

# Distribución batimétrica de las terrazas submarinas en la plataforma continental de Málaga - Gibraltar. Implicaciones eustáticas durante el Cuaternario terminal

*Bathymetric distribution of submarine terraces in the continental shelf of Málaga. Eustatic implications during the final Quaternary*

F.J. Hernández-Molina (\*), F.J. Gracia (\*), L. Somoza (\*\*) y J. Rey (\*\*\*)

(\*) Facultad de Ciencias del Mar. Apdo. 40. Polígono del Río San Pedro. 11510-Puerto Real (Cádiz).

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

(\*\*\*) Esgemar, S.A. Polígono Industrial San Luis. c/ Espacio, 4. 29006-Málaga.

## ABSTRACT

Three basic remarkable types of submarine forms have been identified, from high resolution seismic profiling in the Northwestern continental margin of the Alboran Sea: Submarine Terraces, Terraces + Small Prograding Bodies and Important Prograding Bodies. Their morphometric analysis shows repetitive sequences in their bathymetric distribution. These sequences are related to three types of eustatic cycles at different scales, all of them included within the general trend of relative sea level rise that occurred upon the margin through the last 20.000 years.

**Key words:** Submarine terraces, Alboran Sea, Holocene, Eustatic cycles.

*Geogaceta*, 20(2) (1996), 416-419

ISSN: 0213683X

## Introducción

En el Mediterráneo occidental la estructuración morfo-sedimentaria de la plataforma continental española se ha desarrollado durante el Pleistoceno terminal-Holoceno en relación con el último hem ciclo eustático y, en concreto, desde los últimos 18.000 años, con la brusca subida del nivel del mar (transgresión flandriense) y su posterior estabilización, alcanzada hace unos 6.500 años (Fairbridge, 1961; Aloisi, 1986; Hoffman, 1988; Pirazzoli, 1992; Hernández-Molina *et al.*, 1994a; Hernández-Molina *et al.*, en prensa). En el margen noroccidental del Mar de Alborán el desarrollo de los diferentes tipos morfológicos submarinos, tanto deposicionales como erosivos, y su evolución morfodinámica están directamente relacionados con la evolución del margen durante los últimos 18.000 años (Hernández-Molina *et al.*, 1994b).

Durante el último hem ciclo eustático, se ha producido el depósito de un importante prisma sedimentario denominado "cuña de borde de plataforma", en relación con la etapa de bajo nivel del mar. Este prisma está internamente constituido por dos cuerpos menores ( $P_1$  y  $P_2$ ). Posteriormente, durante la transgresión flandriense tuvo lugar la formación de un conjunto de depósitos retrogradantes, solamente alterados por un prisma sedimentario

progradante ( $P_3$ ), en relación con el evento del Younger Dryas. Seguidamente al máximo eustático Holoceno y en relación con una tendencia general de estabilización eustática, se formó un prisma sedimentario progradante internamente constituido por dos cuerpos progradantes menores ( $P_4$  y  $P_5$ ) (Hernández-Molina *et al.*, 1994a).

A continuación se presenta el resultado del análisis de 5000 km de perfiles de sísmica de alta y media resolución (SPARKER 4000 Joules; GEOPULSE 175 Joules; and 3.5 kHz) obtenidos en cuatro campañas oceanográficas, y que ha permitido determinar y cuantificar los rasgos morfológicos principales del margen septentrional del Mar de Alborán entre el Estrecho de Gibraltar y Málaga (Fig. 1). En este área la sedimentación holocena es siliciclástica, condicionada por el carácter torrencial de los sistemas fluviales de aportes, encontrándose intensamente afectada por la interacción de la dinámica de masas de aguas atlántica y mediterránea (De-La-Cruz *et al.*, 1992; Hernández-Molina, 1993).

