

## Variaciones del nivel del mar: Estadios isotópicos 7, 5 y 1 en las costas peninsulares (S y SE) e insulares españolas

### *Sea-level changes: Isotopic stages 7, 5 and 1 in the spanish peninsular (S and SE) and insular coasts*

- |                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| * C. Zazo <sup>(1)</sup>            | * J. Lario <sup>(1)</sup>   |
| * J.L. Goy <sup>(2)</sup>           | * T. Bardaji <sup>(5)</sup> |
| * C. Hillaire-Marcel <sup>(3)</sup> | * L. Somoza <sup>(2)</sup>  |
| * C.J. Dabrio <sup>(4)</sup>        | * P.G. Silva <sup>(2)</sup> |
| * M. Hoyos <sup>(1)</sup>           |                             |

{1) Dpto. Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, CSIC, José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid (España).

(2) Dpto. Geología, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca (España).

(3) GEOTOP, Université du Québec á Montreal, CP 8888, Montreal H3C 3P8 (Canada).

(4) Dpto. Estratigrafía, Facultad de Geología, Universidad Complutense de Madrid, 28048 Madrid (España).

(5) Dpto. Geología, Universidad de Alcalá, 28871 Alcalá de Henares, Madrid (España).

**RESUMEN:** El registro de altas paradas del nivel del mar desde ca.200 ka, considerados como globales, se observan en nuestros litorales tanto peninsulares como insulares en forma de unidades morfosedimentarias marinas que, dependiendo del factor tectónico y de la distancia al área fuente de sedimento a la costa, consisten en playas, complejos de isla barrero-lagoon, fan deltas, etc.

Cartografías de detalle, medidas isotópicas de Th/U, C<sup>14</sup> y O<sup>18</sup>/O<sup>16</sup>, análisis morfosedimentarios y faunísticos, demuestran la presencia en nuestras costas de depósitos emergidos correspondientes a los estadios isotópicos 7, 5 y 1.

Estadio isotópico 7, con al menos tres altas paradas del nivel del mar correspondientes a los subestadios 7b/a y 7a con *S.bubonius* (Canarias, Almería), sin fauna cálida en Gibraltar; y al subestadio 7c en la costa de Málaga.

Estadio isotópico 5 (Ultimo Interglacial), con cuatro altas paradas del nivel del mar, correspondientes a los subestadios 5e (dos), 5c y 5a. Es durante este periodo cuando la fauna senegalesa se desarrolla ampliamente en el Mediterráneo. En las costas atlánticas, con excepción de las Islas Canarias, la fauna es también cálida pero con ausencia de *S.bubonius*.

Estadio isotópico 1 (Presente Interglacial), el máximo Holoceno se produce hacia los 6.500 yBP, desde ese momento a la actualidad se registran dos épocas fuertes de progradación costera, al menos en el área de conexión Atlántico-Mediterráneo, que parecen estar en relación con still-stands, separadas por un gap de no progradación o mayor erosión entre ca.2.700 yBP y 2.400 yBP.

**Palabras clave:** Península Ibérica, Islas Canarias, Islas Baleares, Ultimo Interglacial, Presente Interglacial, altas paradas del nivel del mar, neotectónica, medicas isotópicas, estadios isotópicos.

**ABSTRACT:** The record of highstands supposed to be of global reach since ca.200 ky is observed in the Spanish coast, both peninsular and insular, as marine morphosedimentary units that, depending on the tectonic factor and distance to points of sediment input to the shoreline, consist of beaches, barrier-island/lagoon systems, fan deltas, etc.

Detail mapping, U/Th, C<sup>14</sup> and O<sup>18</sup>/O<sup>16</sup> isotopics measurements demonstrate the existence of raised (emergent) deposits corresponding to isotopic stages 7, 5 and 1.

Isotopic stage 7: there are at least three highstands corresponding to substages 7b/a and 7a either containing *Strombus bubonius* (Canary Island, Almería), or without warm fauna (Gibraltar), and substage 7c (coast of Málaga).

