

# Modelo de estratigrafía secuencial de alta resolución de la plataforma continental del Golfo de Cádiz

## *High resolution sequence stratigraphy model in the Gulf of Cádiz*

L. Somoza (\*), F.J. Hernández-Molina (\*\*), F. Lobo (\*\*), J.R. de Andrés (\*)

(\*) Geología Marina. Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE), Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid (Spain)

(\*\*) Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz (UCA). Polígono del Río San Pedro s/n. 11510 Puerto Real. Cádiz (Spain)

### ABSTRACT

Single channel very high resolution seismic profiles allow us to study in detail the sedimentary architecture of the Gulf of Cadiz (South of Spain) continental margin. The main Late Quaternary sedimentary architecture is built up of Type 1 asymmetrical depositional sequences generated by 4th order asymmetrical relative sea-level changes (100-110 k.y.), and composed by: a Forced Regressive Wedge Systems Tract (FRWST); a Lowstand Systems Tract (LST); a Transgressive Systems Tract (TST); and a Highstand Systems Tract (HST). The 4th order depositional sequences are themselves in turn consist of minor asymmetrical depositional sequences generated by 5th order asymmetrical relative sea-level changes (22-23 k.y.). At short time scales, for the last 80 k.y. B.P., minor depositional sequences has been recognised which we related to higher-frequency asymmetrical relative sea-level cycles in different time scales: Heinrich events (10 to 15 k.y.); P cycles (4000-4500 yrs.); Dansgaard-Oeschger oscillations-h cycles (2300-970 yrs) and c cycles (500-50 yrs.).

**Palabras clave:** Estratigrafía Secuencial, cuaternario terminal, Golfo de Cádiz, plataforma continental, regresiones forzadas.

**Key words:** Late Quaternary, sequence stratigraphy, continental shelf, Gulf of Cádiz, forced regressions.

Geogaceta, 20 (1) (1996), 142-145  
ISSN: 0213683X

### Introducción

El modelo conceptual de la Estratigrafía Secuencial realizado por el Grupo Exxon fue originariamente definido utilizando perfiles sísmicos de baja resolución y alta penetración, y considerando descensos del nivel del mar muy rápidos, subidas graduales y etapas mas o menos estables de alto nivel del mar. Muy recientemente los principios e ideas del modelo conceptual han venido siendo aplicado a los depósitos cuaternarios de diferentes margenes continentales, y como consecuencia de una mayor resolución estratigráfica en el registro, algunas de las consideraciones adoptadas inicialmente por el modelo conceptual se han puesto en duda (Swift *et al.* 1991; Gensous *et al.* 1993; Tesson *et al.* 1994; Chiocci 1994; Hernandez-Molina *et al.* 1994; Sydow & Roberts, 1994; Torres *et al.* 1995). Las variaciones climático-eustáticas que han acontecido durante el Cuaternario tienen un marcado carácter asimétrico, pero con bajadas relativas del nivel del mar suaves y graduales, bruscas

subidas del nivel del mar, y muy breves periodos de alto nivel del mar. A su vez, esta asimetría en las variaciones del nivel del mar durante el Cuaternario (especialmente en el cuaternario terminal) ha permitido la definición de un nuevo tipo de depósito o cortejo sedimentario denominado por Posamentier *et al.* (1992) como cuña de regresión forzada ("Forced Regressive Wedge Systems Tract", FRWST) o por Posamentier y Vail (1988) y Tesson *et al.* (1994) como cuñas colgadas de plataforma ("Shelf-perched lowstand wedges"). La incorporación de este nuevo depósito ha planteado muy recientemente un activo debate sobre la validez de los criterios anteriormente utilizados en determinar los límites de las secuencias deposicionales (Hunt & Tucker, 1995; Kolla *et al.* 1995; Hunt *et al.*, 1995).

En el presente trabajo se muestran los análisis de estratigrafía sísmica y secuencial llevados a cabo mediante perfiles sísmicos de alta resolución en el margen septentrional del Golfo de Cádiz, en un sector comprendido entre la desembocadura del Río Guadiana y la desembocadura del