En dicha zona se ha realizado un total de 2.573 determinaciones batimétricas de morfologías submarinas, identificadas en los perfiles sísmicos de alta resolución. Las morfologías estudiadas más destacables pueden ser agrupadas en tres categorías: 1) terrazas submarinas (c); 2) pequeños cuerpos progradantes aso-

ciados lateralmente con terrazas submarinas (h), y 3) cuerpos progradantes importantes (P). Las formas analizadas tienen generalmente un carácter planar, con la presencia de un escarpe más o menos desarrollado en dirección hacia la cuenca. La medición de su profundidad, realizada a partir de los perfiles sísmicos, se ha establecido siempre en la parte interna de los replanos, estuvieran éstos cubiertos o no por sedimentos. Posteriormente se han agrupado los datos, relacionándolos unos con otros.

## Distribución batimétrica de las formas submarinas

**Terrazas submarinas(c):** Sobre la plataforma estudiada las terrazas submarinas constituyen morfologías muy frecuentes en la plataforma continental, representadas por pequeños replanos que presentan una brusca ruptura de pendiente o escarpe hacia la cuenca. Muestran una buena continuidad lateral y en general se orientan paralelamente a las isobatas. Sobre el fondo sólo son reconocibles hasta los 70 m de profundidad, ya que en las zonas más someras quedan fosilizadas bajo el prisma sedimentario Holoceno, siendo sólo posible determinarlas mediante perfiles sísmicos de alta resolución. Se interpretan como antiguas plataformas de abrasión marina costeras, labradas por el oleaje y hoy sumergidas. Por tan-

to pueden ser relacionadas con breves paradas del nivel del mar durante el ascenso eustático.

Se han efectuado 2248 medidas de terrazas submarinas (Fig. 2-A), observándose que las profundidades más frecuentes a las que aparecen son: 15, 17, 20-25, 27, 30, 32-35, 37, 40, 42, 50, 55, 60, 65, 70, 73, 75, 80, 90, 100 y 110 metros. No obstante, en función de los valores obtenidos, y tal y como se deduce de la Fig. 2-A, existen niveles con una mayor dispersión en los valores de profundidad, lo que podría estar en relación con terrazas poco desarrolladas, o bien con antiguas terrazas labradas durante anteriores ciclos eustáticos y que posteriormente han sido retrabajadas.

En general, en la plataforma interna se aprecia una periodicidad en la aparición de las terrazas, con repeticiones cada 2-3 metros de profundidad; sin embargo, a partir de los 75-80 metros la periodicidad pasa a ser de unos 10 metros. Regionalmente, Flemming (1972), en su estudio sobre la morfología de terrazas submarinas en el Mediterráneo, identifica replanos a unas profundidades predominantes de 4, 10, 15, 20, 25, 35, 46, 52, 67, 72/79 y 91 metros. La coincidencia entre sus valores y los que aquí se presentan es aceptable; en lo que se refiere a sus determinaciones de 46, 52 y 67 metros, dicho autor reconoce que puede tratarse de formas heredadas de ciclos eustáticos anteriores.

Del análisis efectuado se resalta que las terrazas son más numerosas sobre la plataforma interna, mientras que en la plataforma externa son menos numerosas y en ocasiones difíciles de determinar. Este hecho está condicionado por dos motivos: en primer lugar, en la plataforma interna se ha realizado un mayor número de mediciones, al disponerse de doble información geofísica (registros de sísmica de Geopulse y de 3,5kHz.; Fig.1); en segundo lugar, el grado de preservación de estas formas está relacionado con la morfología original de la plataforma sobre la cual ascendió el nivel del mar: una pendiente muy baja de la plataforma externa haría que el ascenso progresivo del nivel del mar retrabajara continuamente las morfologías conforme éstas se fueran generando, que pueden ser continuamente retrabajadas, mientras que sobre la plataforma interna, de mayor pendiente, los episodios de ascenso del nivel del mar habrían quedado perfectamente registrados y preservados.

