

Estratigrafía secuencial de sistemas deltaicos en cuencas de antepaís: ejemplos de Sant Llorenç del Munt, Montserrat y Roda (Paleógeno: cuenca de antepaís surpirenaica)

Miguel López Blanco

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

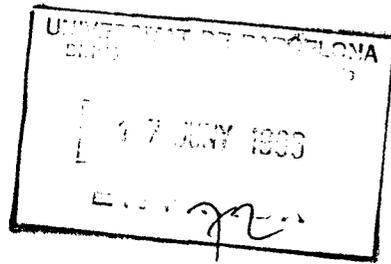
ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



UNIVERSITAT DE BARCELONA

Departament de Geologia Dinàmica,
Geofísica i Paleontologia



Facultat de Geologia
Zona Universitària de Pedralbes
Tel. 402 13 76
Fax 402 13 40
08071 Barcelona

ESTRATIGRAFIA SECUENCIAL DE SISTEMAS DELTAICOS EN CUENCAS DE ANTEPAIS: EJEMPLOS DE SANT LLORENÇ DEL MUNT, MONTSERRAT Y RODA (Paleógeno, cuenca de antepaís surpirenaica)

Memoria realizada por Miguel LÓPEZ BLANCO en el Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la Facultat de Geologia de la Universidad de Barcelona, dirigida por los doctores Mariano Marzo Carpio, del mencionado departamento y Luís Pomar Goma del Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears, para optar al grado de Doctor en Geología.

Barcelona, Junio de 1996

Los directores:

Mariano Marzo Carpio

Luis Pomar Goma

El doctorando, Miguel López Blanco

Las variaciones climáticas deducibles a partir de los trabajos de Zachos *et al.* (1993 y 1994) basadas en isótopos del carbono y del oxígeno en muestras de foraminíferos bentónicos no son lo suficientemente detalladas como para ser relacionadas con cambios de la frecuencia mostrada por las secuencias compuestas. Sin embargo, cabe la posibilidad de la existencia de cambios climáticos importantes, glaciaciones incluidas, durante la parte alta del Eoceno superior (Zachos *et al.*, 1993 y 1994). Estas variaciones climáticas afectarían a los sistemas estudiados, ya que inducirían variaciones relativas del nivel del mar y/o variaciones en el aporte sedimentario que podrían relacionarse con las secuencias compuestas.

La relación entre secuencias compuestas y variaciones de subsidencia tampoco queda clara, ya que no existe el número suficiente de puntos de control cronoestratigráfico para poder realizar un diagrama de historia de subsidencia lo suficientemente detallado. La ciclicidad transgresivo-regresiva mostrada por las secuencias compuestas debe estar controlada por variaciones en la acomodación y el aporte sedimentario. Tras lo expuesto para la megasecuencia de Milany, queda claro que la actividad tectónica, además de manifestarse por medio de la subsidencia, también modifica los aportes sedimentarios. Trabajos preliminares de modelización por computadora realizados durante el otoño de 1994 en la "Royal Holloway University of London", nos indican la posibilidad de reproducir las geometrías mostradas por las secuencias compuestas, simplemente variando los aportes sedimentarios en situaciones en las que la variación relativa del nivel del mar, o la subsidencia son lineales.

Tras un detallado análisis de campo de las relaciones físicas existentes entre los cinturones de facies de abanico costero y de abanico aluvial, resulta evidente que las secuencias observadas en el abanico aluvial proximal no pueden correlacionarse directamente con las definidas en la zona costera (Figura S.40). Los cambios específicos en la composición litológica de los cantos que integran los conglomerados de abanico aluvial a veces coinciden (aproximadamente) con límites de secuencia compuesta, a veces con superficies de máxima inundación de secuencia compuesta pero, lo más frecuente es que no coincidan con ningún tipo de las superficies clave observadas en las zonas costeras. Los ciclos definidos en base a la composición de los clastos y el tipo de sedimento, deben estar relacionados con variaciones locales en la pendiente y composición del área fuente, como respuesta a la actividad tectónica. Estos factores también deben haber influido en la formación de algunas de las secuencias compuestas (como la base de las secuencias de Vilomara y Cal Padró) pero no son un factor de control exclusivo en todas ellas.

