

# **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](http://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.

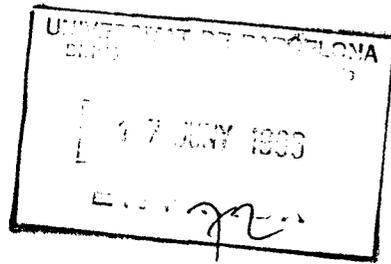
**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente 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](http://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 ralaizada por Miguel LÓPEZ BLANCO en el  
Departament de Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia de la  
Facultad de Geologia de la Universidad de Barcelona, dirigida por los  
doctores Mariano Marzo Carpio, del mencionado departamento y  
Luís Pomar Goma del Departament de Ciencies de la Terra de la  
Universitat de les Illes Balears, para optar al grado de Doctor en  
Geología.

Barcelona, Junio de 1996

Los directores:

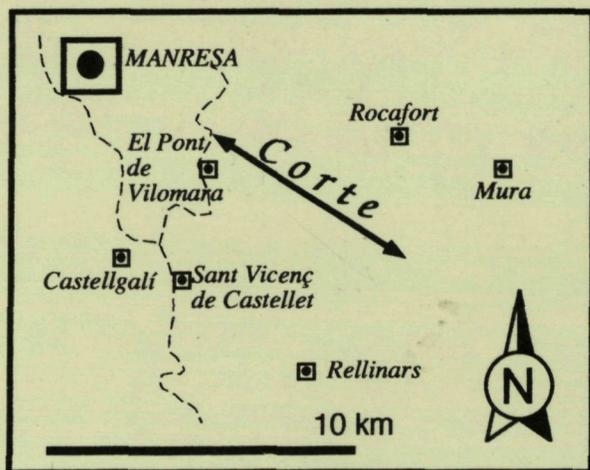
Mariano Marzo Carpio

Luis Pomar Goma

El doctorando, Miguel López Blanco

# ANEXO I

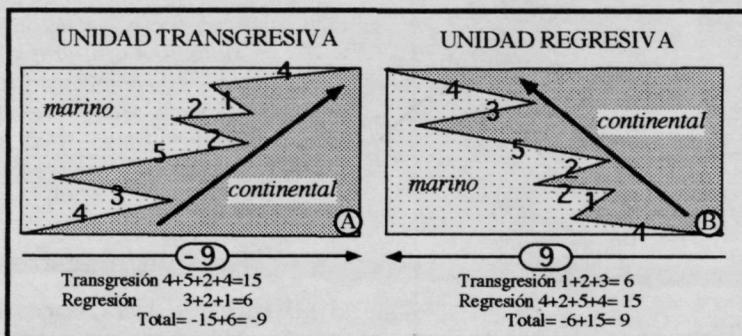
*Corte geológico del sector  
occidental del abanico costero de  
Sant Llorenç del Munt*





con la parte superior regresiva de una secuencia compuesta (cuya parte transgresiva pertenece a la unidad transgresiva infrayacente) y es seguida por una serie de secuencias fundamentales completas. Este es el principal motivo por el que no llamamos grupos de secuencias ("sequence sets") a las unidades de las que consta una secuencia compuesta ya que estas unidades no están exclusivamente constituidas por secuencias fundamentales completas.

Dentro de las secuencias fundamentales se observan diferencias importantes entre las facies que conforman las partes transgresivas y las regresivas. En las secuencias compuestas, al estar éstas formadas por una sucesión de secuencias fundamentales, encontramos todas las asociaciones de facies definidas en el capítulo de análisis de facies. Sin embargo, a gran escala, existen ciertas diferencias litológicas y de facies entre las unidades transgresivas y regresivas.

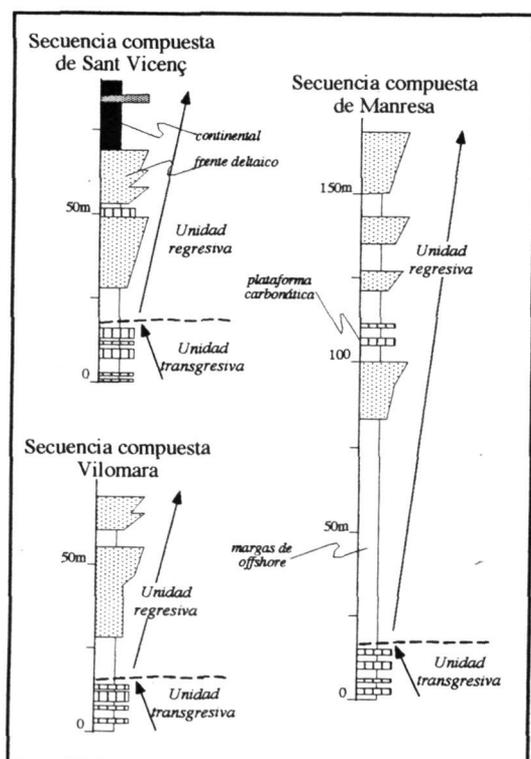


**Figura S.25** Esquema de formación de unidades transgresivas (A) y regresivas (B) en secuencias compuestas. Los números representan la magnitud del movimiento de la línea de costa hacia tierra o hacia la cuenca.

*Imaginary example of building of transgressive (A) and regressive (B) units of composite sequences. The numbers represent the magnitude of the landward or basinward movement of the coastline.*

La unidad transgresiva de una secuencia compuesta está formada por una serie de secuencias fundamentales consecutivas que muestran un apilamiento retrogradante. Para obtener este apilamiento retrogradante se necesita que las partes transgresivas de las secuencias fundamentales que constituyen la unidad, estén más desarrolladas que las regresivas (figura S.25 a). En las unidades regresivas, por el contrario, las partes regresivas de las secuencias fundamentales tienen que estar más desarrolladas que las transgresivas (figura S.25 b). De esta manera, el volumen y magnitud de los depósitos de las partes transgresivas de las secuencias fundamentales (asociaciones de plataforma carbonática, frente deltaico retrabajado y playa) será más importante durante la deposición de las unidades transgresivas de las secuencias compuestas. Por el contrario, el volumen de los depósitos de las partes regresivas de las secuencias fundamentales (asociaciones abanico costero progradante) serán más

importantes durante la deposición de las unidades regresivas de las secuencias compuestas. Por consiguiente, las unidades transgresivas de las secuencias compuestas son más ricas en depósitos de plataforma que las unidades regresivas anteriores y posteriores. Esta diferencia de facies se evidencia en las partes distales del sistema, como se muestra en la figura S.26. En dicha figura se representan tres columnas estratigráficas realizadas en las zonas distales de tres secuencias compuestas diferentes. En todas ellas se puede apreciar una unidad transgresiva inferior formada esencialmente por carbonatos de plataforma, bien diferenciada de una unidad regresiva superior formada por margas de "offshore"-prodelta y depósitos de frente deltaico progradante.



**Figura S.26)** Columnas estratigráficas simplificadas de las partes distales de tres secuencias compuestas diferentes (Sant Vicenç, Vilomara y Manresa) mostrando las diferencias, en una sección vertical, entre las facies de las unidades transgresivas y las de las regresivas .

