

Características de las secuencias deposicionales de alta frecuencia en el sistema arrecifal del Mioceno superior de Mallorca.

LUIS POMAR ⁽¹⁾, y WILLIAM C. WARD ⁽²⁾

(1) Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. E-07071 Palma de Mallorca

(2) Department of Geology and Geophysics. University of New Orleans, LO-70148, USA.

RESUMEN

La aplicación de los conceptos de estratigrafía secuencial en plataformas progradantes bien expuestas, tales como el ejemplo de Mallorca, muestran unas peculiaridades bien marcadas que difieren del modelo estandar del grupo Exxon comunmente utilizado. Estas peculiaridades se observan en secuencias de alta frecuencia limitadas por superficies de erosión bien definidas. El modelo estandar es incompleto dado que no muestra registro sedimentario de la caída del nivel del mar (excepto erosión o karstificación). En contraste, el ejemplo de Mallorca muestra un registro sedimentario más completo durante todo el ciclo del nivel del mar: un paquete en *offlap*, generalmente confundido o ignorado, se deposita durante el intervalo de caída del nivel del mar como un nuevo cortejo sedimentario. Se considera que la superficie de erosión que limita estos paquetes sedimentarios de alta frecuencia es el límite de secuencia. Adicionalmente, en el modelo estandar, la superficie de *downlap* se correlaciona con la superficie de máxima inundación y la superficie condensada. Por el contrario, en el ejemplo de Mallorca, la superficie de *downlap* y la sección condensada se producen al mismo tiempo que el cortejo «oflapante», mientras que la superficie de máxima inundación no se halla bien expresada. Dos superficies son claramente reconocibles en el ejemplo de Mallorca: una superficie de erosión y una superficie de *downlap*. En base a dichas superficies tan solo pueden reconocerse dos paquetes sedimentarios: uno inferior caracterizado por agradación en todos los sistemas y que se forma durante las fases de ascenso y alto nivel del mar, y un paquete superior con progradación «oflapante» formado durante las fases de descenso y bajo nivel del mar.

Todas esas peculiaridades del complejo arrecifal progradante de Mallorca muestran la necesidad de una cuidadosa aplicación de los conceptos dinámicos de estratigrafía secuencial más que una aplicación directa del esquema estandar. Las relación existente entre la producción de carbonatos y cada uno de los segmentos de la curva del ciclo eustático explican estas diferencias con respecto al modelo estandar de secuencia deposicional de tercer orden que se ha desarrollado a partir de depósitos siliciclásticos en margenes pasivos.

Palabras clave: Secuencias deposicionales. Alta frecuencia. Arrecifes. Mallorca.

ABSTRACT

Application of sequence stratigraphy concepts in well-exposed prograding carbonate complexes, such as the example of Mallorca, shows marked peculiarities differing from the commonly used standard model of the Exxon group. These peculiarities are seen in high-frequency sequences bounded by well-defined erosion surfaces. The standard model is incomplete in the sense that it shows no sedimentary record of the fall of the sea-level cycle, except for erosion or karstification. In contrast, the Mallorcan example shows more complete and continuous sedimentary record during the entire sea-level cycle: an offlapping package, commonly ignored or misinterpreted, is deposited during the interval of sea-level fall, and considered as a new systems tract. As a result, the most obvious and marked erosion surface separating these high-frequency packages is the sequence boundary. Furthermore, in the standard model the downlap surface is correlative with the maximum flooding surface and a condensed section. In contrast, the Mallorcan model shows that a condensed section and downlap surface are produced during the offlapping systems tract, whereas the maximum flooding surface are indistinct. There are two surfaces easily recognized in the Mallorcan example: an erosion surface and a downlap surface. On this basis there are two major systems packages or tracts: a lower package with aggradation in all the systems formed during sea-level rise and high-stillstand and an upper package with offlapping progradation formed during sea-level fall and low-stillstand.

All the above peculiarities of the Mallorcan prograding reef complex show the need for careful application of the dynamic concepts of sequence stratigraphy, rather than the strict reference to the standard scheme. The relationships between carbonate production and each segment of the sea-level cycle explain these departures from the standard 3rd-order sequence model developed from siliciclastic deposits on passive margins.

Key words: Sequence stratigraphy. High frequency. Reefs. Mallorca.

INTRODUCCIÓN

El reciente desarrollo de la Estratigrafía secuencial (Vail *et al.*, 1977; 1991; Haq, 1991; Haq *et al.*, 1987, 1988), aún a pesar de algunas bien fundamentadas críticas (ver p.e. las más recientes: Underhill, 1991; Carter *et al.*, 1991; Miall, en prensa), ha supuesto en cualquier caso un notable progreso en la interpretación del registro sedimentario. Este nuevo método de análisis, bien que usando muchos de los conceptos básicos de la Estratigrafía clásica, se fundamenta en la integración de los factores genéticos que controlan la arquitectura de las facies. Ello confiere al *modelo de la Estratigrafía secuencial* su utilidad como método para el análisis de cuencas sedimentarias y la predicción de facies. Sin embargo, el *modelo de los cambios globales del nivel del mar* como herramienta de correlación se basa en la asunción de la sincronidad global en las distintas jerarquías de ciclos eustáticos, y es por ello el aspecto más controvertido de dicho modelo.

Sin embargo, los conceptos fundamentales para el análisis en Estratigrafía secuencial se han desarrollado básicamente a partir de la Estratigrafía sísmica. Una consecuencia directa de ello es que la unidad fundamental es la **Secuencia deposicional de tercer orden** (Vail *et al.*, 1977; Mitchum *et al.*, 1977; Posamentier y Vail, 1988). Las unidades de primero y segundo orden se hallan también bien definidas y caracterizadas, pero existe cierta confusión entre las unidades de orden superior (cuarto, quinto, etc). Así, la **parasecuencia** como unidad elemental dentro de la secuencia de tercer orden, en la que ya no se reconocen características de secuencia, es todavía objeto de debate, como consecuencia del incremento de resolución en la lectura e interpretación del registro sedimentario. Es por ello que, recientemente, diversos nombres han sido sugeridos o propuestos para las unidades de alta frecuencia en las que se reconocen características de secuencia deposicional (**secuencia fundamental**, **subsecuencia**, **secuencia simple**, o simplemente **secuencia de orden superior**) al tiempo que, la parasecuencia, ha pasado de unidad de cuarto orden a unidad de quinto o superior orden (Haq *et al.*, 1987; Van Wagoner y Mitchum, 1989; Mitchum y Van Wagoner, 1991; Vail *et al.*, 1991; Pomar, 1991).

Este límite en el establecimiento de las unidades de alta frecuencia viene determinado, fundamentalmente, por la resolución de las líneas sísmicas y de los datos de subsuelo en general. Los trabajos directos sobre el terreno, por el contrario, evidencian las unidades deposicionales de más alta frecuencia (hasta el nivel de la capa), y a través de la integración de

dicha información, puede establecerse la secuencia deposicional de tercer orden. De hecho, existe todavía una laguna por cubrir entre la mejor resolución alcanzada en líneas sísmicas y la información derivada de los trabajos de campo. Ello resulta tanto más importante por cuanto: i) las propiedades de las rocas sedimentarias (porosidad, permeabilidad, etc), las relaciones entre sus litofacies y la heterogeneidad de los yacimientos, se hallan, en gran parte, controladas por el tipo de empaquetado de las unidades deposicionales de alta frecuencia (Borer y Harris, 1991; Mitchum y Van Wagoner, 1991; Pomar, en prensa); y ii) por cuanto las fluctuaciones eustáticas de alta frecuencia parecen probadas para todo el Fanerozoico (Carter *et al.*, 1991, por ejemplo).

Resulta asimismo importante resaltar que si bien las plataformas carbonatadas muestran fantásticas geometrías de progradación/agradación (Newell *et al.*, 1953; Dunham, 1970; Playford y Lowry, 1966; Playford, 1980; Bosellini, 1984; Eberli y Ginsburg, 1988, 1989; Tyrrel y Davis, 1989; Pujalte *et al.*, 1989; Garcia-Mondejar y Fernandez-Mendiola, 1989; Salas, 1989; Eberli *et al.*, 1991; Bosellini y Nery, 1991; Bosellini y Stefani, 1991), los conceptos fundamentales en Estratigrafía secuencial se han desarrollado fundamentalmente a partir de siliciclásticos, y sólo recientemente han empezado a desarrollarse modelos específicos para rocas carbonatas (Sarg, 1988; Jacquín *et al.*, 1991; Handford y Loucks, en prensa). Ello es en parte debido tanto al hecho de que los carbonatos presentan una respuesta sísmica más tenue, como al hecho de que los carbonatos son mucho menos abundantes en el registro sedimentario. Sin embargo, y paradójicamente, los carbonatos son susceptibles de registrar con mucha mayor precisión los cambios relativos del nivel del mar (Kendall y Schlager, 1981; Sarg, 1988; Bosellini, 1989; Pomar, 1991; Schlager, 1991), cambios éstos que constituyen uno de los factores fundamentales en el desarrollo de las secuencias deposicionales. No obstante, los conceptos derivados del análisis de siliciclásticos se demuestran a menudo inadecuados para el análisis de las rocas carbonatadas y ello es consecuencia de la diferencia en los factores genéticos que controlan tanto la producción como la acumulación de los sedimentos (Wilson, 1975; Sarg, 1988; Bosellini, 1989; Handford y Loucks, en prensa).

