

# Relación entre sedimentos terrígenos costeros, facies arrecifales y evaporitas. El modelo de Centelles y su aplicación regional

por C. SANTISTEBAN y C. TABERNER

Departamento de Petrología, Universidad de Barcelona.

## ABSTRACT

The sedimentary model of the Eocene Catalan Basin can be reduced to some closely related terrigenous, carbonatic and evaporitic facies.

The siliciclastic facies (fan-delta, delta and tidal bars) developed as a dynamic and morphologic control of the reef growth in time and space. But the normal marine conditions with tidal deposits and reef buildups changed into restricted conditions which produced evaporitic facies within hypersaline environments.

This model, with some small variations is frequently encountered in the fossil register of the Upper Cretaceous and Eocene of the Pyrenees and Tortonian of the SE Spain.

## RESUMEN

El modelo de sedimentación de la Cuenca Eocena Catalana puede ser explicado mediante un número reducido de facies (terrigenas, carbonatadas y evaporíticas) estrechamente relacionadas entre si.

Las facies terrigenas (fan-delta, delta y barras mareales) condicionaron dinámica y morfológicamente el desarrollo de crecimientos arrecifales en el espacio y en el tiempo. Se plantea un modelo completo de esta relación que puede ser aplicado a toda la cuenca Eocena.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo presentamos una síntesis regional de la relación genética y dinámica entre sedimentos terrígenos (*alluvial-fan*, deltas y depósitos de marea), formaciones arrecifales y evaporitas, al aplicar el modelo establecido por Taberner (1978) en el área de Centelles a todo el borde de la cuenca Eocena Catalana. Hemos podido comprobar que este modelo se presenta habitualmente con algunas variaciones en el registro geológico: Cretácico superior y Eoceno pirenaicos, y Tortonense del Levante español.

## EL ÁREA DE CENTELLES

El área comprendida entre St. Feliu de Codines y Centelles se encuentra en la provincia de Barcelona a una distancia intermedia entre las poblaciones de Vic y Granollers (fig. 1). Los afloramientos eocenos de esta zona se hallan en el borde sur de la depresión del Ebro y sector norte del Sistema Prelitoral de la Cordillera Costero-Catalana.

Geológicamente está constituida por materiales que abarcan desde el Cuisiense (Ilerdiense?) hasta el Priaboniense inferior (Ferrer, 1967). Estos sedimentos, continentales y marinos están situados en una zona del borde de la cuenca de Vic. La sedimentación de borde de cuenca, en esta área, así

como en todo el Eoceno catalán, se caracterizó por el desarrollo de grandes abanicos aluviales que originaron en su llegada al mar aparatos deltaicos. Los más conocidos de estos complejos *fan-delta* son los de Pontils, Montserrat (Anadón, 1978), St. Llorenç del Munt-Gallifa y los de la Fm. Bellmunt.

La zona sobre la cual centramos nuestro interés es una pequeña área en el borde sur de la cuenca de Vic, entre el macizo del Montseny, que constituía un relieve emergido en el Eoceno, y el aparato aluvial de St. Feliu de Codines, marginal al *fan-delta* de St. Llorenç del Munt (fig. 2). Los depósitos de esta área constituyen una unidad sedimentaria en la que se intercalan facies de *alluvial-fan* con depósitos marinos; las series que los caracterizan revelan una gran complejidad en sus relaciones de facies, que obedecen a un sencillo modelo dinámico en el que intervienen un número reducido de facies deposicionales.

## FACIES DEPOSICIONALES

En el esquema de correlación de la fig. 3 se muestra la posición y relación de las asociaciones de facies que permiten la comprensión de la evolución paleoambiental del área de Centelles. Hemos simplificado aquí, en lo posible, el número de facies deposicionales presentes con respecto al trabajo anteriormente citado, que contiene descripciones y análisis más detallados (fig. 4).

### *Complejo alluvial-fan-delta*

Los aportes que llegan a la cuenca marina son introducidos a través de un sistema torrencial que constituye un conjunto de abanicos de sedimentos continentales (*alluvial-fan*) que bordean la línea de costa.

Las facies de *alluvial-fan* consisten en grandes potencias de conglomerados sin ordenación interna salvo cicatrices de base de canal y localmente acreción lateral, y areniscas, conglomerados y limolitas organizados en secuencias canalizadas con laminación cruzada debida a acreción lateral, e interpretados como depósitos *braided*, incluidos en arcillas y limolitas con ocasional laminación paralela y costras de caliche. Estas diferencias litológicas, de organización y de estructura permiten considerar una parte proximal predominantemente masiva y una parte distal canalizada, en la que

