

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.

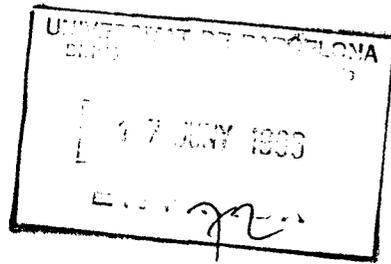
ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados 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 ralaizada 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

PARTE III

CAPITULO IV:

DISCUSSION

1) VALIDEZ DE LA ESTRATIGRAFIA SECUENCIAL COMO METODO DE CORRELACION

El hecho de que las unidades que se definen tras un análisis secuencial sean unidades de tipo aloestratigráfico, limitadas por discontinuidades asimilables (o casi) a superficies-tiempo, hace a éstas muy útiles de cara a subdividir en unidades cronoestratigráficas el relleno sedimentario de cualquier cuenca.

El hecho de que inicialmente se asumiera que la ciclicidad mostrada por las secuencias deposicionales estuviera ligada a cambios eustáticos globales, abría las puertas a un método útil para correlacionar series, mediante secuencias, a escala global. Sin embargo, como es sabido, la secuencialidad está controlada, a parte de por posibles variaciones eustáticas, por la subsidencia y el aporte (o producción) de sedimentos. Debido a la actuación de estos otros factores de control, que tienen un carácter más local, la mayor parte de las secuencias muestran un carácter marcadamente local y no son útiles de cara a correlaciones globales.

La correlación entre secuencias es posible, pero sólo en determinados contextos con subsidencia y aportes sedimentarios similares o equiparables. Las subdivisiones estratigráficas basadas en la estratigrafía secuencial sí son eficaces de cara a la correlación dentro de una cuenca o el margen de ésta. Dependiendo de la escala (u orden) de la secuencia, ésta podrá ser correlacionable a lo largo de zonas más o menos extensas de dicha cuenca o el globo. Por ejemplo: 1) la megasecuencia compuesta (la de mayor escala) distinguida en la zona de Montserrat-Sant Llorenç del Munt es correlacionable por todo el sector oriental de la cuenca del Ebro (secuencia de Milany); 2) Las secuencias compuestas se correlacionan por toda el área estudiada, reconociéndose en dos sistemas adyacentes, como los de Montserrat y Sant Llorenç del Munt; 3) las secuencias fundamentales no son correlacionables de un sistema a otro. Esta dificultad de correlacionar secuencias o su falta de continuidad lateral es producto de los factores de tipo "local" que influyen en su formación. Los factores más locales (generalmente de mayor frecuencia) influirán más en la formación de secuencias de menor envergadura; mientras que los más regionales o globales (de menor frecuencia) guiarán la formación de secuencias de mayor escala.

2) CONSIDERACIONES METODOLOGICAS GENERALES SOBRE LA ESTRATIGRAFIA SECUENCIAL

El análisis secuencial de los sistemas deltaicos estudiados comporta: 1) una estratigrafía física, 2) un análisis de facies y 3) una datación lo más precisa posible.

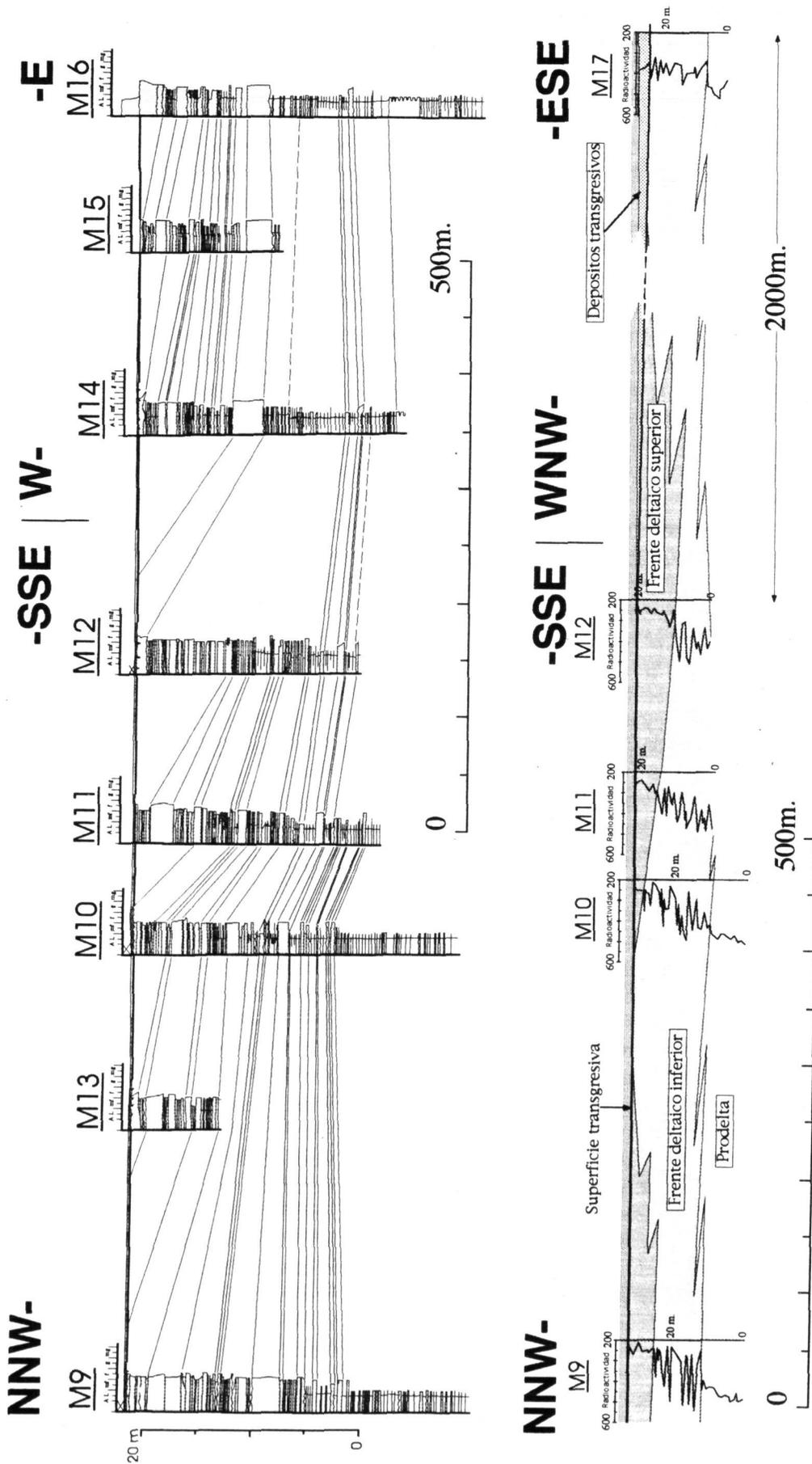
La estratigrafía física se fundamenta en los métodos "tradicionales", es decir, levantamiento de columnas estratigráficas, correlación física de las mismas y cartografía de litofacies (al máximo detalle posible). La estratigrafía física nos da información sobre la geometría bi- y tridimensional de los cuerpos rocosos que posteriormente, tras el análisis de facies, serán atribuidos a un paleoambiente de sedimentación u otro.

Al mismo tiempo, apoyándonos en columnas estratigráficas detalladas y su correlación, se puede ir realizando un análisis paleoambiental de facies que, por otro lado, nos puede ayudar a la hora de efectuar la cartografía. Esta interpretación ambiental es fundamental de cara a hacer un análisis secuencial, ya que nos suministra una cierta información paleobatimétrica (útil para conocer variaciones relativas del nivel de base), información sobre la naturaleza de las superficies de truncación y de condensación, e ideas sobre la ausencia de cinturones de facies previsibles, o la presencia de cinturones de facies no previsibles...

La cuestión paleobatimétrica es fundamental. Hay que buscar y utilizar indicadores paleobatimétricos lo más precisos posible y reconocibles en la mayor parte de la sucesión. En los sistemas deltaicos estudiados la mayor parte de las facies involucradas se encuentran en un rango de batimetrías de unos 100 metros, por lo que los "saltos" en la paleobatimetría habrá que detectarlos con marcadores muy precisos. El mejor indicador paleobatimético es el de la línea de costa, el paso de facies subaereas a submarinas, que nos marca una paleobatimetría 0. En casos como en los de Sant Llorenç del Munt y Montserrat se ha utilizado este indicador.

Figura D.1) Panel de correlación de las series estratigráficas realizadas en la unidad "Panther Tongue" al este de la ciudad de Helper (Utah, EEUU). a) Correlación de series estratigráficas. b) correlación de series de medida de radioactividad e interpretación ambiental.
Correlation pannel of the stratigraphic sections measured on the Panther Tongue unit, East of Helper (Utah, U.S.A). a) Correlation of stratigraphic sections. b) correlation of gamma-ray measurements and paleoenvironmental interpretation.

2) Consideraciones metodológicas generales sobre la estratigrafía secuencial.