En este trabajo se analiza el sello eustático en los elementos arquitecturales de la plataforma arrecifal progradante del Mioceno superior que aflora en los acantilados del sur de Mallorca, al tiempo que se discuten las analogías y diferencias entre las secuencias deposicionales de alta frecuencia que aparecen en el ejemplo de Mallorca y el modelo del grupo Exxon para el análisis secuencial.

EL MODELO DE FACIES EN LA PLATAFORMA PROGRADANTE DE CAP BLANC

Un ejemplo excepcional de plataforma arrecifal progradante aflora en los acantilados costeros del sur de Mallorca (Fig. 1), en la zona comprendida entre Cap Blanc y Cala Pi. Estos acantilados, con una altura que alcanza hasta los 90 m y una longitud de hasta 10 km, muestran en tres dimensiones y con exquisito

Mediterráneo occidental por Esteban *et al.* (1977 a, b, c, 1978) y Esteban (1980). Pomar *et al.* (1983 a, 1985) establecen el modelo de facies para el Complejo Arrecifal de Mallorca y, ya más recientemente Pomar (1991, en prensa) y Pomar *et al.* (en prensa) presentan una descripción detallada de dichas facies y su arquitectura. En los acantilados costeros afloran cuatro tipos principales de facies (Fig. 2): i) facies de lagoon; (ii) facies

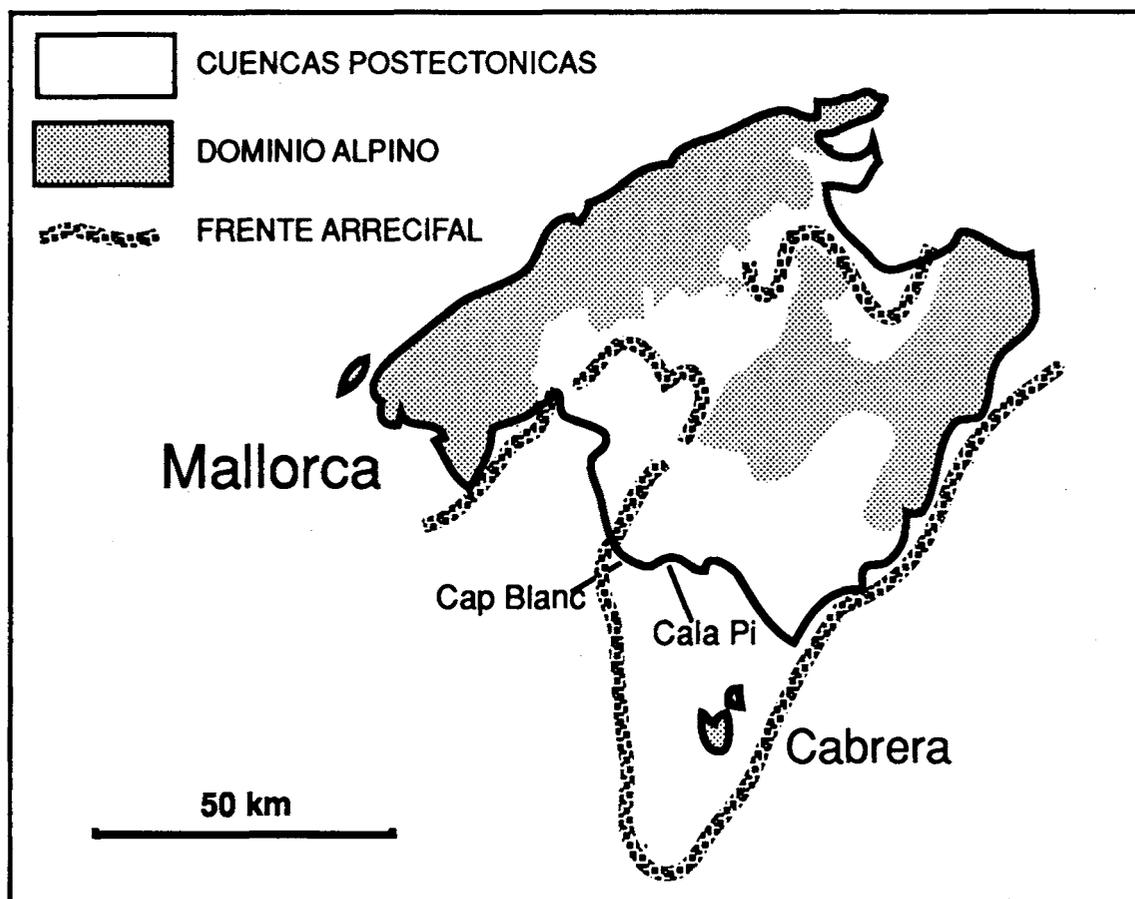


Figura 1.- Distribución de los arrecifes del Mioceno superior (complejo arrecifal) de Mallorca (modificado de Pomar *et al.*, 1983 a).

Figure 1.- Upper Miocene coral reefs (Reef Complex) in Mallorca Island (modified from Pomar *et al.*, 1983 a).

detalle la arquitectura de facies del Complejo Arrecifal (Pomar, 1991, en prensa; Pomar *et al.*, en prensa), una de las tres unidades postectónicas del Mioceno superior mallorquín (Pomar *et al.*, 1983 a, b, 1985; Barón y Pomar, 1985; Alvaro *et al.*, 1984; Simó y Ramón, 1986) y que, en base a los escasos datos que permiten determinar su posición cronoestratigráfica (Bizon *et al.*, 1973; Colom, 1980, 1985; Alvaro *et al.*, 1984), se atribuye al Tortoniense-Messiniense.

Un modelo general para las facies arrecifales del Mioceno superior fué inicialmente establecido para el

de pared arrecifal; (iii) facies de talud arrecifal, y (iv) facies de plataforma abierta (o cuenca poco profunda).

Las facies de **lagoon** presentan una estratificación horizontal, limitada por superficies de erosión planas. Dichos estratos pueden estar constituidos por: (i) parches arrecifales, de 5 a 10 m de diámetro, y *grainstones/packstones* bioturbados (**lagoon externo**); (ii) por *grainstones*, *packstones* y *mudstones* bioturbados, estromatolitos y trombolitos, *packstones* con moldes verticales de raíces (manglar), caliche laminado y paleosuelos (**lagoon interno**); y, localmente, (iii) por *grainstones*

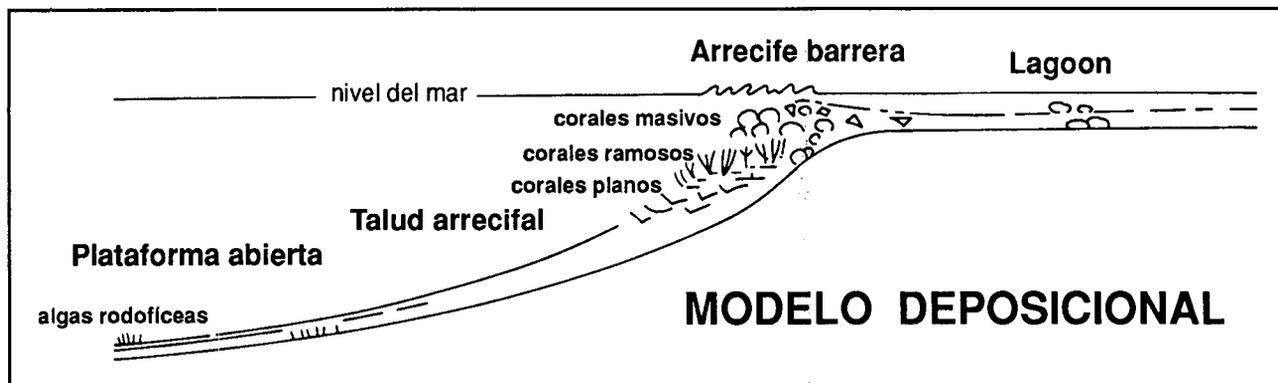


Figura 2.- Modelo deposicional de los arrecifes del Mioceno superior de Mallorca (modificado de Pomar et al. en prensa)

Figure 2.- The Mallorca depositional reef model (modified from Pomar et al., in press).

con estratificación cruzada de gran escala (**barras**). Las facies de lagoon recubren y pasan en dirección a cuenca a las facies de pared arrecifal.

Las facies de **pared arrecifal** se caracterizan por su estratificación sigmoidal y están constituidas fundamentalmente por un almacén de corales («*framestone*»), la mayoría en posición de vida. Los componentes aloquímicos que rellenan el almacén coralino, se hallan constituidos por «*grainstones*» y «*packstones*» bioclásticos de grano grueso a fino. Localmente estas facies presentan abundantes brechas de corales («*rudstone*») que, dispuestas entre los edificios bioconstruidos («*spurs*»), representan los surcos de drenaje del sedimento producido en las zonas someras («*grooves*»). La forma de las colonias coralinas presenta, en general, una zonación vertical: colonias planas (plataformas) en la parte inferior, que evolucionan verticalmente a formas digitadas y ramosas (de hasta 4 m de altura) en la parte intermedia. La parte superior, cuando está presente, se halla constituida por colonias masivas, hemisféricas o columnares, con abundantes restos de organismos incrustantes, así como perforantes. Esta zonación morfológica de las colonias de corales se interpreta como reflejo de la paleobatimetría y, en cuanto a tal, constituye una herramienta esencial para la determinación de la posición de la cresta arrecifal, cuando ésta ha sido eliminada por la erosión. Estas facies de pared arrecifal, se interdigitan y recubren a las facies de talud.