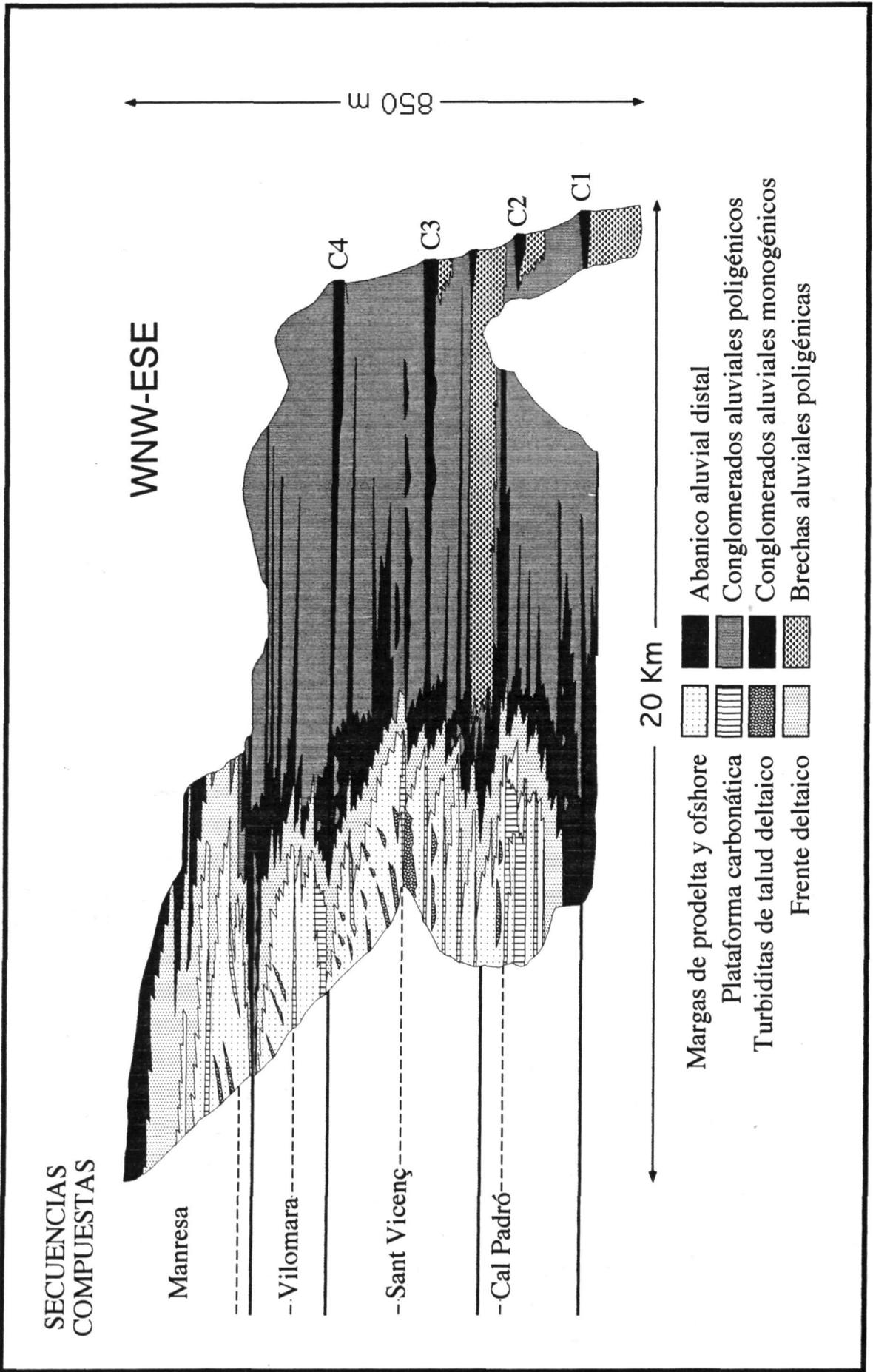


Figura S.41) Corte geológico simplificado del sector occidental del complejo de Sant Llorenç del Munt, en el que se observa la correlación entre las facies y secuencias continentales y marinas.

Simplified geologic section of the Sant Llorenç del Munt complex, showing the facies and sequential correlation between marine and non-marine deposits.

Una situación similar se deduce del estudio detallado de las relaciones existentes entre las secuencias compuestas y los ciclos definidos por el paso de facies proximales a distales dentro del abanico aluvial (Figuras S.41, S.42 y S.43). Si tanto la ciclicidad observada en el abanico aluvial, como la del abanico costero, estuviesen relacionadas con los mismos factores de control, una transgresión en la zona costera iría ligada a una retrogradación del sistema aluvial (y viceversa), mientras que una progradación en la zona de frente deltaico iría acompañada de una tendencia similar en el abanico aluvial. En algunas ocasiones las regresiones máximas que sirven de límite de secuencia compuesta son casi coincidentes con momentos de máxima progradación del abanico aluvial proximal (secuencias compuestas de cal Padró y Vilomara en Sant Llorenç y la secuencia Sant Vicenç en Montserrat). Otras secuencias, como Sant Vicenç en Sant Llorenç del Munt, muestran una máxima transgresión situada algo por debajo de la máxima retrogradación de las facies gruesas del sistema aluvial (figuras S.42 y S.43), siendo la máxima transgresión anterior a la máxima retrogradación aluvial.

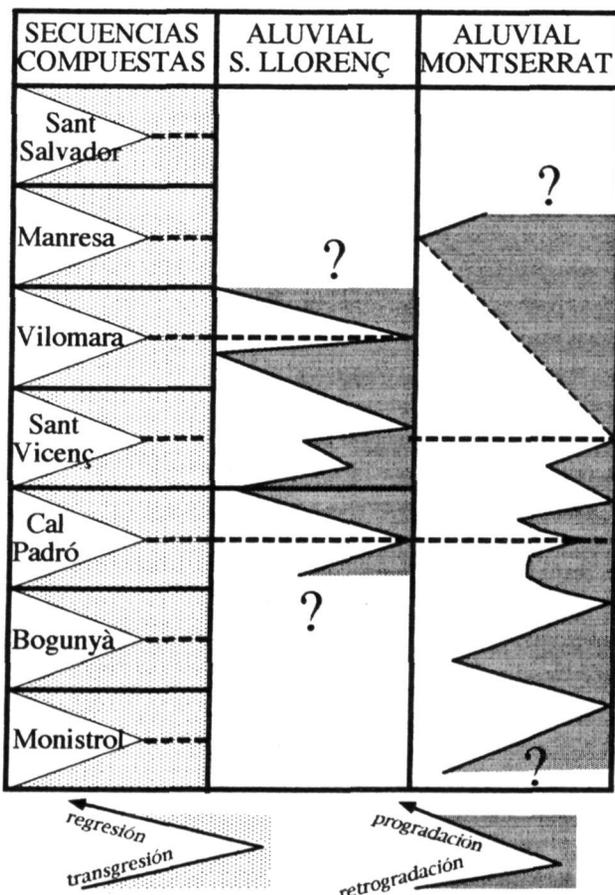


Figura S.42) Diagrama en el que se muestra la correlación entre las transgresiones y regresiones que definen las secuencias compuestas en las zonas costeras y las retrogradaciones y progradaciones de los sistemas aluviales conglomeráticos en Sant Llorenç del Munt y Montserrat.

Diagram showing a correlation between the successive transgressions and regressions that define composite sequences in the coastal areas and retrogradations and progradations of the alluvial systems in Sant Llorenç del Munt and Montserrat alluvial fans.

Así, al igual que con los ciclos descritos en el sistema aluvial proximal, los ciclos del abanico aluvial distal tienen alguna relación con las secuencias compuestas, pero no están directamente relacionados.

Los controles originales de los ciclos aluviales de tipo retrogradante-progradante deben ser teóricamente similares, incluso los mismos, que los relacionados con las secuencias compuestas (cambios climáticos y tectónica) pero, tras lo observado, la respuesta a los mismos factores en diferentes partes del sistema son diferentes. Estas diferencias también podrían estar relacionadas con diferentes velocidades de respuesta a un mismo "estímulo" o con una mayor influencia de uno u otro factor, según en que parte del sistema nos hallemos.