**Terrazas + Pequeño Cuerpo Progradante (h):** Sobre la plataforma continental se ha determinado otro tipo morfológico, caracterizado por pequeños cuerpos sedimentarios progradantes asociados lateralmente a terrazas submarinas (Fig. 2-B). Dichos cuerpos sedimentarios se caracterizan por una configuración progradante oblicua a sigmoidal, y una morfología lobular. Estas morfologías se han

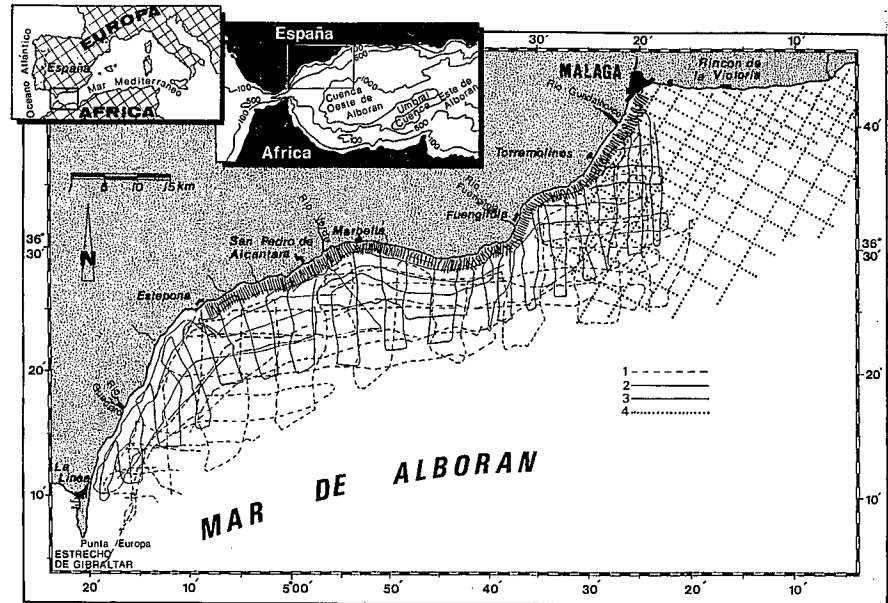


Fig. 1.- Encuadre del área estudiada y localización de los perfiles sísmicos estudiados. Campaña Oceanográfica: 1) Proyecto Minero-submarino de Málaga-Gibraltar, 1973 (Sparker, 4.500 J y 3.5 kHz). 2) Proyecto Minero-submarino de Málaga-Gibraltar, 1973 (3.5 kHz). 3) Estudios Geofísicos entre Málaga y Estepona (Geopulse, 175 J). 4) Prospección geofísica en el Margen continental de las Provincias de Granada y Málaga (Sparker, 7.000/13.000 J. y 3.5 kHz).

Fig.1.- Study area framework and locations of the seismic profiles. Oceanographic cruises: 1) Proyecto Minero-submarino de Málaga-Gibraltar, 1973 (Sparker, 4.500 J y 3.5 kHz). 2) Proyecto Minero-submarino de Málaga-Gibraltar, 1973 (3.5 kHz). 3) Estudios Geofísicos entre Málaga y Estepona (Geopulse, 175 J). 4) Prospección geofísica en el Margen continental de las Provincias de Granada y Málaga (Sparker, 7.000/13.000 J. y 3.5 kHz).

relacionado con periodos de estabilización del nivel del mar más duraderos que los causantes de las terrazas submarinas (Sangree y Widmer, J.M., 1977; Belnap y Kraft, 1981; Duane *et al.*, 1992), o incluso con breves descensos eustáticos dentro de la tendencia general de ascenso (Hernández-Molina *et al.*, 1994a). Se han realizado 272 determinaciones batimétricas de este tipo morfológico, obteniéndose que las profundidades medias a las que se encuentran son las siguientes: 20, 33, 47, 55, 60, 73, 80 y 90 metros (Fig. 2b). En este caso la periodicidad de repetición, también manifiesta, es de unos 14 metros por término medio. El hecho de que exista un mayor número de mediciones en la terraza situada a 47 metros de profundidad (Fig. 2-B), se debe a que se encuentra en una zona de la plataforma donde se dispone de doble información geofísica (registros de sísmica de Geopulse y de 3,5KHz).