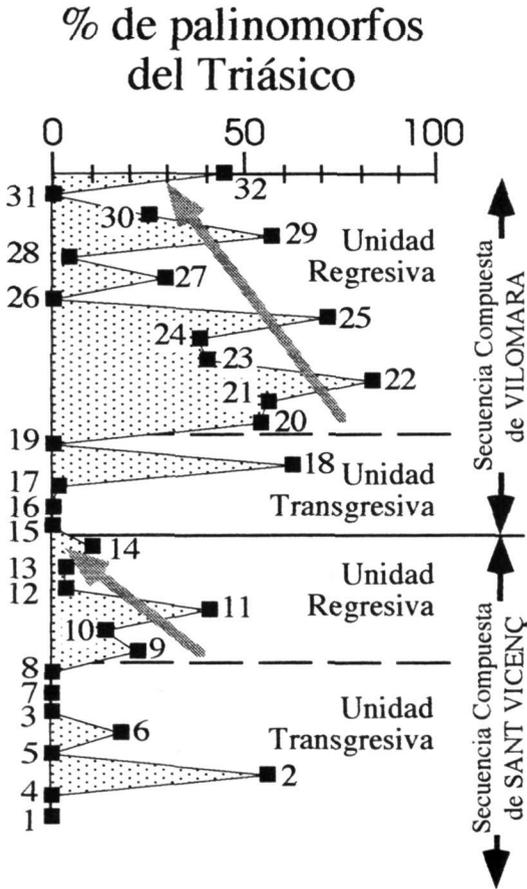
*Simplified stratigraphic logs of the distal parts of three different composite sequences (Sant Vicenç, Vilomara and Manresa) showing the facies differences (in a vertical succession) between transgressive and regressive units.*

Tras un muestreo palinológico realizado en los depósitos marinos de la zona de Sant Llorenç del Munt, se ha detectado, en ciertas características del polen hallado, un reflejo de la ciclicidad representada por las secuencias compuestas

(López Blanco y Solé de Porta, 1993).

Al estudiar la evolución del porcentaje de palinomorfos triásicos por muestra a lo largo de las secuencias compuestas (Fig. S.27) se detecta que éste disminuye progresivamente durante el intervalo regresivo de dichas secuencias. Este hecho va ligado al tipo de facies muestreadas, siendo el polen resedimentado más abundante en facies de talud deltaico y prodelta y más escaso en el frente deltaico.

También se ha observado que los granos de polen recogidos en las unidades transgresivas de las secuencias compuestas son los que presentan un más alto grado de conservación (menor transporte).

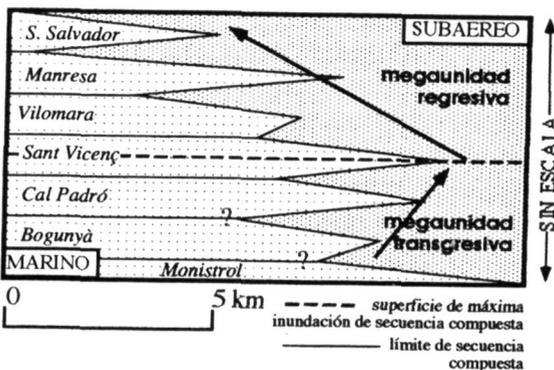


**Figura S.27)** Esquema en el que se muestra la variación en el porcentaje de palinomorfos triásicos resedimentados a lo largo de la sección estudiada y su relación con las secuencias compuestas. Los números indican el número de muestra.

*Sketch showing the variation along the studied section of the percentage of resedimented triassic pollen grains and their relation with the defined composite sequences.*

### 3) MEGASECUENCIAS COMPUESTAS

Tras el estudio del tipo de apilamiento de la sucesión de secuencias compuestas y la trayectoria de la línea de costa resultante (figura S.28) se puede definir una escala de ciclicidad mayor.



**Figura S.28)** Modelo de apilamiento de las sucesivas secuencias compuestas del área estudiada, mostrando una tendencia transgresivo-regresiva (megasecuencia compuesta). *Stacking pattern of the successive composite sequences exhibiting a transgressive to regressive trend (composite megaunit).*

La parte inferior de la sucesión (secuencias compuestas de Bogunyà, Cal Padró y Sant Vicenç) muestra una tendencia de tipo agradacional a retrogradacional, evidenciada por un retroceso de la línea de costa de unos 0,5

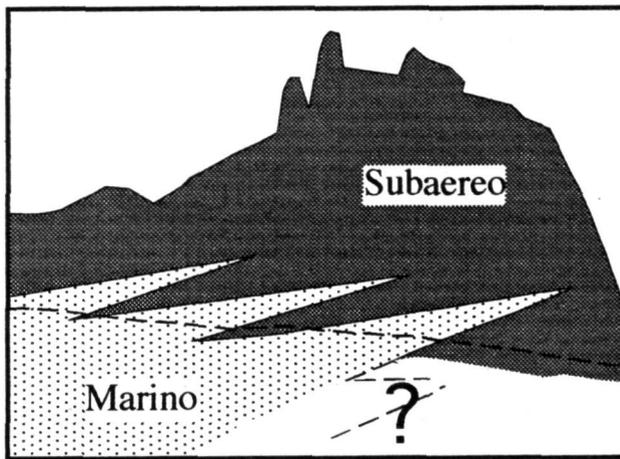
km. La ordenación mostrada es similar a la existente en las unidades transgresivas de las secuencias compuestas. En este caso las piezas no son secuencias fundamentales sino secuencias compuestas. De esta manera, la parte inferior de la sucesión ha sido definida como una Megaunidad transgresiva. Una megaunidad transgresiva comprende un grupo de secuencias compuestas consecutivas cuyo apilamiento muestra tendencias de tipo retrogradacional o transgresivo. El techo de la megaunidad transgresiva es una superficie de máxima inundación que, en este caso, coincide con la superficie de máxima inundación de la secuencia compuesta de Sant Vicenç. La base de esta megaunidad vendría determinada por una superficie de máxima regresión, coincidente con un límite de secuencia compuesta, situada en el cambio de una tendencia de tipo progradacional a otra de tipo retrogradacional en el apilamiento de las secuencias compuestas.

La parte alta de la sucesión (secuencias compuestas de Sant Vicenç, Vilomara, Manresa y Sant Salvador) muestran un apilamiento claramente progradacional con un avance total de la línea de costa de unos 10 Km. Se trata de una ordenación similar a la de las unidades regresivas de las secuencias compuestas, por lo que se ha optado por llamarlas Megaunidades regresivas. Las megaunidades regresivas son grupos de secuencias compuestas consecutivas cuyo apilamiento muestra una tendencia de tipo progradacional o regresivo. La base de una megaunidad regresiva es una superficie de máxima inundación (en este caso, la de la secuencia compuesta de Sant Vicenç), donde se produce el cambio de una tendencia de apilamiento de tipo transgresivo a otra de tipo regresivo. El techo de una megaunidad regresiva vendría determinado por un límite de secuencia compuesta en el que se daría el cambio de un apilamiento de tipo progradacional a otro de tipo retrogradacional. En nuestro caso este límite estaría a techo de la secuencia compuesta de Sant Salvador, donde se produce un importante cambio en toda la cuenca, con el paso a una deposición de tipo evaporítico y, posteriormente, el fin de las condiciones marinas en la cuenca del Ebro.

Una megasecuencia compuesta es una secuencia de tipo transgresivo-regresivo construida por una pareja de megaunidades consecutivas; una megaunidad transgresiva en la base y una regresiva sobre ésta (Fig. S.24). La sucesión de abanico costero estudiada constituye una megasecuencia compuesta de 1300 metros, que sería equivalente a la secuencia deposicional de Milany de Puigdefàbregas *et al.* (1986), presuntamente relacionada con la evolución tectónica de los Pirineos.