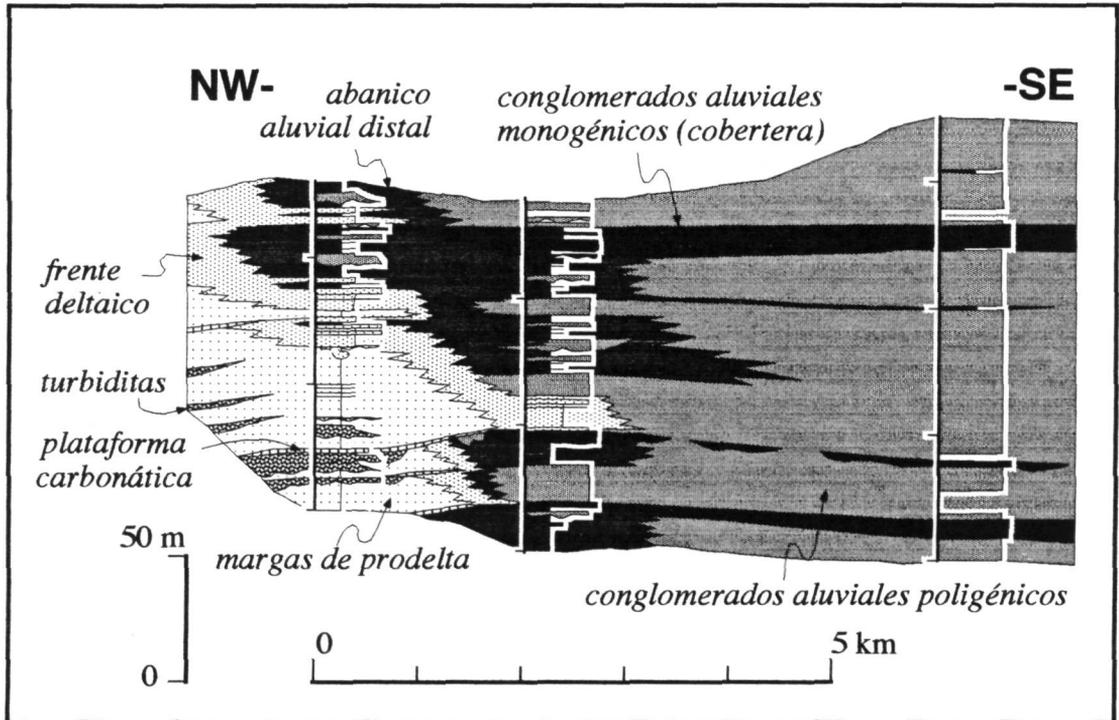


Figura S.43) Correlación de tres columnas estratigráficas situadas en una sección paralela a los aportes, en la que se muestra el paso de facies marinas a no marinas. Cabe destacar el decalaje entre la máxima transgresión y la máxima retrogradación del abanico aluvial.
Downdip log correlation showing the passage from non-marine to marine facies. Notice the delay between the maximum transgression and the maximum retrogradation of the alluvial fan.

SECUENCIAS FUNDAMENTALES

No conocemos ningún gráfico en el que se reflejen variaciones eustáticas de alta frecuencia y aunque éste existiera, la datación de la que se dispone no es lo suficientemente fina como para poder correlacionarlo con las secuencias fundamentales definidas. Los datos paleoclimáticos y de subsidencia comentados para las secuencias y megasecuencias compuestas tampoco son lo suficientemente detallados como para intentar establecer correlación alguna con la ciclicidad transgresivo-regresiva registrada por las secuencias fundamentales. Este tipo de secuencias evidencian claras variaciones en el aporte sedimentario, que se reflejan en sus tendencias internas y en sus dos tramos, transgresivo y regresivo, bien definidos. Estas variaciones en el aporte sedimentario pueden relacionarse con procesos tanto de tipo autocíclico como

alocíclico. Las variaciones relativas del nivel del mar (eustáticas o inducidas por la tectónica) son un posible control de tipo alocíclico. Este origen podría probarse si las secuencias fundamentales pudieran seguirse, físicamente, por toda la cuenca (algo imposible en el área de trabajo). Si se pudieran corelacionar, su origen sería claramente alocíclico. Si no fueran continuas en toda la cuenca, también podrían tener un origen alocíclico, pero su continuidad lateral se podría encontrar enmascarada por cambios laterales de facies asociados a puntos de entrada de sedimento. Secuencias fundamentales similares a la descritas en el sistema de Sant Llorenç del Munt se pueden generar a partir de oscilaciones relativas del nivel del mar con amplitudes de menos de 5 metros.

Las secuencias fundamentales también se pueden generar durante un período de subida lineal del nivel relativo del mar, simplemente por procesos de tipo autocíclico, como la migración de lóbulos o canales, que darían lugar a variaciones en el aporte de sedimento.

Probablemente, en el caso estudiado, existe una combinación de factores alocíclicos y factores autocíclicos. En un marco como el de los sistemas de Sant Llorenç del Munt y Montserrat, próximos a una cadena montañosa tectónicamente activa, son comunes las variaciones relativas del nivel del mar inducidas por la tectónica. Las variaciones en los aportes sedimentarios también pueden producirse como una respuesta a la actividad tectónica (tal y como se ha discutido en la megasecuencia de Milany) o a la dinámica del sistema.

5) CONCLUSIONES

•En la sucesión estudiada se reconocen dos sistemas sedimentarios alternantes en el tiempo (abanicos aluviales y costeros, y plataformas carbonáticas) que muestran una profundización de la cuenca hacia el NW.

•Las facies terrígenas, mucho más importantes volumétricamente que las de plataforma carbonática, se componen de cuatro asociaciones o cinturones de facies principales: abanico aluvial, llanura de abanico costero, frente de abanico costero y talud de abanico costero.

•Los abanicos aluviales constan de una zona proximal conglomerática, caracterizada por el desarrollo de flujos gravitacionales de sedimento, ligados a la existencia de fuertes pendientes. La llanura del abanico costero y abanico aluvial distal, de menor pendiente, se caracterizan por un predominio de flujos canalizados en una llanura de inundación esencialmente lutítica.

•El frente del abanico costero está formado por depósitos conglomeráticos y arenosos ligados a la formación y migración de barras de desembocadura. Gran parte de los depósitos de frente de abanico costero reflejan cierto retabajamiento por el oleaje y otras corrientes costeras.

•El talud de abanico costero se caracteriza por el predominio de facies margosas y la presencia de procesos de resedimentación, representados por "turbiditas" de alta y baja densidad que se presentan tanto canalizadas como en acumulaciones lobulares al pie de talud deltaico. Estos procesos se asocian a otros de desestabilización, que incluyen fallas lítricas, deslizamientos, "slumps", pliegues y cabalgamientos de pequeña escala.

•Las plataformas carbonáticas se instalan durante periodos transgresivos o de baja actividad aluvial. Hacia el NW pueden pasar a margas de cuenca y hacia el SE a depósitos detríticos costeros y subaéreos. Estas plataformas muestran un caracter somero y una clara zonación faunística, en función de la profundidad y proximidad a la línea de costa. También pueden desarrollarse construcciones arrecifales tanto de tipo barrera como "franjeantes".

•En los sistemas de Montserrat y Sant Llorenç del Munt existen, por lo menos, cuatro ordenes diferentes de ciclicidad de tipo transgresivo-regresivo. Estos ciclos están representados por una serie de secuencias transgresivo-regresivas (secuencias de alta frecuencia, secuencias fundamentales, secuencias fundamentales, secuencias compuestas y megasecuencias compuestas).

•Estas secuencias transgresivo-regresivas son de naturaleza descriptiva y han sido definidas en base a las relaciones entre diferentes facies, geometrías y trayectorias de la línea de costa. Las secuencias transgresivo-regresivas constituyen en nuestro caso la opción más adecuada para subdividir las

sucesiones estudiadas en unidades aloestratigráficas. La opción de una subdivisión basada en la estratigrafía secuencial clásica (escuela EXXON) se han descartado, por la dificultad existente en el reconocimiento de los tres tipos de límites de secuencia posibles. La dificultad para reconocer superficies de máxima inundación en depósitos aluviales, junto con la complicación resultante de la posible existencia de discontinuidades importantes asociadas a momentos de máxima regresión, que se localizarían dentro de las secuencias, nos ha inclinado a desechar la opción de las secuencias estratigráficas genéticas (Galloway, 1989).