Las facies de **talud arrecifal** presentan una estratificación algo difusa, generalmente con abundantes estructuras de bioturbación, y sus buzamientos varían entre los 20° y unos pocos grados. Las facies de talud proximal se hallan constituidas por *grainstones*, *packstones*, *rudstones* y *floatstones* esqueléticos. Localmente se disponen cuñas de brechas de corales y arenas esqueléticas groseras. En dirección hacia cuenca (facies de talud distal), estos depósitos pasan progresivamente a *grainstones/packstones* intensamente

bioturbados, entre los que, localmente, se disponen biostromas de rodofíceas ramosas.

Las facies basales (**plataforma abierta**, o cuenca poco profunda) se disponen por debajo y en dirección a cuenca, de las facies de talud arrecifal. Están constituidas por *packstones/wackestones* esqueléticos, ricos en foraminíferos planctónicos, intensamente bioturbados, por lo que presentan una estratificación difusa.

ARQUITECTURA DE FACIES Y CAMBIOS DEL NIVEL DEL MAR

Los afloramientos existentes en los acantilados costeros, permiten establecer una correlación tridimensional detallada entre las diferentes litofacies, planos de estratificación, discontinuidades y superficies de erosión. Y esta correlación permite, a su vez, tanto la identificación de la unidad acrecional básica, como el establecimiento de jerarquías entre unidades acrecionales en base a sus modos de apilamiento. Todas estas unidades acrecionales muestran características comunes: (i) se hallan formadas por un dominio interno en el que predominan las capas horizontales de lagoon, que pasan hacia cuenca a un dominio central con predominio de facies de pared arrecifal, con estratificación sigmoidal, y a un dominio externo con predominio de clinocapas de talud arrecifal y plataforma abierta; (ii) estas unidades se hallan limitadas por superficies de erosión a techo y sus correlativas superficies de conformidad en cuenca; (iii) las superficies de erosión muestran una jerarquía, consistente en que unas superficies (de mayor escala) truncan a otras (de menor escala); y (iv) la jerarquía entre las superficies de erosión y el modo de empaquetado de las unidades sigmoidales, define la jerarquía de las unidades acrecionales.

El **sigmoide** (Fig. 3.1) es la unidad acrecional básica (el «sillar» arquitectural) o unidad acrecional de 4ª magnitud (4M). Comprende una capa de lagoon que

pasa horizontalmente (hacia cuenca) a pared arrecifal superior. La parte inferior de la pared arrecifal pasa, y se apoya sobre, una clinocapa de talud arrecifal que pasa, a su vez, a facies de plataforma abierta. Está limitado a techo por una superficie de erosión (superficie C). El sigmoide puede presentar forma de cuña (Fig. 3.2) si la truncación erosiva a techo, inherente a la superficie C, ha sido intensa y ha eliminado completamente los depósitos de lagoon y de la pared arrecifal superior. Dada la dependencia existente entre el crecimiento de los arrecifes coralinos y el nivel del mar, el sigmoide ha sido interpretado como el resultado de la acreción sedimentaria en los cuatro sistemas deposicionales durante un ascenso del nivel del mar y la truncación erosiva durante el subsiguiente descenso. El sigmoide registra, en consecuencia, un ciclo (4M) de fluctuación del nivel del mar de la más alta frecuencia (y menor período), aunque mecanismos de autocici-

licidad en la formación de algunos sigmoides no pueden descartarse, principalmente cuando no existen variaciones en la morfología de las colonias coralinas (dependiente de la paleobatimetría) entre sigmoides sucesivos.

Los sigmoides se apilan en manojos progradantes y/o agradantes. El apilamiento de varios manojos sucesivos mostrando una progradación de nivel bajo, seguida de agradación y de progradación de nivel alto, así como, en ocasiones, un último manajo en configuración de *offlap* (progradación descendente), permite definir el **set de sigmoides** (Fig. 4). Los sets de sigmoides están limitados por superficies de erosión de mayor rango (superficies B), que truncan a techo el manajo progradante de alto nivel y el manajo en *offlap*. Esta unidad se interpreta (Fig. 5) como el resultado de la acreción de los sistemas deposicionales y el subsiguiente *offlap* y erosión del sistema arrecifal, durante un ciclo de variación del nivel del mar de tercera magnitud (3M). Los sigmoides y sets de sigmoides, se empaquetan, a su vez, en **cosets de sigmoides**. Estos se caracterizan igualmente por una «modulación» vertical en el empaquetado de facies resultante de la progradación (Fig. 6) y se hallan limitados por superficies de erosión de mayor rango (superficies A). Las superficies «A» truncan a superficies «B» y «C» del manajo progradante de alto nivel y se forman por amalgamación de varias superficies «B» y «C» del manajo en configuración de *offlap*. Los cosets de sigmoides se interpretan formados durante un ciclo de segunda magnitud (2M) de variaciones del nivel del mar.

Los datos de sondeos en la Marina de Lluçmajor también muestran, en los 20 km de progradación, una modulación de las facies arrecifales que permite diferenciar tres unidades acrecionales de orden menor (primera magnitud: 1M) (Pomar, 1991; en prensa). Si bien no existen datos precisos que permitan la determinación de los períodos correspondientes a estos ciclos de alta frecuencia (1M a 4M), consideraciones relativas a las tasas de progradación de estas unidades y su comparación con la ciclicidad pleistocena, permiten atribuir un período de 100.000 años para los ciclos 2M (Tabla 1) (Pomar, 1991, para esta discusión).

CARACTERÍSTICAS DE LAS SECUENCIAS DEPOSICIONALES DE MALLORCA

El ejemplo de plataforma arrecifal del Mioceno superior de Mallorca, permite analizar con detalle el sello eustático en la arquitectura de sus facies, como consecuencia de la ausencia de una compactación y de una subsidencia significativas. De hecho, la porosidad primaria se halla todavía preservada y esta plataforma no presenta basculamiento apreciable en la dirección de la progradación. Es por ello que su arquitectura puede ser interpretada exclusivamente en función de

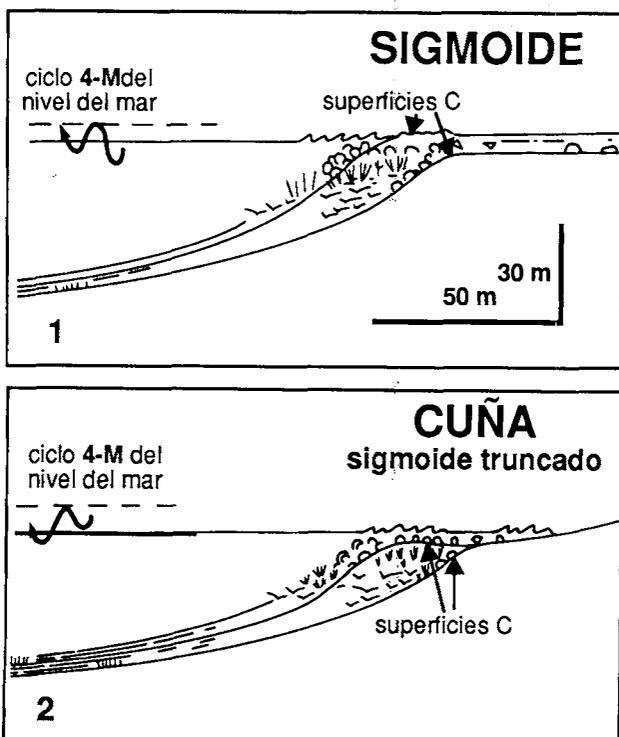


Figura 3.-1) El sigmoide es la unidad acrecional básica. Está limitado por superficies de erosión (C) y representa una fluctuación eustática de 4.^a magnitud (4-M). 2) Una cuña arrecifal es el resultado de una erosión intensa de la parte alta del sigmoide (modificado de Pomar et al. en prensa).

Figure 3.-1) The sigmoid is the basic accretional unit. It is bounded by erosional surfaces (C) and represents a 4th. magnitude (4-M) sea-level cycle (modified from Pomar et al., in press.) 2) A wedge-shaped unit results where truncation at top of the sigmoid was intense (modified from Pomar et al., in press).

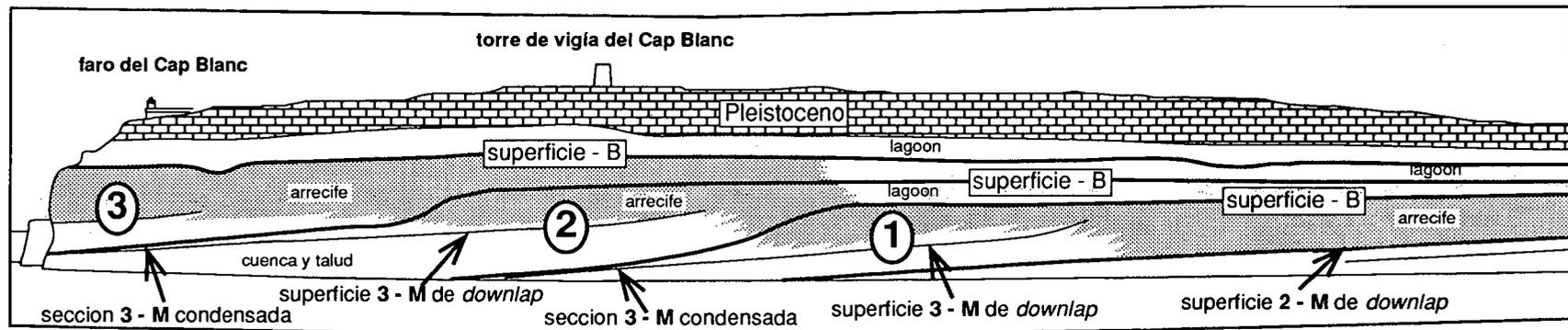


Figura 4.- Vista de los acantilados en Cap Blanc y distribución de las facies arrecifales y las superficies de estratificación más significativas que limitan tres sets de sigmoides (modificado de Pomar, en prensa).