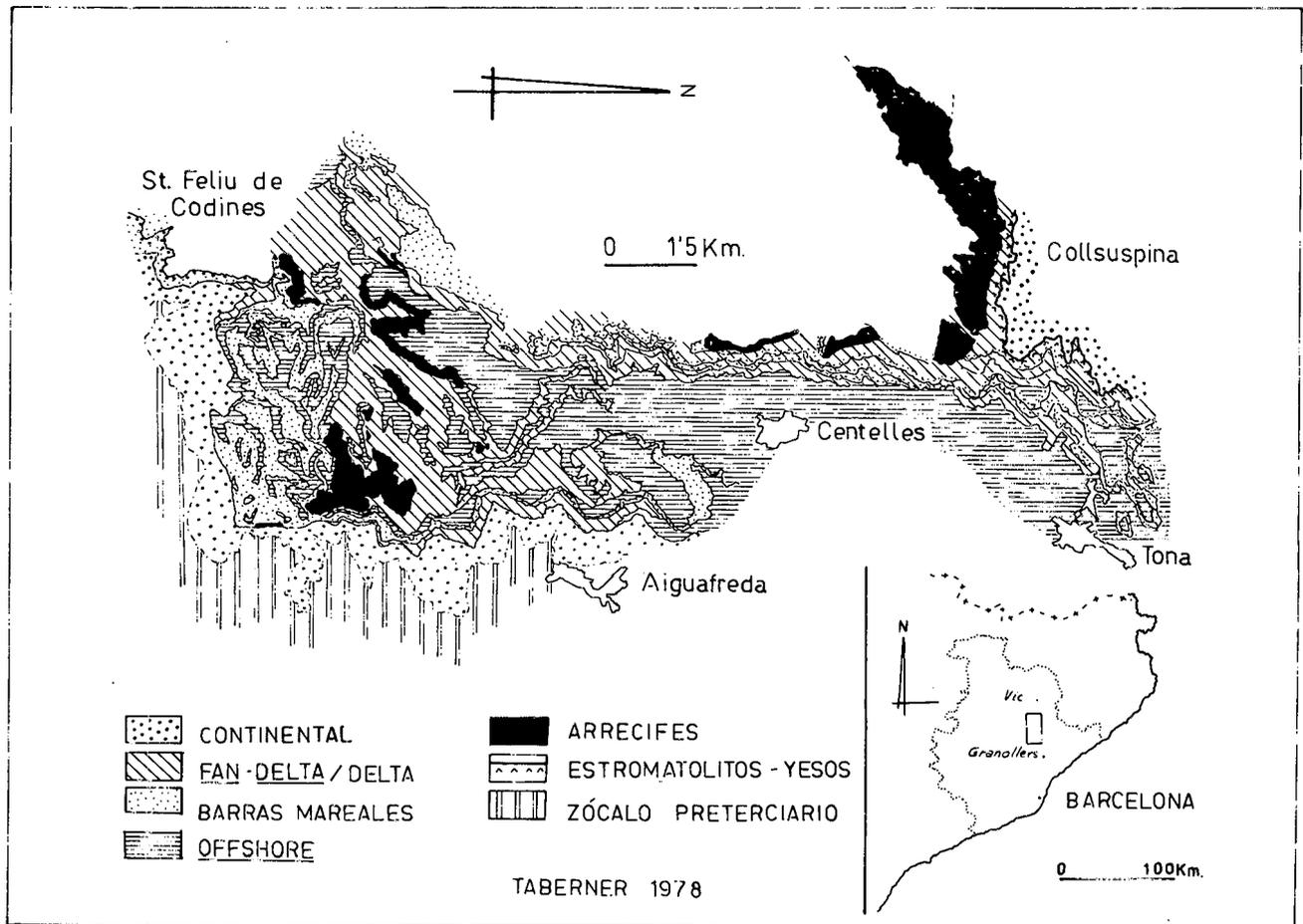


Fig. 1. Cartografía de los ambientes sedimentarios del área de Centelles.

son frecuentes los sedimentos arcillosos depositados por *sheet-flood*.

La evolución vertical de los depósitos de *alluvial-fan* muestra una progradación de las facies proximales sobre las distales desde el Cuisiense (Ilerdiense?) hasta el inicio de la transgresión Biarritzense.

De la interacción entre la actividad de los conoides aluviales y la acción de las mareas, corrientes litorales, oleaje... se derivan distintos tipos de sistemas deposicionales litorales. En Centelles la transición continental-marino debida a la transgresión Biarritzense viene determinada por sedimentos de playa, situados en las áreas relativamente elevadas de los bloques de Aiguafreda y el Montanyà (umbral de Centelles, Reguant, 1967) (fig. 3). Dichos sedimentos son conglomeráticos y presentan estratificación cruzada unidireccional planar a gran escala en disposición *offlap* perpendicular a la línea de costa. Este nivel equivale a un *foreshore* y está situado sobre las facies aluviales proximales, pasando hacia mar abierto a areniscas intensamente bioturbadas con fantasmas de *wave ripples*, que son interpretadas como niveles de *shoreface*.

Cuando el aporte de terrígeno que llega a la cuenca domina en relación con el retrabajamiento marino, en un área con fuerte subsidencia, se originan unidades deltaicas frente a la zona canalizada de *alluvial-fan* (figs. 5 y 9). Los depósitos deltaicos están compuestos por areniscas bien seleccionadas,

organizadas en secuencias *thickening and coarsening upward* con grano fino y medio en la base y grano grueso en el techo. Cada una de estas secuencias corresponde a una lámina de estratificación cruzada planar a gran escala en el *fore-set* y horizontal y paralela en el *bottom* y *top-set*. La progradación deltaica motiva la presencia de discordancias angulares ( $12^\circ$ ) bien marcadas entre las láminas de *top-set* y las de *fore-set* (fig. 5).

#### Unidad mareal

Al aminorar sensiblemente la subsidencia y el aporte de terrígenos como respuesta a una disminución en la actividad tectónica hay un retrabajamiento mareal en el techo de cada unidad deltaica (fig. 5).