- Las secuencias fundamentales son secuencias transgresivo-regresivas de orden intermedio, lateralmente persistentes y cartografiables. Éstas se subdividen en dos partes o tramos principales: una parte transgresiva basal (principalmente formada por facies de plataforma carbonática, de frente deltaico retrabajado y de playa) y una regresiva (que incluye facies de abanico costero progradante). Sus límites son superficies basales de transgresión, generalmente coincidentes con superficies de máxima regresión. Estas secuencias transgresivo-regresivas son identificables a la escala de afloramiento y sus superficies clave están marcadas por cambios litológicos y de facies claros. Las superficies de máxima inundación también son fácilmente reconocibles.

- Las secuencias compuestas han sido definidas a partir del tipo de apilamiento de las secuencias fundamentales. Estas secuencias también se componen de una parte transgresiva (unidad transgresiva) y otra regresiva (unidad regresiva) separadas por una superficie de máxima inundación. Existen diferencias litológicas a gran escala entre las unidades transgresivas y las regresivas, siendo las primeras mucho más ricas que las segundas en depósitos de plataforma carbonática.

- La megasecuencia compuesta se ha definido a partir del análisis de la modalidad de apilamiento de las diferentes secuencias compuestas. Se compone de una sucesión transgresiva en la parte inferior (megaunidad transgresiva) y una regresiva (megaunidad regresiva) en la parte alta.

- Los tres tipos de secuencias transgresivo-regresivas descritas tienen componentes y características similares.

- El origen de la megasecuencia compuesta parece estar relacionado con diferentes factores de control, así como con posibles respuestas diferentes del sistema a determinados factores en diferentes períodos de tiempo. Los cambios eustáticos globales podrían haber favorecido la regresión y desecación de la cuenca al final del depósito de la megasecuencia compuesta. La actividad tectónica es uno de los factores de control más importantes, produciendo

variaciones en las tasas de acomodación y subsidencia, que probablemente favorecieron la primera incursión marina registrada al inicio de la megasecuencia. La actividad tectónica también parece haber controlado el aporte sedimentario, que resulta ser un factor principal, determinante de la tendencia agradacional-retrogradacional de la megaunidad transgresiva y de la tendencia progradacional de la megaunidad regresiva. Las variaciones climáticas constituyen otro posible factor de control.

- Las secuencias compuestas pueden haberse generado en respuesta a varios factores. Los datos disponibles de variaciones en el eustatismo, el clima o la subsidencia no son lo suficientemente detallados como para discernir la influencia particular de un tipo de control sobre otro. Tras el estudio de las relaciones entre la ciclicidad de los depósitos aluviales y los marinos, se constata que la actividad tectónica y los aportes sedimentarios, podrían ser, en ocasiones, los factores dominantes de control en la sedimentación de algunas de las secuencias compuestas, o al menos, de algunas de las tendencias que muestran sus unidades o sus superficies claves. De la comparación con áreas vecinas, se desprende que las superficies de máxima inundación de las secuencias compuestas de Monistrol y Manresa tienen un carácter regional, no local, que podría coincidir con los máximos transgresivos de los ciclos eustáticos 3.6 y 3.5 de Haq *et al.* (1987).

el factor primero que daría lugar a algunas de las secuencias compuestas

- Las secuencias fundamentales reflejan variaciones en el aporte de sedimento, probablemente producto de una combinación entre factores de tipo alocíclico (variaciones relativas del nivel del mar) y autocíclicos (migraciones de canales, lóbulos, etc...).

- El significado e importancia de ciertas superficies clave (a escala de secuencia fundamental, secuencia compuesta o megasecuencia compuesta) varía de unas zonas a otras de la misma cuenca.

6) SUMMARY

•In the studied succession two alternating sedimentary systems have been recognized: alluvial fan/ fan delta and carbonate platforms. These systems show a deepening of the basin towards the NW.

•The detrital facies are volumetrically much more important than the carbonate facies and are constituted by four main facies belts: alluvial fan, fan-delta plain, fan-delta front and fan-delta slope.

•Alluvial fans consist of a conglomeratic proximal area characterized by the development of sediment gravity flow deposits, related to the presence of high slopes. The distal alluvial fan (or fan-delta plain) shows lower slopes and sandy and conglomeratic channelized deposits encased in an essentially fine-grained, muddy floodplain.

•The fan-delta front is made by sandy and conglomeratic mouth bar deposits. Most of these deposits show a certain degree of wave reworking.

•The fan-delta slope is characterized by marly facies and the development of frequent resedimentation processes, represented by high and low density turbiditic deposits that can occur either as channelized bodies or as lobes on the slope toe. Unstabilization processes, including listric faults, slides, slumps, and small-scale folds and thrusts, are also common.

•Carbonate platforms were developed during transgressive or low detrital input periods. These deposits may grade basinward (to the NW) to offshore marls and to coastal and subaerial detrital facies landward (to the SE). These platforms are usually constituted by shallow water facies and show a clear faunistic zonation linked to the water depth and the proximity to the shoreline. Reef buildings can also be developed as barrier or fringing.

•There are, at least, four different orders of transgressive-regressive cyclicity in the Sant Llorenç del Munt and Montserrat systems. These cycles are represented by : high-frequency sequences, fundamental sequences, composite sequences and composite megasequences.

•These transgressive-regressive sequences are just descriptive and have been defined on the basis of facies relationships, depositional geometries and shoreline trajectories. Transgressive-regressive sequences have been chosen as the best option to subdivide the studied succession in allostratigraphical units. Classic sequence stratigraphic subdivisions (Exxon model) are difficult to apply because recognition of sequence boundaries exclusively linked to relative sea level falls is not clear. The difficulty to recognize maximum flooding surfaces in alluvial deposits and the complication raised from the presence of unconformities related to maximum regressive stages within the sequences made us elude genetic stratigraphic sequences (Galloway, 1989).

- Fundamental sequences are intermediate order laterally persistent and mapable transgressive-regressive sequences. They have been subdivided in two main parts; a basal transgressive part (mainly formed by carbonate platform, reworked fan-delta front and beach facies associations) and a regressive part (including prograding fan-delta). Their boundaries are basal transgressive surfaces, usually coincident with maximum regression surfaces. Fundamental sequences are outcrop-scale sequences and their key surfaces are usually marked by clear lithological and facies changes.

- Composite sequences have been defined after the analysis of the stacking pattern of the fundamental sequences. They also consist of a transgressive unit and a regressive unit separated by a maximum flooding surface. There are large-scale differences between transgressive and regressive units, being more carbonate-rich the former and more detrital the later.

- From the stacking pattern of the composite sequences a transgressive-regressive composite megasequence has been defined. It consists of a lower transgressive megaunit and an upper regressive megaunit.

- The three types of transgressive-regressive sequences have similar characteristics and components.

- The origin of the composite megasequence seems to be related to different controlling factors as well as to different responses to the same controlling factors in different periods of time. Global sea-level changes could have controlled the final regressional evolution and the eventual dissection of the basin coeval with the top of the composite megasequence. Tectonic activity is one of the most important controlling factors producing both subsidence and accommodation variations, which together probably helped the first marine incursion. Tectonic activity also may have controlled sediment supply variations that seem to have influenced the aggradational-retrogradational stacking pattern of the transgressive megaunit and the progradational pattern of the regressive megaunit. Climatic variations are probably another controlling factor of the internal architecture of the composite megasequence.