En el caso de la Arenisca de Roda se ha utilizado el paso de facies de "topset", presuntamente depositadas de manera horizontal, a facies de "foreset" que marcan la progradación del frente deltaico. La precisión de este marcador no es tan elevada como la del utilizado el Sant Llorenç del Munt, pero es el más preciso disponible. En otros casos, como el caso estudiado de "The Panther Tongue" (Western interior seaway, Utah, EEUU), en los que no encontramos facies subaereas ni "topsets" (Figura D.1), los indicadores son menos fiables. En estos casos se puede utilizar la icnología como indicador de profundidad. El problema es que ésta no sólo refleja la profundidad sino que también está en función de los aportes, la energía del medio y el tipo de sustrato, que en los frentes deltaicos puede ser bastante variable. También se pueden utilizar otros cambios laterales de facies (de frente deltaico a prodelta, de frente deltaico superior a inferior), aunque estos también son indicadores paleobatimétricos relativos imprecisos, ya que pueden estar en función de los aportes y la energía del medio (figura D.2).

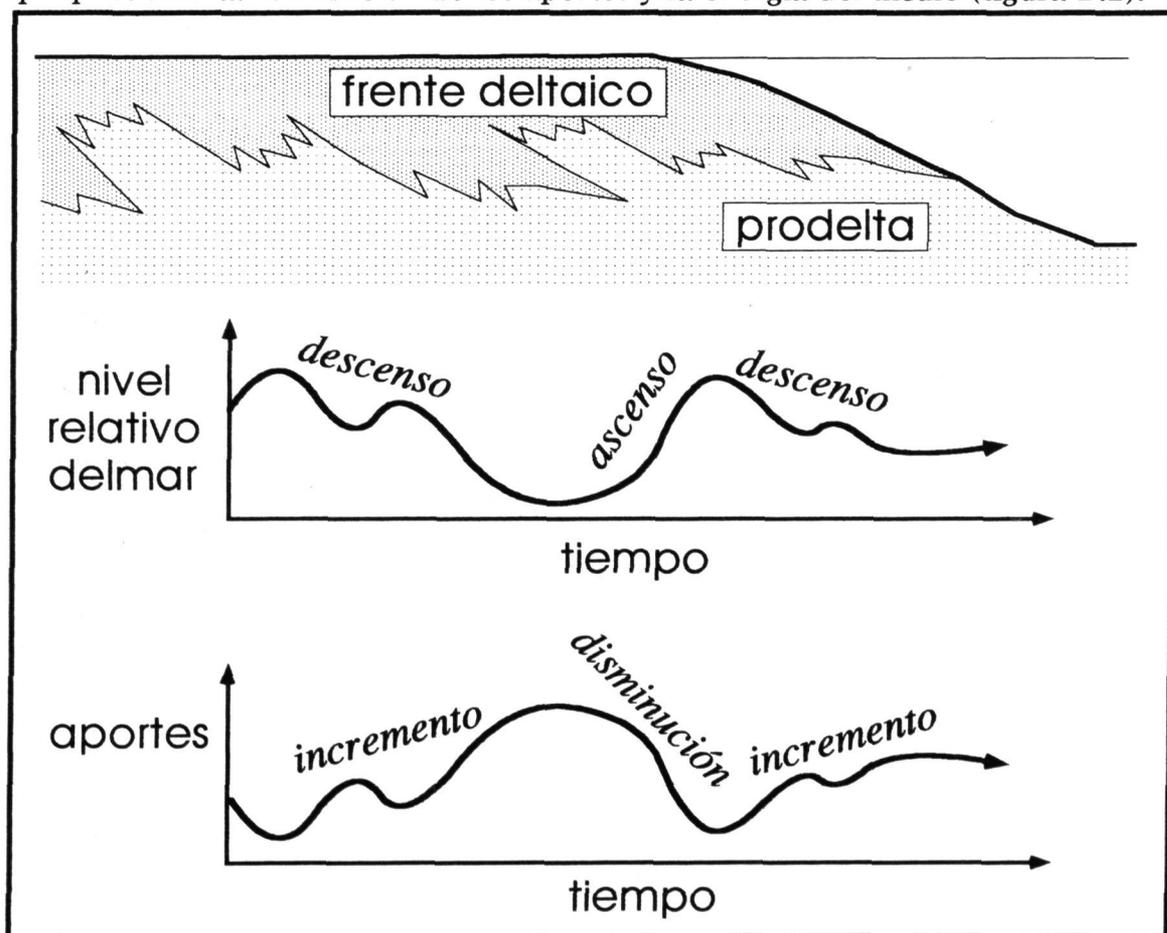


Figura D.2) Corte en el que se muestra el paso de facies de frente deltaico a prodelta y sus posibles orígenes relacionados con: variaciones relativas del nivel de base o variaciones en el aporte sedimentario.

Cross-section showing the passage from delta-front facies to prodelta, and its origin related to: relative base-level variations or sediment supply variations.

2) Consideraciones metodológicas generales sobre la estratigrafía secuencial.

Otros posibles indicadores como la presencia de depósitos retrabajados por el oleaje o las tormentas pueden resultar imprecisos (según a la escala que trabajemos) ya su paleobatimetría es variable según la intensidad del oleaje, las tormentas o la importancia de los aportes desde el continente.

Cuando ya se dispone de la estratigrafía física y la interpretación ambiental puede procederse a un primer análisis secuencial. Si se quiere profundizar más en el mismo e intentar correlacionar secuencias lejanas, estimar su duración o intentar discernir los factores que controlan la secuencialidad detectada, necesitamos, de manera inexcusable, un análisis cronoestratigráfico de la sucesión.

Este análisis cronoestratigráfico ha de ser lo más preciso posible. En los casos estudiados en este trabajo, la biocronología (datación a partir de fósiles) no ha sido por sí sola lo suficientemente precisa para nuestros planes. Para obtener una datación más detallada se ha utilizado la magnetoestratigrafía (apoyada, naturalmente, en la biocronología). Con un estudio de tipo magnetoestratigráfico, si somos afortunados, podemos obtener las edades más o menos absolutas de una serie de puntos de la sucesión. A partir de estas edades o puntos de anclaje en la serie se puede deducir aproximadamente la duración de las diferentes secuencias y compararlas con otras. A partir de la datación también se puede realizar un estudio de las tasas subsidencia y de aporte sedimentario, útiles para discernir su influencia en la generación de las diferentes secuencias.

3) DISCRIMINACION DE LOS FACTORES DE CONTROL

Como es sabido, la secuencialidad o ciclicidad de las sucesiones deltaicas está influenciada por las variaciones eustáticas, variaciones en la subsidencia de la zona y variaciones en los aportes sedimentarios (Krumbein & Sloss, 1963; Curray, 1964). Discernir la influencia de cada uno de éstos factores es algo fundamental de cara a comprender el sistema y correlacionar su secuencialidad con la de otras áreas.

Como se ha indicado previamente, para discriminar los factores que influyen, es necesario disponer de un buen control cronoestratigráfico.

Las variaciones eustáticas a lo largo del tiempo fueron reflejadas inicialmente por Vail *et al.*, (1977), en una curva eustática, construida a partir del estudio de perfiles sísmicos en márgenes pasivos. En esta curva se mostraban

ciclos eustáticos de 1^{er}, 2^o y 3^{er} orden y su relación con las magnetozonas y unidades bioestratigráficas. Haq *et al.*, (1987) y Haq *et al.*, (1988) con el uso de perfiles sísmicos y sondeos completan y modifican la curva de Vail *et al.*, (1977). En esta nueva curva se incluye una escala temporal absoluta, una escala cronoestratigráfica, una escala biocronológica, una cronoestratigrafía secuencial (mostrando los ciclos de 1^{er}, 2^o y 3^{er} orden) y una curva eustática en la que se indica el nivel del mar con respecto actual.

Esta curva eustática (Haq *et al.*, 1988) ha recibido críticas, siendo las más importantes las de Miall (1991 y 1992), en las que se pone en duda la precisión cronológica y la "globalidad" de las variaciones eustáticas definidas ya que no existe una documentación probada que la apoye. Posamentier y Weimer (1993) también hacen una interesante valoración de la curva eustática de Haq *et al.* (1988). En ésta se alude a la posible utilización de eventos en diferentes cuencas que pueden ser no coetáneos para la construcción de la curva y en la dificultad de averiguar a que orden corresponden las secuencias de alta frecuencia, cuando no se dispone de una datación precisa, ya que el aspecto en el campo de una secuencia de cuarto, quinto o sexto orden puede ser idéntico.

Pese a sus defectos, la curva eustática de Haq *et al.*, (1988) es la única herramienta de la que se dispone para conocer las variaciones del nivel del mar en cualquier época.

Una comparación entre las secuencias definidas en la zona de estudio y los ciclos y variaciones eustáticas de la curva de Haq *et al.*, (1988) nos puede dar una idea de la influencia del eustatismo en la generación de las secuencias observadas.

Una limitación de esta curva es que las variaciones eustáticas de mayor frecuencia que se muestran son las correspondientes a los ciclos de tercer orden (1-10 millones de años), por lo que no son útiles para trabajos que se ciñan a secuencias de mayor frecuencia.