Entre los sedimentos de *alluvial-fan* y los mareales se disponen unas facies de transición compuestas por gruesas potencias de conglomerados (hasta 25-30 m), con secuencias *thickening and coarsening upward* y estratificación cruzada de alto ángulo ( $16^\circ$ ). Esta facies, situada próxima a la antigua línea de costa e interpretada como depósitos de *fan-delta*, grada a canales conglomeráticos de hasta 1.5 m de potencia, en cuyo frente se desarrollan cuerpos arenosos (barras), de contacto inferior transicional y plano, y superior neto y convexo, de una longitud de 8 a 10 km. y un máximo de

20 m de espesor. En sentido vertical estas barras presentan secuencias *thickening and coarsening upward* con areniscas de grano fino en la base y conglomerados en el techo. En las partes proximal y distal es frecuente la estratificación cruzada *festoon* con clara bimodalidad en sentidos opuestos. La evolución de las estructuras internas queda reflejada en la fig. 6.

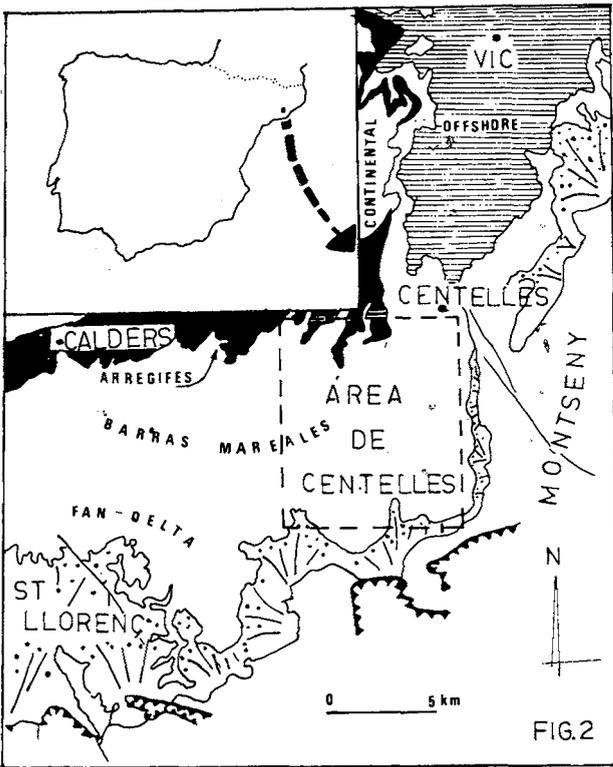


Fig. 2. Situación geológica del área de Centelles.

Las barras mareales están estrechamente relacionadas con construcciones arrecifales. La geometría de estos depósitos constituye un control a la instalación de crecimientos arrecifales, y su dinámica es un factor ecológico más (Santisteban y Taberner, 1977).

### Arrecifes

Los arrecifes se sitúan sobre la ruptura de pendiente de las facies deltaicas originando un arco arrecifal que tiene una continuidad mínima de 4 km. en la zona de Centelles, pero que puede seguirse regionalmente por 40 km. Este arco arrecifal (fig. 9) encierra un gran lagoon en el área correspondiente al antiguo *top* deltaico, con crecimientos arrecifales sobre barras mareales originando parches arrecifales. En algunos casos arcos más pequeños se desarrollan sobre la ruptura de pendiente de lóbulos de *fan-delta*, originando arrecifes franjeantes cercanos a la costa.

En los arrecifes, ya sea en los arcos marginales o en los parches arrecifales, se pueden diferenciar distintas facies:

**Back-reef.** Situado sobre el flanco suave de la barra de marea en el caso de *patch-reef*, o bien en la zona interna de los arcos marginales. Los corales se hallan en posición de vida, y

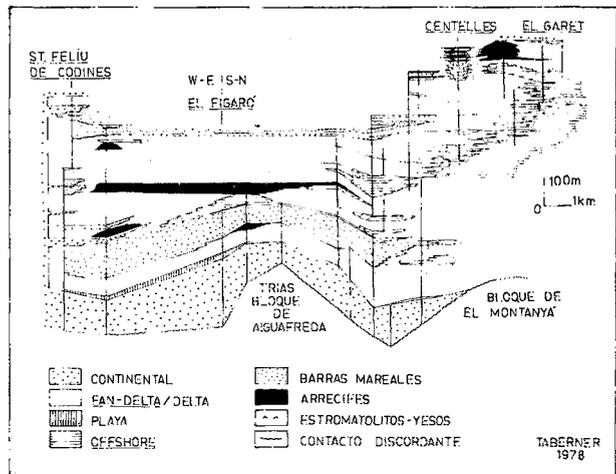


Fig. 3. Esquema de correlación de facies en el área St. Feliu de Codines - Centelles.

normalmente dispuestos sobre un banco carbonatado con foraminíferos, algas, equínidos... que constituye el tránsito entre los sedimentos terrígenos y las facies carbonatadas arrecifales, actuando cuando está presente como substrato estabilizador de la comunidad arrecifal.

**Reef-core.** Situado sobre la cresta de la barra mareal, en el caso de la unidad barra-arrecife, o sobre el borde externo de la unidad deltaica en el caso de arco marginal. En esta zona los corales se hallan también en posición de vida, empezándose a encontrar fragmentados hacia la parte externa, de donde arrancan canales de frente arrecifal que están rellenos por calcarenitas con *Nummulites* y algas, y que en este punto son profundos y estrechos; estos canales presentan granulometría positiva y cortan claramente al sedimento arrecifal encajante.