- Composite sequences may be generated in response to several controlling factors. The data set concerning eustatic, climatic or subsidence variations are not detailed enough to register the transgressive-regressive cyclicity linked to the composite sequences, however, they can't be excluded as controlling factors. After the study of the relations between the alluvial and the marine cycles, it is concluded that tectonic activity and sediment supply variations, could in several cases be the primal factor controlling some of the composite sequences or at least, some of their sequential trends or key surfaces.

From the comparison with the surrounding areas, a regional (basinal) significance is suggested for some of the sequences (at least their maximum flooding surfaces).

- Fundamental sequences reflect sediment supply variations probably resulting from a combination of allocyclical (eustatic or tectonically-induced relative sea-level variations) and autocyclical factors (channel and/or lobe migration).

- The meaning and importance of key surfaces (on fundamental sequences, composite sequences or composite megasequences) are variable in different areas of the same basin.

Láminas del Capítulo II

Lámina I

• Fotografías de facies de abanico aluvial y llanura deltaica (de abanico costero) de la zona de Sant Llorenç del Munt-Montserrat.

- 1) Brechas monogénicas de clastos de rocas paleozoicas (facies A3) del abanico aluvial proximal.
- 2) Brechas poligénicas (facies A4) de clastos de rocas paleozoicas y triásicas en el abanico aluvial proximal.
- 3) Brechas monogénicas de clastos de rocas triásicas (facies A2); obsérvese la tendencia granocreciente (diámetro de los madroños = 2,5 cm).
- 4) Conglomerados monogénicos de clastos de rocas triásicas (facies A2) en el abanico aluvial proximal.
- 5) Conglomerados poligénicos (facies A1) de clastos de rocas paleozoicas y triásicas en el abanico aluvial proximal.
- 6) Canal conglomerático (facies A6) intercalado entre facies arcillosas y arenosas rojas de abanico aluvial distal (facies A5) (talud=15/20 m).
- 7) Facies arcillosas y arenosas rojas (facies A5 del abanico aluvial distal) con estratificación horizontal y algunas superficies netas erosivas (talud = 10 m).

• *Pictures of alluvial fan and fan-delta plain facies.*

- 1) *Paleozoic-derived monogenic breccias (facies A3) of the proximal alluvial fan.*
- 2) *Paleozoic- and triassic-derived polygenic breccias (facies A4) of the proximal alluvial fan.*
- 3) *Triassic-derived monogenic breccias (facies A2) of the proximal alluvial fan. Notice the coarsening upwards trend (strawberry diameter = 2,5 cm).*
- 4) *Triassic-derived monogenic conglomerates (facies A2) of the proximal alluvial fan.*
- 5) *Paleozoic- and triassic-derived polygenic conglomerates (facies A1) of the proximal alluvial fan.*
- 6) *Conglomeratic channel (facies A6 of the distal alluvial fan) intercalated in a distal alluvial red mudstones and sandstones (facies A5) succession (road cut = 15/20 m).*
- 7) *Distal alluvial red mudstones and sandstones (facies A5) showing dominant horizontal bedding and some erosional sharp surfaces (road cut = 10 m).*

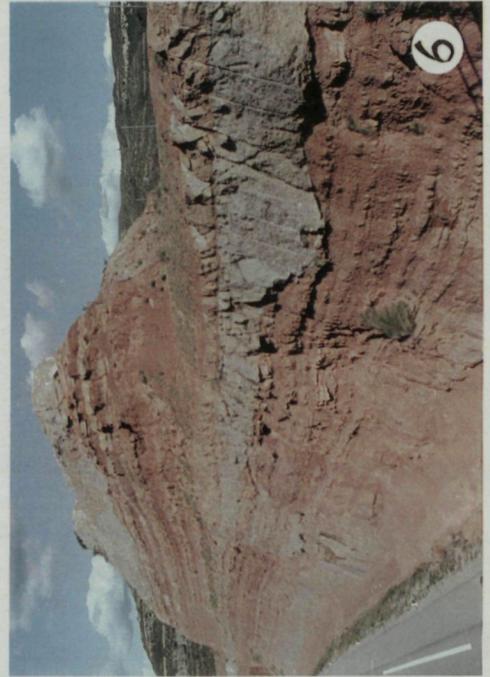


Lámina II

• Fotografías de facies de frente deltaico (de abanico costero) y "nearshore" de la zona de Sant Llorenç del Munt-Montserrat.

- 1) Facies arenosas de frente deltaico distal progradante (FAC 1-2) que muestran una clara secuencia grano y estratocreciente desarrollada sobre margas gris-azuladas de prodelta.
- 2) Facies conglomeráticas y arenosas de frente deltaico proximal (barra de desembocadura) (FAC 1-1)) que muestran, a grandes rasgos, una secuencia de tipo granodereciente-granocreciente.
- 3) Secuencia de frente deltaico grano y estratocreciente (FAC 1-2).
- 4) Detalle de facies arenosas de frente deltaico- "nearshore" retrabajadas por el oleaje (FAC 2). La acción del oleaje se manifiesta por el pavimento de gránulos y cantos, producto del retrabajamiento de las areniscas infrayacentes mal seleccionadas y por los "ripples" de oleaje mostrados por las areniscas bien seleccionadas.
- 5) Conglomerados de barra de desembocadura proximal retrabajados por el oleaje.
- 6) Facies arenosas bioturbadas por *Ophiomorpha*. (FAC 3).
- 7) Conglomerados de "nearshore" perforados por bivalvos litófagos (*Gastrochaenolites*) (FAC 3).

• *Pictures of fan-delta front and nearshore facies.*

- 1) *Prograding distal fan-delta front facies (FAC 1-2)) showing a clear coarsening and thickening upwards sequence starting from blue-greyish prodelta marls.*
- 2) *Proximal fan-delta front conglomeratic and sandy facies (mouth bar) (FAC 1-1)) showing a crudely-defined finig to coarsening upwards sequence.*
- 3) *Coarsening and thickening upwards fan-delta front - nearshore sequence (FAC 1-2).*
- 4) *Detail on wave-reworked sandy distal fan-delta front - nearshore facies (FAC 2). Wave action can be proved by the presence of a microconglomeratic lag produced from the reworking of previously deposited (see below) badly-sorted sandstones and wave ripples developed on well-sorted sandstones.*
- 5) *Wave-reworked proximal mouth-bar conglomerates.*
- 6) *Sandy facies bioturbated by *Ophiomorpha* (FAC 3).*
- 7) *Nearshore conglomerates bored by lithofaga organisms (FAC 3).*