Isotopic stage 5 (Last Interglacial): with four highstands corresponding to substages 5e (two highstands), 5c and 5a. During this stage the Senegalese fauna with *S.bubonius* flourished in the Mediterranean Sea. Deposits of this sub stage indicative of warm waters are also present in the Atlantic coasts, but no *S.bubonius* was found so far.

Isotopic stage 1 (Present Interglacial): The Holocene maximum occurred ca.6,900 yBP. Since that time to Present, there is record of two phases of enhanced coastal progradation, observed at least in the área linking the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. The phases seem to be related to still-stands separated by a gap representing no progradation or increase erosion between ca.2,700 and 2,500 yBP.

**Key words:** Iberian Peninsula, Canary Island, Baleares Island, Last Interglacial, Present Interglacial, higstand sea-level, neotectonics, isotopic measurement, isotopes stages.

**Fe de erratas:**

- Pag.26.

Donde dice:... tres altas paradas del nivel del mar correspondientes a los subestadios 7b/a y a 7a con...  
Debe decir:... tres altas paradas del nivel del mar correspondientes dos de ellas al subestadio 7a con...

- Pag.27.

Donde dice:...are at least three highstands corresponding to substages 7b/a and 7a either containing...  
Debe decir:...aré at least three highstands corresponding two with substage 7a either containing...

- Pag.30.

Donde dice:...destacar: *Conus testudinarus*, *Arca noae*...  
Debe decir:...destacar: *Conus testudinarus*,...

Donde dice:...(subestadio isotópico 7b/a)...  
Debe decir:...(subestadio isotópico 7a)...

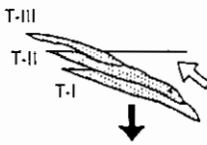
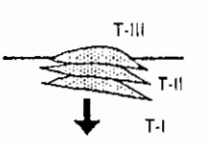
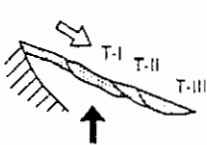
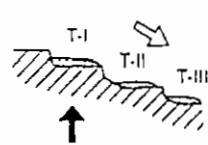
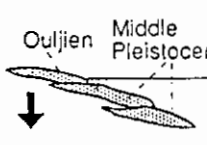
BASINS/SUBBASINS External boundary (marine-terrestrial transition)	MEDITERRANEAN (microtidal)				ATLANTIC (mesotidal)
	ALICANTE - MURCIA		MURCIA	ALMERIA - NIJAR	BAY OF CADIZ
	MAR MENOR	LA MATA	COPE	DALIAS	
SEDIMENTARY MODELS	BARRIER ISLAND - LAGOON	BARRIER ISLAND - LAGOON  ↓ ASSOCIATED BEACHES	FAN DELTAS  ↓ ALLUVIAL FANS	GRAVEL BEACHES  ↓ COLLUVIUM	BARRIER ISLAND - LAGOON
DISTANCE TO SOURCE AREA (ALONG SHORE)	LONG	MEDIUM	SHORT	LONG	LONG
TECTONIC TREND	HIGH SUBSIDENCE	LOW SUBSIDENCE	MODERATE UPLIFT, TILTING	MODERATE - HIGH UPLIFT	LOW SUBSIDENCE
GEOMETRY	COASTAL ONLAP 	STACK 	OFFLAP 	STAIRCASE 	COASTAL ONLAP Ouljien Middle Pleistocene 
RATE OF VERTICAL MOVEMENT (Pleistocene) Deduced from Tyrrhenian T-III levels	← SUBSIDENCE → -8 cm/Ky (Late Pleistocene)		← UPLIFT → +2.25 cm/Ky (Late Pleistocene)		+ W      E - SUBSIDENCE → Ouljien (100 Ky = T-III) -1 cm/Ky (Late Pleistocene)

Figura 1. Dispositivo geométrico y ambientes sedimentarios de las unidades marinas del Último Interglacial en relación con el factor tectónico y distancia al área fuente de sedimentos. La tasa de movimiento vertical está referida a los últimos 100 ka. (según Zazo et al., 1993a).  
Geometries and sedimentary models of Late Interglacial marine units as related to tectonics and distance to the source of sediments. Rate of vertical movement deduced from 100 ka marine unit (after Zazo et al., 1993a).