Dentro de esta megasecuencia compuesta se ha distinguido una megaunidad transgresiva inferior y una regresiva superior. Lo que no se ha

podido distinguir son los cambios de tendencia regresiva a transgresiva que determinarían los límites inferior y superior de esta megasecuencia compuesta. Los límites de esta megasecuencia no son lo suficientemente precisos. Debido a la falta de afloramientos resultante del buzamiento regional de toda la serie hacia el interior de la cuenca (figura S.29), no sabemos a que profundidad por debajo de la cuña marina de Monistrol se localiza la base de la megasecuencia. También se desconoce si la secuencia compuesta de Monistrol es la primera de la megasecuencia o no. El límite superior es más fácil de determinar, a pesar de no estar delimitado por ningún cambio en el tipo de apilamiento de las secuencias compuestas, sino por un cambio regional que afecta a toda la cuenca. Este cambio viene marcado por el final de la deposición de abanicos costeros y el inicio de una sedimentación evaporítica que culmina con el fin de las condiciones marinas en la cuenca del Ebro. Este cambio está relacionado con un confinamiento de la cuenca.



**Figura S.29)** Corte simplificado de la parte inferior del complejo de abanico costero de Montserrat.  
*Simplified cross-section of the lower part of Montserrat fan-delta complex.*

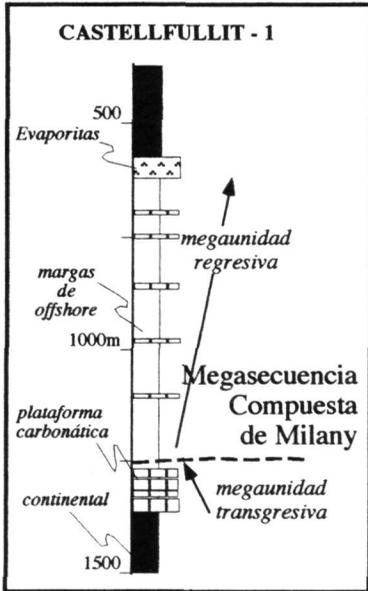
En las secuencias compuestas se detectan una serie de diferencias entre las facies que forman las unidades

transgresivas y las unidades regresivas. En las megasecuencias compuestas, al estar constituidas por una sucesión de secuencias compuestas, también encontramos este tipo de diferencias entre las diferentes tipos de megaunidades.

Así, la megaunidad transgresiva de una megasecuencia compuesta es más rica en depósitos de facies carbonáticas de plataforma que la megaunidad regresiva de la misma secuencia, ya que la megaunidad transgresiva está formada por una serie de secuencias compuestas con unidades transgresivas bien desarrolladas, y estas unidades transgresivas están constituidas por secuencias fundamentales con sus partes transgresivas bien desarrolladas.

Estas diferencias serían más evidentes en las zonas distales del sistema. En el área estudiada no existen secciones lo suficientemente potentes de áreas distales, pero el sondeo Castellfullit 1 corta los equivalentes distales de los sistemas de abanico costero de Sant Llorenç del Munt y Montserrat. La figura S.30 es una columna estratigráfica simplificada de parte del sondeo Castellfullit

1, donde podemos distinguir las megaunidades transgresiva y regresiva de la megasecuencia de Milany. A pesar de que la sucesión marina está principalmente compuesta por calizas bioclásticas de plataforma carbonática y margas de "offshore", se puede diferenciar dos tramos distintos. El tramo inferior, compuesto mayoritariamente por carbonatos, se correspondería con la megaunidad transgresiva, en contraste con el superior, que está esencialmente constituido por margas de "offshore" y prodelta.

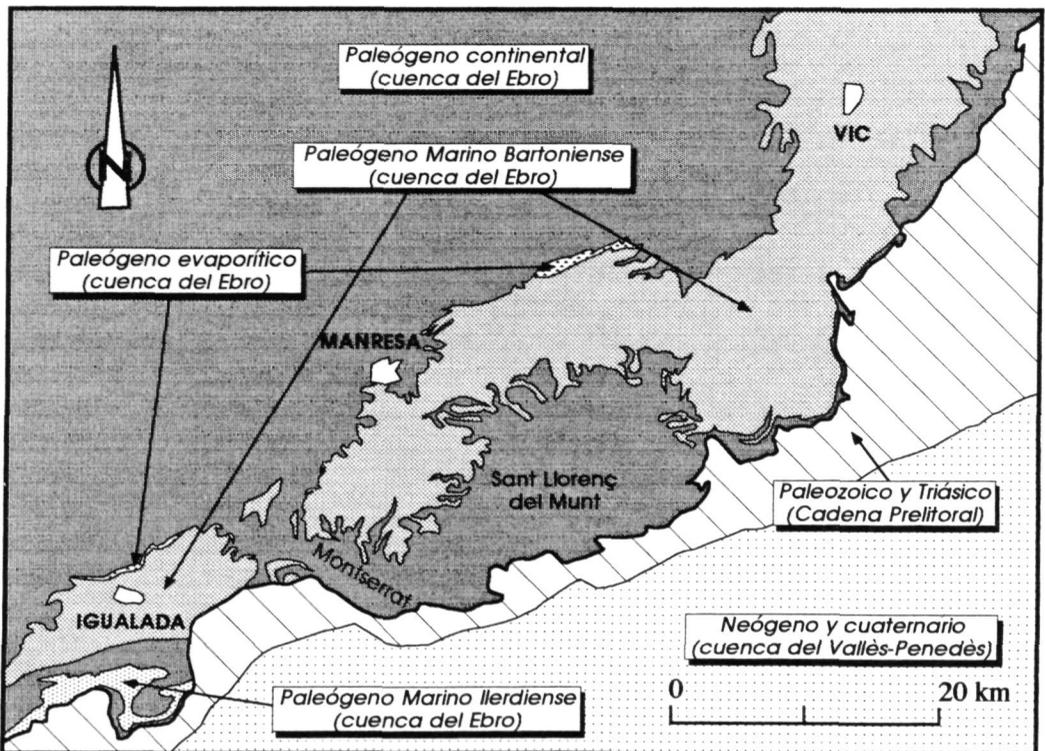


**Figura S.30)** Columna estratigráfica simplificada de parte del sondeo Castellfullit 1 donde podemos distinguir las megaunidades transgresiva y regresiva de la megasecuencia de Milany.

*Simplified stratigraphic log from part of the Castellfullit 1 well, where the transgressive and regressive megaunits of the Milany megasequence can be distinguished.*

#### 4) RELACIÓN CON AREAS VECINAS

El area estudiada se encuentra situada entre dos zonas donde los sedimentos marinos paleógenos afloran extensamente. Estas zonas son la de Igualada, al WSW, y la de Vic al NE (figura S.31).

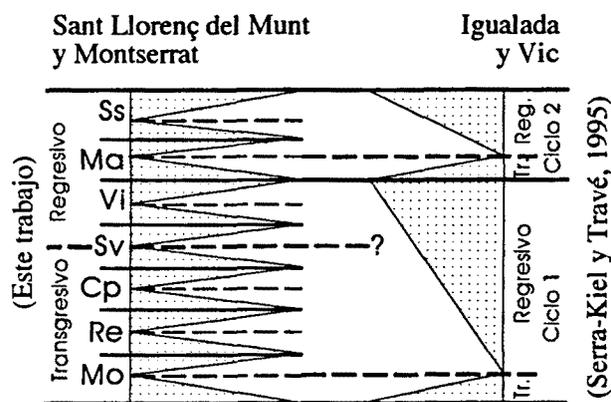


**Figura S.31)** Mapa en el que se muestran los depósitos paleógenos de los alrededores de los sistemas de Sant Llorenç del Munt y Montserrat, así como la localización de las zonas de Igualada y Vic.  
*Map showing the Paleogene Sant Llorenç del Munt and Montserrat systems, and the location of the Igualada and Vic areas.*



- la coincidencia de la superficie de máxima inundación de dicho 2º ciclo con la superficie de máxima inundación de la secuencia compuesta de Manresa;
- y la coincidencia del techo del segundo ciclo con el techo de la megasecuencia compuesta de Milany.