Lámina II

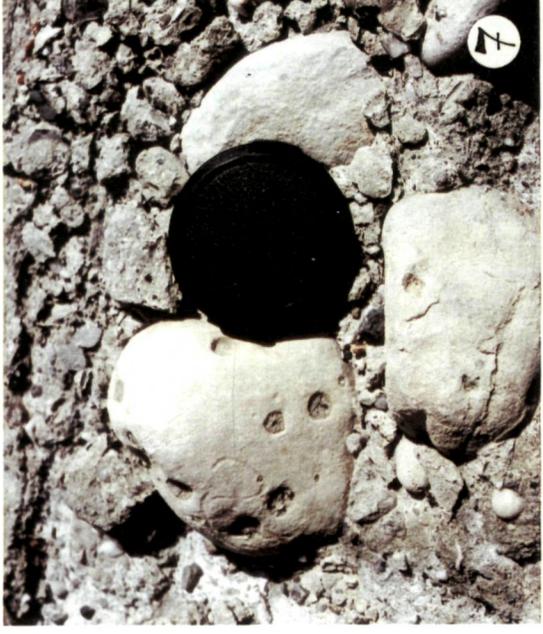
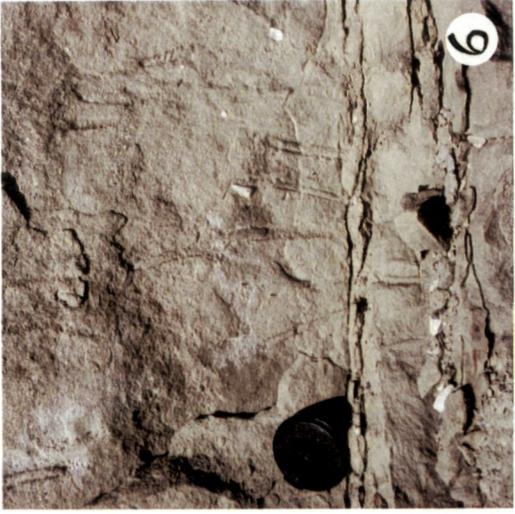
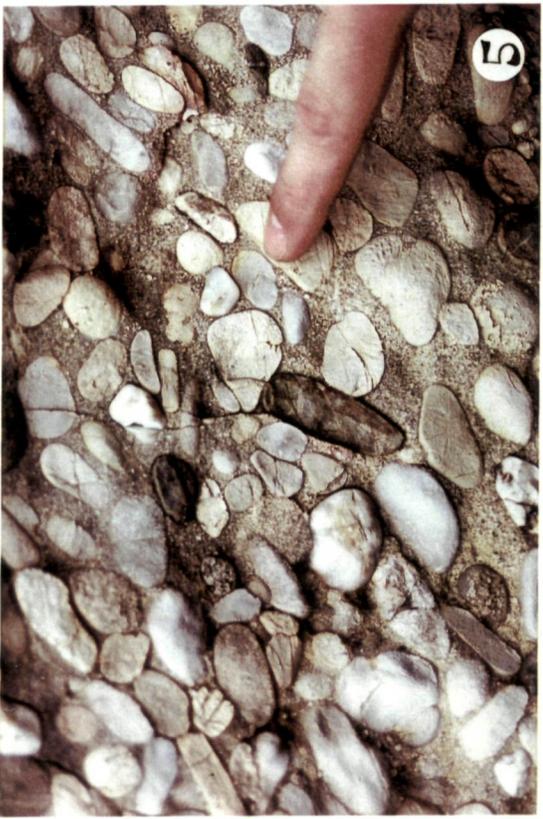
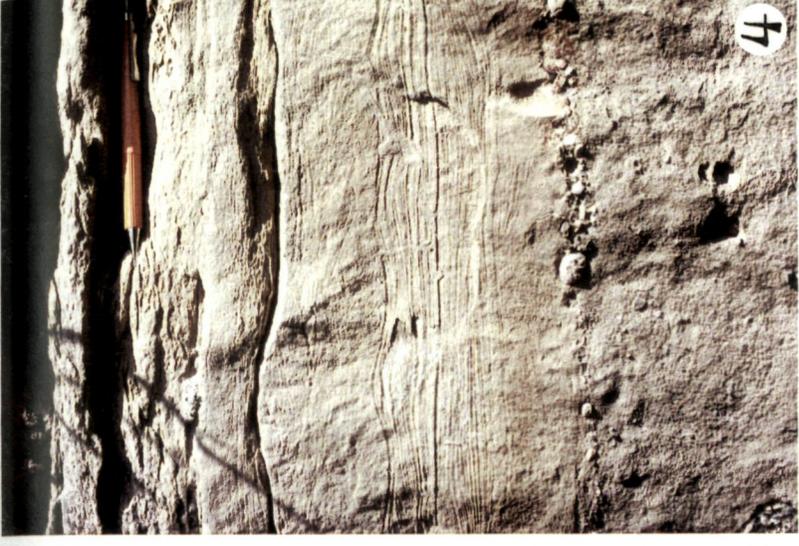
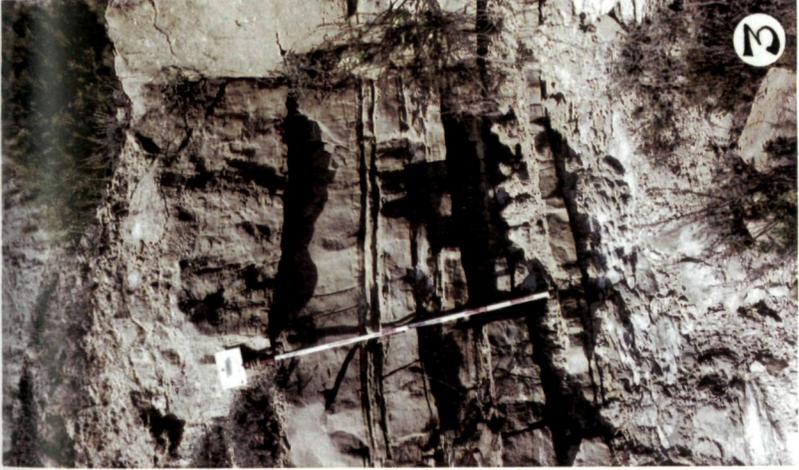
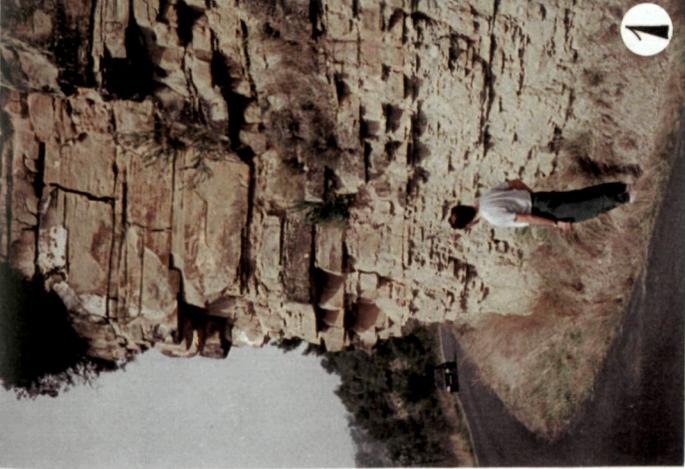


Lámina III

• Fotografías de facies de talud deltaico (de abanico costero) y "offshore" de la zona de Sant Llorenç del Munt-Montserrat.