Las variaciones de la subsistencia de la zona se pueden obtener a partir de un análisis geohistórico ("geohistory analysis"), en el que se representan los movimientos verticales de un horizonte estratigráfico en una cuenca sedimentaria, como indicador de la subsistencia y/o elevación sufrida por la cuenca desde que el horizonte se depositó (Van Hinte, 1978). Este análisis se puede realizar a partir de una columna estratigráfica que tenga un buen control cronoestratigráfico y en la que se conozca la paleobatimetría de las diferentes facies.

A partir de este tipo de análisis se puede deducir la relación existente entre la subsistencia y la secuencialidad.

El problema mayor con el que nos podemos encontrar es el de que los puntos de la serie con control temporal estén tan separados que no nos permitan apreciar la evolución de la subsidencia para el intervalo de tiempo representado por los de ciclos. En el ejemplo estudiado de la Arenisca de Roda, los puntos de control temporal son insuficientes incluso para poder decir algo de la ciclicidad de menor orden. En el caso de Montserrat y Sant Llorenç del Munt el espaciado entre los puntos con control cronoestratigráfico sólo nos permite llegar a conclusiones con respecto a la secuencia de mayor escala (megasecuencia compuesta), mientras que nada se puede asegurar al respecto de las secuencias de mayor frecuencia (secuencias compuestas y secuencias fundamentales).

Las tasas de aporte sedimentario es el parámetro más difícil de evaluar. Éste depende en gran medida del clima y de la tectónica local.

Si se dispone de un buen control de las variaciones eustáticas y de la subsidencia, es más fácil tener una idea de las variaciones en el aporte sedimentario. A partir de la evolución de la subsidencia tectónica se puede deducir cuales son los períodos de mayor actividad tectónica, que probablemente darán lugar a una mayor cantidad de aportes ligados a la creación de relieves en el area fuente.

Las variaciones climáticas influyen en los aportes, variando éstos de períodos fríos a cálidos o de secos a húmedos. Las variaciones paleoclimáticas se pueden conocer a partir de estudios de tipo isotópico o paleontológico, pero siempre nos encontramos con el problema de que los estudios realizados son útiles para ciclos de orden bajo y no para los de mayor frecuencia (los que mejor se estudian en ejemplos de campo). Los estudios de paleotemperatura más interesantes son los basados en los isótopos de oxígeno, obteniendo la paleotemperatura a partir de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y aplicando las fórmulas de Epstein *et al.*, (1951) o Shackleton y Kennett (1975).

4) LOS DIFERENTES MODELOS DE ESTRATIGRAFIA SECUENCIAL: VENTAJAS E INCONVENIENTES

4.1) VENTAJAS DE LA UTILIZACION DE CADA UNO DE LOS DIFERENTES MODELOS

4.1.1) VENTAJAS DE LA UTILIZACION DEL MODELO DEL GRUPO EXXON (SECUENCIAS DEPOSICIONALES).

La utilización del modelo del grupo Exxon tiene una serie de ventajas.:

1) Una de ellas es que éste es el más extendido, aceptado y utilizado por la comunidad científica, de forma que constituye toda una metodología de trabajo de la que partir.

2) Otra ventaja es que subdivide cada secuencia en tres (o cuatro) cortejos o "systems tracts", generados en períodos o tramos concretos de los ciclos de variación relativa del nivel de base.

3) La utilización de superficies con significado cronoestratigráfico a escala global como límites de secuencia es otra de las ventajas. Los límites de secuencias deposicionales en las zonas someras de los sistemas deltaicos representan, según el caso, momentos de nivel de base más bajo o más alto. Si las secuencias son exclusivamente respuesta a variaciones globales de tipo eustático, estos límites se generarán simultáneamente por todo el planeta.

4) Teóricamente, las discontinuidades que limitan las secuencias deposicionales son reconocibles fácilmente en las zonas costeras y, sobre todo, en las partes subaereas del sistema, donde éstas suelen alcanzar su máxima expresión.

5) La última ventaja es la existencia de tres tipos diferentes de secuencias, aplicables en diferentes contextos o circunstancias.

4.1.2) VENTAJAS DE LA UTILIZACION DE LOS MODELOS DE SECUENCIAS ESTRATIGRAFICAS GENETICAS

La utilización de las secuencias estratigráficas genéticas presenta bastantes ventajas:

1) La primera ventaja es que, constituye un modelo simple sin demasiadas complicaciones conceptuales.

2) En las secuencias estratigráficas genéticas se utiliza un criterio similar para las diferentes escalas de trabajo. Todas las secuencias, sea cual sea su escala están limitadas por superficies de máxima inundación.

4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial: ventajas e inconvenientes.

3) Este tipo de secuencias son útiles en áreas donde no se generan discontinuidades subaereas (Embry, 1994a) ya que sus límites son fácilmente reconocibles.

4) Este tipo de secuencias sólo se subdividen en dos partes (componentes de "offlap" y componentes de "offlap"). Ambas partes son fácilmente reconocibles en el campo, ya que se basan en la evolución de la trayectoria de la línea de costa (o hacia tierra o hacia cuenca).

5) Las superficies limitantes (superficies de máxima inundación) son fácilmente reconocibles, tanto en el campo como en perfiles sísmicos. Estas superficies, además, suelen tener fauna asociada, lo que hace que su datación no sea muy difícil. Las superficies limitantes tienen un gran potencial de preservación y son las más evidentes en contextos con altas tasa de acomodación.

6) Galloway (1989a) implica tanto al eustatismo, como la subsidencia como al aporte sedimentario en la generación de las secuencias estratigráficas genéticas. También indica que hay que determinar y especificar una jerarquía de correlación de secuencias:

- las que se restringen a un depocentro o depocentros muy próximos,
- las que se extienden por todo un margen de placa,
- las que se extienden por placas corticales adyacentes,
- las correlacionables globalmente.

4.1.3) VENTAJAS DE LA UTILIZACION DE LOS MODELOS DE SECUENCIAS TRANSGRESIVO-REGRESIVAS.

Las secuencias de tipo transgresivo-regresivo tienen bastantes ventajas a su favor para ser utilizadas en el estudio de sistemas deltaicos.

1) Estas secuencias no tienen un origen interpretativo sino descriptivo, ya que se basan en los cambios de tendencia (transgresiva o regresiva) de la sucesión. Al ser un modelo bastante sencillo, no presenta excesivos problemas.

2) Las secuencias transgresivo-regresivas son (al igual que las secuencias estratigráficas genéticas) simples ya que, en principio sólo constan de dos partes bien diferenciadas (cortejos, "systems tracts", unidades, megaunidades... o como se las quiera denominar), una transgresiva y otra regresiva. Sin embargo, en casos como las secuencias fundamentales, la parte regresiva puede dividirse incluso en tres sectores (equivalentes al HST, FRST, LPW del modelo de Exxon) según la trayectoria de los depósitos costeros.

3) El reconocimiento de las secuencias transgresivo-regresivas en el campo es relativamente sencillo. A nivel de secuencias fundamentales (como se

ha visto en los ejemplos de Sant Llorenç del Munt y la Arenisca de Roda), en las zonas transicionales y marinas hay claras diferencias litológicas entre las partes transgresivas (con facies bioturbadas, bioclásticas y ricas en carbonatos y tendencias profundizantes) y las regresivas (con facies detríticas progradantes y somerizantes). Las secuencias de mayor escala (secuencias y megasecuencias compuestas) se basan simplemente en las variaciones de las tendencias de apilamiento de las secuencias de escala inmediatamente menor, que quedan claramente expresadas en las trayectorias de la línea de costa y depósitos asociados.

4) En las secuencias transgresivo-regresivas se utiliza un criterio similar para las diferentes escalas de trabajo. Así, todas las secuencias, sea cual sea su escala están limitadas por superficies de máxima regresión, y constan de un tramo transgresivo basal y un tramo regresivo final.

5) Las superficies limitantes de este tipo de secuencias son fácilmente reconocibles, tanto en el campo como en perfiles sísmicos. Hacia la cuenca vienen marcadas por el paso de tendencias regresivas a transgresivas. Hacia tierra, en ocasiones coinciden con las discontinuidades subaereas (teóricamente las más evidentes en depósitos subaereos).

6) Este tipo de secuencias son útiles tanto en areas donde se generan discontinuidades subaereas como en las que no (Embry, 1994a), ya que el límite viene marcado por la superficie de máxima regresión, que es independiente de que haya discontinuidad subaerea, o no (es decir, que haya o no descenso relativo del nivel de base).

7) Según Embry (1994b), los límites de secuencia T-R muestran una "diacroneidad" muy baja en relación con la duración de los ciclos de subida-bajada del nivel de base.

8) En la generación de las secuencias transgresivo-regresivas se implica tanto al eustatismo, como la subsidencia, como el aporte sedimentario.

9) Tanto en los trabajos de Embry, como en los del autor de esta tesis, se establecen unas jerarquías dependientes de la escala relativa (vertical y/o lateral) de las secuencias, sin basarse directamente en la duración de las mismas.

4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial: ventajas e inconvenientes.

4.2) INCONVENIENTES DE LA UTILIZACION DE CADA UNO DE LOS DIFERENTES MODELOS

4.2.1) PROBLEMATICA Y DIFICULTADES GENERALES DEL ANALISIS SECUENCIAL

1) La no globalidad de los diferentes tipos de secuencia.