## EL REFLEJO DE LAS VARIACIONES GLOBALES DEL NIVEL DEL MAR EN LOS DEPOSITOS COSTEROS

Ambientes sedimentarios y dispositivo geométrico-espacial de las unidades morfosedimentarias marinas correspondientes a altas paradas del nivel del mar. (Figura 1).

Existen dos factores que pueden considerarse como los responsables de los distintos escenarios que se observan en la zona costera. El factor tectónico y la distancia a lo largo de la costa del área fuente de sedimentos (Zazo *et al.*, 1990; 1993a). En zonas con tendencia a la elevación, y cuando la tasa es del orden de 7,5 cm/ka, las unidades morfosedimentarias se disponen encajadas, situándose la más antigua a mayor altura que el resto. Si el área fuente de sedimentos se localiza a gran distancia, las unidades serán playas que morfológicamente dan terrazas, cuyo escarpe estará fosilizado por pequeños coluviones o dunas. Tal es el caso de la costa sur de Almería.

Cuando la tasa de elevación es menor, del orden de 2 cm/ka, las unidades morfosedimentarias se disponen en offlap (solapamiento), situándose la más antigua a mayor altura. Si el área fuente de sedimentos está muy próxima, se desarrollan fan-deltas que alternan con abanicos aluviales. Este sería el caso de la Cuenca de Cope (Murcia).

En áreas con tendencia al hundimiento, si la tasa es del orden 1-2 cm/ka, los diferentes episodios marinos se disponen en superposición, quedando el más antiguo a más baja cota en relación con los más recientes. Las unidades morfosedimentarias están representadas por complejos de islas barrera-lagoon, con playas asociadas cuando la distancia al área fuente de sedimentos es media, como ocurre en la Laguna de la Mata (Alicante). Con igual tasa de hundimiento, pero con mayor distancia al área fuente de sedimentos, no existirían playas asociadas, como es el caso del tramo costero entre Rota y Puerto de Sta. María (Cádiz).

Cuando las tasas de hundimiento son elevadas, 8 cm/ka, las unidades morfosedimentarias están constituidas por sistemas de islas barrera-lagoon con dispositivo en onlap, de tal forma que las unidades más antiguas no solo están a menos cota que las más recientes, sino que además estas últimas penetran más hacia tierra adentro, como en el Mar Menor y en el Ovalo de Valencia.

Del análisis cartográfico, morfosedimentario y de medidas de Th/U llevadas a cabo en el litoral peninsular en relación con la situación actual de la paleolínea de costa de ca. 100 ka, correspondiente al Último Interglacial, se deduce que la zona que presenta una mayor tendencia a la elevación corresponde al área del Estrecho de Gibraltar, con una tasa de 21,5 m/ka (Zazo y Goy, 1989), fenómeno éste que se registra de forma casi simétrica en la costa africana del Estrecho (Cadet *et al.*, 1978).

## LOS EPISODIOS MARINOS CORRESPONDIENTES A LOS ULTIMOS 200 Ka.

### Migraciones faunísticas a través del Estrecho de Gibraltar

Dentro de las costas españolas, tanto peninsulares como insulares, las altas paradas del nivel del mar (highstands sea-level) contemporáneas con los episodios considerados de carácter global que de una forma más continua se registran, son los correspondientes a los estadios isotópicos 7 (249-187 ka), 5 (127-73 ka) y 1 (11 ka-actual).

Los dos primeros se caracterizan porque sus depósitos contienen fauna cálida o "fauna senegalesa" (Figura 2) que procedente del Africa Ecuatorial penetró en el Mediterráneo vía el Estrecho de Gibraltar en una época en que la corriente fría de las Islas Canarias seguía una trayectoria distinta a la actual, situándose más hacia el oeste, y no siendo efectivo el upwelling que actualmente se registra en la costa nor-africana (Zazo *et al.*, 1989).