**Importantes Cuerpos Progradantes (P):** Como morfologías de importantes cuerpos progradantes sólo se han considerado las tres morfologías deposicionales relacionadas con el comienzo y final de la transgresión: morfologías localizadas en el borde de la plataforma, en la plataforma interna distal, y en la plataforma interna-infralitoral (cuerpos sedi-

mentarios P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, y P<sub>4</sub>, Fig.2.-C). Estos cuerpos progradantes de configuración oblicua o sigmoidal oblicua presentan una forma de cuña sedimentaria y se relacionan con breves descensos eustáticos, que permiten la progradación del sistema sedimentario de aportes. Las profundidades en las que se agrupan las 53 mediciones realizadas son (Fig. 2-C): 0, 55 y 105 metros. Regionalmente, Flemming (1972) define en el Mediterráneo cuatro estadios principales de estabilización del nivel del mar, caracterizado morfológicamente por replanos a profundidades de 5-10, 27, 55 y 96 metros, respectivamente.

#### Consideraciones eustáticas

Las morfologías submarinas descritas se han ido desarrollando durante el último hemicycle eustático en los últimos 20.000 años, y su preservación depende de muchos factores, tales como la topografía original de la plataforma, la energía del oleaje, el aporte sedimentario, la actividad sismotectónica y la tasa de cambio relativo del nivel del mar. Del análisis numérico efectuado se deduce que las formas descritas no están situadas al azar, sino que se distribuyen en unos rangos de profundidades predominantes muy concretos.