Las secuencias deposicionales, las secuencias estratigráficas genéticas y las secuencias transgresivo-regresivas son el resultado de la interacción entre las variaciones eustáticas, la subsidencia local y los aportes sedimentarios. Por ello, las sucesivas secuencias generadas en un lapso de tiempo determinado y en dos zonas diferentes del globo, difícilmente serán isócronas (a no ser que el régimen de aportes y subsidencia sean similares).

Vail (1987) indica que una secuencia deposicional se interpreta como depositada durante un ciclo de cambio eustático del nivel del mar, por lo que éstas tendrán un carácter global al igual que los eventos eustáticos que las originan. En la figura D.3, se muestra la curva de variación relativa del nivel del mar en dos zonas diferentes. En A no hay subsidencia mientras que en B sí. En B, a parte de presentar unos ascensos más bruscos y unos descensos más suaves que A, se observa que el período de descenso del nivel relativo del mar es más corto que en A, comenzando después y finalizando antes. De esta manera, los momentos tanto de máximo como de mínimo relativo del nivel del mar se dan en diferentes momentos según el régimen de subsidencia.

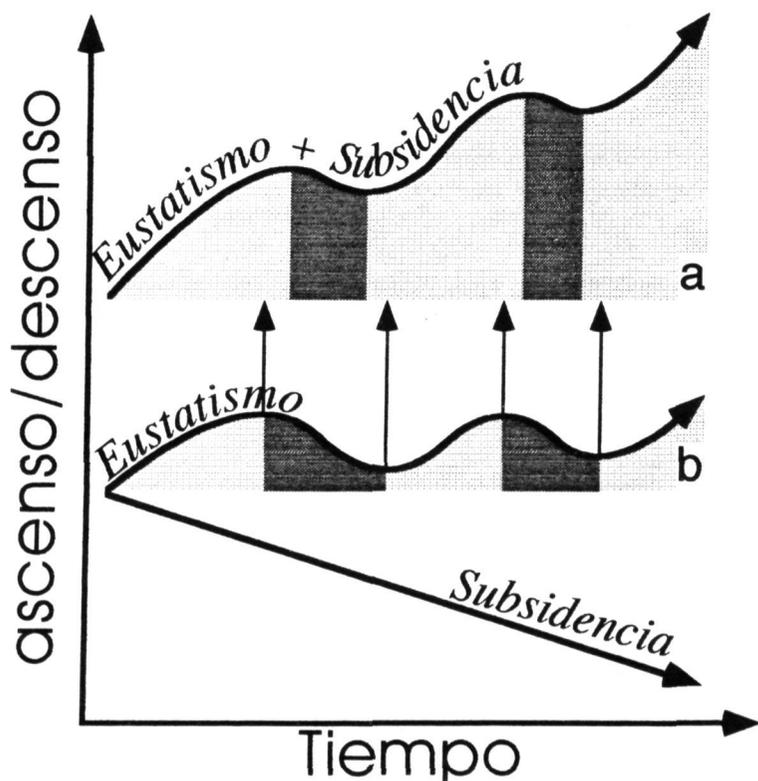


Figura D.3) Modificación de las curvas de variación relativa del nivel del mar y la duración de los tramos ascendentes y descendentes usando diferentes tasas de subsidencia. **a)** Curva resultante de la presencia de una subsidencia "X". **b)** Curva sin subsidencia alguna.

Modification of the relative sea level variation curves and the duration of the ascending or descending sections of the curves using different subsidence values. a) Subsidence="X". b) Subsidence=0.

Las variaciones en el aporte sedimentario influyen directamente en la localización de superficies clave como la de máxima regresión o la de máxima inundación. El paso de condiciones transgresivas a regresivas, que queda marcado por la superficie de máxima inundación, y que delimita las secuencias estratigráficas genéticas, depende de la relación existente entre los movimientos relativos del nivel de base y del aporte sedimentario o erosión. Lo mismo ocurre con las superficies de máxima regresión, limitantes de las secuencias transgresivo-regresivas. En la figura D.4, de Curray (1964) se muestra la relación entre las variaciones relativas del nivel del mar y las velocidades de sedimentación (o erosión) y sus efectos (transgresiones o regresiones). En este gráfico se puede apreciar como para un ascenso o descenso del nivel del mar de una determinada magnitud, dependiendo de la velocidad de sedimentación, podemos tener condiciones de tipo transgresivo en unos casos y de tipo regresivo en otros.

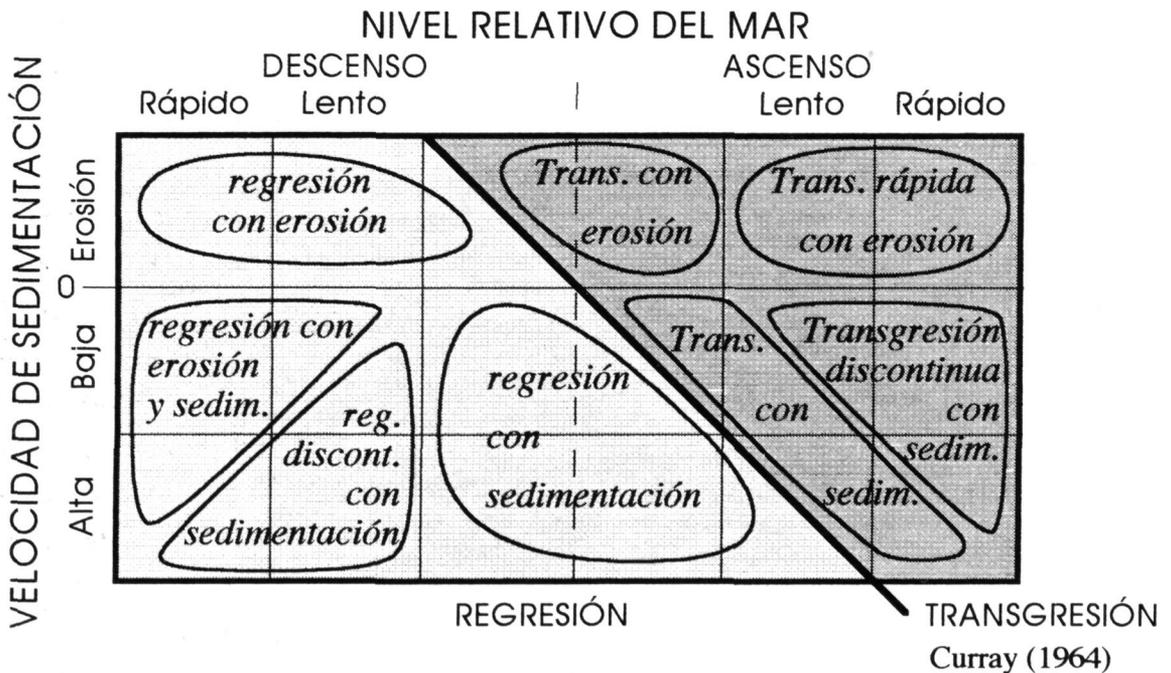


Figura D.4) Gráfico en el que se relacionan las variaciones del nivel relativo del mar con las tasas de sedimentación y erosión, mostrando los diferentes tipos de transgresiones y regresiones (Curray, 1964).

Relative sea level changes versus sedimentation-erosion rates, showing the resulting types of transgressions and regressions (Curray, 1964).

La posición estratigráfica de las superficies de máxima inundación y de máxima regresión está influenciada por el eustatismo, la subsidencia y el aporte sedimentario (figuras D.3 y D4). De esta manera, las superficies de máxima inundación y de máxima regresión tienen un significado cronoestratigráfico limitado local y no tienen ninguna utilidad de cara a una correlación "global".

4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial: ventajas e inconvenientes.

En un principio, el origen de las secuencias transgresivo-regresivas no está directamente ligado al eustatismo, ya que el aporte sedimentario y la subsidencia también influyen en su generación. Debido a esto y a que las superficies clave (superficies de máxima regresión y de máxima inundación) no tienen un significado cronoestratigráfico, ya que éstas no se corresponden (o no tendrían por que corresponderse) con máximos o mínimos del nivel del mar, este tipo de secuencias no tienen un carácter global y su correlación lateral es limitada dependiendo de su escala (o viceversa).

2) La influencia de las variaciones en los aportes sedimentarios en la duración de los diferentes "cortejos" o localización de las diferentes superficies clave.

Las variaciones en los aportes sedimentarios influyen en la secuencialidad al igual que la subsidencia y el eustatismo.

Los modelos propugnados por el grupo de Exxon no tienen en cuenta las variaciones en el aporte de sedimento. Estas variaciones en los aportes no influyen directamente en la localización de los límites de secuencia deposicional, pero sí lo hacen en otras superficies.

Si tomamos dos áreas con diferente régimen de aportes, en la zona con un volumen de aportes alto, los depósitos transgresivos serán más reducidos que en la que recibe escasos aportes, es decir, que el cortejo transgresivo comenzará más tarde y terminará después, variando la posición de los límites de las posibles secuencias estratigráficas genéticas y secuencias transgresivo-regresivas. De acuerdo con lo mencionado en el párrafo anterior, si los aportes son puntuales a lo largo del borde de cuenca, las secuencias mostraran una variación progresiva desde las zonas con aportes, con secuencias deposicionales bien desarrolladas, a las zonas con escasos aportes, donde predominarán las secciones condensadas (Loutit *et al.*, 1988; Armentrout *et al.*, 1993).