Esta fauna cálida está representada fundamentalmente por *Strombus bubonius*, que constituye la especie más característica, y un cortejo acompañante, en el que cabe destacar: *Conus testudinarus*, *Arca noae*, *Cymathium dolarium* y *Cantharus viverratus*, especies todas ellas extinguidas a partir del Ultimo Glacial en las costas españolas, tanto mediterráneas como atlánticas.

Datos de paleotemperaturas a partir de análisis  $O^{18}$  llevadas a cabo en las conchas de *Strombus* procedentes de yacimientos de Tunicia y Mallorca (Cornu *et al.*, 1993) sugieren una temperatura media superficial del agua del Mediterráneo occidental del orden de  $3-7^{\circ}C$  más alta que la actual. La primera cifra, la más lógica según los autores, sería teniendo en cuenta cambios en la salinidad de la superficie del agua con relación a la actual.

Este mismo tipo de análisis fue realizado en la región de Almería (Bonadonna *et al.*, 1986) en fauna recogida sobre las terrazas marinas del Plioceno superior, Pleistoceno inferior y medio y en las que contenían *Strombus*, siendo los valores de  $\delta O^{18}$  de los depósitos pre-Tirrenienses más altos que los correspondientes a las terrazas con *Strombus*, en los que el valor de  $\delta O^{18}$  era 0%, indicando para ese momento una temperatura media del agua superficial del mar semejante a la actual.

### Los niveles marinos correspondientes al estadio isotópico 7

Se registran como terrazas marinas en las Islas Canarias (Fuerteventura), conteniendo *S.bubonius*. Las edades obtenidas con análisis de Th/U (Zazo *et al.*, 1993b) detectan la presencia de dos oscilaciones del nivel del mar, una a  $222\pm 10$ ka (subestadio isotópico 7b/a) y otro a  $178\pm 3$  ka (subestadio isotópico 7a).

En la costa de Almería, Alicante y Murcia está muy bien representado el subestadio 7a de 180 ka, con escasos ejemplares de *S.bubonius*, que en este área es conocido como episodio Tirreniense I (Goy *et al.*, 1986; Goy *et al.*, 1993a).

Por último, en Gibraltar y en la costa de Málaga, a pesar de la ausencia de fauna cálida, las medidas llevadas a cabo con Th/U confirman la presencia de terrazas marinas correspondientes al subestadio 7a en el primer caso y 7c en el segundo.

## Los niveles marinos correspondientes al estadio isotópico 5.

### Ultimo Interglacial

Con carácter global se considera que a lo largo del Cuaternario tan solo durante esta época (subestadio 5e) el nivel del mar se situaba por encima del actual, calculándose en unos 5 m. el desnivel en áreas estables.

Este evento marino se registra ampliamente en todas las costas peninsulares y excepcionalmente en las del S y SE, así como en los archipiélagos de Canarias y Baleares.

Desde el punto de vista faunístico se produce una eclosión de la fauna "senegalesa" en el Mediterráneo, mientras que en las costas peninsulares atlánticas, por cuestiones paleoceanográficas, tan solo se registra parte de la fauna acompañante del *S.bubonius*, cuyas larvas, en su paso hacia el Mediterráneo, no llegaban a convertirse en individuos adultos, por lo que no se encuentran fósiles.

Por lo anteriormente expuesto, la nomenclatura de los episodios marinos correspondientes al Ultimo Interglacial es diferente según las cuencas: Tirreniense en el Mediterráneo, asociado a la presencia de *S.bubonius*; Ouljiense en las costas atlánticas de Huelva-Cádiz (por su similitud con los depósitos homónimos de la costa marroquí); y Jandiense en las Islas Canarias (Meco *et al.*, 1986), donde sí aparece *S.bubonius*.