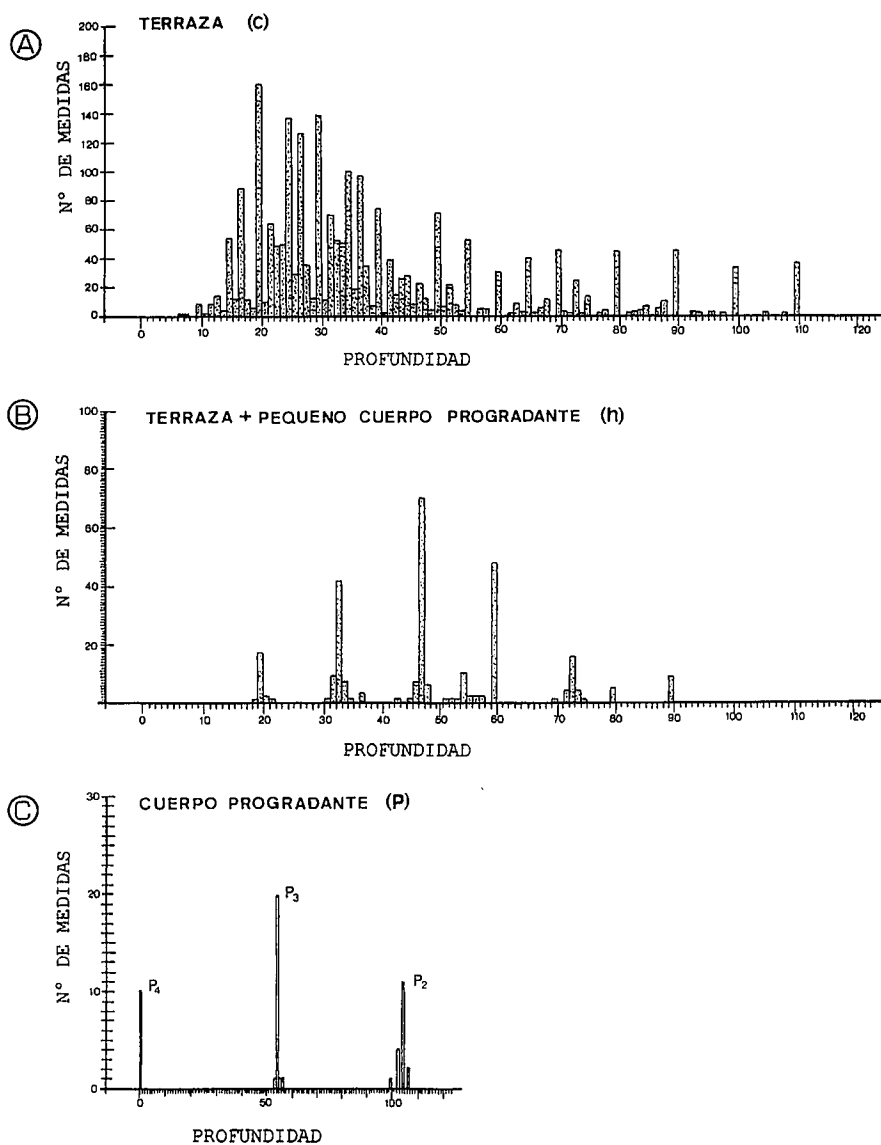


Fig. 2.- Histograma de frecuencias de las morfologías submarinas presentes en la plataforma continental del área entre Málaga y Gibraltar. A) Terrazas submarinas; B) Terrazas submarinas + pequeños cuerpos sedimentarios progradantes; C) Importantes cuerpos progradantes.

Fig. 2.- Frequency histogram of the submarine morphologies present in the continental shelf of the Málaga-Gibraltar area. A) Submarine terraces; B) Submarine terraces + minor progradational sedimentary bodies; C) Major progradational sedimentary bodies.

Estos agrupamientos batimétricos se han relacionado con las fluctuaciones relativas del nivel del mar acaecidas en los últimos 20.000 años (Van Andel y Lianos, 1984; Swift *et al.*). En este sentido, estas formas submarinas se generaron en relación con antiguas líneas de costa, y por tanto permiten deducir de forma directa la posición relativa del nivel del mar en periodos específicos.

Del análisis de la morfometría y distribución de las formas identificadas sobre la plataforma continental, se observa que entre dos niveles consecutivos de cuerpos progradantes existe un número determinado de niveles de Terraza + Pequeño Cuerpo Progradante, y que a su vez entre dos niveles de Terraza + Peque-

ño Cuerpo Progradante existe un número concreto de terrazas submarinas (Fig. 2). Este hecho permite deducir que el ascenso correspondiente al último hemicycle eustático aparece puntuado por variaciones cíclicas de cambio relativo del nivel del mar, estabilizaciones y breves regresiones, de distinta magnitud. En ese sentido, entre el cuerpo progradante a -105 metros y el correspondiente a -55 metros (Fig. 2) se han determinado tres morfologías de terraza + pequeño cuerpo progradante. A -55 metros se ha determinado otra, y entre el cuerpo de -55 m y el de 0 se han vuelto a determinar otras tres morfologías de este tipo. Entre dos cuerpos sucesivos de terraza + pequeño cuerpo progradante se han determinado sobre

la plataforma interna entre cuatro y cinco niveles de terrazas submarinas (Fig. 2), mientras que sobre la plataforma externa se han determinado tres niveles de terrazas.

La Figura 3 ilustra la ubicación y diferenciación de las morfologías submarinas determinadas en el área noroccidental del Mar de Alborán. En dicha Figura se han plasmado una serie de curvas teóricas obtenidas de diferentes estudios previos (Fairbridge, 1961; Aloisi, 1986; Perissoratis y Mitropoulos, 1989; Dias, 1987; Pirazzoli, 1992), en las que se han encuadrado las diferentes morfologías determinadas en función de la profundidad a la que se encuentran. En la citada Figura se ha querido representar que las variaciones del nivel del mar en el área de Málaga-Gibraltar durante el último ascenso eustático, pueden ser consideradas como la interrelación de cuatro tipos de ciclos con periodicidades diferentes (Hernández-Molina *et al.*, 1994a): a) los ciclos de menor periodicidad son los **ciclos c**, responsables de los niveles de aterramiento submarino; b) los **ciclos h**, son los responsables de generar las terrazas + pequeños cuerpos progradantes; c) los **ciclos P**, son causantes de los cuerpos progradantes.