Las variaciones en los aportes también pueden (y suelen) producirse en una misma zona y a lo largo del tiempo. En un contexto con unos aportes sedimentarios decrecientes, el cortejo transgresivo durará más (comenzará antes y terminará después) que en un contexto sin variación en los aportes. Por el contrario, en un contexto con unos aportes sedimentarios crecientes, el cortejo transgresivo durará menos (comenzará más tarde y terminará antes) que en un contexto sin variación en los aportes.

3) La influencia de las variaciones en la posición y geometría de los sucesivos lóbulos en la duración de los diferentes "cortejos" o localización de las diferentes superficies clave.

En los sistemas deltaicos es común el desplazamiento lateral de los sucesivos lóbulos. Este desplazamiento puede ser más o menos "anárquico", inducido por procesos de avulsión, o estar controlado por fenómenos de tipo tectónico.

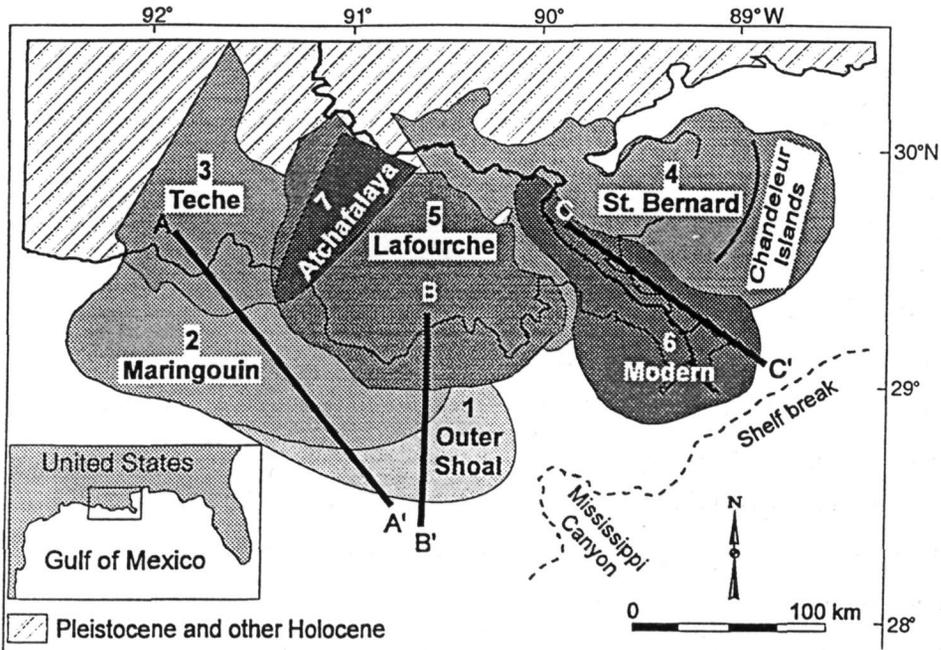
Como se ha observado, en el ejemplo de la Arenisca de Roda (a nivel de secuencias compuestas y megasecuencias compuestas) el apilamiento de los sucesivos lóbulos arenosos no se produce sólo en la vertical, sino que en ocasiones se producen desplazamientos laterales de unos con respecto a otros (Figura R.36, Capítulo III: Roda). Este hecho hace que, dependiendo de la orientación del corte del que se disponga, el modelo de apilamiento será de un tipo u otro, los términos de las secuencias aparecerán en una posición u otra, y, en resumen, las secuencias (deposicionales, estratigráficas genéticas o transgresivo-regresivas) serán diferentes.

En Martinsen & Helland-Hansen (1995) también se comenta este hecho, con ejemplos de márgenes de cuenca asociados a fallas de desgarre (donde el punto de "alimentación" de sedimento va cambiando de posición paralelamente al margen de cuenca, haciendo que los lóbulos se vayan desplazando sucesivamente en un sentido determinado) y de sistemas deltaicos en márgenes relativamente tranquilos (como el delta del Mississippi) donde gobiernan los fenómenos de avulsión (Figura D.5).

A la hora de realizar análisis secuenciales de alta frecuencia nos encontramos con esta situación, directamente ligada a la existencia de aportes locales. Este factor afecta tanto a las secuencias deposicionales como a las limitadas por superficies de máxima inundación o de máxima regresión. Por ejemplo, en las facies progradantes deltaicas de los ejemplos estudiados (Sant Llorenç del Munt, Roda, y "The Panther Tongue") (Figura D.1), se pueden observar ciclos de pequeña escala, similares a cualquiera de los tres tipos de secuencia (fundamental, compuesta o megasecuencia compuesta). Existen transgresiones y regresiones de alta frecuencia que posiblemente están relacionadas con avulsiones o migraciones de alta frecuencia de lóbulos sucesivos.

Figura D.5 Mapa y tres cortes esquemáticos del delta del río Mississippi. Cada uno de los tres cortes muestra diferentes apilamientos, controlados por los puntos de aporte sedimentario de los diferentes lóbulos (Martinsen y Helland-Hansen, en prensa, modificado de Boyd *et al.*, 1989).
Plan view map and three schematic cross-sections from the Mississippi delta. Each of three different cross-sections shows different stacking patterns, controlled by the shifting sediment input loci of delta lobes. (Martinsen and Helland-Hansen, in press, modified fom Boyd et al., 1989)

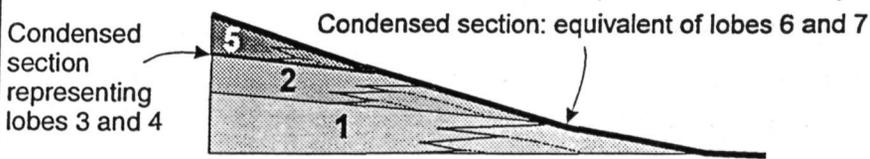
4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial:
 ventajas e inconvenientes.



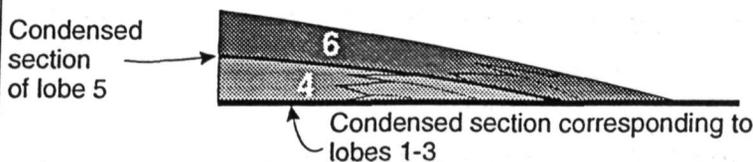
Cross section A-A': transgressive systems tract (lobes 1-3)



Cross section B-B': apparent transgressive systems tract (lobes 1, 2 and 5)



Cross section C-C': highstand systems tract (lobes 4 and 6)



Las secuencias estratigráficas genéticas y las secuencias transgresivo-regresivas resultantes serán locales y poco correlacionables lateralmente. De la misma manera, las secuencias deposicionales de alta frecuencia definibles, tendrán un caracter totalmente local.

4.2.2) INCONVENIENTES DE LA UTILIZACION DE LOS MODELOS DEL GRUPO EXXON.

Las desventajas de la utilización de los modelos del grupo Exxon son varias.:

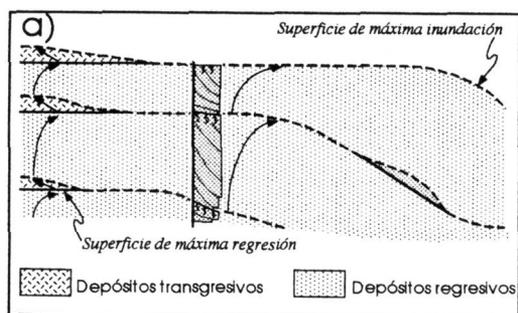
1) El concepto de "parasecuencia"; 2) la dificultad a la hora de reconocer algunas de las superficies clave; 3) el uso de superficies generadas en diferentes momentos del ciclo de ascenso-descenso del nivel de base relativo para limitar las secuencias; 4) la no existencia de secuencias en contextos en los que no hay caídas del nivel de base; 5) el cambio de criterio para las diferentes escalas de trabajo; 6) la jerarquía existente, son algunas de las dificultades existentes, a parte de las generales mencionadas en el apartado anterior.

En cualquier caso, merece destacarse que, seguramente, los modelos del grupo de Exxon son los más criticados por que, son los han alcanzado un desarrollo metodológico más elevado, de forma que contienen un alto número de conceptos para juzgar y debatir.