**Fore-reef.** Se dispone sobre la pendiente frontal de la barra mareal o bien en la zona frontal de todo el complejo deltaico. Aquí los corales se encuentran fragmentados y los depósitos están cortados por canales poco profundos y de gran amplitud; estos canales, que se pierden en el *offshore* transportan gran cantidad de sedimentos carbonatados finos (limos) y fragmentos bioclásticos.

### Offshore

Está formado por pelitas y margas, normalmente sin fauna, aunque en algunos puntos ésta es abundante (Reguant, 1967). Estos materiales son los conocidos como Margas de Vic, y constituyen los depósitos más distales y de mayor profundidad. Son transición lateral de las unidades deltaicas, mareales y arrecifales, y presentan como estructura interna laminación paralela con pequeñas discordancias intraformacionales de bajo ángulo en las zonas frontales a las facies deltaicas.

### Estromatolitos-yesos

En el tránsito marino-continental superior se encuentra un nivel estromatolítico sobre uno de calcarenitas con miliólidos, textularidos y otros foraminíferos. Estos niveles son continuos en la cuenca y representan la colmatación de la

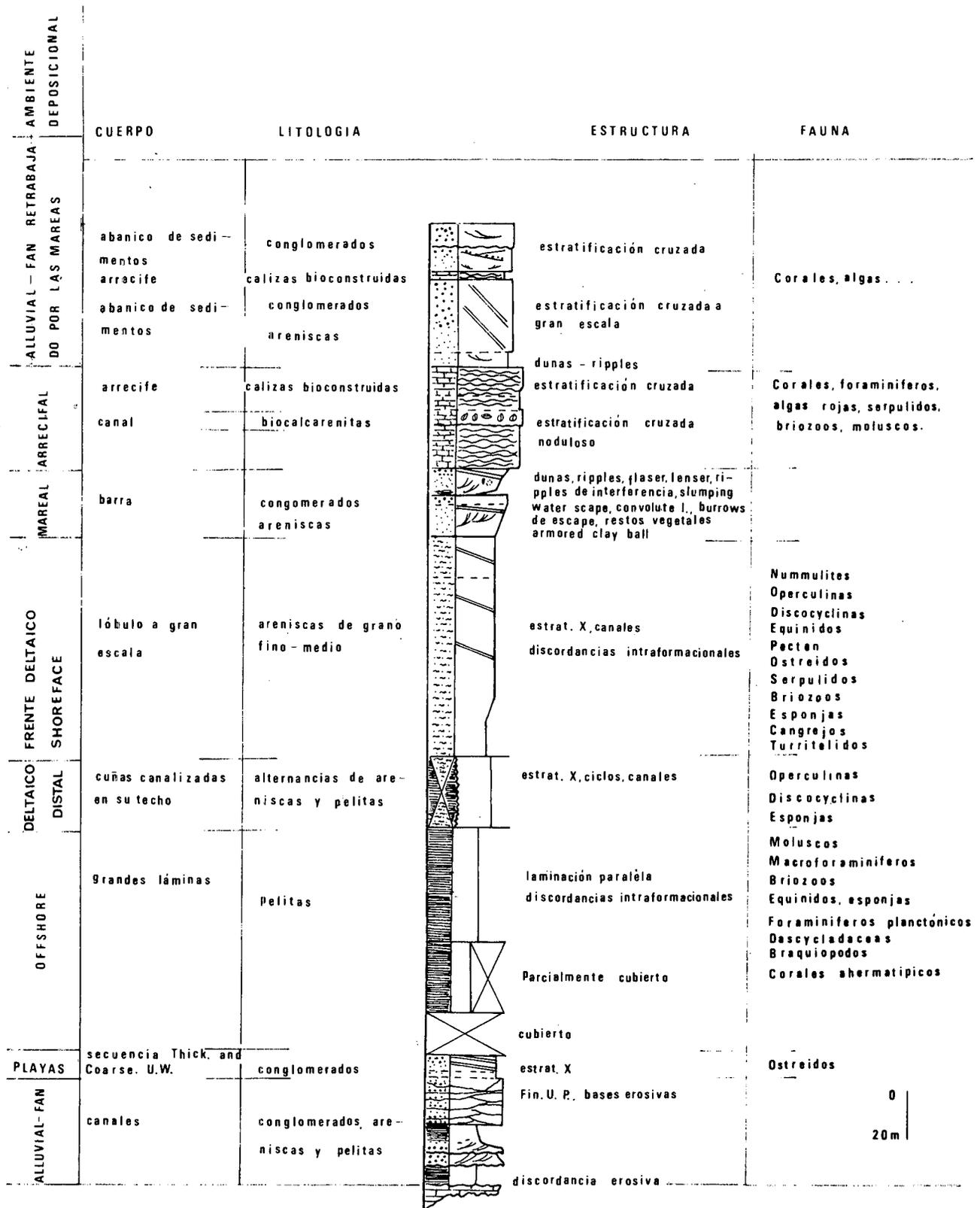


Fig. 4. Columna sintética de las características de las facies de la zona de Centelles.