La correlación con la zona de Vic se ha realizado a partir de los puntos de control que acabamos de mencionar para la zona de Igualada y de los datos magnetoestratigráficos disponibles a partir de los trabajos realizados por Burbank y colaboradores tanto en Igualada (Burbank et al., 1992), como en Montserrat (López Blanco et al., en prensa). Del análisis de todos estos datos, se desprende que la superficie de máxima inundación del primer ciclo (Serra-Kiel y Travé, 1995), se localiza dentro de un período de polaridad magnética inversa (18.1 r) que no está representado en la serie magnetoestratigráfica de Montserrat. El equivalente de esta superficie se situaría por debajo de la superficie de máxima inundación de la secuencia de Cal Padró (17.3 r), pudiendo corresponder con la superficie de máxima inundación de la secuencia compuesta de Monistrol.



**Figura S.33)** Relaciones entre la megasecuencia compuesta, las diferentes secuencias compuestas y sus superficies más importantes definidas en este trabajo, y los ciclos y superficies definidos por Serra-Kiel y Travé (1995) en las áreas de Igualada y Vic. Las líneas continuas indican límites de secuencia, las discontinuas máximos transgresivos. Ss=Secuencia de Sant Salvador, Ma=Secuencia de Manresa, Vi=Secuencia de Vilomara, Sv=Secuencia de Sant Vicenç, Cp=Secuencia de Cal Padró, Re=Secuencia de Rellinars, Mo=Secuencia de Monistrol.

*Relations among the composite megasequence, the different composite sequences and their key surfaces defined in this work, and the cycles and surfaces defined by Serra-Kiel & Travé (1995) in the Vic and Igualada areas. Continuous lines represent sequence boundaries, the discontinuous ones represent transgressive maxima. Ss=Sant Salvador sequence, Ma=Manresa sequence, Vi=Vilomara sequence, Sv=Sant Vicenç sequence, Cp=Cal Padró sequence, Re=Rellinars sequence, Mo=Monistrol sequence.*

De esta manera, el primer ciclo de Serra-Kiel y Travé (1995) englobaría cinco de las cinco secuencias compuestas de la zona de Sant Llorenç del Munt, mientras que el segundo ciclo abarcaría las dos últimas.

Como se desprende de esta correlación, el significado e importancia de ciertas superficies varía de unas zonas a otras de la misma cuenca.

En el área de Montserrat-Sant Llorenç del Munt se ha reconocido una gran secuencia transgresivo-regresiva (megasecuencia compuesta de Milany) que se puede subdividir en un tramo inferior agradante-transgresivo

(megaunidad transgresiva) y un tramo superior regresivo (megaunidad regresiva). Ambos están separados por una superficie de máxima inundación que indica el cambio de tendencia. Esta superficie de máxima inundación, que es la superficie más importante dentro de la megasecuencia compuesta definida, no se correlaciona con ninguna superficie análoga de importancia en las zonas adyacentes de Vic e Igualada..

En la zona estudiada, la superficie de máxima inundación del primer ciclo de Serra-Kiel y Travé, (1995) se correspondería con el techo del primer tramo transgresivo (de la secuencia compuesta de Monistrol) el cual produce un retroceso de la línea de costa de más de 5 kilómetros.

El techo del primer ciclo (y base del segundo) se corresponde con el techo de la secuencia de Vilomara, que representa la culminación de una de las regresiones más importantes registradas en la zona de estudio y que implica un avance de la línea de costa de unos 3,5 km.

El techo del tramo transgresivo del segundo ciclo se corresponde con la superficie de máxima inundación de la secuencia compuesta de Manresa. En el tramo transgresivo de esta secuencia no se detectan importantes depósitos carbonáticos, a pesar de que dicho tramo se asocia a una de las transgresiones más extensas que se reconocen en la zona y que implica un retroceso de la línea de costa de unos 4 km.

#### 4.2.2) ESTRATIGRAFÍA DEL ABANICO ALUVIAL

##### 1) FACIES

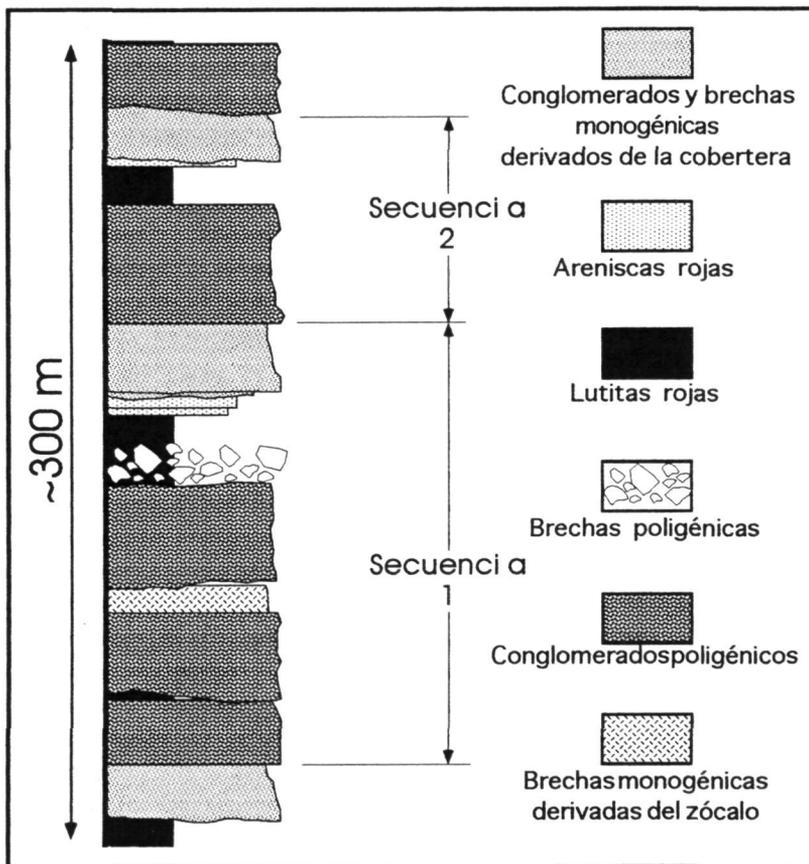
La parte proximal de la sucesión de abanico aluvial de Sant Llorenç de Munt está constituida por cuatro asociaciones de facies principales (fig. S.34).

A) conglomerados masivos, poligénicos, formados por clastos que reflejan un área fuente constituida por materiales del zócalo paleozoico y de la cobertera mesozoica. Son depósitos de "debris" y "stream flow".

B) Brechas de "debris-flow" ricas en matriz arcillosa y con una composición similar a la de los conglomerados ya descritos.

C) conglomerados y brechas de composición monogénica, constituidos principalmente por clastos carbonáticos provenientes de la cobertera mesozoica. Por su color blanco y su fuerte cementación, éstos constituyen excelentes niveles guía, de gran utilidad para subdividir la sucesión aluvial.

D) Brechas monogénicas formadas por clastos de origen paleozoico (pizarras y esquistos), ligados a las unidades paleozoicas cabalgantes de la Cadena Prelitoral.