1) Las Parasecuencias

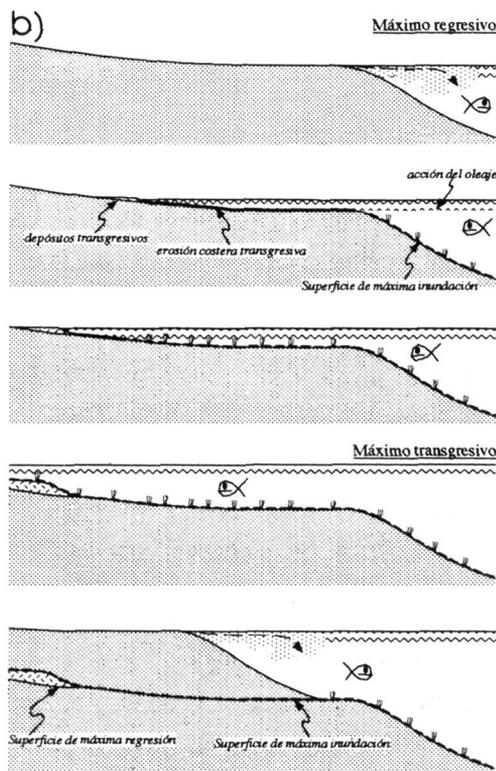
Las Parasecuencias (Vail *et al.*, 1977; Van Wagoner *et al.*, 1987 y Haq *et al.*, 1988), por lo observado en los ejemplos estudiados reseñados en esta tesis, no existen como tales. Las parasecuencias son secuencias en las que el tramo (cortejo, "systems tract", o como se le quiera llamar) transgresivo no presenta depósitos. La definición de las parasecuencias quizás sea errónea desde sus inicios. La estratigrafía secuencial se basa en la estratigrafía sísmica. Como se ha visto en los ejemplos de Sant Llorenç del Munt-Montserrat y la Arenisca de Roda, las secuencias fundamentales presentan un tramo regresivo somerizante muy potente (decenas de metros) y desarrollado en contraposición con el tramo transgresivo (apenas un par de metros). Si la resolución de los perfiles sísmicos no es lo suficientemente buena, el tramo transgresivo puede quedar reflejado como una simple superficie. De esta manera, verdaderas secuencias con depósitos transgresivos y regresivos pueden ser mal interpretadas como secuencias somerizantes limitadas por superficies de inundación (parasecuencias).

4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial: ventajas e inconvenientes.



Generation of "parasequences". a) Geologic section-correlation showing the evolution from "parasequences" to sequences towards more proximal areas. b) Evolutive process of formation "parasequences".

Figura D.6) Formación de las "parasecuencias". a) Corte-correlación mostrando la evolución de "parasecuencias" a secuencias hacia zonas proximales. b) Proceso evolutivo de formación de las "parasecuencias".



En el campo (sobre todo en la Arenisca de Roda) se han hallado sucesiones en las que hay secuencias de tipo somerizante (regresivas), separadas las unas de las otras por superficies de inundación (figura D.6).

Éstas son equiparables a las parasecuencias, pero un estudio detallado de las mismas nos lleva a la conclusión de que realmente son secuencias con un término regresivo y otro transgresivo. En este caso la superficie de máxima regresión ha sido borrada por la superficie de erosión costera transgresiva ("transgressive surface of erosion" o "ravinement surface"), y esta última ha sido a su vez retocada por la bioturbación asociada a la superficie de máxima inundación. En ciertos perfiles estas secuencias muestran características de parasecuencias, pero al seguirlas hacia zonas más proximales se puede apreciar que realmente constan de un término transgresivo. Así pues, dichas parasecuencias son (cuando existen) verdaderas secuencias en las que el término transgresivo no muestra depósitos pero sólo localmente; ya sea por erosión posterior de éstos o por falta de aporte sedimentario.

2) La dificultad a la hora de reconocer algunas de las superficies clave

Algunas de las superficies límite de secuencia (o de cortejo sedimentario) presentan dificultades para su distinción en el campo.

Las superficies limitantes de tipo I, son superficies de erosión subaerea ("subaerial unconformities") generadas durante bajadas relativas del nivel de base y caracterizadas por una exposición y erosión subaerea asociadas al rejuvenecimiento de los cursos fluviales, un desplazamiento hacia la cuenca de los cinturones de facies, un desplazamiento hacia abajo en el "onlap" costero y un "onlap" sobre los estratos infraycentes (Van Wagoner *et al.*, 1987, 1988). En los depósitos transicionales de Sant Llorenç del Munt, si existiesen o hubiesen existido este tipo de superficies pueden estar retocadas por la superficie de erosión costera transgresiva (Walker, 1990; Helland-Hansen y Martinsen, en prensa), por lo que ya no son reconocibles como tales. Esta superficie podría encontrarse más facilmente hacia las zonas de depósitos subaereos o ligadas a canales incididos durante el descenso del nivel de base (figura S.19) del capítulo de Sant Llorenç). En la Arenisca de Roda, sí se han hallado superficies que muestran el desplazamiento hacia la cuenca de los cinturones de facies, pero éstas son rápidamente "borradas" hacia zonas proximales por superficies de erosión costera transgresiva y de máxima inundación, quedando únicamente preservadas en las clinofomas (figuras R.33 y R.20 del Capítulo III: Roda).

Las superficies limitantes de secuencias deposicionales con regresiones forzadas, según Posamentier *et al.* (1992b), indican el momento en el que el nivel de base comienza a bajar, que es cuando se comienza a generar la superficie de erosión subaerea. Debido a este hecho, estas superficies estarán truncadas o erosionadas, primero por la superficie de erosión subaerea generada durante todo el período de bajada del nivel de base y, quizás, después por la superficie transgresiva o de erosión costera transgresiva. Si el descenso es progresivo, esta superficie limitante sólo se reconocerá observando la trayectoria de la línea de costa o de los depósitos costeros. Esta superficie vendrá marcada por un paso de progradación agradante con nivel de base ascendente o regresión normal (trayectoria de la línea de costa entre 12 y 3 de Helland-Hansen y Martinsen, en prensa) a una progradación con nivel de base descendente o regresión forzada (trayectoria de la línea de costa entre 3 y 6 de Helland-Hansen y Martinsen, en prensa). Este tipo de cambio en la trayectoria puede y suele ser muy sutil en el campo (figura I.3 del Capítulo 1) debido al bajo ángulo tanto de ascenso como de descenso. Esto, acompañado por la posterior erosión subaerea que hace desaparecer los depósitos subaereos y los más someros (lo que implica una imposibilidad de determinar directamente la trayectoria de la línea de costa), hace que, aunque se sepa que dicha superficie tiene que existir, su reconocimiento en el campo sea casi imposible, ya que no tiene una expresión litológica clara.

4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial: ventajas e inconvenientes.

El caso de "The Panther Tongue" (Western interior seaway, Utah, EEUU) ha sido interpretado por Posamentier *et al.* (1995) como un ejemplo de regresión forzada (figura D.7). Tanto en el sector estudiado, como en el aflorante, la superficie basal de regresión forzada (límite de secuencia) se halla dentro de los depósitos de prodelta y "offshore". Esta superficie separa, en algunos lugares, arcillas y limos bioturbados (cortejo de alto nivel) de una unidad heterolítica de margas y arenas menos bioturbada (cortejo de bajo nivel). Esta superficie es poco evidente y no es fácil distinguirla siempre, al contrario de otras superficies clave mucho más evidentes.

Otro inconveniente de esta subdivisión es que la superficie limitante indica el momento de nivel relativo del mar más alto, mientras que la original de Vail (1987) indica (en la zona deltaica) el momento de nivel del mar más bajo.

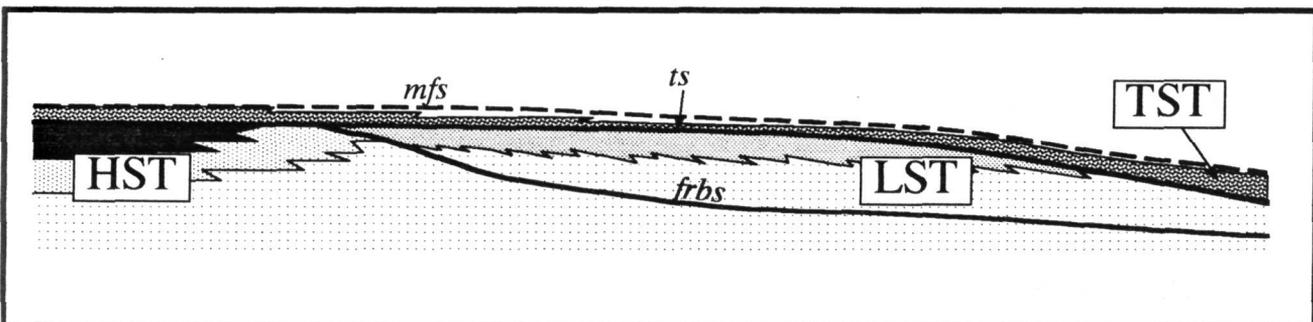


Figura D.7) Corte interpretativo secuencial de la unidad "Panther Tongue" según Posamentier *et al.* (1995).
Sequence stratigraphic interpretation of the Panther Tongue unit from Posamentier et al. (1995).

Las superficies limitantes de tipo II se caracterizan por la existencia de exposición subaerea y por un desplazamiento hacia la cuenca del "onlap" costero hacia tierra, con respecto a la ruptura de la línea de costa deposicional. Sin embargo, no existe, ni erosión subaerea asociada a un rejuvenecimiento de los cursos fluviales, ni un desplazamiento hacia la cuenca de los cinturones de facies (Van Wagoner *et al.*, 1987, 1988). Este tipo de superficies tan sutiles no se han reconocido ya que tampoco se ha reconocido en el campo el "onlap" costero que las define. Helland-Hansen (1994) indica que el término "discontinuidad de tipo II" es difícil de aplicar, aconsejando su eliminación o redefinición.