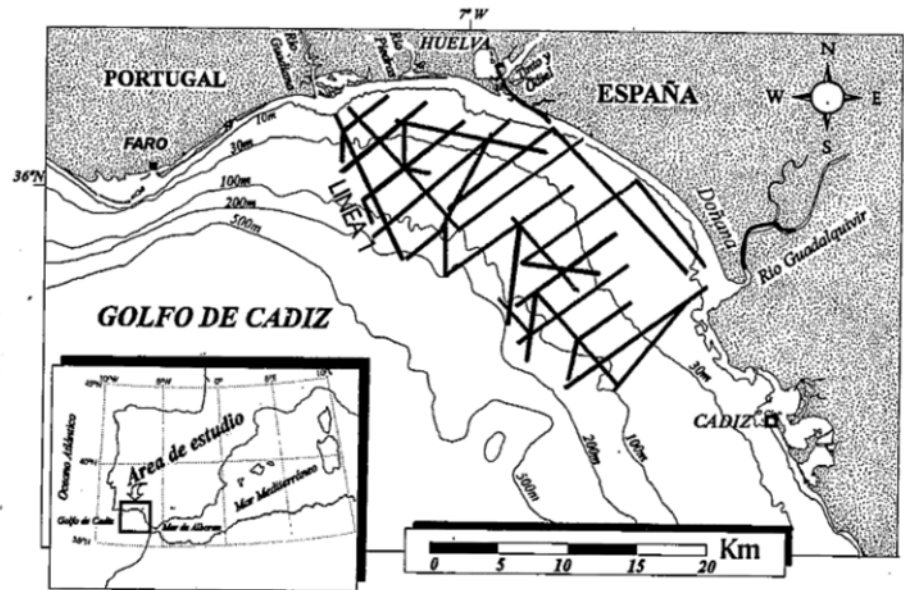
Río Guadalquivir (Fig. 1). Este estudio se ha realizado a partir de los datos obtenidos en dos campañas de geología marina realizadas dentro del Proyecto Coordinado de investigación PB-91-0622 (DGI-CYT); GOLCA-93 (Octubre-1993) y GOLCA-94 (Junio-1994) a bordo del Buque Oceanográfico «ODON DE BUEN» (IEO). Estas campañas han permitido obtener 800 kms de perfiles sísmicos de alta y muy alta resolución: Geopulse (300 Joules); Penetrador de fangos (3.5 kHz); Sónar de Barrido lateral Klein de doble frecuencia (100 kHz y 500 kHz). La muy alta resolución vertical de los perfiles sísmicos de Geopulse (0.5 a 1 m) ha permitido la definición de las características geométricas de los cuerpos sedimentarios con un gran detalle.

### Estratigrafía sismo-secuencial de alta resolución

El análisis sismo-secuencial ha permitido la definición de 14 unidades sísmicas, que se estructuran en dos secuencias deposicionales de orden mayor (I & II):

**Secuencia Depositional -I-**. Secuencia deposicional de Tipo 1, estructurada en dos subsecuencias menores (Fig. 2): **Subsecuencia deposicional I<sub>1</sub>**: secuencia de tipo 2, formada por un depósito regresivo (unidad sísmica 1a), un LST (unidad sísmica 1b), una superficie transgresiva (discontinuidad entre la unidad sísmica 1 y 2) y un depósito de margen de plataforma (unidad sísmica 2). **Subsecuencia Depositional I<sub>2</sub>**: secuencia deposicional de Tipo 1, formada por un depósito regresivo (unidad sísmica 3a), un depósito de bajo nivel (unidad sísmica 3b), un depósito transgresivo (unidad sísmica 4), y un depósito de alto nivel (unidad sísmica 5). La presencia de paleocanales indica la activa incisión fluvial durante la etapa de bajo nivel del mar.

**Secuencia Depositional -II-**. Secuencia deposicional de Tipo 1, compuesta por unidades regresivas (unidades sísmicas 6,7,8,9, y 10), de bajo nivel (unidad sísmica 11), transgresiva (unidad sísmica 12), y alto nivel (unidad sísmica 13). Esta secuencia de orden mayor puede ser subdividida en cuatro subsecuencias deposicionales menores (Fig. 2): **Subsecuencia Depositional II<sub>1</sub>**: secuencia de Tipo 2, caracterizada por un depósito regresivo (unidad sísmica 6a) y un depósito de bajo nivel en el borde de la plataforma (unidad sísmica 6b). **Subsecuencia Depositional II<sub>2</sub>**: secuencia deposicional de Tipo 2 compuesta por la unidad sísmica 7 que representa un depósito regresivo (unidad sísmica 7a), un depósito de bajo nivel (unidad sísmica 7b). La presencia de paleo-canales sobre la plataforma es indicativa de una activa incisión fluvial durante el intervalo de bajo nivel del mar. **Subsecuencia Depositional II<sub>3</sub>**: secuencia de Tipo 2 compuesta por un depósito regresivo (unidad sísmica 8a), un depósito de nivel bajo (seismic unit 8b), una superficie erosiva que sepra la unidad 8 y 9, y un depósito de margen de plataforma (unidad sísmica 9). **Subsecuencia Depositional II<sub>4</sub>**: secuencia de Tipo 1 formada por: A) un *depósito regresivo* (unidad sísmica 10) compuesto por 11 subunidades agradacionales y progradacionales (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, y k). Siendo un importante hecho estratigráfico a resaltar la imposibilidad de determinar esta estructuración tan compleja en las unidades sísmicas previas. B) Un *depósito de nivel bajo* (unidad sísmica 11) estructurado en dos subunidades menores (P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>) las cuales pueden ser correlacionadas con unidades equivalentes en otros sectores de la plataforma continental española (Hernández-Molina, *et al.*, 1994). C) Un *depósito transgresivo* (donde se distin-



