y acumularían depósitos bioclásticos. La parte superior de los niveles con briozoos celleporiformes es el resultado del lavado de los componentes más finos y la reestructuración del depósito por corrientes o por el oleaje.

#### *Correlación y evolución de las facies y asociaciones de facies de la secuencia superior (Fig. 1)*

Las unidades de la secuencia superior se pueden dividir en 2 conjuntos, uno inferior y otro superior. El inferior, predominantemente bioclástico, estaría constituido por las unidades conglomeráticas, las lumaquelas y las biocalcareniticas. Todas ellas coexisten lateralmente y también se suceden en la vertical. La sucesión vertical más completa se reconoce en el perfil de L'Arrabassada, don-

de se pasa de depósitos conglomeráticos litorales de paleoacantilado, a lumaquelas ricas en fauna litoral a sublitoral con alguna intercalación detrítica más gruesa, y finalmente a calcarenitas bioclásticas con abundante bioturbación originadas en condiciones sublitorales someras. Esta sucesión implica una tendencia a la profundización en un contexto litoral-sublitoral. Por encima de estos materiales que constituyen el conjunto inferior se instala con un contacto bastante abrupto el conjunto superior constituido por materiales de origen terrígeno, bien sean finos (margas ocres con briozoos) o más gruesos (areniscas siliciclásticas). Este cambio podría ser el resultado de variaciones en la paleogeografía que favorecieron la llegada de terrígenos a los ambientes marinos. En este contexto tenemos la formación de dunas submarinas y de áreas de acumulación de margas y crecimiento de briozoos. El cambio del conjunto inferior al superior, más que debido a de variaciones de profundidad, es el resultado de la variación en los aportes.

## CONCLUSIONES

- El Mioceno marino de la costa de Tarragona pertenece a las secuencias Garraf (de edad Langhiense) y Tarragona (de edad Serravaliense inferior) (Cabrera *et al.*, 1991), estando mejor representada esta segunda secuencia en todos los perfiles estudiados. La separación entre ambas viene señalada por una superficie de endu-recimiento total o parcial, desarrollada en ambos casos en medios subacuáticos, como evidencian las trazas fósiles que contienen.

- La base de la secuencia Garraf la constituye una superficie de abrasión sobre el substrato jurásico en la que pueden distinguirse diversas fases de formación: colonización por perforantes (señalados por presencia de *Gastrochaenolites lapidicus*, *G. torpedo*, *Entobia* isp. y *Maeandropolydora* isp.); abrasión por cambio en el nivel de mar, afectando una potencia de varios cm según denota la truncación de las perforaciones; y una segunda etapa de bioerosión, con nuevos *Gastrochaenolites*, *Entobia* y *Maeandropolydora*. Los icnofósiles presentes, así como la elevada densidad en que aparecen indica unas condiciones de formación muy someras.

- Las características litológicas, paleobiológicas y tafonómicas de la secuencia Tarragona permiten reconocer una tendencia general a la profundización durante la deposición de los materiales, siempre dentro de ambientes muy someros (de litoral a sublitoral). El estudio tafonómico (bioestratinómico) e icnológico de estos niveles

permite deducir un ambiente deposicional de hidrodinamismo moderado, alejándose su génesis de los procesos catastróficos propuestos para depósitos similares dentro de la misma cuenca.

- La bioturbación registrada en la unidad de areniscas siliciclásticas que corona la sucesión de L'Arrabassada (*Thalassinoides paradoxicus*, pistas de equinodermos, *Ophiomorpha nodosa* y *D. otto*) evidencia que la deposición tuvo lugar en un ambiente acuático sublitoral. Por tanto, no corresponden a depósitos de playa y depósitos subaéreos de origen cólico como se habían interpretado anteriormente.