- 1) Aspecto de paisaje de las margas gris-azuladas de prodelta-talud (TAC 1).
- 2) Facies conglomeráticas de canal turbidítico (TAC 2-2) incidido en margas grises.
- 3) Vista de paisaje de facies arenosas de lóbulo turbidítico (TAC 2-4) sobre margas gris-azuladas.
- 4) Depósito turbidítico arenoso (TAC 2-4) monoepisódico de clara geometría lobular (base plana y techo convexo) (altura del macuto = 25 cm).
- 5) Depósitos arenosos tabulares de lóbulo turbidítico (TAC 2-4) (espesor máximo = 50 cm) intercalados entre margas gris-azuladas.
- 6) Facies arenoso-conglomeráticas de turbiditas de alta densidad (TAC 2-1).
- 7) Turbidita arenosa de baja densidad que muestra el término C de la secuencia de Bouma (TAC 2-4).
- 8) Capa de turbidita arenosa fragmentada y deslizada talud abajo (hacia la derecha), produciendo pliegues y cabalgamientos de pequeña escala (TAC 3) (grosor de las capas inferior a 0,5 m).
- 9) Facies margosas y limosas deslizadas talud abajo (hacia la izquierda) mediante un cabalgamiento y una serie de dúplexes asociados (TAC 3) cuyo nivel de despegue es el techo de un nivel arenoso (flecha).

• *Pictures of fan-delta slope and offshore facies.*

- 1) *Landscape view of the blue-grey marl facies (TAC 1).*
- 2) *Conglomeratic turbidite channel-fill (TAC 2-2) incised in blue-grey marls.*
- 3) *Landscape view of a sandy turbiditic lobe (TAC 2-4) above blue-grey marls.*
- 4) *Turbiditic sandy lobe (TAC 2-4) showing a convex top surface (bag = 25 cm high).*
- 5) *Tabular turbiditic sandy deposits (TAC 2-4) (maximum thickness = 50 cm).*
- 6) *Sandy-conglomeratic facies of high density turbidity currents (TAC 2-1).*
- 7) *Low-density sandy turbidite showing the C term of the Bouma sequence (TAC 2-4).*
- 8) *Turbidite bed (thickness lower than 0,5 m) slided downslope (to the right hand side) producing small-scale thrusts and folds (TAC 3).*
- 9) *Marly and silty facies slided downslope (to the left hand side) by a small-scale thrust and a series of duplexes (TAC 3) where detachment level is located at the top of a sand layer (arrow).*

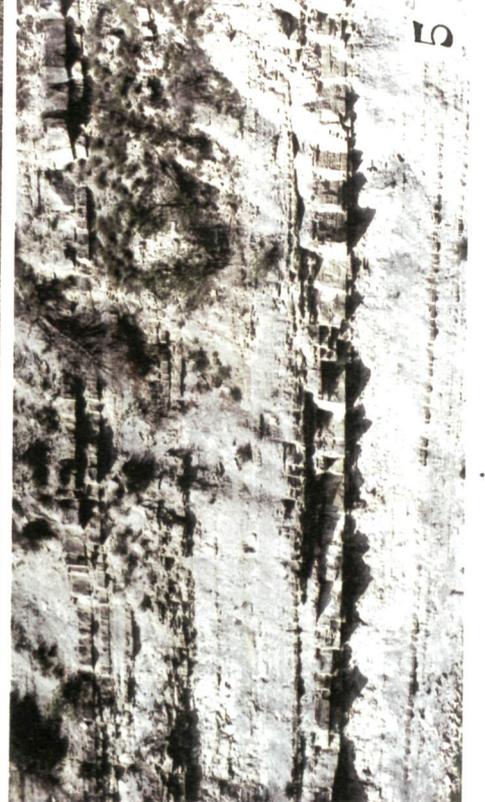
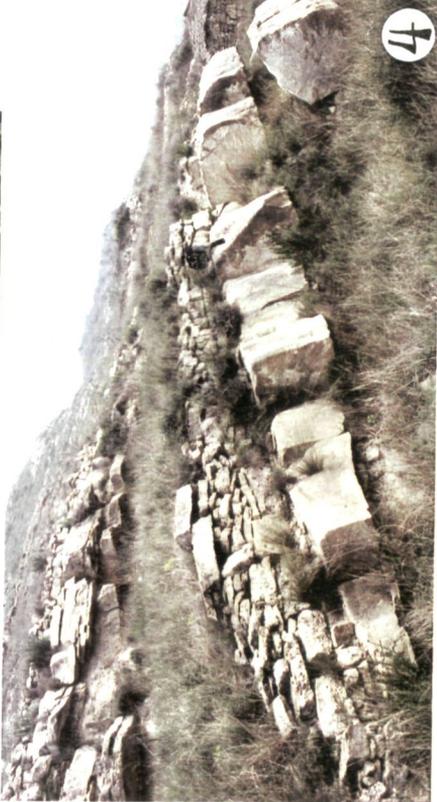
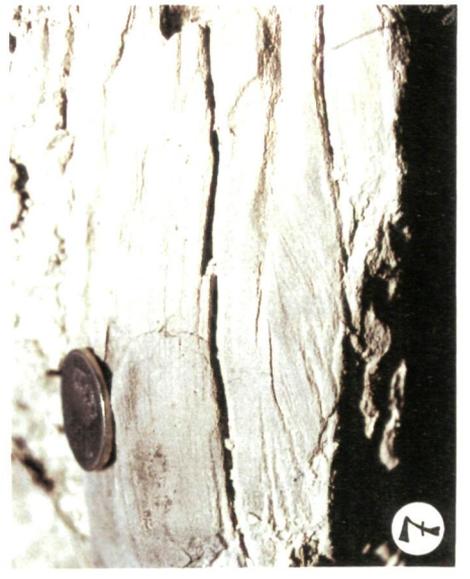
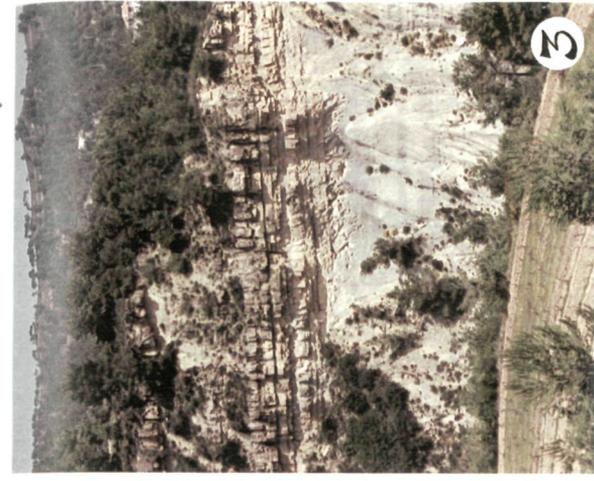


Lámina IV

• Fotografías de facies de plataforma carbonática de la zona de Sant Llorenç del Munt-Montserrat.