El registro más completo se observa en las Islas Baleares, donde durante el Ultimo Interglacial se registran cuatro terrazas marinas fósiles, excepto la más reciente, todas contienen *S.bubonius*. Las dos más antiguas están asociadas al subestadio isotópico 5e, datadas en 147 ka y 128 ka (Goy *et al.*, 1993a; Hillaire Marcel *et al.*, 1986; Goy *et al.*, 1993b). La siguiente terraza corresponde al subestadio isotópico 5c, datado en 100 ka, y se trata de la unidad que de forma más continua a lo largo de la costa. Por último los depósitos correspondientes al subestadio isotópico 5a, datado en 85-75 ka, caracterizan la desaparición parcial de la fauna cálida (Cuerda, 1989), aunque el *S.bubonius* pervivió en nichos ecológicos determinados (Almería, Alicante).

## Los niveles marinos correspondientes al estadio isotópico 1. Presente Interglacial

El ascenso del nivel del mar, que de forma global se produce a partir del Máximo Glacial (ca, 18 ka) alcanza la posición actual, o ligeramente superior, en las costas españolas, ca. de los 6.500 yBP (Zazo et al., 1994).

Numerosas dataciones de  $C^{14}$  han sido llevadas a cabo en el sur Peninsular, en particular en los sistemas de flechas litorales atlánticas y mediterráneas, con el fin de deducir periodicidades de erosión/progradación costera a medio y corto plazo.

Del análisis cartográfico, sedimentológico y de las dataciones de  $C^{14}$  de estos sistemas morfosedimentarios (Zazo et al., 1994; Lario et al., en prensa) (figura 3) se deduce que desde el máximo Holoceno a la actualidad existen dos épocas de mayor progradación costera, una entre ca. 6.900-2.700 yBP y otra entre ca. 2.400 yBP-actualidad, separadas por un gap entre ca. 2.700-2.400 yBP, que representaría una época de mayor erosión.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido subvencionado por los proyectos de la DGICYT PB92-0023, PB92-0282 y por el proyecto de la Comunidad Europea CE PL93-2457 (CSIC 769F). Este trabajo forma parte del proyecto 367 del IGCP.

### BIBLIOGRAFIA

Bonadonna, F.P.; Goy, J.L.; Leone, G. y Zazo, C. (1986). Attempt of Almeria marine Quaternary terraces correlation of stable isotope data. In: Lopez Vera (ed.) *Quaternary climate in Western Mediterranean*, UAM, 391-404.

Cadet, J.P.; Fourniguet, J.; Gigout, M.; Guillemin, M. y Pierre, G. (1978). La neotectonique du littoral de l'arc de Gibraltar et des partout de la mer d'Alboran. *Quaternaria*, XX, 185-202.

Cornu, S.; Pätzold, J.; Bard, E.; Meco, J. y Cuerda, J. (1993). Paleotemperature of the Last Interglacial period based on  $^{18}O$  of *Strombus bubonius* from the western Mediterranean sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 103, 1-20.

Cuerda, J. (1989). *Los tiempos cuaternarios en Baleares*. Dirección Gral. de Cultura, Governo Balear, 305 pp.