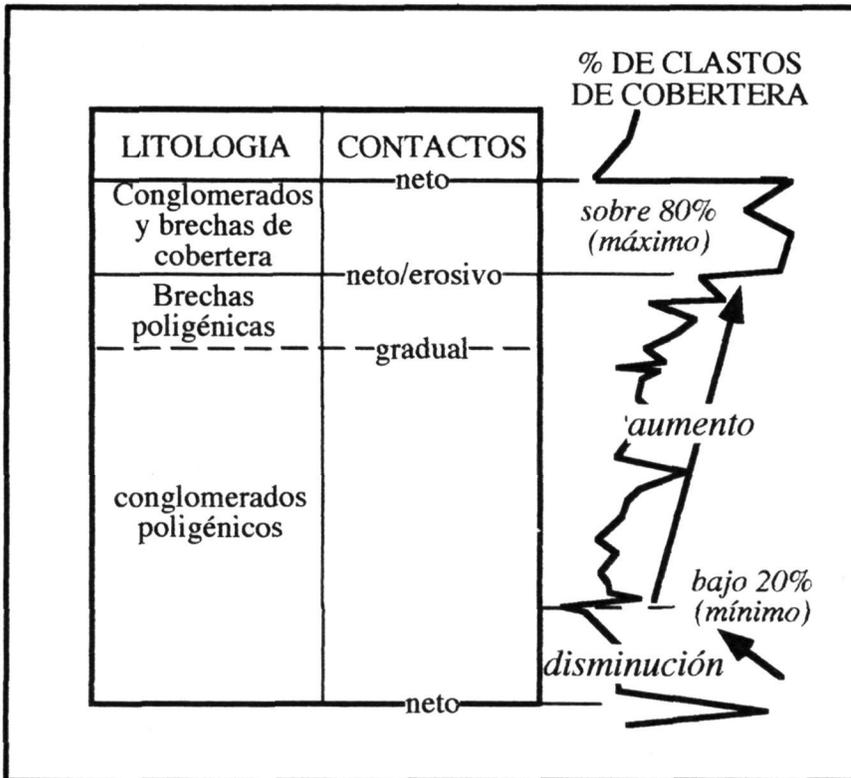


**Figura S.34)** Columna estratigráfica ideal de los depósitos de abanico aluvial proximal del sistema de Sant Llorenç del Munt. También se muestra la subdivisión secuencial.

*Ideal stratigraphic succession of Sant Llorenç del Munt proximal alluvial fan deposits. Sequential subdivision is also shown.*

## 2) SECUENCIALIDAD

La sucesión vertical de tres (A, B y C) de los cuatro tipos principales de facies que integran el abanico proximal nos ha permitido (López-Blanco *et al.*, 1993) diferenciar un mínimo de cinco secuencias de entre 40 y 150 metros de potencia (Foto 3, lámina VI). Las secuencias más completas (S.34 y S.35) comienzan con una superficie neta sobre la que se sitúan depósitos conglomeráticos poligénicos (A). Este término A puede evolucionar en la vertical hacia facies de brechas poligénicas (B) que, en ocasiones, está recubierto por una fina (<1m) capa de arcillas, limos o areniscas rojas (E en la figura S.34). El término superior de cada secuencia aluvial está representado por conglomerados y brechas monogénicas derivados de la cobertera mesozoica (C) con base y techo netos y, localmente, claramente erosivo. Las brechas monogénicas derivadas del zócalo paleozoico (D) presentan una distribución areal restringida a las áreas próximas a escamas cabalgantes de materiales paleozoicos y están generalmente intercaladas entre conglomerados poligénicos (A).



**Figura S.35)** Esquema de una secuencia aluvial proximal del abanico aluvial de Sant Llorenç del Munt.

*Scheme of a proximal alluvial sequence on the Sant Llorenç del Munt alluvial fan.*

Como se muestra en la figura S.35, existe una correlación entre las secuencias definidas en las facies aluviales y la variación en la

vertical del porcentaje de clastos mesozoicos. Dichas variaciones pueden ser utilizadas para definir las secuencias en los depósitos aluviales, cuando los cambios litológicos no son claros. El estudio detallado de una de estas secuencias (figura S.36) muestra que las tendencias existentes en la variación de la composición de los cantos en la vertical pueden reconocerse en todo el abanico, tanto en secciones paralelas como transversales a los aportes sedimentarios.

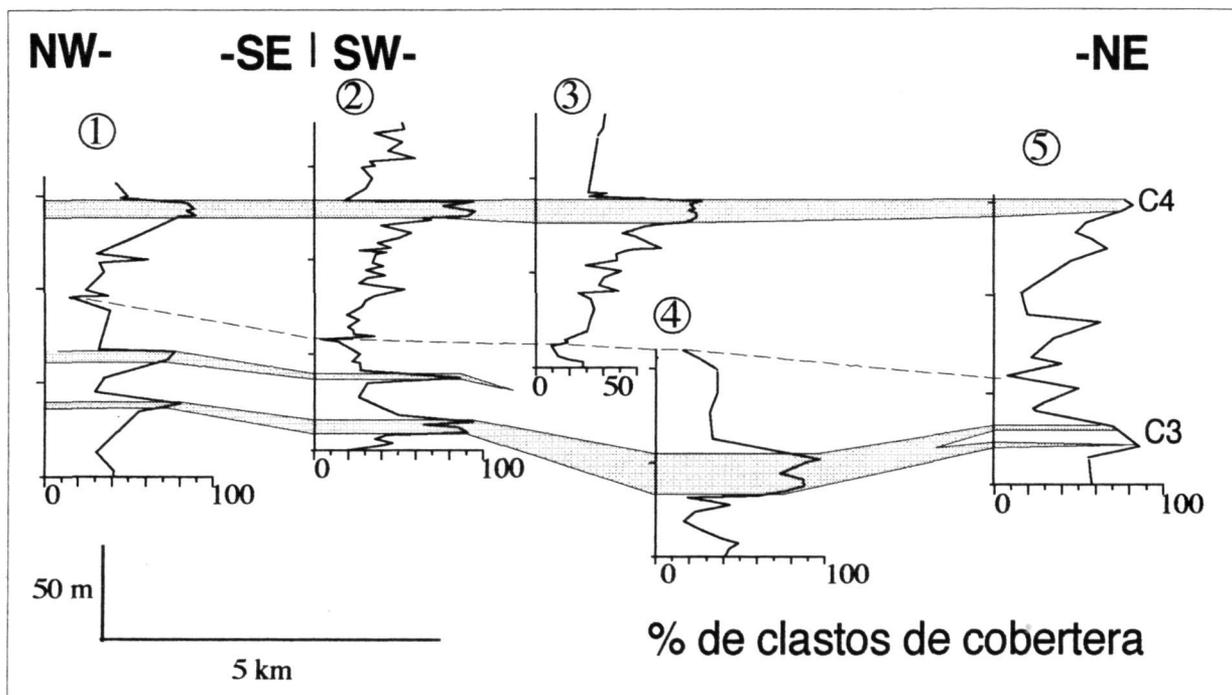
Este tipo de secuencias han sido interpretadas como respuesta a cambios en el tipo aporte de sedimento, probablemente ligado a modificaciones en el sistema de drenaje en el area fuente del abanico, cambios principalmente inducidos por la actividad tectónica.

Entre el abanico aluvial proximal (conglomerático) y los depósitos transicionales de abanico costero existe un cinturón de facies de abanico aluvial distal-llanura de abanico costero de extensión variable. Este cinturón de facies está constituido por lutitas y areniscas rojas que intercalan canales conglomeráticos y arenosos.

El paso de facies del abanico aluvial proximal a distal muestra tendencias de tipo retrogradante y progradante, que pueden utilizarse para realizar subdivisiones estratigráficas.

En la zonas más proximales del sistema de Montserrat, Anadón *et al.*, (1985b) definieron ocho unidades conglomeráticas separadas entre ellas por

intervalos lutítico-arenosos de escasa potencia (S.37). Estos intervalos de grano fino aumentan su potencia hacia la cuenca e indicarían los momentos de máxima retrogradación del sistema aluvial dentro de ciclos de tipo retrogradante-progradante.