- 1) Detalle de las facies de packstone de *nummulites* (barra bioclástica).
- 2) Vista de paisaje de dos capas de packstone bioclástico (grosor=0,5/0,75 cm).
- 3) Packstone de *discocyclinas* sobre margas con *discocyclinas* (grosor del packstone=0,5 m).
- 4) Sucesión de margas de offshore, packstone bioclástico (flecha) y arrecife barrera de corales y algas rodofíceas (potencia del tramo=4 m).
- 5) Detalle de las facies de arrecife barrera coralino.
- 6) Facies de arrecife costero de algas rodofíceas desarrollado sobre conglomerados aluviales y de playa (diámetro de la cesta=30 cm).

• *Pictures of carbonate platform facies.*

- 1) *Detail of the nummulitic packstone facies (bioclastic bar).*
- 2) *Landscape view of two bioclastic packstone beds (thickness of each bed=0,5/0,75 cm).*
- 3) *Discocyclina packstone above discocyclina marls (packstone thickness= 0,5 m).*
- 4) *Offshore marls (down), bioclastic packstone (arrow) and barrier reef (above) (thickness of the succession =4 m).*
- 5) *Detail of the coralline barrier facies.*
- 6) *Algal coastal reef developed above alluvial and beach facies (basket diameter=30 cm).*

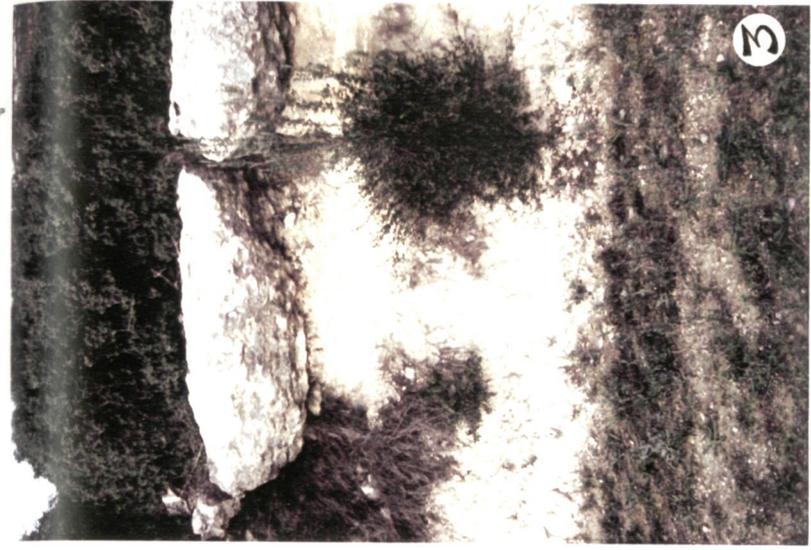
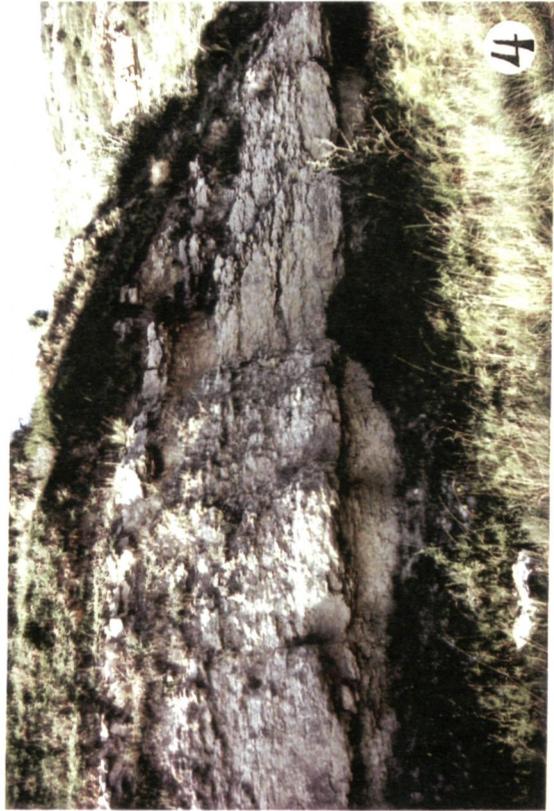


Lámina IV

Lámina V

• Fotografías de detalle de secuencias fundamentales de la zona de Sant Llorenç del Munt-Montserrat (flecha azul=superficie de máxima inundación, flecha roja=límite de secuencia fundamental).

- 1) Tramo transgresivo de una secuencia fundamental que muestra una clara tendencia profundizante, comenzando por conglomerados costeros, arenisca bioclástica con *nummulites*, y packstone bioclástico con *nummulites* y *discoeyclinas*.
- 2) Detalle de una superficie de máxima inundación sobre carbonatos de plataforma y bajo margas de prodelta.
- 3) Geometría de "toplap" sobre depósitos progradantes de abanico costero, ligada al límite de secuencia fundamental (potencia máxima del tramo transgresivo carbonático=2 m).
- 4) Facies de frente deltaico progradante, posiblemente depositadas durante una regresión forzada (potencia de la secuencia=8 m).
- 5) Relleno conglomerático-arenoso de canales turbidílicos posiblemente incididos durante un período de nivel relativo del mar bajo (potencia máxima de cada canal=5 m).
- 6) Tramo transgresivo detrítico de una secuencia fundamental ("lag" conglomerático y areniscas bioturbadas) depositado sobre facies lutificas rojas de abanico aluvial distal y bajo el tramo regresivo (areniscas y conglomerados con estructuras tractivas).
- 7) Facies de frente deltaico progradante características de los tramos regresivos de las secuencias fundamentales.

• *Pictures of fundamental sequences of the Sant Llorenç del Munt-Montserrat area (blue arrow=maximum flooding surface, red arrow=fundamental sequence boundary).*

- 1) *Transgressive part of a fundamental sequence showing a clear deepening upwards trend. The sequence starts with coastal conglomerates followed by bioclastic sands with nummulites and a packstone with nummulites and discoeyclinas at the top.*
- 2) *Detail of a maximum flooding surface overlying platform carbonates and underlying prodelta marls.*
- 3) *Toplap geometry above prograding fan-delta deposits, related to a fundamental sequence boundary (maximum thickness of the transgressive carbonatic bed=2 m).*
- 4) *Prograding fan-delta front facies probably deposited during a forced regression (sequence thickness=8 m).*
- 5) *Sandy-conglomeratic fill of turbiditic channels probably incised during a period of low relative sea-level (maximum thickness of individual channels=5 m).*
- 6) *Detrital transgressive part of a fundamental sequence (conglomeratic lag and bioturbated sandstones) deposited above distal alluvial red mudstones and over the regressive part of the sequence (sandstones and conglomerates with tractive structures).*
- 7) *Prograding fan-delta front facies, typical of the regressive part of the fundamental sequences.*



Lámina V