A su vez estos ciclos menores tienen lugar dentro de un hemicycle mayor de 20.000-23.000 años, que forma parte de un cuarto ciclo, el cual se correspondería con la serie de ciclos de Milankovitch (ciclos de 5º orden, Shackleton y Opdyke, 1973). Este cuarto ciclo genera los grandes prismas sedimentarios, localizados tanto en el borde de la plataforma (prisma de borde de plataforma, internamente constituido por los cuerpos P<sub>1</sub>+P<sub>2</sub>), como sobre la zona infralitoral y plataforma interna (prisma sedimentario epicontinental de Aloisi, 1986, internamente constituido en nuestro caso por los cuerpos P<sub>4</sub>+P<sub>3</sub>). Cada uno de estos ciclos es responsable de la generación de una morfología diferente, y los efectos erosivos y/o deposicionales de los mismos se notarán más o menos en función de su duración y relación con los demás ciclos.

**Conclusiones**

Del análisis de la distribución batimétrica de las terrazas submarinas, los pequeños cuerpos progradantes asociados lateralmente con terrazas submarinas, y los cuerpos progradantes importantes, se puede concluir que la transgresión flandriense no constituyó un único y rápido ascenso del nivel del mar desde los últimos 20.000 años, sino que estuvo afectado al menos por tres ciclos menores que se modulan entre sí a diferentes escala temporales. Evidentemente, con los datos cronológicos disponibles es imposible concretar y aproximar la periodicidad exacta que poseen dichos ciclos, de modo que la aparición de nuevos datos cro-

nológicos puede hacer variar las escalas temporales aquí consideradas. No obstante, esos nuevos datos servirían para concretar aún más una ciclicidad que es claramente manifiesta, tanto en el análisis batimétrico de las formas submarinas presentado aquí, como en el estudio estratigráfico de los depósitos.

**Referencias**

Aloisi, J.C. (1986): Sur un modele de sedimentation deltaïque contribution a la connaissance des marges passives. *These Univ. Perpignan*, 162 pp.

Belnap, D.F. y Kraft, J.C., (1981): *Mar. Geol.* 42 (1-4):429-442.

De-La-Cruz, J.A.; Hernández-Molina, F.J. y Vazquez, J.T. (1992): *III Congr. Geol. Esp. VIII Comgr. Latinoamer. Geol.* Salamanca, Actas Tomo 2:141-145.

Dias, J.M.A. (1987): Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental septentrional portuguesa. *Tese de doutoramento* (inédita), 384 pp.

Duane, D.F.; Field, M.E.; Meisburger, E.; Swift, D.J.P. y Williams, S.J. (1992): Shelf Sediment Transport: Process and Pattern (Swift, D.J.P.; Duane, D.B.; y Pilkey, O.H. Eds.). Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg, 447-498.

Fairbridge, R.W. (1961): *Chem. Earth*, 4:99-185

Flemming, N.C. (1972): *Jour. of Geology*, 80: 633 - 662.

Hernández-Molina, F.J. (1993): Dinámica sedimentaria y evolución durante el Pleistoceno terminal-Holoceno del Margen Noroccidental del Mar de Alborán. Modelo de Estratigrafía secuencial de muy alta resolución en plataformas continentales. *Tesis Doctoral*. Univ. Granada, 618 pp.

Hernández-Molina, F.J.; Somoza, L.; y Rey, J. (1996): Geology of the Siliclastic Shelf Seas. *London Geol. Soc. Spec. Publ.* (En prensa).

Hernández-Molina, F.J.; Somoza, L.; Rey, J. y Pomar, L. (1994a): *Mar. Geol.* 120:1-15.