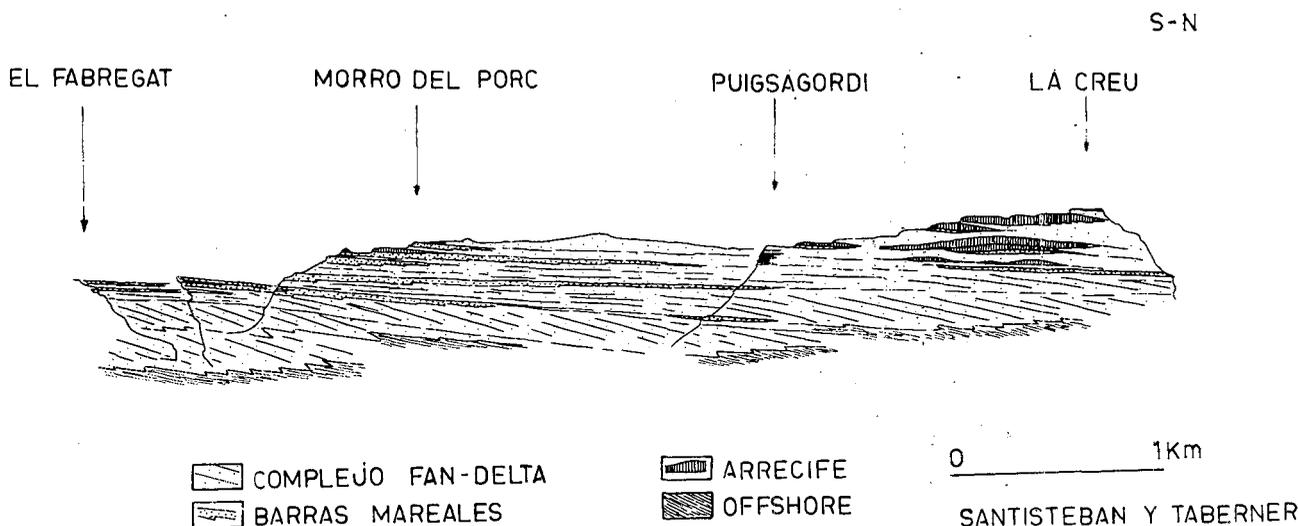


Fig. 5. Relaciones geométricas de las facies deposicionales del área de Centelles.

misma. Los estromatolitos estaban formados inicialmente por alternancias de láminas carbonatadas y de yeso y se hallaban situados en la zona marginal de la cuenca potásica catalana, ocupando las áreas más someras, y los yesos la transición hacia las facies más profundas.

El sentido dominante de progresión de los ambientes que hemos podido determinar en este margen de la Cuenca Eocena Catalana es SSE-NNW, hacia el que se manifiestan las condiciones más marinas. Debido al carácter de dispersión en abanico que presentan los depósitos con morfología de barras o lóbulos, y según se encuentren situados en el margen del Montseny o del *fan-delta* de St. Feliu de Codines, hallamos sentidos de paleocorrientes en toda la variación E-N-W. Sentidos contrarios o con componente sur sólo los presentan los depósitos mareales, ampliamente representados en esta zona, en los que se encuentra una clara bimodalidad en sentidos opuestos; sin embargo la progradación de los mismos, considerada en el tiempo es hacia el NNW.

### EL MODELO DE CENTELLES

Las facies descritas constituyen los elementos esenciales del sistema deposicional del área de Centelles. El modelo sedimentario que hemos establecido para esta subcuenca muestra una asociación entre facies terrígenas y carbonatadas condicionada por la actividad de tres factores principales: Cantidad de aportes, subsidencia y retrabajamiento mareal.

El modelo sedimentario viene determinado por la interacción de una serie de facies continentales (*alluvial-fan*) y de *nearshore* (*fan-delta*, depósitos mareales y arrecifes). Lo podemos resumir del siguiente modo (fig. 9):

La sedimentación continental tiene características torrenciales. Los canales llegan directamente al mar, y cuando la cantidad de terrígeno es elevada los depósitos se organizan en secuencias deltaicas progradantes hacia centro de cuenca, de modo que en prolongación a los depósitos de *alluvial-fan* se forma un aparato deltaico en los momentos que hay una fuerte subsidencia. En el techo de cada unidad deltaica se da un retrabajamiento mareal cuando la cantidad de aportes es menor y disminuye la subsidencia; en este momento, frontalmente a facies de *fan-delta* se originan barras mareales.

Cuando la cantidad de detrítico que llega a la cuenca es casi nula, se da el establecimiento de construcciones arrecifales que se adaptan a la morfología inicial de los cuerpos detríticos en forma de *patch-reef* aprovechando la morfología de cada barra o como una barrera arrecifal franjeando el frente de los depósitos deltaicos y que por su disposición sobre un cuerpo con geometría de abanico adopta una morfología en arco. El desarrollo de los parches arrecifales está estrechamente controlado por la dinámica de las barras mareales, cuyo avance puede causar recubrimiento y muerte del arrecife (fig. 7 y 8).

### EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL ÁREA DE CENTELLES

A la vista del esquema de correlación (fig. 3) podemos considerar varios estadios principales en la evolución de este

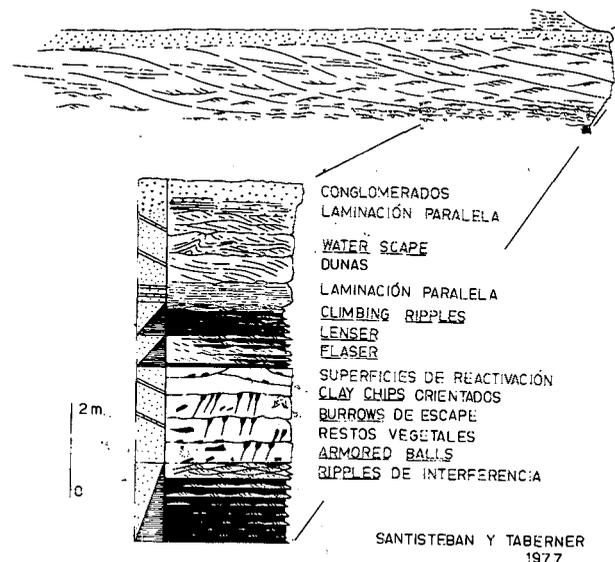


Fig. 6. Esquema de sucesión de las estructuras sedimentarias de una barra de marea.

área, diferenciados por el carácter predominante de sus depósitos.

Anteriormente a la sedimentación eocena, el juego de fracturas de zócalo del Congost, y otras de menor rango asociadas con ellas originan una serie de bloques (de Paleozoico y Triásico) fracturados y basculados.

En el Cuisiense —Luteciense y posiblemente desde el Ilerdiense, la sedimentación es marcadamente continental en forma de depósitos de carácter torrencial (*alluvial-fan*), que representa la primera fase de relleno de las depresiones del substrato preterciario. Los depósitos de *alluvial-fan* presentan una situación progradante con facies proximales que se disponen sobre facies distales. Como consecuencia de la transgresión Biarritziense los aportes continentales son re-trabajados a su llegada al mar, originándose depósitos de playa en las zonas elevadas de los bloques de Aiguafreda y el Montanyà.

El primer estadio marino (Biarritziense inferior), se caracteriza por el desarrollo de pequeños conoides deltaicos alrededor de estos bloques tectónicamente activos, y posteriormente por una sedimentación mareal continua que indica una cierta estabilización de la subsidencia y una disminución en la cantidad de aportes que llegan a la cuenca. En la base de los depósitos mareales se desarrolla el primer arco arrecifal.

En el Biarritziense medio-superior cesa el movimiento de los bloques de zócalo y las irregularidades del fondo de la

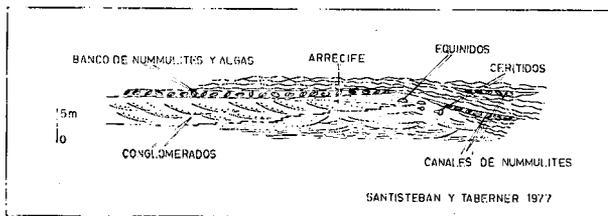


Fig. 7. Esquema de la adaptación de un arrecife de coral a la morfología de una barra de marea.

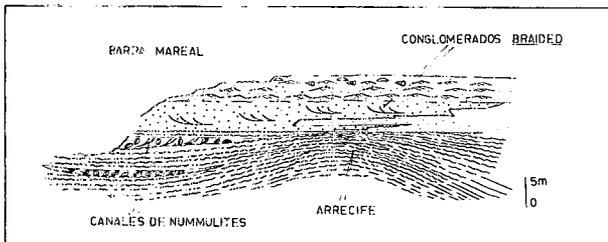


Fig. 8. Patch reef. Detención del crecimiento de un arrecife de coral por la migración sobre él de una barra mareal.

cuenca son completamente atenuadas. Los depósitos deltaicos y mareales sobrepasan el umbral de Centelles, y se inicia una expansión deltaica que llega hasta el Priaboniense. En la base de todo el complejo deltaico y sobre un tímido desarrollo de estas facies se dispone un segundo arco arrecifal. Este arco puede seguirse en el campo por una distancia mayor de 5 km, y franjea el borde externo de los sedimentos deltaicos (fig. 1). A partir del Biarritziense medio las interrelaciones de los ambientes sedimentarios en el área de Centelles se ajustan a un modelo progresivo (dinámico) en el que intervienen un número limitado de componentes: Un complejo delta/*fan-delta*, barras mareales y arrecifes (fig. 9). La acción mareal se manifiesta en el techo de las unidades

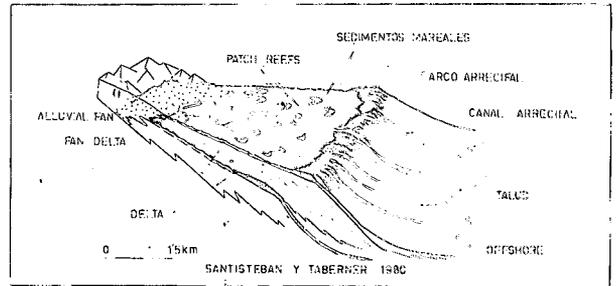


Fig. 9. El modelo deposicional del área de Centelles.

deltaicas por ser ésta dominante cuando disminuyen los aportes. La disminución de la cantidad de terrígeno que llega a la cuenca va asociada con una menor subsidencia en el área marina, ya que ambos fenómenos son consecuencia de una misma manifestación tectónica en el borde de cuenca: Alzamiento relativo del área fuente continental con respecto al área marina subsidente. De este modo a cada pulsación tectónica le corresponde la progradación de una unidad deltaica y a cada período de calma una disminución y estabilización de la subsidencia relativa en el área de sedimentación, que facilita la acción de las mareas y el establecimiento de unas condiciones adecuadas para el arraigo y evolución de un sistema ecológico arrecifal.