**Figura S.36)** Correlación de perfiles de porcentaje de cantos de rocas mesozoicas en el abanico aluvial de Sant Llorenç del Munt. 1-2 sección paralela a la dirección de aporte sedimentario; 2-5 sección transversal.  
*Correlation of mesozoic-clast percentage logs in the Sant Llorenç del Munt alluvial fan. 1-2 downdip section; 2-5 transverse section.*

En el sistema de Sant Llorenç del Munt, al estudiar el paso lateral entre facies de abanico aluvial proximal a distal, se ha observado una ciclicidad similar a la definida en el abanico de Montserrat.

**Figura S.37)** Estratigrafía de Montserrat. En las zonas más proximales se pueden distinguir 8 cuñas de conglomerados. Con las letras A-E se han designado las interdigitaciones de materiales marinos con los depósitos aluviales (from Anadón, Marzo y Puigdefàbregas, 1985).  
*Montserrat stratigraphy. In the most proximal areas 8 conglomeratic wedges can be distinguished. With the letters A to E the marine intercalations have been distinguished. A.R=Red sandstones (from Anadón, Marzo and Puigdefàbregas, 1985).*



4.3) DISCUSIÓN

La organización secuencial del relleno sedimentario de una cuenca o porción de la misma está relacionado con tres factores de control principales: clima, variaciones del nivel del mar y actividad tectónica. Como se muestra en la figura S.38, estos factores pueden estar interrelacionados entre sí.

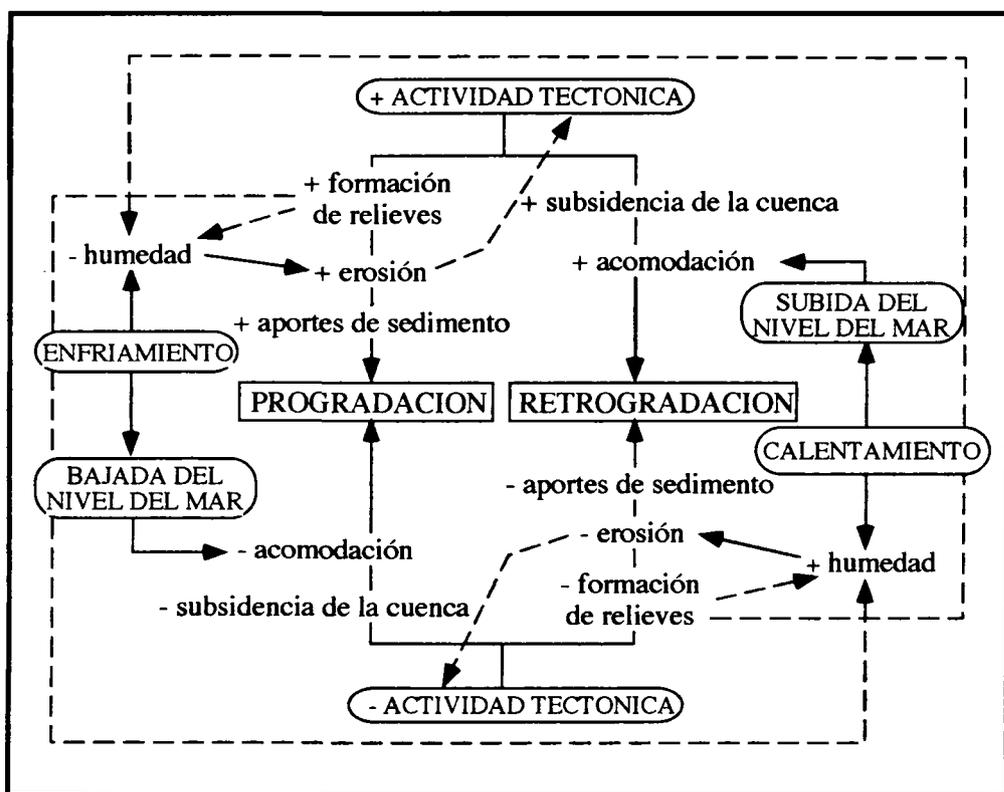
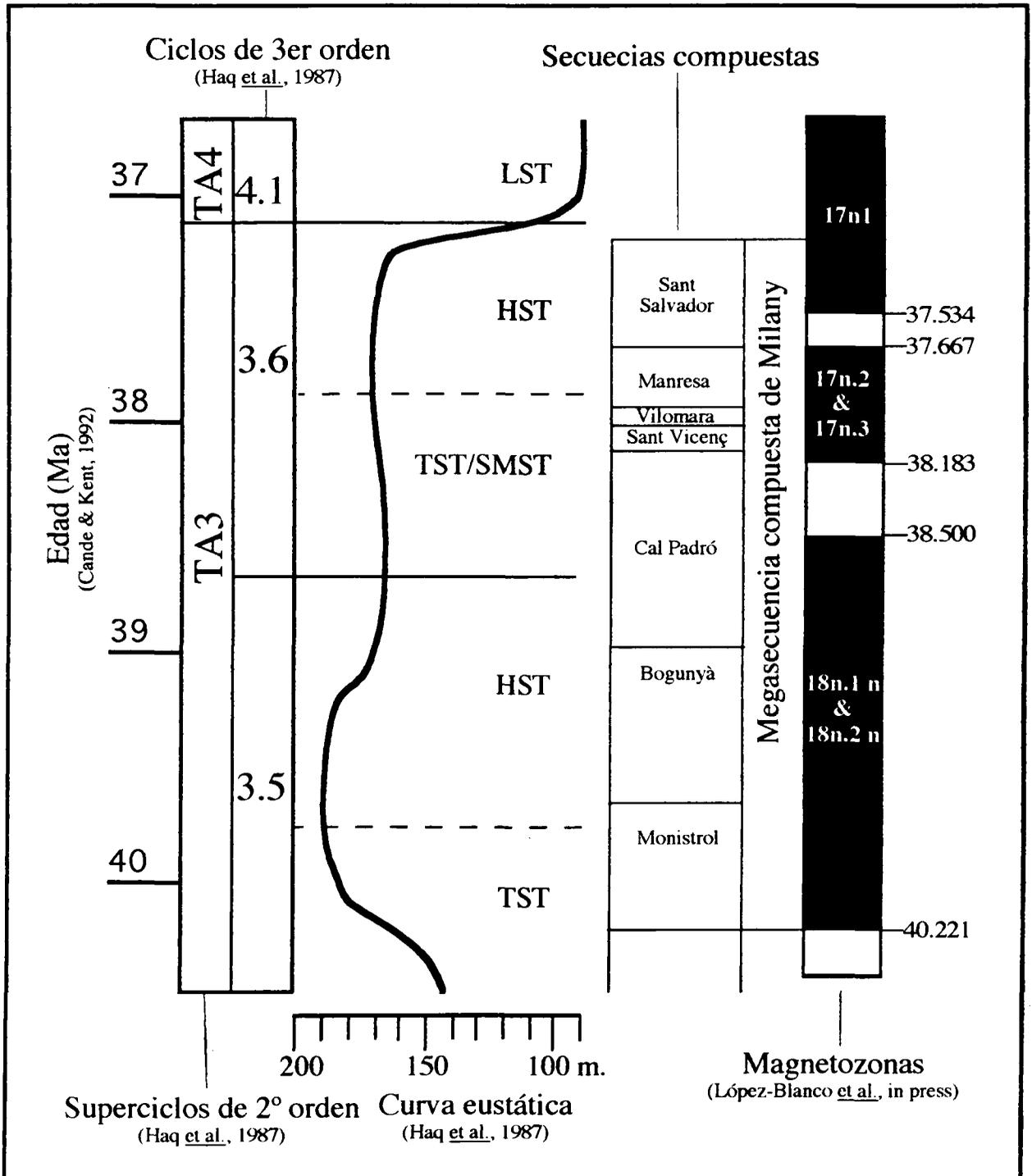


Figura S.38) Factores que controlan la ciclicidad transgresivo-regresiva.  
Controlling factors of the transgressive-regressive cyclicity.