**Fig. 1.-** Localización geográfica del margen continental del Golfo de Cádiz, mostrando las características batimétricas, así como la localización de los perfiles sísmicos de alta resolución.

*Fig. 1.- Gulf of Cádiz continental margin location map showing the bathymetrical and geographical characteristic of the study area. Location of high-resolution reflection seismic lines.*

guen tres subunidades sísmica 12 a, b, y c). D) Un depósito de alto nivel del mar (unidad sísmica 13) compuesto por dos unidades menores (P<sub>4</sub> and P<sub>5</sub>) las cuales pueden correlacionarse con cuerpos sedimentarios equivalentes en otros sectores de la plataforma continental española (Hernández-Molina, *et al.*, 1994). La presencia de paleocanales sobre la plataforma es indicativo de una activa incisión fluvial durante el intervalo de nivel bajo. También ha sido diferenciada una unidad agradacional sobre el talud superior (unidad sísmica 14).

#### **Estratigrafía de alta resolución de la plataforma continental**

La ausencia, por el momento de dataciones ha obligado a realizar una reconstrucción teórica de la arquitectura de la plataforma en base a tres criterios: a) cada depósito se ha desarrollado en relación con un segmento determinado de la curva eustática, por lo que en función de su jerarquización se han correlacionados con los cambios relativos del nivel del mar asimétricos que han tenido lugar durante el Cuaternario; b) los depósitos y unidades sísmicas reconocidas se han correlacionado con depósitos equivalentes y bien conocidos en otros márgenes continentales; c) se han considerado los depósitos de alto nivel del Cuaternario termi-

nal, dados mediante U/th y que se encuentran actualmente emergidos a lo largo de la costa del Sur de España.

La arquitectura sedimentaria para el Cuaternario terminal está compuesta por dos secuencias deposicionales asimétricas de orden mayor de Tipo 1, en relación con los ciclos relativos del nivel del mar de 4º orden. Estas secuencias están compuestas por depósitos regresivos, de bajo nivel, depósitos transgresivos y depósitos de alto nivel. Los depósitos regresivos y de bajo nivel son los volumétricamente más importantes. Estas secuencias mayores están estructuradas en secuencias menores o subsecuencias deposicionales asimétricas de 5º orden (Fig. 3) en relación con las variaciones relativas del nivel del mar de 5º orden. Estas subsecuencias están compuestas básicamente por depósitos regresivos y depósitos de bajo nivel del mar. Los depósitos transgresivos y de alto nivel no se desarrollan en la plataforma durante la evolución de estas subsecuencias, y solamente en relación con el ciclo de 5º orden ubicado en la posición más baja de la tendencia de descenso relativo del nivel del mar de 4º orden es posible determinar sobre la plataforma media un depósito de margen de plataforma (Fig. 2 y 3). Además, cuando los depósitos regresivos, de bajo nivel, transgresivos, y de alto nivel de la última subsecuencia deposicional (80.000 años)