En el Priaboniense inferior se da en el área de Centelles un claro predominio de facies mareales (barras mareales) y arrecifales (*patch-reefs* y arcos arrecifales), relacionadas con facies deltaicas. La profundidad de sedimentación es pequeña y su variación determinada por el ritmo de subsidencia, permite la sucesión en el tiempo de varios estadios deltaicos y mareales-arrecifales progradantes hacia el N-NW.

El último desarrollo arrecifal vuelve a manifestarse como un gran arco que engloba principalmente sedimentos de marea y parches arrecifales. Este arrecife tiene 60 m de potencia y está compuesto por seis unidades que corresponden a seis episodios. Salas (1979) en el arrecife de Puig Aguilera, cuenca de Igualada, muestra la existencia de evidencias de emersión entre algunos de estos episodios. Posteriormente a esta fase arrecifal la sedimentación pasa a ser de llanura costera, en una cuenca hipersalina en la que se originan crecimientos estromatolíticos y depósitos de evaporitas que constituyen el paso marino-continental. En el área de Centelles este continental representa las partes más distales de un *alluvial-fan* con un *flood-plain* bien desarrollado, en el que lóbulos frontales a canales *braided* se depositan de modo progradante sobre los materiales de ambiente hipersalino.

## CONSIDERACIONES

El sistema de *alluvial-fan-delta*, barras mareales, y arrecifes no es exclusivo de la zona de Centelles, y con ciertas variaciones se presenta en otros puntos de la cuenca: zona subpirenaica, área de Igualada, o en otros puntos del Eoceno Pirenaico (Puigdefabregas, 1975; y Nijman, 1977), sin que hasta el presente se haya hecho referencia a la naturaleza exacta de esta relación. Hemos podido comprobar que la asociación entre distintos medios: *alluvial-fan*, *fan-delta*, *delta*, barras mareales y playas (Santisteban & Taberner, 1980) se presenta habitualmente en el registro geológico:

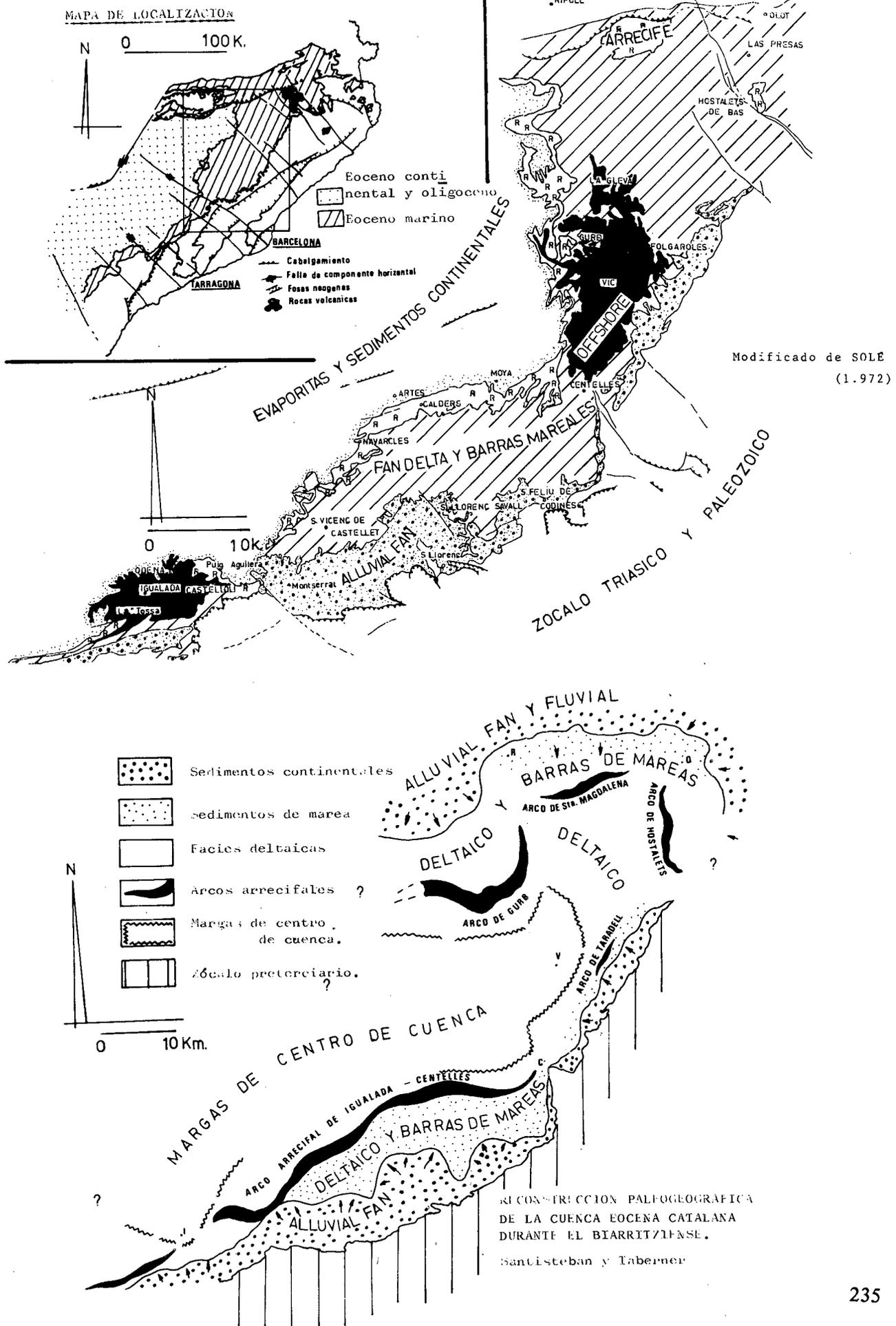


Fig. 10. Ambientes deposicionales de la cuenca eocena catalana y reconstrucción paleogeográfica durante el Biarritzense.