Hernández-Molina, F.J.; Gracia, F.J.; Somoza, L. y Rey, J. (1994b). *3ª Reun. Nac. Geomorfología*, T.I: 391 -

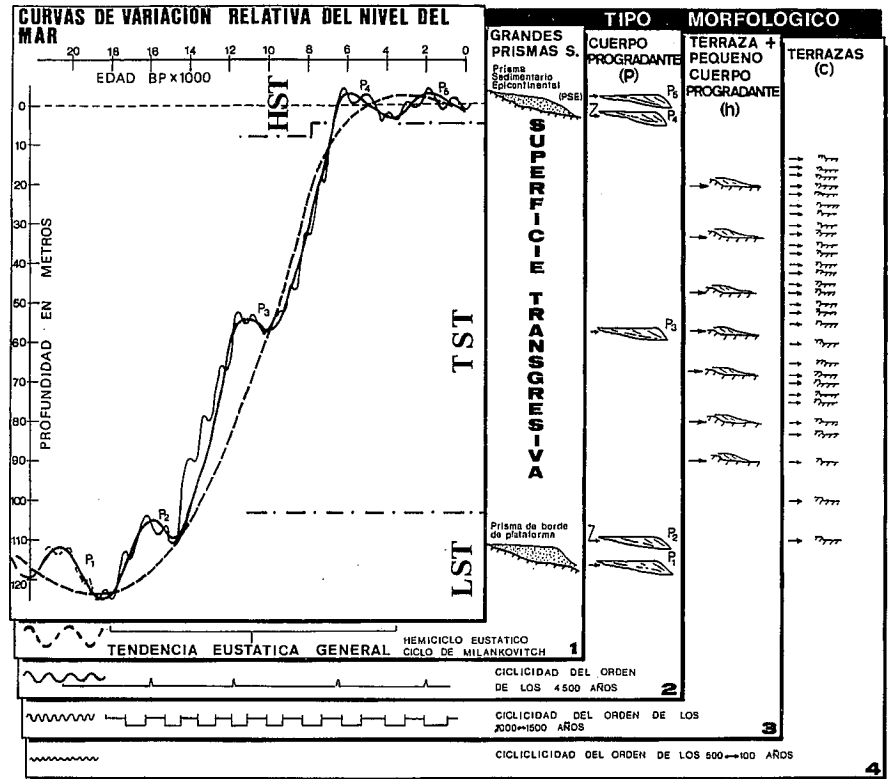


Fig. 3.- Curvas de variación relativa del nivel del mar, en relación con los tipos morfológicos determinados en la plataforma continental de Málaga-Gibraltar. Se pueden estimar cuatro ciclos con periodicidades diferentes. Tendencia eustática general basada en los datos de Fairbridge, (1961); Aloisi (1986); Perissoratis y Mitropoulos (1989); Dias (1987) y Pirazzoli (1992).

Fig.3.- Relative sea-level curves in relation to the morphologic types present in the continental shelf of Malaga-Gibraltar. Four sea levels cycles with different periodicity have been determined. The general sea-level trend is based upon data collected by Fairbridge, (1961); Aloisi (1986); Perissoratis and Mitropoulos (1989); Dias (1987) and Pirazzoli (1992).

404. Logroño.

Hoffman, G. (1988): *Berichte aus dem Fachbereich der Geowissenschaften*. Univ. Bremen, n°2, 173 pp.

Perissoratis, C. y Mitropoulos, D. (1989): *Quater. Res.*, 32:36-50.

Pirazzoli, P.A. (1992): *World Atlas of Holocene sea-levels Changes. Elsevier Oceanography Series*, 58, 300 pp.

Sangree, J.B. y Widmer, J.M. (1977): *Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Explorations* (Payton, Ch.E.). *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 26:165-184.

Shackleton, N. y Opdyke, N.D. (1973): *Quater. Research*. 3:39-55.

Swift, D.J.P.; McKinney, T.F. y Stahl, L. (1984): Siliclastic Shelf Sediments (Siemers, C.T. y Tillman, R.W. Eds). *Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publi.*, 34:25-36.

Van Andel, T.H. y Lianos, N. (1984): *Quater. Res.*, 22:31-45.