Las variaciones del nivel del mar dan lugar a variaciones en el espacio de acomodación. Las variaciones climáticas generalmente dan lugar a cambios en el nivel del mar (acomodación) y modifican el volumen de aportes sedimentarios al controlar también los parámetros de erosión. La actividad tectónica puede dar lugar a variaciones en la subsidencia (acomodación), en el volumen de aportes sedimentarios e incluso a variaciones climáticas locales.

El estudio magnetoestratigráfico de la sucesión paleógena del area de Montserrat (López-Blanco *et al.* en prensa), permite estimar la duración de los diferentes tipos de secuencias reconocidas en este trabajo (figura S.39).



**Figura S.39)** Correlación entre magnetozonas (Cande y Kent, 1992), ciclos de 2º y 3er orden y la curva eustática global (Haq *et al.*, 1987) y las secuencias compuestas y megasecuencias compuestas definidas.

*Correlation between magnetozones (Cande & Kent, 1992), 2nd and 3rd order cycles and the global eustatic curve (Haq *et al.*, 1987) and the defined composite sequences and megasequence.*

Así, la megasecuencia compuesta de Milany comienza cerca de la base de la magnetozona 18n.2 n (~40,2 Ma) y acaba dentro de la 17n.1 n (~37,2 Ma). Por consiguiente, esta secuencia muestra una duración aproximada de unos 3 millones de años.

A partir del mismo tipo de datos se han deducido duraciones de las diferentes secuencias compuestas:

- Secuencia compuesta de Monistrol: ~550.000 años
- Secuencia compuesta de Bogunyà: ~675.000 años
- Secuencia compuesta de Cal Padró: ~850.000 años
- Secuencia compuesta de Sant Vicenç: ~119.562 años
- Secuencia compuesta de Vilomara: ~86.956 años
- Secuencia compuesta de Manresa: ~271.739 años
- Secuencia compuesta de Sant Salvador: ~478.260 años

La duración de las secuencias fundamentales ha sido deducida dividiendo la duración de las secuencias compuestas por el número de secuencias fundamentales que las componen. Dicha duración varía entre ~9.662 y ~141.665 años.

### MEGASECUENCIA COMPUESTA

Cuando se intenta correlacionar la megasecuencia compuesta de Milany con los ciclos eustáticos globales diferenciados en el esquema de Haq *et al.* (1987), queda en evidencia que el ciclo transgresivo-regresivo distinguido no tiene correlación directa con ninguno de los ciclos definidos en el mencionado esquema que refleja los ciclos eustáticos globales. La megasecuencia compuesta de Milany comienza en algún punto dentro del superciclo de segundo orden TA3 y comprende la mayor parte de éste; así como parte del ciclo de tercer orden 3.5 y el ciclo 3.6 al completo. Como se muestra en la figura S.39, no existe ningún ciclo o superciclo establecido por Haq *et al.* (1987) que sea equivalente a la megasecuencia compuesta de Milany. El techo de esta megasecuencia parece coincidir con un mínimo del nivel del mar en la curva de Haq *et al.* (1987), representado por el límite entre los superciclos TA3 y TA4. Ello sugiere que su techo podría estar relacionado con una bajada global del nivel del mar.

Uno de los trabajos más detallados sobre variaciones climáticas durante el Paleógeno es el de Zachos *et al.* (1993 y 1994). Este trabajo se basa en el estudio de la composición isotópica (Carbono y Oxígeno) de los caparazones de foraminíferos bentónicos. En el gráfico presentado por dichos autores, en el que se muestra la variación de  $\delta^{18}\text{O}$  desde el Maastrichtiense al Mioceno, se puede apreciar una tendencia general al incremento, que coincidiría con la

tendencia de enfriamiento progresivo existente entre Paleoceno y el Oligoceno. Dicha tendencia también se observa apartir de los datos mostrados por los trabajos de Anadón y Cavagnetto (1995) y Cavagnetto y Anadón (1996), donde se observa que desde el Bartonense medio hasta el Oligoceno hay una variación en los taxones que indican un cambio de condiciones cálidas y húmedas a otras, progresivamente más secas.

Esta tendencia general al enfriamiento podría haber controlado en parte la sedimentación de la megasecuencia compuesta de Milany. Una tendencia al enfriamiento implica un aumento de la aridez en el sistema, con un consecuente aumento de la erosión y del aporte sedimentario. En un sistema en el que el resto de los factores de control fuesen constantes este enfriamiento daría lugar progresivamente a una progradación del sistema. Esta tendencia general del sistema hacia la progradación haría que los ciclos transgresivo-regresivos fueran asimétricos, siendo el tramo regresivo más exageradamente regresivo y el transgresivo menos claramente transgresivo.

La megasecuencia compuesta de Milany es claramente asimétrica, con una megaunidad transgresiva que registra una transgresión de unos 0,5 km y una megaunidad regresiva asociada a unos 10 km de avance de la línea de costa. Esta asimetría podía haber venido forzada por la mencionada tendencia general al enfriamiento.

En el gráfico de Zachos *et al.* (1993 y 1994) también se aprecian una serie de ciclos menores, de frecuencias cercanas a los 2 ó 3 millones de años. La megasecuencia compuesta de Milany, por su duración (~3 Ma), podría estar relacionada con alguno de estos ciclos menores, aunque con los datos de los que se dispone, dicha hipótesis no puede probarse.

Basado en los datos magnetoestratigráficos citados en párrafos precedentes, se ha construido un diagrama de subsidencia (figura S.13 a y b) y otro diagrama de tasas de subsidencia total y tectónica (figura S.14) para la sucesión de Montserrat. Si bien el trabajo de construcción de la curvas de subsidencia ha sido realizado concienzuda y detalladamente, los resultados y gráficos obtenidos tienen que ser tomados como una aproximación, ya que la metodología de realización de dichas gráficos incluye diversas imprecisiones.

En el gráfico de tasas de subsidencia total de la figura S.14 b se observa una tendencia general de incremento durante la sedimentación del tramo final de la megasecuencia de Milany. Bajo condiciones de aporte sedimentario constante y nivel del mar estacionario, un régimen de subsidencia creciente daría lugar a una sucesión con tendencia transgresiva o retrogradante, ya que el espacio de acomodación sufriría un progresivo incremento. Sin embargo, en

nuestro caso tenemos una megasecuencia de tipo transgresivo-regresivo bastante asimétrica a favor de la regresión. Por consiguiente, se puede concluir que la organización secuencial de dicha megasecuencia no fue exclusivamente controlada por la subsidencia del margen de cuenca.

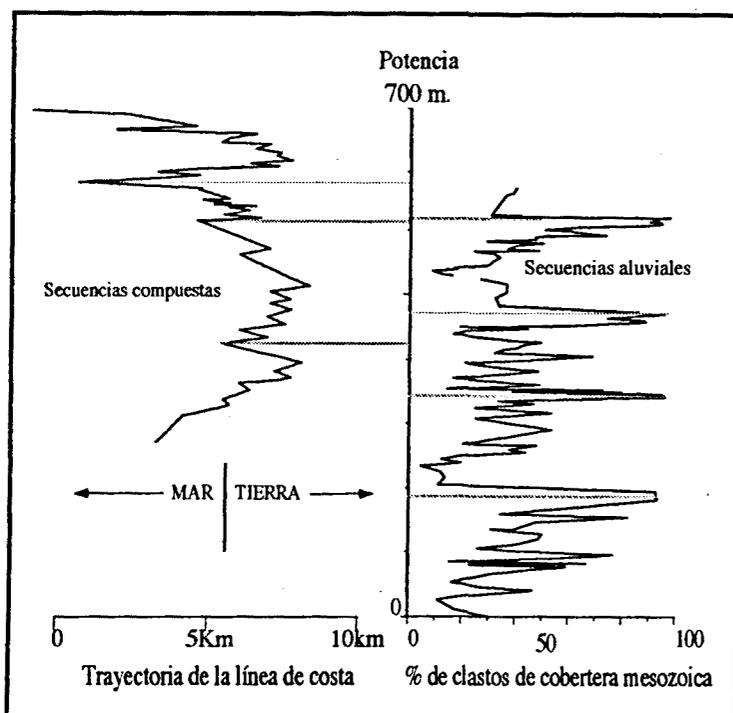
Otro factor que controla la secuencialidad es el de la tasa de aporte sedimentario. Éste puede evolucionar en relación con variaciones en el clima (ver párrafos precedentes) o estar relacionados con la actividad tectónica y el relieve en el area fuente.