Cretácico superior y Eoceno pirenaicos, y Tortoniense del SE del Levante español, siendo en el Eoceno de la Cuenca Catalana el modelo básico para el estudio de las relaciones entre las principales unidades deposicionales. Así pues aplicando este modelo podemos interpretar la cartografía litológica del IGME (Solé Sabarís, 1972), fig. 10, y ponemos de manifiesto la presencia de sistemas similares en el borde de la Cuenca Eocena Catalana.

## CONCLUSIONES

— Durante el Biarriztiense y Priaboniense inferior hay actuación de mareas en la zona de Centelles. El registro mareal puede seguirse por todo el borde de la cuenca Eocena Catalana: Manresa-Calders (ob. pers.), Centelles (Santisteban & Taberner, 1977), areniscas de Folgueroles (ob. pers.), y umbral, de Coubet-Olot (Kromm, 1967 y Santisteban, 1978).

— En el Priaboniense inferior hay un paso de condiciones de mar abierto con actuación de mareas a condiciones restringidas con sedimentación propia de ambientes hipersalinos.

— El establecimiento de arrecifes a lo largo de todo el borde de cuenca mareales, playas...).

— El modelo de Centelles es aplicable a todo el borde de cuenca eoceno catalán y probablemente a la Cuenca Tremp-Pamplona, así como en otras zonas a otras formaciones marinas de distintas edades.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Mateu Esteban (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) la lectura y discusión crítica del manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- ANADÓN, P. (1978): El Paleógeno continental anterior a la transgresión Biarriztiense (Eoceno Medio) entre los ríos Gaià y Ripoll (provincias de Tarragona y Barcelona). 267 pp. 165 fig. 4, map. 6 lám. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. Inédito.
- FERRER, J. (1967): Bioestratigrafía y micropaleontología del Paleoceno y Eoceno del borde Sud-Oriental de la Depresión del Ebro. Tesis Doctoral. Univ. de Barcelona. Inédito.
- KROMM, F. (1967): Le flysch de Vallfogona et son contexte paléogéographique (Province de Gerone, Espagne). *Actes Soc. Linn. Bordeaux*. t. 104 ser. B. núm. 3, pp. 3-11.
- NIJMAN, W. (1977): Structure controlled deltaic sedimentation, the Eocene Montañana Deltaic Complex, Tremp-Graus Basin, Southern Pyrenees. *Resumen de Com. Científicas. VIII Congr. Nacional de Sedimentología. Oviedo-León*.
- PUIGDEFÁBREGAS, C. (1975): La sedimentación molásica en la Cuenca de Jaca. *Mem. Inst. Est. Pirenaicos*. n.º 104. C.S.I.C. 188 pp.
- REGUANT, S. (1967): El Eoceno marino de Vic (Barcelona). *Mem. Inst. Geol. y Min. Esp.* t. 68, 330 pp.
- SALAS, R. (1979): El sistema arrecifal del Eoceno superior de la Cuenca de Igualada. Departamento de Petrología y Geoquímica. Universidad de Barcelona. Tesis de Licenciatura. Inédita.
- SANTISTEBAN, C. (1978): Estudio ambiental de la Cuenca Eocena Prepirenaica entre Olot y Ripoll, Provincia de Gerona. Univ. Autónoma de Barcelona. Bellaterra.
- SANTISTEBAN, C. y TABERNER, C. (1977): Barras de marea como control de la formación de arrecifes en el Eoceno medio y superior en el sector de St. Feliu de Codines-Centelles. *Estudios Geológicos*, n.º 32, Noviembre 1977; Diputación Provincial, Universidad de Barcelona. Págs. 203-214.
- SANTISTEBAN, C. y TABERNER, C. (1980): The siliciclastic environments as a dynamic control in the establishment and evolution of reefs. Sedimentary models. 1<sup>st</sup> European Regional Meeting. International Association of Sedimentologists. Bochum (Germany).
- SOLE SABARÍS, L. (1972): Mapa Geológico de España. Escala 1:200.000. Hoja n.º 34, Hospitalet. *Inst. Geol. y Min. de Esp.* Madrid.
- SOLE SABARÍS, L. (1972): Mapa Geológico de España. Escala 1:200.000. Hoja n.º 35, Barcelona. *Inst. Geol. y Min. de Esp.* Madrid.
- TABERNER, C. (1978): Ambientes sedimentarios en el borde SE de la Cuenca Eocena Catalana. Departamento de Estratigrafía y Geología Histórica. Universidad Autónoma de Barcelona. Tesis de Licenciatura. Inédita.

Recibido, febrero 1979.