- Se cita por vez primera la presencia de la icnoespecie *Dactyloidites otto* en el Terciario de la península Ibérica.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Francesc Calvet del Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica de la Universitat de Barcelona sus comentarios previos a la realización de este trabajo. Los comentarios del Dr. Lluís Cabrera del Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la misma Universidad han contribuido a mejorar la versión definitiva. Este estudio se enmarca dentro de los proyectos PB90-0489 y PB94-0946 de la D.G.I.C.Y.T.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGUSTÍ, J., CABRERA, L., CALVET, F., MACPHERSON, I., PORTA, J. de y RAMOS, E., 1990: Neogene sedimentary record and bioevents in the onshore catalan half grabens (NE Spain). *IXth Congress R.C.M.N.S.*, Barcelona: 17-18.
- BARNOLES, T.F., CALVET, F., MARZO, M. y TORRENT, J., 1983: Sedimentología de las secuencias deposicionales del Mioceno del Camp de Tarragona. *X Congreso Nacional de Sedimentología*, Menorca: 7.28-7.31.
- BROMLEY, R.G. y ASGAARD, U., 1993. Endolithic community replacement on a Pliocene rocky coast. *Ichmos*, 2: 93-116.
- BROMLEY, R.G., 1975: Trace fossils in omission surfaces. In: R.W. Frey. *The study of trace fossils*. pp. 399-427. Springer-Verlag New York.
- CABRERA, L., CALVET, F., GUIMERA, J. y PERMANYER, A., 1991: *El registro sedimentario miocénico en los semigrabens del Vallés Penedès y de El Camp: organizacion secuencial y relaciones tectónica sedimentación*. Libro-Guía Excursión nº 4, I Congreso del Grupo Español del Terciario, Vic, 132 pp.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, S., 1987. La Tafonomía: un subsistema conceptual de la Paleontología. *COL-PA*, 41:9-34.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ, S., 1990. El significado de la autoctonia/aloctonia tafonómica. *Com. Reunión de Tafonomía y Fossilización*, Madrid, pp. 115-124.
- FONTBOTÉ, J.M., GUIMERA, J., ROCA, E., SÀBAT, F., SANTANACH, P. y FERNÁNDEZ-ORTIGOSA, F., 1990: The Cenozoic geodynamic evolution of the Valencia Trough (Western Mediterranean). *Revista de la Societat Geològica de Espanya*, 3: 249-259.
- FREY, R.W., HOWARD, J.D. y PRYOR, W.A., 1978.

- Ophiomorpha*: its morphologic, taxonomic and environmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 23:199-229.
- FURSICH, F.T. y BROMLEY, R.G., 1985: Behavioural interpretation of a rosetted spreite trace fossil: *Dactyloidites otto* (Geinitz). *Lethaia*, 18: 199-207.
- FURSICH, F.T., OSCHMANN, W., JAITLY, A.K. y BIR SINGH, I., 1991. Faunal response to transgressive-regressive cycles: example from the Jurassic of western India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 85: 149-159.
- GIBERT, J.M. de, MARTINELL, J. y DOMÈNECH, R., 1995 The rosetted feeding trace fossil *Dactyloidites otto* (GEINITZ) from the Miocene of Catalonia. *Geobios*. 28 (6): 769-776
- GONZÁLEZ-DONOSO, J.M., 1986. Precisiones sobre los foraminíferos planctónicos de Casas Virgili (La Riera). *Estudios geológicos*, 42: 349-353.
- HEIM, A., 1924: Über submarine denudation und chemische sedimente. *Geol.ogische Rundschau*, 15:1-47.
- LAMBERT, J., 1927: Révision des échinides fossiles de la Catalogne. *Memòries del Museu de Ciències Naturals de Barcelona, sèr. Geol.*, 1(2):1-102.
- MARTINELL, J. y DOMÈNECH, R., 1986. Actividad bioerosiva en el Plioceno del Empordà (Catalunya). *Paleontologia i Evolució*, 20:247-251.
- MARTINELL, J. y DOMÈNECH, R. 1995. Bioerosive structures on the Pliocene rocky shores of Catalonia (Spain). *Revista Española de Paleontología*, 10(1), 37-44.
- PICKERILL, R.K., DONOVAN, S.K. y DIXON, H.L., 1993. The trace fossil *Dactyloidites otto* (GEINITZ, 1849) from the Neogene August Town Formation of South-Central Jamaica. *Journal of Paleontology*, 67(6): 1070-1074.
- PORTA, J. de, 1971: La estratigrafia del Mioceno entre Altafulla y Torredembarra (Provincia de Tarragona). *Acta Geológica Hispánica*, 6(2): 61-64.
- PORTA, J. de y CIVIS, J., 1990. Events and correlation in the Neogene of Prelitoral Catalanian depression. *Terra abstracts*, 2: 116-117.
- PORTA, J. de, CIVIS, J. y GONZÁLEZ-DONOSO, J.M., 1985. Aportaciones a la paleontología del Mioceno de Tarragona. Bio y cronoestratigrafía de la sección de Casas de Virgili (La Riera). *Estudios Geológicos*, 41: 77-83.
- PORTA, J. de, CIVIS, J. y SOLÉ, N., 1977. Datos estratigráficos y paleontológicos de la sección de Barà (Tarragona). *Studia Geologica*, 13: 127-161.
- REGUANT, S., 1960. Nota sobre dos briozoos del Mioceno de la provincia de Tarragona. *Notas y Comunicaciones del Instituto Geológico y Minero de España*, 57:127-134.