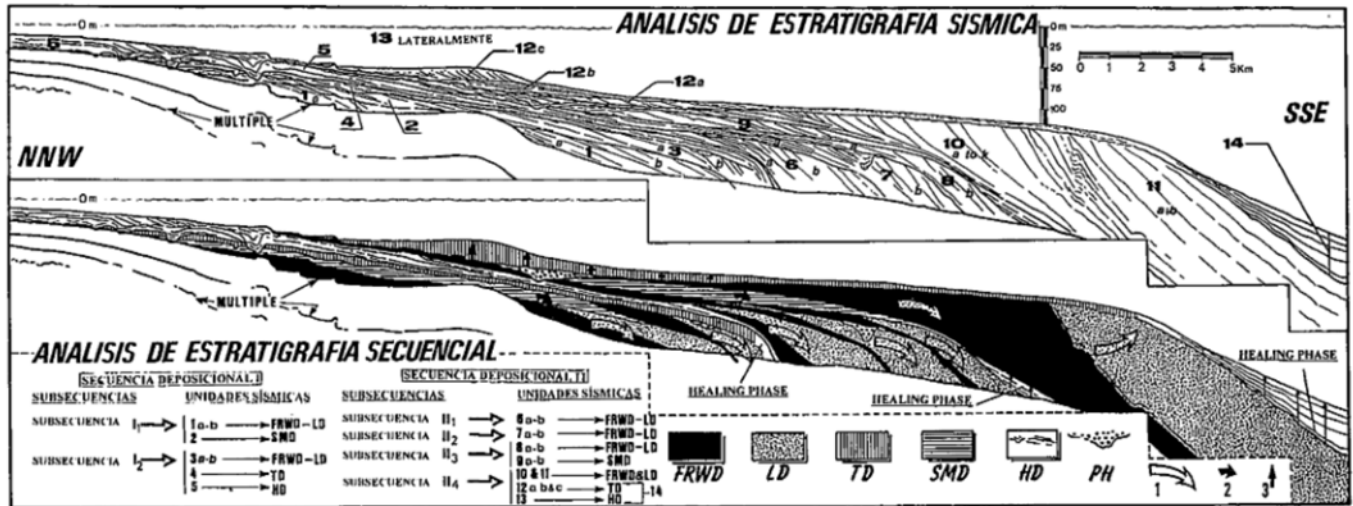


Fig. 2.- Interpretación del perfil sísmico de alta resolución (Geopulc. 175 J) mostrando las unidades sísmicas y las secuencias deposicionales. FR FRWD: depósitos regresivos; LD: depósitos de bajo nivel; TD: depósitos transgresivos; SMD: depósitos de margen de plataforma, HD: depósitos de alto nivel; ph: paleocanales. 1.- progradaciones mayores; 2.- progradaciones menores & aggradación; 3.- aggradación. Localización en la figura 1.

Fig. 2.- High-resolution seismic reflection profile 1 interpretation showing seismic units and depositional sequences. FRWD: forced regressive wedge deposits; LD: lowstand deposits; TD: transgressive deposits; SMD: shelf margin deposits, HD: highstand deposits; ph: paleochannel incised infill. 1.- major progradation; 2.- minor progradation & aggradation; 3.- aggradation. For location see Figure 1.

son estudiados en detalle, es posible determinar secuencias deposicionales asimétricas de muy alta resolución en relación con los siguientes ciclos: eventos de Heinrich de periodicidad comprendida entre 10.000 y 14.000 años (Heinrich 1988; Bond *et al.*, 1993; Mayewski, en prensa), ciclos P de 4.500 años, oscilaciones de Dansgaard-Oeschger de 1000 años (Dansgaard *et al.* 1993) / ciclos h (2200 yr to 900 yr) eustático (Hernández-Molina *et al.* 1994) y ciclos c (700-500 años) eustático (Hernández-Molina *et al.* 1994), que modulan la tendencia eustática del último hemisiclo.

**Conclusiones**

La estructuración sedimentaria y su evolución durante el Cuaternario Terminal tiene lugar como consecuencia de la influencia de diferentes ciclos relativos del nivel del mar con diferentes frecuencias que se modulan entre sí. Estos ciclos están caracterizados por suaves y graduales descensos del nivel del mar, bruscos ascensos del nivel del mar, y muy breves intervalos de alto nivel del mar. Como consecuencia del carácter de estos ciclos se generan secuencias deposicionales asimétricas a diferentes escalas temporales. En este sentido, el relleno sedimentario del margen continental se estructura en secuencias deposicionales asimétricas de 4º orden de Tipo I, en las que los depósitos regresivos y de bajo nivel son volu-

métricamente los más importantes. Las secuencias deposicionales de 4º orden se estructuran en secuencias deposicionales menores de carácter asimétrico (5º orden), en las que predominan los depósitos regresivos y de bajo nivel. Cada uno de los depósitos regresivos, de bajo nivel, transgresivos, y de alto nivel presentes en la última subsecuencia está compuesto por unidades sedimentarias que constituyen pequeñas secuencias deposicionales asimétricas de muy alta frecuencia condicionadas por los eventos de Heinrich, ciclos P, ciclos de Dansgaard-Oeschger/ciclos h, y ciclos c.

**Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de investigación DGICYT PB91-0622. Los autores también quieren expresar su sincero agradecimiento a toda la tripulación del B/O Oceanográfico "Odon de Buen" (IEO) por su disponibilidad y profesionalidad durante la realización de las campañas realizadas. Este trabajo es parte del IGCP 367.

**Referencias**

Bond, G., Broecker, W., Johnsen, J., Mcmanus, L., Labeyrie, J., Jouzel, J.; y Bonani, G. (1993). *Nature* 265: 143-167.  
 Chiocci, F.L. (1994). *Am. Asso. Petrol. Geol. Bull.*, v.78, No 3:378-395.

Dansgaard, W., Johnsen, S.J., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S., Hammer, C.U., Hvidberg, C.S., Steffensen, J.P., Sveinbjörnsdottir, J., Jouzel, J. y Bond, G. (1993). *Nature* 364 (15): 218-220.  
 Gensous, B., Williamson, D. y Tesson, M. (1993): En: H.W. Posamentier, C.P. Summerhayes, B.U. Haq and Allen, G.P. (eds). *Sequence Stratigraphy and Facies Associations. Int. Assoc. Sedi-mentol. Spec. Publ.*, 18:197-211.  
 Heinrich, R. (1988). *Quater. Research.* 29: 142-152.  
 Hunt, D. y Tucker, M.E. (1995). *Sedimen. Geol.*, 95:147-160  
 Hunt, D.; Gawthorpe, R. y Docherty, M. (Eds) (1995): *Sedimentary Responses to Forced Regression: Recognition, Interpretation and Reservoir Potential. Abstract Volumen Conference London, 7&8 September.* 80 pp.  
 Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Rey, J. y Pomar, L. (1994). *Marine Geology* 120:129-174.  
 Kolla, V., Posamentier, H.W., y Eichen-seer, H. (1995). *Sedimen. Geol.*, 95:147-160  
 Mayewski, P.A.; Meeker, L.D.; Twickler, M.S.; Whitlow, S.; Yang, Q.; y Prentice, M. (en prensa): *Journ. Geol. Research.*  
 Posamentier, H.W. y Vail, P.R. (1988): *Sea level changes- an integrated approach, Soc. Econ. Palent. Mineral., Spec. Pub.* 42: 125-154.