- Goy, J.L.; Hillaire-Marcel, C.; Zazo, C. y Cuerda, J. (1993a). The Last Interglacial in the Balearic Islands: Morphosedimentary records and neotectonics implications. *INQUA MBSS Newsletter*, 15, 505-541.
- Goy, J.L.; Zazo, C.; Bardaji, T.; Somoza, L.; Causse, C. y Hillaire Marcel, C. (1993b). Eléments d'une chronostratigraphie du Tyrrhénien des régions d'Alicante-Murcie, Sud-Est de l'Espagne. *Geodinamica Acta*, 6, 2, 103-119.
- Goy, J.L.; Zazo, C.; Hillaire Marcel, C. y Chause, C. (1986). Stratigraphie et Chronologie (U/Th) du Tyrrhénien du SE de l'Espagne. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 2, 71-82.
- Lario, J.; Zazo, C.; Dabrio, C.; Somoza, L.; Goy, J.L.; Bardaji, T. y Silva, P.G. (1994). Record of recent Holocene sediment input on spit bars and deltas of South Spain. *Journal of Coastal Research* (in press)
- Meco, J.; Pomel, R.S.; Aguirre, E. y Stearns, C.E. (1986). Depositos marinos del Cuaternario reciente de Canarias. In: J. Meco and N. Petit Maire (eds) *El Cuaternario reciente de Canarias*, 6-42.
- Somoza, L. (1989). *El Cuaternario litoral entre Cabo de Palos y Guardamar (Murcia-Alicante). Las variaciones del nivel del mar en relación con el contexto geodinámico*. Tesis Doctoral, UCM, 352 pp.
- Zazo, C. y Goy, J.L. (1989). Sea-level changes in the Iberian Peninsula during the last 200.000 years. In: D.B.Scott et al. (eds.) *Late Quaternary sea-level correlation and applications*, Kluwer Academic Publisher, 27-39.
- Zazo, C.; Goy, J.L.; Dabrio, C.; Bardaji, T.; Somoza, L. y Silva, P.G. (1993a). The Last Interglacial in the Mediterranean as a model for Present Interglacial. *Global and Planetary Change*, 7, 109-117.
- Zazo, C.; Goy, J.L. y Meco, J. (1989). Highstand of sea level in the last 100.000 years in the littoral of Cadiz (Spain). *Int.Symposium P.200 IGCP*, Ipoh, Malaysia.
- Zazo, C.; Goy, J.L.; Somoza, L.; Dabrio, C.J.; Belluomini, G.; Improta, S.; Lario, J.; Bardaji, T. y Silva, P.G. (1994). Holocene sequence of sea-level fluctuations in relation to climatic trends in the Atlantic-Mediterranean linkage coast. *Journal of Coastal Research*, 10 (3).
- Zazo, C.; Hillaire- Marcell, C.; Hoyos, M.; Ghaleb, B.; Goy, J.L. y Dabrio, C. (1993b) The Canary Islands, a stop in the migratory way of *Strombus bubonius* towards the Mediterranean around 200 ka. *INQUA MBSS Newsletter*, 15, 7-11.
- Zazo, C.; Somoza, L.; Goy, J.L. y Bardaji, T. (1990). Controlling factors of the marine continental relationships in the Quaternary deposits of the Atlantic and Mediterranean Betic littorals (Spain). *Ext.Abst.Int.Symp.Quaternary Shorelines: Evolution Processes and Future Changes*. Annu.Meet.IGCP 274, La Plata, 1990, 72-78.