Figure 4.- View of the sea-cliff at Cap Blanc and mapping of the reef complex facies and boundaries, showing three sets of sigmoids (modified from Pomar, in press).

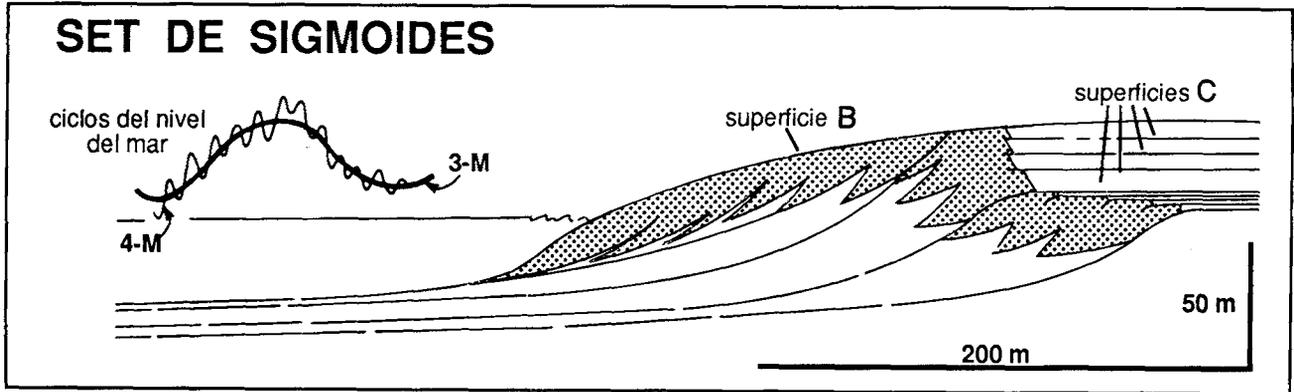


Figura 5.- El set de sigmoides está compuesto por manojos de sigmoides limitados por superficies de erosión B y se interpreta como el producto de un ciclo eustático de 3.^a magnitud (modificado de Pomar et al., en prensa).

Figure 5.- The set of signoids is composed of bundles of sigmoids. It is bounded by B erosional surfaces and is interpreted as the product of a 3rd magnitude (3-M) sea level cycle (modified from Pomar et al., in press).

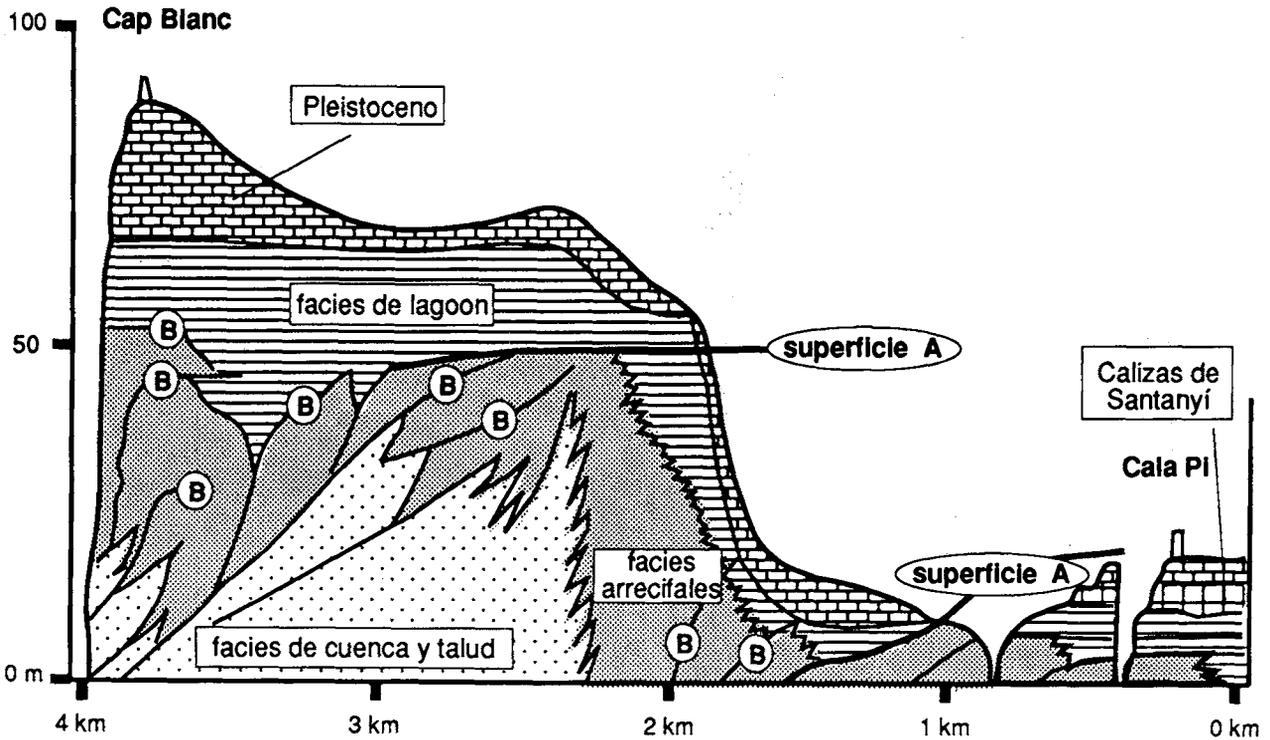


Figura 6.- Corte de los acantilados entre Cap Blanc y Cala Pi, mostrando un coset de sigmoides. Un coset de sigmoides está compuesto por el apilamiento de sigmoides y sets de sigmoides, y se halla limitado por superficies de erosión A (modificado de Pomar, 1991).

Figure 6.- Cross section of the sea cliffs in the Cap Blanc - Cala Pi area, showing a coset of sigmoids. It is composed by stacking of sigmoids and sets of sigmoids, and it is bounded by A-erosion surfaces (modified from Pomar, 1991).

UNIDADES ACRECIONALES	SUPERFICIES DE EROSION	MAGNITUD cambios nivel del mar	PERIODO ESTIMADO	CICLOS GLOBALES Haq et al (1987)
Plataforma de Lluçmajor		-	1.9 Ma ?	3er orden
Sets de Cosets de Sigmoides		1-M	400 ka ?	4º orden
Cosets de Sigmoides	A	2-M	100 ka	5º orden
Sets de Sigmoides	B	3-M	?	6º orden
Sigmoides	C	4-M	?	7º orden

Tabla 1.- Las unidades acrecionales del ejemplo de Mallorca y sus límites (superficies de erosión) en relación a las distintas magnitudes de las fluctuaciones eustáticas, su período estimado y su posible relación con los ciclos globales (modificado de Pomar, en prensa).

Table 1.- Relationships between the Mallorcan accretional units, their boundaries (erosion surfaces), the magnitude of the inferred sea-level cycles, their estimated periods and the plausible correlation with global cycles (modified from Pomar, in press).

las variaciones eustáticas de alta frecuencia y de las diferencias en las tasas de producción-sedimentación de los depósitos carbonatados en cada una de las fases del ciclo eustático.

Todas las unidades acrecionales que aparecen en los acantilados del sur de Mallorca (2M a 4M) presentan características similares a las secuencias deposicionales, aunque con algunas, pero importantes, peculiaridades (Pomar, 1991, en prensa; Esteban *et al.*, en prensa; Pomar *et al.*, en prensa). Todas ellas están compuestas por cortejos de facies correspondientes a cuatro sistemas deposicionales: (i) facies de *lagoon* que, en dirección a cuenca, pasan a (ii) facies de pared arrecifal, (iii) talud y (iv) plataforma abierta. Están limitadas por superficies de erosión que pasan a superficies de estratificación difusas (conformidades) en cuenca. Raramente aparecen productos de exposición subaérea (caliche,...) asociados a estas superficies de erosión. Sin embargo, la progradación descendente de las facies arrecifales ligadas a las superficies de erosión (configuración de *offlap*) permite inferir que dichas superficies corresponden, en parte, a exposición subaérea y a un posterior retrabajamiento marino durante la subsiguiente inundación. En consecuencia, todas estas superficies de erosión (superficies A, B y C) presen-

tan características de lo que se define como tipo 1 en la terminología estandar.

En base a sus particulares modos de acomodación, el apilamiento de sigmoides conformando el «set de sigmoides» y el apilamiento de los sets en «cosets de sigmoides» permite diferenciar cuatro cortejos sedimentarios:

(i) *Cortejo progradante de bajo nivel*. En este cortejo (Fig. 7.1), las facies arrecifales muestran una progradación dominante, mientras que las facies de *lagoon* se hallan poco desarrolladas (arrecifes franjeantes), y las facies de talud y plataforma abierta tienen escaso espesor.