Como ya se ha mencionado en el apartado 2.2 de éste capítulo, basado en la existencia de depósitos con un claro carácter sintectónico, la actividad tectónica en la Cadena Prelitoral se desarrolló desde el Eoceno inferior (Brechas del Cairat) hasta, por lo menos, la parte alta del Bartonense (Brechas de les Morelles). Las tasas de subsidencia tectónica nos pueden dar una cierta información sobre la actividad tectónica en el margen de cuenca, de forma que los incrementos en la tasa de subsidencia tectónica en la cuenca se corresponderían con incrementos en la actividad tectónica, en creación de relieves, así como incrementos en las tasas de erosión y aporte de sedimentos desde el area fuente.

A primera vista, las gráficas de tasas de subsidencia tectónica (figura S.14 c) no nos marcan ninguna tendencia clara relacionable con el ciclo transgresivo-regresivo registrado por la megasecuencia de Milany. Si se corrige el efecto del eustatismo, utilizando el diagrama de Haq *et al.* (1987), el gráfico cambia ligeramente (figura S.14 c). En nuestro caso sólo se ha representado la variación asociada a la caída eustática del final del período estudiado, ya que ésta es la mayor y la única que modifica sustancialmente el diagrama de tasas de subsidencia tectónica. Tras esta corrección, se aprecia un tramo inicial (desde la base del cron 18n hasta la base del 17n.1 n) en el que las tasas no presentan grandes variaciones, pero sí una tendencia decreciente (de tasas medias iniciales de 128 hasta tasas del orden de 42 m/Ma). En cambio en el último tramo, correspondiente al cron 17n., las tasas son superiores y la tendencia es creciente, (de tasas medias iniciales de 42 hasta tasas de 326 m/Ma). A la vista de estos datos parece lógico suponer la existencia de una actividad tectónica decreciente durante el depósito de la megaunidad transgresiva, lo que se podría traducir en un decrecimiento progresivo en las tasas de elevación, erosión y producción de sedimento en las areas fuentes. Todo ello se traduciría en la cuenca en una disminución progresiva de los aportes, lo que daría lugar a la tendencia agradacional-retrogradacional que define la megaunidad transgresiva. El posterior incremento en la subsidencia tectónica (durante la

deposición de la megaunidad regresiva) se relacionaría con un incremento progresivo y muy importante de la tasa de aporte sedimentario (ligada, a su vez, a una mayor tasa de elevación y erosión en el area fuente), siendo dicha tasa de aporte sedimentario lo suficientemente importante como para contrarrestar las importantes tasas de acomodación mostradas por la subsidencia total (figura S.14 b), dando lugar a una tendencia de tipo regresivo.

El estudio de los depósitos del abanico aluvial proximal suministra cierta información sobre origen de la ciclicidad transgresivo-regresiva asociada a la megasecuencia de Milany. En general, los ciclos identificados en las facies de abanico proximal son de una escala mucho menor que la megasecuencia. Sin embargo, a gran escala se observa una tendencia general progradante. Dentro de esta tendencia general, al igual que sucede en los depósitos costeros, parece posible reconocer dos tramos, tanto en Monserrat como en Sant Llorenç del Munt. El tramo inferior muestra una tendencia con una componente agradacional mucho más importante que el tramo superior, de carácter progradante (figuras S.40 y S.37). Parece, por tanto, que el factor o suma de factores que dieron lugar a las tendencias que muestra la megasecuencia de Milany no sólo afectan la organización secuencial de las partes costeras del abanico, sino que también influyeron de manera similar en las zonas subaereas de abanico aluvial.



**Figura S.40)** Correlación entre un "log" de porcentaje de contenido en clastos de materiales mesozoicos en el abanico aluvial proximal de Sant Llorenç del Munt (y las secuencias aluviales definidas) con las trayectorias de la línea de costa definidas en los depósitos costeros (y sus correspondientes secuencias compuestas)

*Correlation between a mesozoic-clasts percentage log from the Sant Llorenç del Munt proximal alluvial fan (and its related alluvial sequences) and the shoreline trajectories defined in the coastal areas (and its related composite sequences).*

En resumen, podemos concluir que existen diferentes posibilidades para explicar el origen de la megasecuencia de Milany. El final de ésta probablemente está relacionado con una bajada global del nivel del mar, aunque las tendencias transgresivo-

regresivas que nos permiten diferenciar las distintas megaunidades no estarían controladas por el eustatismo (reflejado en la curva de Haq *et al.*, 1987). La subsidencia tampoco controla la arquitectura de esta megasecuencia. El factor de control principal es el aporte de sedimentos, influenciado por la actividad tectónica en el area fuente y, quizás, el clima.

### SECUENCIAS COMPUESTAS

Cuando se intenta buscar una correlación entre las secuencias compuestas y la tabla eustática global (Haq *et al.*, 1987), es evidente que las superficies clave de las secuencias compuestas, que reflejan cambios en las tendencias de apilamiento de las secuencias fundamentales (excepto la unidad regresiva de la secuencia compuesta más alta), no coinciden con las reconocidas en la tabla de Haq *et al.* (1987). No hay correlación directa entre la ciclicidad observada en nuestro sistema y los ciclos de 2º y 3º orden de Haq *et al.* (1987), ya que las superficies o tendencias no coinciden y la duración de los ciclos es diferente. Existen dos posibles explicaciones para la falta de correlación observada tras esta primera aproximación. La primera es que la tabla de Haq *et al.* (1987) no sea cierta o lo suficientemente precisa para el intervalo estudiado. La segunda es que los ciclos observados en el presente estudio no estén directamente relacionados con cambios eustáticos globales. De la comparación con areas vecinas, podemos apreciar que las superficies de máxima inundación de las secuencias compuestas de Monistrol y Manresa tienen un carácter regional y no local. Según Serra-Kiel (com. pers.), los dos ciclos transgresivo-regresivos del Bartonense tienen un carácter regional muy importante, siendo reconocibles en el Pirineo, en Transylvania (Bombita, 1984), y muy probablemente en Egipto y Grecia. Estos dos máximos transgresivos estarían ligados a factores que afectarían no sólo al margen SE de la cuenca del Ebro, sino a gran parte de la región Mediterránea, por lo que probablemente se trate de subidas del nivel del mar de carácter, por lo menos, regional. Los máximos transgresivos de los dos ciclos transgresivo-regresivos descritos en Serra-Kiel y Travé (1995) se hallan en las secuencias compuestas de Monistrol y Manresa. En la figura S.39 se aprecia que en el período estudiado, Haq *et al.*, (1987) distinguen dos ciclos de tercer orden (3.5 y 3.6) cuyos máximos transgresivos se hallan en posiciones estratigráficas correspondientes a las secuencias de Monistrol y Manresa. Esto, unido al ya comentado carácter regional de estos ciclos, lleva a pensar en un posible origen eustático de las superficies de máxima inundación de las secuencias compuestas de Monistrol y Manresa.