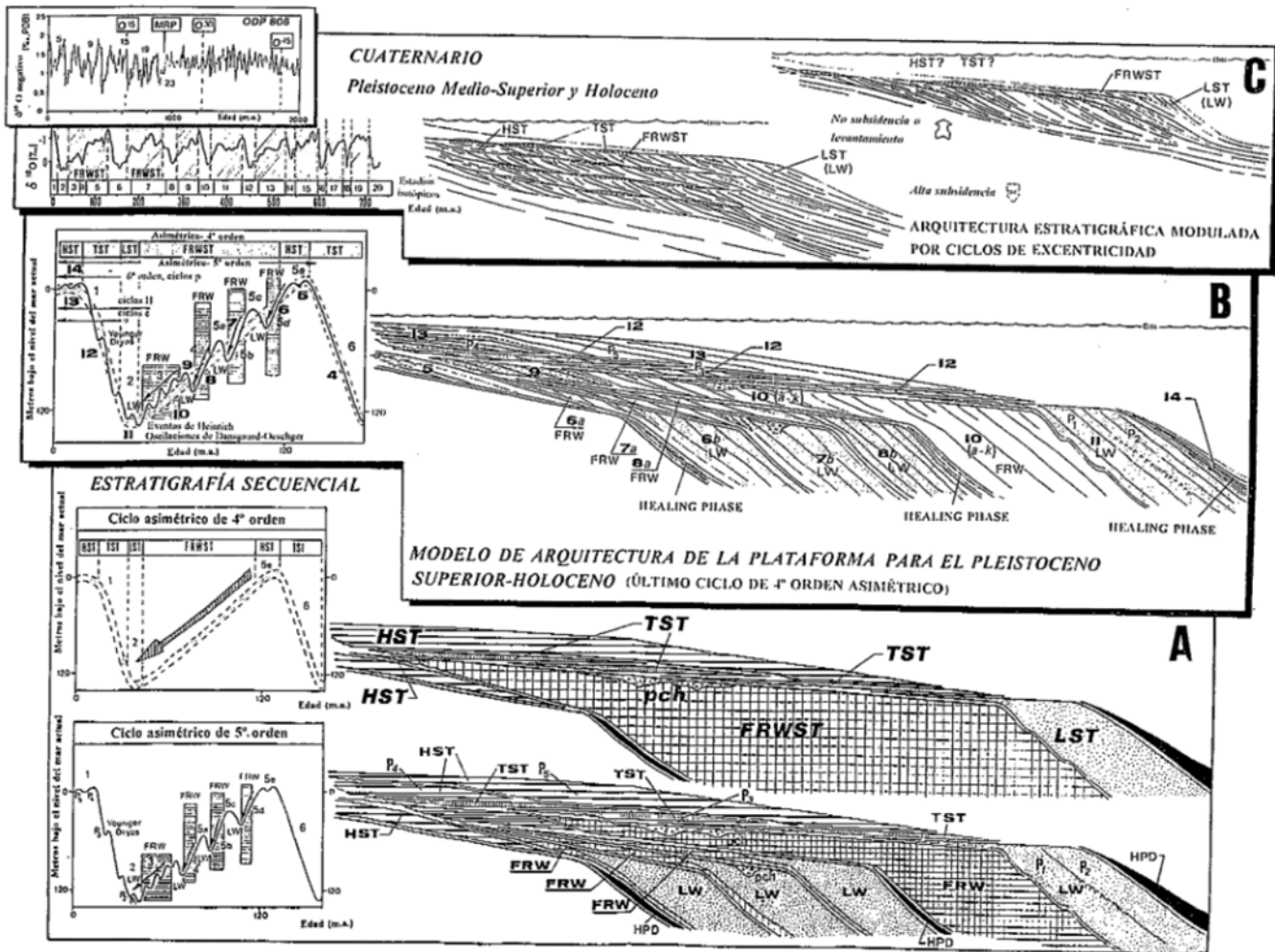


Fig. 3.- Modelo teórico sismo-secuencial de alta resolución de la arquitectura de la plataforma continental, considerando ciclos eustáticos de diferente frecuencia que se modulan entre sí. A) Secuencia deposicional de 4º orden y geometría de los cortejos sedimentarios para los últimos 120.000 años B.P.; B) Secuencias deposicionales de 5º orden y geometría de los cortejos sedimentarios asociados. Se muestra la posición de las unidades sísmicas diferenciadas; C) Con posterioridad a la Revolución Climática del Pleistoceno Medio (MPR) la geometría de las secuencias deposicionales de 4º orden estructuran la plataforma continental mediante ciclos asimétrico de 100.000-120.000 años B.P. caracterizados por suaves y graduales descensos del nivel del mar, bruscas subidas, y muy breves intervalos de alto nivel. La estructuración de las secuencias de cuarto orden esta profundamente condicionada por las características particulares de la subsidencia de cada margen continental. En un margen con una elevada subsidencia la estructuración de las secuencias sera vertical y por tanto agradante, mientras que en un margen sin subsidencia o incluso levantamiento, la estructuración de las secuencias sera lateral, y por lo tanto progradante.

Fig. 3.- Theoretical seismic stratigraphy and sequence model of stratal architecture of continental margin controlled by superimposed eustatic cycles of different frequency. (A) four-order depositional sequence and system track geometry of the last 120,000 yr ; (B) five-order depositional sub-sequences and system tracks composing the four-order sequence. (C) After MPR (last 700,000 yr) geometry of four-order sequences building the shelf margin are due to asymmetrical 100,000-120,000 cycles with fast rises and steepwise falls of sea level. Overall four-order sequences is assume to be affected by local subsidence rates giving rise to entirely aggradational (high subsidence) to progradational geometries (no subsidence or local uplift).

Posamentier, H.; Allen, G.P., James, D.P. y Tesson, M. (1992): *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 76(11):1687-1709

Swift, D.J.P., Oertel, G.F., Tillman, R.W. y Thorne, J.A. (eds). (1991). Shelf sand

and sandstone bodies: Geometry, facies and sequence stratigraphy. *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.* n° 14. 532 pp.

Sydow, J. y Roberts, H.H. (1994). *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.* 78(8):1276-1312

Tesson, M., Allen, G.P. y Ravenne, C.H. (1994). *Spec. Publ. Int. Ass. Sediment.*, 18: 183-196.

Torres, J. Savoye, B. y Cochonat, P. (1995): *Journal Sedim. Research.*