(ii) Recubriendo a éste, se dispone (Fig. 7.2) un *cortejo agradante*. El espesor de sedimentos es máximo en todos los grupos de facies, tanto de *lagoon*, como de pared arrecifal, de talud y de plataforma abierta. Las facies arrecifales son predominantemente agradantes y las facies de *lagoon* recubren (*onlap*) al cortejo de bajo nivel y/o a la superficie de erosión sobre la unidad acrecional precedente. Los depósitos de talud y de plataforma abierta muestran también su máximo espesor en este cortejo.

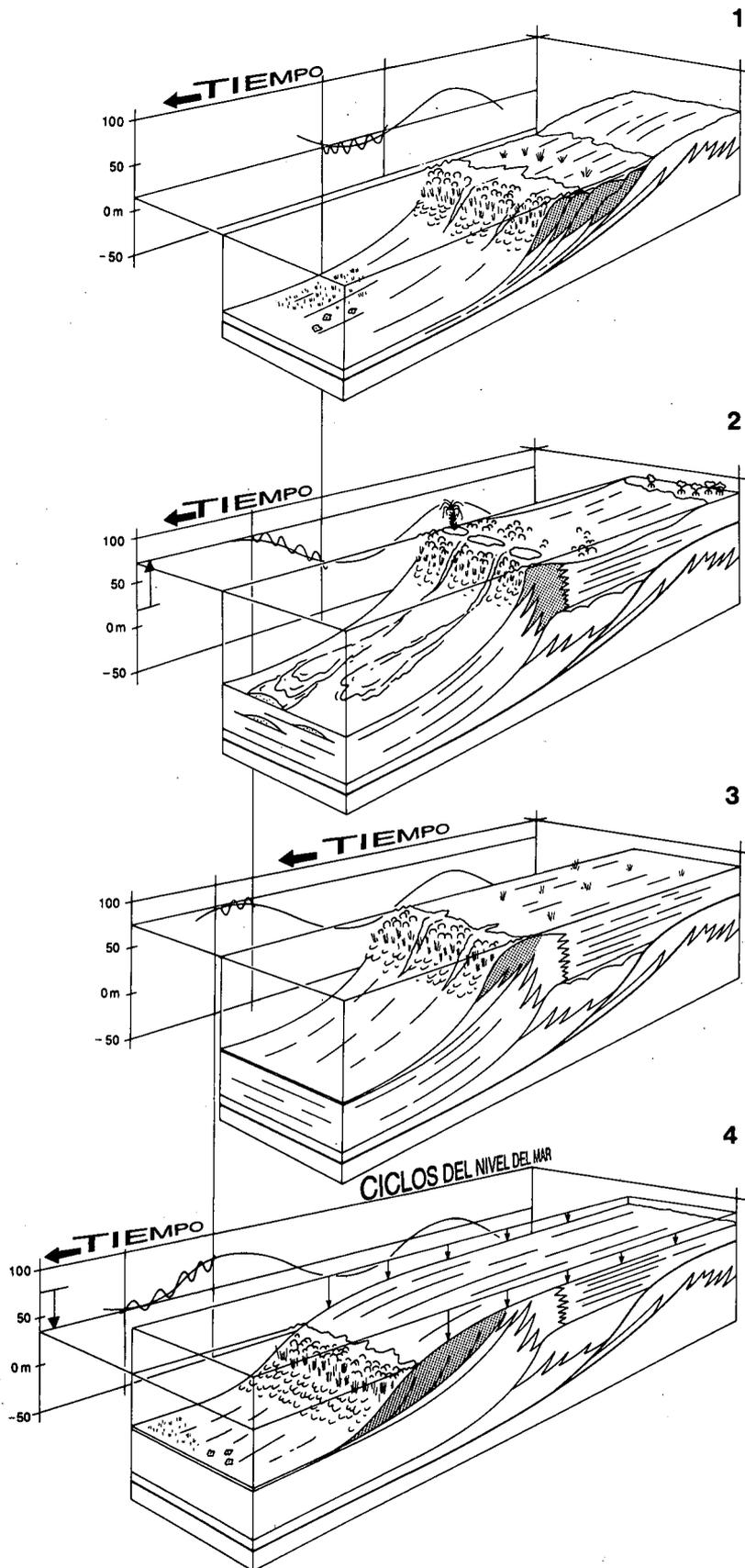


Figura 7.- Bloques diagrama mostrando el apilamiento de los distintos cortejos sedimentarios en relación a una fluctuación eustática compuesta por ciclos de mayor frecuencia, tal como ocurre en el ejemplo de Mallorca . 1) Cortejo progradante de bajo nivel; 2) cortejo agradante; 3) cortejo progradante de alto nivel y 4) cortejo en *offlap* (modificado de Pomar et al., en prensa).

Figure 7.- Block diagrams showing the systems tracts stacking in the Mallorcan example, in relation to sea-level cycle punctuated by higher-frequency sea-level cycles. 1) Prograding low-stillstand systems tract; 2) aggrading systems tract; 3) prograding high-stillstand systems tract and 4) offlapping systems tract (modified from Pomar et al., in press).

(iii) Un *cortejo progradante de alto nivel* (Fig. 7.3), recubre en dirección a cuenca al cortejo agradable. En este cortejo no se observan normalmente facies de *lagoon*, las facies de pared arrecifal son predominantemente progradantes y las facies de talud a plataforma abierta no presentan un espesor importante, acunándose en dirección a cuenca. Las facies de pared arrecifal se hallan truncadas a techo por una superficie de erosión.

(iv) Un *cortejo en offlap* se dispone, hacia cuenca, sobre el cortejo anterior (Fig. 7.4). En este cortejo, las facies de lagoon están prácticamente ausentes y las facies arrecifales, con muy escasos depósitos de talud, progradan directamente sobre las facies de plataforma abierta y se correlacionan en cuenca con una sección condensada. La base de este cortejo es una superficie de *downlap* y su techo la superficie de erosión del límite de unidad.

Este particular apilamiento de los cortejos sedimentarios constituye una de las peculiaridades más notables que presentan las secuencias deposicionales de alta frecuencia del Mioceno superior de Mallorca, con respecto al modelo secuencial estándar (Pomar, 1991, en prensa; Esteban *et al.*, en prensa; Pomar *et al.*, en prensa). Así, en el ejemplo de Mallorca aparece un cortejo sedimentario producido durante el descenso del nivel del mar en configuración de *offlap* que no es identificado en el modelo Exxon. El hecho de que normalmente no se identifique este cortejo en el modelo Exxon puede ser debido tanto a su escaso espesor, por debajo de la resolución sísmica, como a su bajo potencial de preservación (que depende de la magnitud de la truncación erosiva a techo). El cortejo en *offlap* se halla limitado en la base por la superficie de *downlap* y a techo por una superficie de erosión. En el modelo estándar, al no existir dicho cortejo, estas dos superficies se amalgaman en una sola, lo que constituye el límite de secuencia. Este cortejo en *offlap* ha sido definido como *downstepping* y la superficie de erosión asociada como *lowstand unconformity* por Esteban (en prensa). También podría asimilarse al «*forced regression*» de Posamentier *et al.* (en prensa) que forma parte del cortejo de bajo nivel, pero a diferencia de éste, el cortejo en *offlap* de Mallorca no se halla separado del cortejo de alto nivel, si no que conecta éste con el cortejo de bajo nivel.

Esta peculiaridad plantea el problema de la identificación del límite de secuencia (Fig. 8) que, en el modelo Exxon, corresponde a la base al cortejo de bajo nivel. Si en el ejemplo de Mallorca el límite de secuencia se asimila a la superficie de *downlap*, el cortejo en *offlap* queda asimilado al cortejo de bajo nivel, tal como propugnan Posamentier *et al.*, (en prensa) para el «*forced regression*», aunque no cumple con su definición dado que no corresponde al cortejo que se sitúa en posición más baja, ya que se extiende desde la

posición del cortejo de alto nivel hasta la posición del cortejo de más bajo nivel. En el ejemplo de Mallorca, la superficie de *downlap* es una superficie bien definida hacia cuenca, que se correlaciona con la base de la sección condensada, pero es difícil de reconocer en dirección a tierra, correlacionándose con una superficie de estratificación menor entre las capas de *lagoon*.

La superficie de erosión a techo del cortejo en *offlap*, es una superficie bien definida entre las facies arrecifales y de *lagoon*, que se forma desde el inicio de la caída del nivel del mar hasta que el subsiguiente ascenso del nivel marino inunda la zona previamente emergida (*onlap* de las facies de *lagoon*). Esta superficie se correlaciona en cuenca con el techo de la sección condensada. Consecuentemente, en cuenca, las superficies correlativas de las superficies de erosión y de *downlap* pueden confundirse en una; la base de la sección condensada corresponde al inicio de la caída del nivel del mar y su techo corresponde al inicio del ascenso subsecuente. Por tanto la sección condensada representa en cuenca, desde el punto de vista conceptual, el intervalo que corresponde a la formación del límite de secuencia.