3) El uso de superficies generadas en diferentes momentos del ciclo de ascenso-descenso del nivel de base relativo para limitar las secuencias

Como ya se ha comentado, otra de las desventajas existentes en el modelo desarrollado por el grupo Exxon es el uso de superficies generadas en diferentes momentos del ciclo de ascenso-descenso del nivel de base relativo en cada uno de los diferentes tipos de secuencia.

Los límites de secuencia de tipo I (Vail, 1987) se generan durante el descenso del nivel de base y representan su último momento, el del nivel más bajo o cambio de nivel descendente a uno ascendente. Los límites de secuencia de tipo II también parecen estar asociadas al momento en el que el nivel de base es el más bajo. Por el contrario, en las secuencias con depósitos de regresión forzada (Posamentier *et al.*, 1992b) o de tipo III (Embry, 1994a) no se considera la superficie generada en el momento de nivel de base más bajo como límite de secuencia, sino la que marca el momento de nivel de base más alto, cuando éste pasa de ascendente a descendente. Jervey (1993) acaba situando una discontinuidad de tipo I bajo el prisma de regresión forzada y otra de tipo II por encima.

Más de acuerdo con la idea original de límite de secuencia de tipo I (Vail, 1987) está la propuesta de Hunt y Tucker (1992). En ésta, el límite de secuencia se genera durante toda la bajada del nivel de base y, al igual que en Vail (1987) su estadio final representa el momento de nivel de base más bajo.

4) La no existencia de secuencias en contextos en los que no hay caídas del nivel de base

No son infrecuentes los casos en los que los ciclos de variación relativa del nivel de base no presentan ascensos y descensos, sino un ascenso general. En este ascenso general se pueden alternar tramos con una mayor pendiente de la curva (mayor velocidad de ascenso) y otros en los que es menor (figura D.8). Al no existir un descenso relativo del nivel del mar, nunca se llegarán a generar discontinuidades de tipo I o II, por lo que no se generará un límite de secuencia. De esta manera, los ciclos de pendiente alta-baja se hallarán dentro de una secuencia deposicional (constituyendo parasecuencias?).

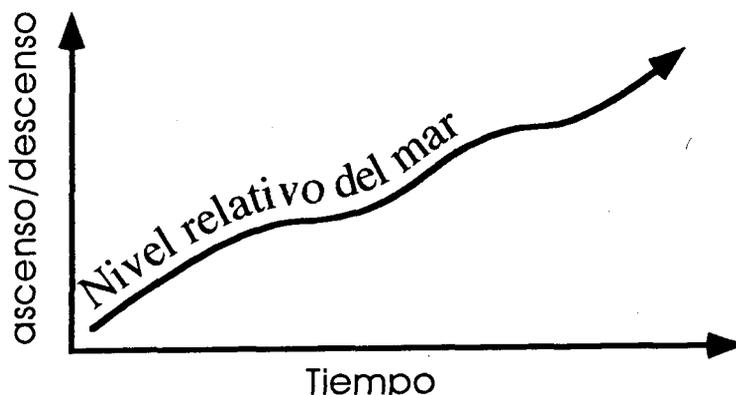


Figura D.8) Curva de variaciones relativas del nivel del mar que muestra ciclos dentro de una trayectoria siempre ascendente.

Relative sea level curve showing cycles within an overall ascending trajectory.

Este tipo de ciclos pueden ser el resultado de

la modificación, por la subsidencia, de ciclos eustáticos con subidas y bajadas del nivel del mar. En zonas con alta subsidencia, en los que la magnitud de ésta es igual o mayor que la magnitud del descenso del nivel del mar, las bajadas relativas del nivel del mar desaparecen. Así nos encontraríamos que secuencias

4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial: ventajas e inconvenientes.

deposicionales generadas en áreas con escasa subsidencia no tendrían equivalentes de su misma categoría en áreas con fuerte subsidencia, siendo difícil o imposible la correlación entre ambas zonas.

5) El cambio de criterio para las diferentes escalas de trabajo

Otro problema es el planteado por el cambio de criterio a la hora de elegir superficies limitantes a diferentes escalas (ver fig D.9), agravado por la falta de claridad a la hora de definir o describir dichas superficies.

	bloques fundamentales	superficies limitantes	superficies limitantes de "Systems tracts" o "sequence sets"
Parasecuencias	?	superficies de inundación	?
Secuencias de alta frecuencia	Parasecuencias	superficies de discontinuidad	superficies de inundación
Secuencias compuestas	Secuencias de alta frecuencia	superficies de discontinuidad	¿superficies de discontinuidad?

Figura D.9) Bloques fundamentales y superficies limitantes de secuencia, cortejos y lotes de secuencias para las parasecuencias, secuencias de alta frecuencia y secuencias compuestas.

Fundamental building blocks and bounding surfaces of sequences, systems tracts and sequence sets for parasequences, high-frequency sequences and composite sequences.

En Mitchum & Van Wagoner (1991) se definen las secuencias compuestas ("composite sequences"), que son secuencias deposicionales (de tercer orden) constituidas por secuencias deposicionales de alta frecuencia (cuarto orden). Si en las secuencias deposicionales se había definido un cortejo de bajo nivel ("lowstand systems tract"), otro transgresivo ("transgressive systems tract") y otro de alto nivel ("highstand systems tract"), en las secuencias compuestas se definen lotes de secuencias ("sequence sets"). Existe un "lowstand", un "transgressive" y un "highstand sequence sets". Estos "sequence sets" se definen como grupos de secuencias dispuestas ("arranged") con un apilamiento ("stacking pattern") de tipo progradacional, agradacional o retrogradacional (Mitchum & Van Wagoner, 1991). Las secuencias compuestas son definidas como una sucesión de secuencias genéticamente relacionadas en las que las secuencias individuales se apilan en "lowstand", "transgressive" y "highstand sequence sets" (Mitchum & Van Wagoner, 1991).

La diferencia entre las secuencias de alta frecuencia y las secuencias compuestas es sutil pero importante.

En las secuencias deposicionales tenemos una serie de cortejos o "systems tracts" limitados por una serie de superficies características, con un origen

característico y un significado característico (discontinuidades de tipo I o II, superficie transgresiva, superficie de máxima inundación...). En las secuencias compuestas, según se observa en los gráficos de Mitchum & Van Wagoner (1991) (figura D.10), ésto ya no es así. Los "sequence sets" están siempre limitados por límites de secuencias de alta frecuencia, por lo que, a escala de afloramiento (diagráfia, o testigo de sondeo) tiene la misma expresión la superficie limitante de la secuencia compuesta, que la que separa el "lowstand sequence set" del "transgressive sequence set", y que la que separa el "transgressive sequence set" del "highstand sequence set".

Por el contrario, en la definición del "transgressive sequence set" (de Mitchum & Van Wagoner, 1991) se dice que éste culmina en una superficie de máxima inundación o sección condensada. Esta definición (que no se corresponde en absoluto con el gráfico explicativo) sí hace equiparable las secuencias compuestas con las de alta frecuencia. La única problemática existente es que habría una secuencia de alta frecuencia compartida entre dos "sequence sets", ya que la superficie de máxima inundación de esta secuencia de alta frecuencia será también la superficie de máxima inundación de la secuencia compuesta. Por esto, parece inadecuado considerar los equivalentes de los "systems tracts" como lotes de secuencias ("sequence sets") ya que, por lo menos el transgresivo y el de alto nivel, contienen una secuencia de alta frecuencia no completa compartida entre dos.

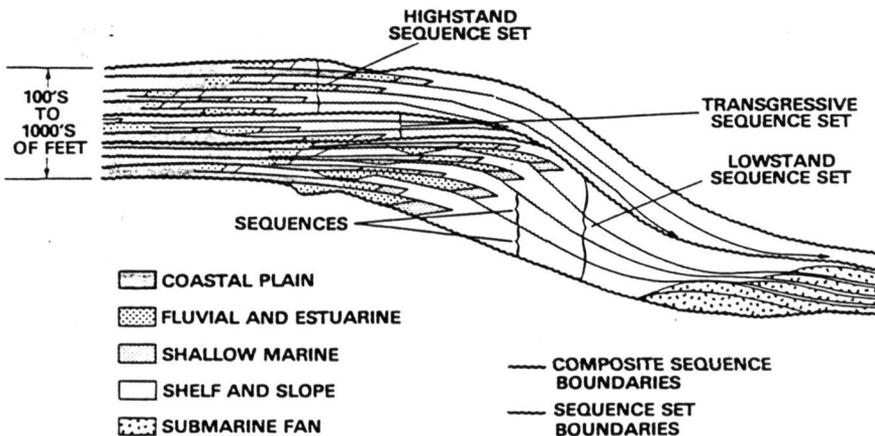


Figura D.10) Diagrama de secuencias, "haces" de secuencias y secuencias compuestas (de Mitchum y Van Wagoner, 1991). *Diagram of sequences, sequence sets, and composite sequences (from Mitchum & Van Wagoner, 1991).*

Este problema no se produce en las secuencias deposicionales ya que estas están construidas a base de "parasecuencias", limitadas por superficies de inundación marina. Pero si, como se ha visto anteriormente, consideramos que las parasecuencias no existen como tales sino que también son secuencias deposicionales, el problema abordado anteriormente vuelve a generarse.