En dirección a tierra, la superficie de *downlap* puede quedar truncada por la superficie de erosión, en cuyo caso dicha superficie de erosión corresponde al límite de secuencia. Sin embargo, si la caída del nivel del mar y/o la consecuente truncación del precedente cortejo de alto nivel no es significativa, la superficie de *downlap* conecta con una superficie de erosión menor que no coincide con la superficie de erosión que limita a techo a los cortejos de alto nivel y en *offlap*. En consecuencia, desde el punto de vista de la existencia de una superficie física significativa que limite estas secuencias deposicionales de alta frecuencia, es necesario considerar como límite de secuencia a la superficie de erosión y su correlativo techo de la sección condensada en cuenca que además, se corresponde con la posición más baja alcanzada por el nivel del mar. Esta interpretación difiere de la que proponen Posamentier *et al.* (en prensa) para el «*forced regression*» como parte del cortejo de bajo nivel puesto que, en este caso, el cortejo en *offlap* se halla limitado a techo por el límite de secuencia, mientras que el cortejo de bajo nivel recubre al límite de secuencia.

Una segunda diferencia significativa con el modelo estándar es la posición de la sección condensada. Esta superficie no se corresponde con el máximo transgresivo, si no que se produce durante el descenso del nivel del mar. Ello implica que la factoría de carbonatos funcionó a rendimiento óptimo durante los ascensos del nivel del mar, mientras que durante los descensos del nivel del mar, la factoría de carbonatos apenas funcionó, determinando la progradación descendente (*offlap*) del arrecife coralino sobre los depósitos de cuenca somera

sin apenas depósitos de talud. Esta configuración puede interpretarse como consecuencia del incremento del área productiva, en condiciones de aguas someras, durante los ascensos del nivel del mar. Así, un *lagoon* somero sólo existiría durante las fases de alto nivel correspondientes a los ciclos de más alta frecuencia, y desaparecería durante los descensos del nivel mar subsiguientes. Recientemente se han publicado ejemplos de plataformas carbonatadas, en las que la producción y vertido de sedimentos predominó en las fases de alto nivel del mar durante el Pleistoceno en Bahamas (Grammer, 1991 Grammer y Ginsburg, en prensa) y en el Mediterráneo occidental (Vazquez *et al.*, 1991) y durante el Holoceno en la plataforma de Jamaica (Glaser y Droxler, 1991). Todos estos trabajos vienen a demostrar que la dependencia entre la producción y acumulación de carbonatos y los ciclos de fluctuación del nivel del mar es una característica generalizable para las plataformas carbonatadas.

Esta variación de la producción/acumulación de sedimentos en relación a cada una de las fases del ciclo eustático determina, no tan solo la distinta posición del límite de secuencia y de la sección condensada en relación al modelo estándar de secuencia deposicional, si no también una dificultad en la interpretación de los distintos cortejos sedimentarios, mediante la aplicación directa de dicho modelo.

Otra característica existente en el ejemplo de Mallorca es la dificultad de reconocer la superficie de máxima inundación, que no tiene una expresión física reconocible en la sucesión vertical de facies. Esta superficie que en el modelo Exxon define el tránsito entre el cortejo transgresivo y el cortejo progradante de alto nivel, se identifica por el cambio en la evolución vertical de las facies de profundizante a somerizante. En el ejemplo de Mallorca, tanto las facies de cuenca, como las arrecifales y las *lagoon* agradan verticalmente durante la fase de ascenso del nivel del

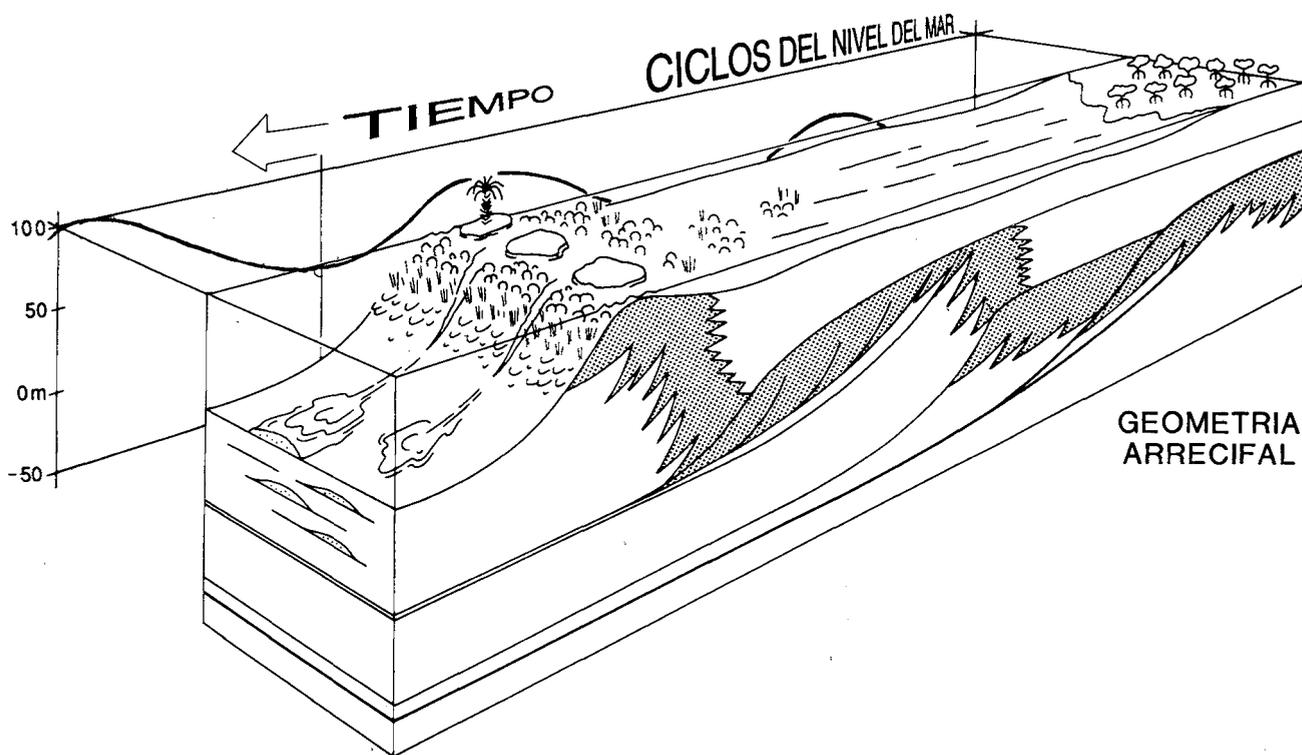


Figura 8.- Bloque diagrama mostrando los dos paquetes sedimentarios que pueden reconocerse en base a las dos superficies que son claramente reconocibles en el ejemplo de Mallorca: la superficie de erosión y la superficie de *downlap*. Un paquete inferior está caracterizado por agradación en todos los sistemas y se forma durante las fases de ascenso y alto nivel del mar, y un paquete superior con progradación «offlapante» se forma durante las fases de descenso y bajo nivel del mar (modificado de Pomar *et al.*, en prensa).

Figure 8.- Block diagram showing the two major systems packages or tracts which can be recognized in the Mallorcan example. There are only two characteristic surfaces: an erosion surface and a downlap surface. On this basis a lower package, with offlapping progradation, is formed during sea-level fall and low-stillstand and upper package, with offlapping progradation, is formed during sea-level fall and low-stillstand (modified from Pomar *et al.*, in press).

mar, sin que se produzca una secuencia profundizante ni tampoco una retrogradación de los sistemas deposicionales. Solamente las facies de lagoon pueden considerarse retrogradantes, puesto que se disponen en configuración de *onlap* sobre la superficie de erosión. Durante la subsiguiente fase de alto nivel también se produce una agradación, aunque en menor grado, de las facies de cuenca sin que exista un cambio en su evolución vertical. En consecuencia no puede reconocerse la superficie física que delimita el cambio de modos de acomodación de agradante a progradante de alto nivel. Este hecho imposibilita la identificación de las secuencias estratigráficas genéticas propuestas por Galloway (1989).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis secuencial de las unidades acrecionales de alta frecuencia, que aparecen en la plataforma arrecifal progradante del Mioceno superior de Mallorca, revela la existencia de un conjunto importante de peculiaridades con respecto al modelo secuencial estándar. Estas se hallan determinadas tanto por el hecho de que los arrecifes miocenos progradaron en una plataforma poco profunda, con suave pendiente, como por la relación existente entre la tasa de producción de sedimentos carbonatados y los distintos segmentos de la curva eustática.

Este conjunto de peculiaridades, implican una dificultad en la aplicación simple de los criterios de diagnóstico que se establecen en el modelo secuencial estándar. Si bien el uso del modelo conceptual permite diferenciar cuatro cortejos sedimentarios en relación al particular modo de apilamiento de las unidades acrecionales y a su relación con el correspondiente segmento del ciclo eustático (progradante de bajo nivel, agradante, progradante de alto nivel y «*oflapante*»), resulta también evidente que cada uno de estos cortejos sedimentarios no se hallan limitados por superficies físicas marcadas, que puedan ser fácilmente reconocidas.

En base a la existencia de superficies físicas claramente reconocibles, tan sólo pueden establecerse dos paquetes sedimentarios.

El paquete inferior, se caracteriza por una agradación en todos los sistemas deposicionales. En este paquete, las capas de lagoon solapan hacia tierra (*onlap*) la superficie de erosión, que constituye su límite inferior y el límite de secuencia. Su límite superior es la superficie de *downlap* y su correlativa superficie de erosión (de jerarquía menor) hacia tierra, que normalmente se halla poco resaltada. Este paquete se forma durante las fases de ascenso y alto nivel del mar.