6) La Jerarquía

El grupo de Exxon (Vail, 1977; Mitchum & Van Wagoner, 1991) ha establecido una jerarquía de secuencias caracterizadas por la frecuencia de éstas:

9-10 Ma, segundo orden

1-2 Ma, tercer orden

0,1-0,2 Ma, cuarto orden

0.01-0.02 Ma, quinto orden

(Mitchum & Van Wagoner, 1991)

Si, como es lógico, asumimos la influencia de los tres factores (eustatismo, subsidencia y aporte sedimentario), podemos suponer que la duración de las secuencias de un mismo tipo tiene que ser más variable que lo indicado por los autores del grupo Exxon.

Así, el caso del sistema de Sant Llorenç del Munt nos encontramos que las secuencias fundamentales (las de mayor frecuencia) tienen duraciones que pueden oscilar entre los $\sim 0,1703$ y los $\sim 0,0096$ my y que las secuencias compuestas (producto del apilamiento de secuencias fundamentales) presentan duraciones entre los $\sim 1,02$ y los $\sim 0,087$ my. Como puede verse existe un solapamiento entre la duración de unas y otras, lo que hace inútil intentar establecer una "frecuencia" para las mismas. La aplicación directa de la jerarquía establecida por el grupo Exxon nos puede llevar a estimaciones erróneas, ya que puede darse el caso (y se da) de que simplemente por la escala (tamaño) de la secuencia se intente estimar su duración. Como se ha visto en el ejemplo de Sant Llorenç del Munt, no hay una relación directa entre expresión, escala y duración de las secuencias.

4.2.3) PROBLEMATICA DE LA UTILIZACION DE LOS MODELOS DE SECUENCIAS ESTRATIGRAFICAS GENETICAS

Aparte de los inconvenientes mencionados en el apartado 4.6.1 existen otros problemas de cara a la aplicación del modelo de las secuencias estratigráficas genéticas tales como: 1) la excesiva sencillez del modelo, que no profundiza (por ejemplo) en la expresión de las secuencias a diferentes escalas o en la expresión de las superficies de máxima regresión; 2) la no contemplación de casos en los que no se generan superficies de máxima inundación; 3) la dificultad de reconocimiento de las superficies de máxima inundación en las porciones subaereas del sistema, y 4) la posible inclusión de importantes discontinuidades dentro de las secuencias.

1) La sencillez del modelo

Uno de los inconvenientes del modelo de las secuencias estratigráficas genéticas es su sencillez. Ésta sencillez hace que sea fácil de entender, pero quedan oscuros una serie de puntos, como pueden ser:

a) La expresión de este tipo de secuencias a diferentes escalas no queda lo suficientemente explicada en Galloway (1989a). La definición y explicación parece que se ajusta a las secuencias de más alta frecuencia (secuencias estratigráficas genéticas resultantes de un episodio deposicional simple). Posteriormente, y en éste mismo trabajo, un gráfico (figura 4 de Galloway, 1989a) muestra secuencias estratigráficas genéticas más complejas, de menor frecuencia y resultantes del apilamiento de las más simples.

b) En este modelo las secuencias estratigráficas genéticas se constan de unos componentes de "onlap" y otros de "offlap. Las características de las superficies de máxima regresión que los separan no quedan claras. En parte se habla de su equivalencia con las discontinuidades del modelo del grupo Exxon, aunque realmente no son del todo equivalentes ya que los límite de secuencia deposicional del grupo Exxon no son superficies de máxima regresión.

2) La no contemplación de casos en los que no se generan superficies de máxima inundación.

Existen casos (como en el cuerpo X de la Arenisca de Roda) en los que por la existencia de grandes tasas de aporte de sedimentos o por que las tasas de acomodación (eustatismo + subsidencia) son bajas, toda la sucesión es de tipo regresivo y no se generan depósitos transgresivos y por lo tanto tampoco superficies de máxima inundación (figura D.11). Por lo tanto, en estos casos no se pueden definir secuencias estratigráficas genéticas, aunque en otras areas, los mismos ciclos sí que las puedan llegar a generar.

Como se puede apreciar en la figura D.11, en casos como estos, en los que no existen transgresiones, sino una regresión continua, las secciones condensadas se desarrollan durante tramos de descenso relativo del nivel del mar. Este hecho también ha sido constatado en plataformas carbonáticas progradantes (Pomar & Ward, 1994). El hecho que las secciones condensadas se generen tanto en ascensos como en descensos del nivel relativo del mar puede llevar a confusión a la hora de utilizarlas como límite de secuencia.

4) Los diferentes modelos de estratigrafía secuencial:
ventajas e inconvenientes.

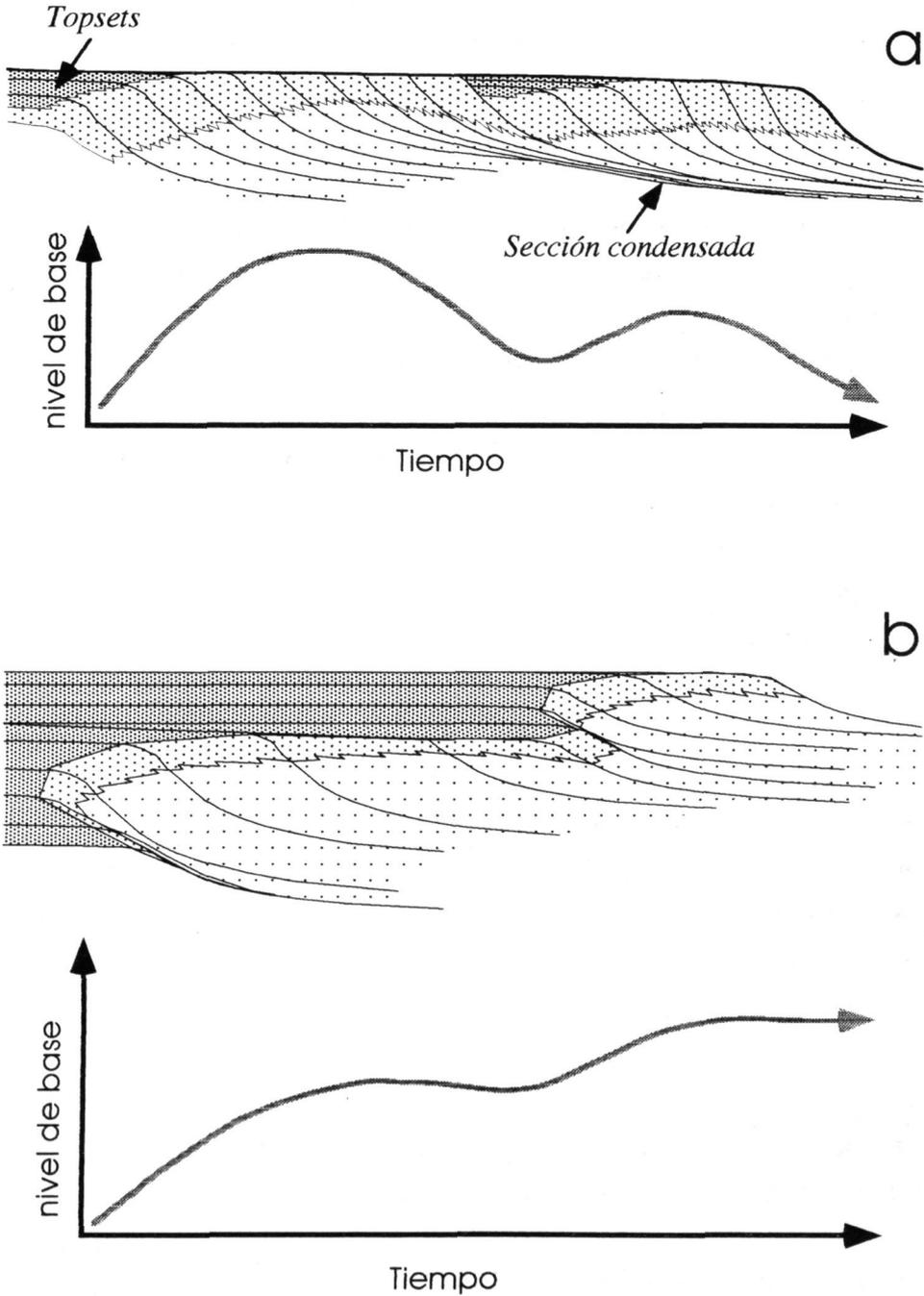


Figura D.11) Diferentes respuestas de tipo sedimentario y estratigráfico para la misma curva eustática en situaciones con diferentes tasas de subsidencia. a) Baja subsidencia (regresión). b) Alta subsidencia (regresiones y transgresiones).

Different sedimentary-stratigraphic response to the same eustatic curve in two different subsidence settings. a) Low subsidence (regression). b) High subsidence (regressions and transgressions).