El paquete superior progresa en configuración descendente (*offlap*) sobre los depósitos de cuenca del paquete inferior. Su límite inferior es la superficie de

downlap y su límite superior es la superficie de erosión, que constituye el límite de secuencia. Este paquete superior se forma durante la fase de descenso del nivel del mar. Si la truncación erosiva es suficientemente intensa, este paquete superior puede estar ausente y la única expresión de la caída del nivel del mar es la superficie de erosión. Esta pareja de paquetes sedimentarios, se reconoce en todas las distintas magnitudes de secuencias deposicionales de alta frecuencia que aparecen en la plataforma arrecifal progradante de Mallorca.

Estas dos superficies (erosión y *downlap*) no son equivalentes ni tampoco lo es su expresión. En las facies de *lagoon* tan sólo se hallan bien expresadas las superficies de erosión que limitan tanto las capas, como los *sets* de capas y los *cosets* de capas, mientras que la superficie correlativa a la superficie de *downlap* no puede reconocerse. Por el contrario, en las facies de cuenca, la superficie que adquiere mayor relevancia es la superficie de *downlap* y su correlativa conformidad que corresponde a la base de la sección condensada. Sin embargo, cuando puede observarse completamente la arquitectura de la plataforma progradante, la parte más contrastada de estas dos superficies se disponen en una configuración de «Tau» inclinada («*Slant Tau configuration*» en Pomar, en prensa).

La asunción de que la existencia de contraste litológico implica un contraste significativo en la impedancia acústica (Vail y Mitchum, 1977) permite reconocer esta misma configuración de «Tau» inclinada en los reflectores de algunos perfiles sísmicos de plataformas carbonatadas progradantes (Pomar, en prensa). Ello resulta tanto más importante por cuanto que esas peculiaridades, que presentan las secuencias deposicionales de alta frecuencia del ejemplo de Mallorca, pueden reconocerse en otras plataformas carbonatadas progradantes, lo cual implica: i) que dichas peculiaridades no son exclusivas de las secuencias de alto orden (alta frecuencia), si no que también aparecen en secuencias de tercer orden, y ii) que la plataforma miocena de Mallorca no es un ejemplo aislado, si no que constituye un modelo de arquitectura secuencial que aparece en plataformas progradantes existentes en distintas situaciones geológicas

AGRADECIMIENTOS

A Mateu Esteban por la continua discusión tanto sobre los afloramientos como sobre su interpretación. Este trabajo ha sido realizado con los fondos de los proyectos DGICYT PB90-0854, DGICYT PB91-0801 y DGICYT SAB90-0016.

BIBLIOGRAFÍA

- ALVARO, M., BARNOLAS, A., DEL OLMO, P., RAMIREZ DEL POZO, J. y SIMO, A., 1984: El Neógeno de Mallorca: Caracterización sedimentológica y bioestratigráfica. *Boletín Geológico y Minero*, 95:3-25.
- BARON, A. y L. POMAR, 1985: Stratigraphic correlation tables: area 2c Balearic Depression. in F. F. Steininger, J. Senes, K. Kleemann y F. Rögl. eds. *Neogene of the Mediterranean, Tethys and Paratethys*. pp. 17, Institute of Paleontology, University of Vienna.
- BIZON, G., BIZON, J.J., BOURROUILH, R. y MASSA, D., 1973: Présence aux îles Baléares (Méd. Occ.) de sédiments «messiniens» déposés dans une mer ouverte, à salinité normale. *Comt. Rend. Acad. Sci. Paris*, 277 (12): 985-988.
- BORER, J.M. y HARRIS, P.M., 1991: Lithofacies and Cyclicity of the Yates Formation, Permian Basin: Implications for Reservoir Heterogeneity. *Amm. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 75: 726-779.
- BOSELLINI, A., 1984: Progradation geometries of carbonate platforms: examples from the Triassic of the Dolomites, northern Italy. *Sedimentology*, 31: 1-24.
- BOSELLINI, A., 1989: Dynamics of Tethyan carbonate platforms. In P. D. Crevello, J.L. Wilson, J.F. Sarg y J.F. Read. *Controls on Carbonate Platform and Basin Development*, pp. eds. 339-351, Soc. Econ. Paleont. Miner. Spec. Public., Tulsa., 44.
- BOSELLINI, A. y NERY, C., 1991: The Sella Platform (Upper Triassic, Dolomites, Italy). *Dolomieu Conference on Carbonate Platforms and Dolomitization, Guidebook Excursion B*. The Dolomites, Italy. 30 pp.
- BOSELLINI, A. y STEFANI, M., 1991: The Rosengarten: A platform-to-basin carbonate section (Middle Triassic, Dolomites, Italy). *Dolomieu Conference on Carbonate Platforms and Dolomitization, Guidebook Excursion C*. The Dolomites, Italy. 24 pp.
- CARTER, R.M., ABBOTT, S.T., FULTHORPE, C.S., HAYWICK, D.W. y HENDERSON, R.A., 1991: Application of global sea-level and sequence-stratigraphic models in Southern Hemisphere Neogene strata from New Zealand. *I. A. S. Spec. Publ.*, 12: 41-65.
- COLOM, G., 1980: Nota preliminar sobre la existencia de Plioceno inferior, Marino, en Mallorca (Balears). *Acta Geológica Hispánica*, 15: 45-49.
- COLOM, G., 1985: Estratigrafía y Paleontología del Andalucense y del Plioceno de Mallorca (Balears). *Boletín Geológico y Minero*, 96: 235-302.
- DUNHAM, R.J., 1970: Stratigraphic reefs vs. ecologic reefs. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 54: 1931-1932.
- EBERLI, G.P. y GINSBURG, R.N., 1988: Aggrading and prograding infill of buried Cenozoic seaways, northwestern Great Bahama Bank. In A.W. Bally. ed. *Atlas of Seismic Stratigraphy*, Am. Ass. Petrol. Geol., *Studies in Geology* 27 (vol. 2): 97-103.
- EBERLI, G.P. y GINSBURG, R.N., 1989: Cenozoic progradation of northwestern Great Bahama Bank, a record of lateral platform growth and sea-level fluctuations. In P. D. Crevello, J.L. Wilson, J.F. Sarg y J.F. Read. Eds. *Controls on Carbonate Platform and Basin Development*, Soc. Econ. Paleont. Miner. Spec. Publ. n°44: 339-351.
- EBERLI, G.P., BERNOULLI, D., VECSEI, A. y SANDERS, D.G.K., 1991: The Maiella Platform (Abruzzi, Italy) - An ancient analog of Great Bahama Bank. *Dolomieu Conference on Carbonate Platforms and Dolomitization. Abstracts*. pp 67-68.
- ESTEBAN, M., 1979/80: Significance of the Upper Miocene reefs of the Western Mediterranean. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Palaeoecol.*, 29: 169-188.
- ESTEBAN, M., en prensa: The Mediterranean Miocene Reefs: an Overview. Capter 6 In C. Jordan, M. Colgan y M. Esteban. eds. *Miocene Reefs: A Global Comparison*. Springer-Verlag.
- ESTEBAN, M., CALVET, F., DABRIO, C., BARON, A., GINER, J., POMAR, L. y SALAS, R., 1977 a: Messinian (Uppermost Miocene) reefs in Spain: morphology, composition and depositional environments. *Third Int. Coral Reef Symp. (Abst)*. Miami.
- ESTEBAN, M., CALVET, F., DABRIO, C., BARON, A., GINER, J., POMAR, L. y SALAS, R., 1977 b: Aberrant features of the Messinian coral reefs, Spain. *IUGS IGCP Messinian Seminar 3, (Abst)*, Málaga.
- ESTEBAN, M., CALVET, F., DABRIO, C., BARON, A., GINER, J., POMAR, L. y SALAS, R., 1977, c: Aberrant features of the Messinian coral reefs, Spain. In R. Salas. ed. *Primer Sem. Pract. Asoc. Arrec. y Evap.* pp: 4.2-4.10.. Univ. Barcelona.
- ESTEBAN, M., CALVET, F., DABRIO, C., BARON, A., GINER, J., POMAR, L., SALAS, R. y PERMANYER, A., 1978: Aberrant features of the Messinian coral reefs, Spain. *Acta Geológica Hispánica*, 13: 20-22.
- ESTEBAN, M., POMAR, L. y WARD, W.C., (en prensa): Peculiarities of Miocene Carbonate Sequences in the Mediterranean. In Simó, T., Franseen, E. y Harris, M. eds. *Carbonate Stratigraphic Sequences: Sequence Boundaries and Associated Facies, Abstract volume*. SEPM/IAS Research Conference.
- GALLOWAY, W. E., 1989: Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis I: Architecture and Genesis of Flooding-Surface Bounded Depositional Units. *Bull. Am. Assoc. Petr. Geol.*, 73, 125-142.
- GARCIA-MONDEJAR, J. y FERNANDEZ-MENDIOLA, P.A., 1989: Secuencias y asociaciones de sistemas (systems tracts) en la serie carbonatada albiense entre La Gandara y Las Machorras (Cantabria y Burgos). *XII Congreso Español de Sedimentología, Simposios y Conferencias*. pp. 55-64.
- GLASER, K.S. y DROXLER, A.W., 1990: High Production and Highstand Shedding from Deeply Submerged Carbonate Banks, Northern Nicaragua Rise. *Journal of Sedimentary Petrology*; 61 (1): 128-142.
- GRAMMER, G. M., 1991: *Formation and Evolution of Quaternary Carbonate Foreslopes, Tongue of the Ocean, Bahamas*. Thesis. Universidad de Miami, 315 pp.
- GRAMMER, G. M. y GINSBURG, R. N., (en prensa): Highstands versus lowstands deposition on carbonate platform margins: insight from Quaternary foreslopes in the Bahamas. *Marine Geology*.
- HANDFORD, C. R. y LOUCKS, R. G., (en prensa): Carbonate Depositional Sequences and Systems Tracts - Responses of Carbonate Platforms to Relative Sea-Level Changes. In B. Louks y R. Sarg. eds. *Recent Advances and Applications of Carbonate Sequence Stratigraphy*, A.A.P.G. *Memoir* (título provisional).
- HAQ, B. U., 1991: Sequence stratigraphy, sea-level change, and significance for the deep sea. *I. A. S. Spec. Publ. int.*, 12: 3-19.
- HAQ, B. U., HARDENBOL, J. y VAIL, P.R., 1987: Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235: 1156-1167.
- HAQ, B. U., HARDENBOL, J. y VAIL, P.R., 1988: Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles. In Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G. St.C., Posamentier, H., Ross, C.A. y Van Wagoner, J. eds., *Sea-level Changes: an Integrated Approach*. Soc. Econ. Paleont. Mineral., *Spec. Publ.*, 42: 71-108.

- JACQUIN, T., ARNAUD-VANNEAU, A., ARNAUD, H., RAVENNE, C. y VAIL, P. R., 1991: Systems tracts and depositional sequences in a carbonate setting: a study of continuous outcrops from platform to basin at the scale of seismic lines. *Marine and Petroleum Geology*, 8: 122-139.
- KENDALL, C.G.St.C. y SCHLAGER, W., 1981: Carbonates and relative changes in sea level. *Marine geology*, 44: 181-212.
- MIALL, A. D., (en prensa): Exxon global cycle chart: An event for every occasion?. *Geology*, 20.
- MITCHUM, R.M., Jr., VAIL, P.R., y THOMPSON, S., 1977: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In Payton, C.E. ed., *Seismic Stratigraphy - Applications to hydrocarbon Research*, Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol. 26: 53-62.
- MITCHUM, R.M. Jr. y VAN WAGONER, J.C., 1991: High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence-stratigraphy evidence of high-frequency eustatic cycles. *Sedimentary Geology*, 70: 131-160..
- NEWELL, N.D., RIGBY, J.K., FISCHER, A.G., WHITEMAN, A.J., HICKOX, J.E. y BRADLEY, J.S., 1953: *The Permian reef complex of the Guadalupe Mountains region, Texas and New Mexico*. W.H. Freeman and Co., San Francisco. 236 pp.
- PLAYFORD, P.E., 1980: Devonian «Great Barrier Reef» on Canning basin, Western Australia. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 64: 814-840.
- PLAYFORD, P.E. y LOWRY, D.C., 1966: Devonian reef complexes of the Canning basin, Western Australia. *Bull. Geol. Surv. W. Australia*, 118: 150 pp.
- POMAR, L., 1991: Reef geometries, erosion surfaces and high-frequency sea-level changes, Upper Miocene Reef Complex, Mallorca, Spain. *Sedimentology*, 38: 243-269.
- POMAR, L., (en prensa): High-resolution Sequence Stratigraphy in Prograding Carbonates: Application to Seismic Interpretation. In B. Louks y R. Sarg. eds. *Recent Advances and Applications of Carbonate Sequence Stratigraphy*, A.A.P.G. Memoir. (título provisional).
- POMAR, L., ESTEBAN, M., CALVET, F. y BARON, A., 1983 a: La unidad arrecifal del Mioceno superior de Mallorca. In L. Pomar, A. Obrador, J. Fornós y A. Rodríguez-Perea, eds., *El Terciario de las Baleares (Mallorca-Menorca)*. *Guía de las Excursiones del X Cong. Nac. Sedimentología*. pp.139-175. Inst. Est. Balearics y Universidad de Palma de Mallorca.
- POMAR, L., MARZO, M. y BARON, A., 1983 b: El Terciario de Mallorca. In L. Pomar, A. Obrador, J. Fornós y A. Rodríguez-Perea, eds., *El Terciario de las Baleares (Mallorca-Menorca)*. *Guía de las Excursiones del X Cong. Nac. Sedimentología*. pp.21-44. Inst. Est. Balearics y Universidad de Palma de Mallorca, 256 pp.
- POMAR, L., FORNOS, J.J. y RODRIGUEZ-PEREA, A., 1985: Reef and shallow carbonate facies of the Upper Miocene of Mallorca. In M.D. Milà y J. Rosell, I.A.S. *6th European Regional Meeting Excursion Guidebook*, pp.495-518. Int. Assoc. Sedim. y Univ. Autòn. Barcelona.
- POMAR, L., WARD, W.C. y ESTEBAN, M., (en prensa): Miocene Reefs of the Balearic Islands, Spain, with emphasis on the Upper Miocene cap Blanc Reef Complex of Mallorca. Chapter 21 In C. Jordan, M. Colgan y M. Esteban eds. *Miocene Reefs: A Global Comparison*. Springer-Verlag.
- POSAMENTIER, H.W. y VAIL, P.R., 1988: Eustatic Controls on Clastic Deposition II-Sequence and System Tracts Models. In C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross y J.C. Van Wagoner. eds. *Sea-level changes: an integrated approach*. *Spec. Pubs. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, 42: 125-154.
- POSAMENTIER, H.W., ALLEN, G. P. JAMES, D. P. y TESSON, M., (en prensa): Forced Regressions in a Sequence Stratigraphic Framework: Concepts, Examples, and Exploration Significance. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bulletin*, 76.
- PUJALTE, V., ROBLES, S., ORUE-ETXEBARRIA, X., ZAPATA, M. y GARCIA-PORTERO, J., 1989: Influencia del Eustatismo y tectónica en la génesis de las secuencias y macrosecuencias deposicionales del Maastrichtiense Superior-Eoceno Inferior de la cuenca Vasca.. *XII Congreso Español de Sedimentología, Simposios y Conferencias*. pp. 147-156.
- SALAS, R., 1989: El Modelo de plataforma carbonatada Aptiense Superior del tipo Mola de Xert en la cuenca del Maestrat (Cordillera Ibérica Oriental). *XII Congreso Español de Sedimentología, Simposios y Conferencias*. pp. 75-84.
- SARG, F.J., 1988: Carbonate Sequence Stratigraphy. In C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross y J.C. Van Wagoner, eds. *Sea-level changes: an integrated approach*. *Spec. Pubs. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, 42: 155-181.
- SIMO, A. y RAMON, X., 1986: Análisis sedimentológico y descripción de las secuencias deposicionales del Neógeno postorogénico de Mallorca. *Boletín Geológico y Minero*, 97: 445-472.
- SCHLAGER, W., 1991: The paradox of drowned reefs and carbonate platforms. *Geol. Soc. of Am. Bulletin*, 92: 197-211.
- TYRRELL, W.W. y DAVIS, R.G., 1989: Miocene Carbonate Shelf Margin, Bali-Flores Sea, Indonesia. In A.W. Bally, ed. *Atlas of Seismic Stratigraphy*, Am. Assoc. Petrol. Geol. *Studies in Geology*, 27: 174-179.
- UNDERHILL, J. R., 1991: Controls on Late Jurassic seismic sequences, Inner Moray Firth, UK North Sea: a critical test of a key segment of Exxon's original global cycle chart. *Basin Research*, 3: 79-98.
- VAIL, P. R. y MITCHUM, R. M., Jr., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 1, In C. E. Payton ed. *Seismic stratigraphy - Applications to hydrocarbon Exploration: AAPG Memoir* 26: 51-52.
- VAIL, P.R. MITCHUM, Jr., R.M., TODD, R.G., WILDMIER, J.M., THOMPSON, S. III, SANGREE, J.B., BUBB, J.N. y HATFIELD, W.G., 1977: Seismic stratigraphy and global changes of sea level. In C.E. Payton ed. *Seismic stratigraphy - Applications to hydrocarbon Exploration*. Am. Assoc. Petrol. Geol. *Mem.*, 26: 49-212.
- VAIL, P.R., AUDEMARD, F., BOWMAN, S.A., EISNER, P.N. y PEREZ-CRUZ, C., 1991: The Stratigraphic Signatures of Tectonics, Eustasy and Sedimentation - an Overview. In: Einsele, G., Ricken, W., y Seilacher, A. eds. *Cycles and Events in Stratigraphy*. Springer-Verlag. 617-659.
- VAN WAGONER, J.C. y MITCHUM, R.M. Jr., 1989: High-frequency sequences and their stacking patterns. *Abstracts, International Geological Congress*, Washington, 3: 284.
- VAN WAGONER, J.C., POSAMENTIER, H.W., MITCHUM, R.M. Jr., VAIL, P.R., SARG, F.J., LOUITT, T.T. y HARDENBÖL, J., 1988: An Overview of the Fundamentals of Sequence Stratigraphy and Key Definitions. In C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C. G. St. C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross y J.C. Van Wagoner eds. *Sea-level changes: an integrated approach*. *Spec. Pubs. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, 42: 39-45.
- VAZQUEZ, A., ZAMARREÑO, I., REYES, E. y LINARES, J., 1991: Late Quaternary climatic changes on the southwestern Balearic slope (Western Mediterranean): isotopic, faunal, and mineralogical relationships. *Paleogeogr., Paleoclimatol., Palaeoecol.*, 81: 215-227.
- WILSON, J.L., 1975: *Carbonate Facies in Geologic History*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 471 pp.