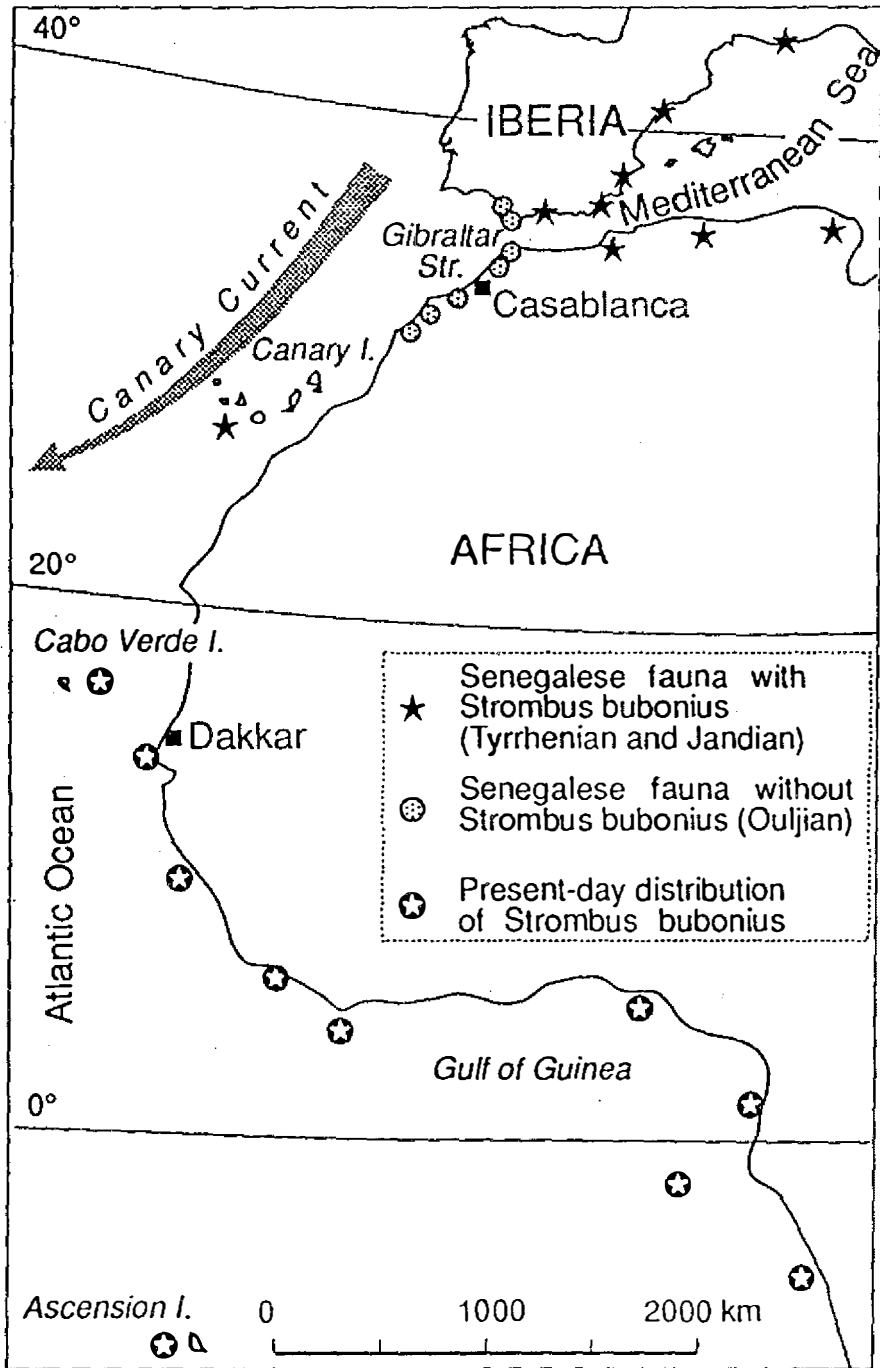
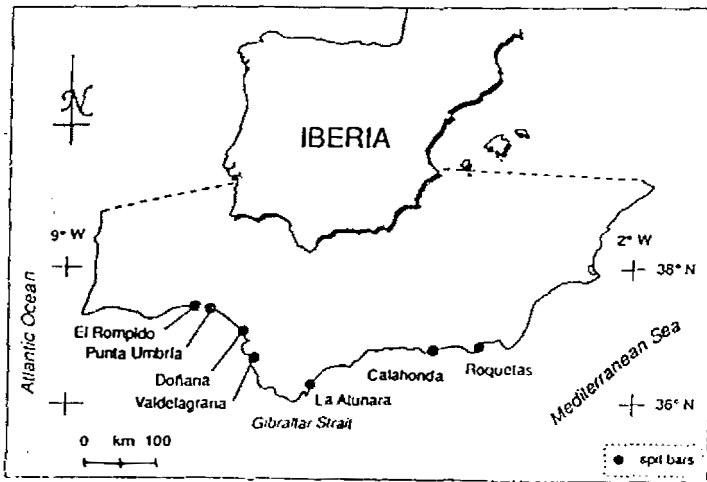


Figura 2. Distribución de la fauna senegalesa durante los episodios isotópicos 7 y 5 y en la actualidad (según Zazo et al., 1993b, modificada).

Distribution of senegalese fauna during 7 and 5 isotopic stages, and present distribution (after Zazo et al., 1993b, modified).



Localidad	Laboratorio <sup>(1)</sup> nº de muestra	Edad convencional (yr.BP.)	Edad calibrada (yr.BP.)
<b>ATLANTICO</b>			
1. El Rompido	Roma R-2203	2605 ± 50	2335-2175
	Roma R-2207	1440 ± 50	1050-910
	Roma R-2180	1875 ± 50	1520-1300
	Roma R-2179	1460 ± 50	1095-905
2. Doñana	Roma R-2205	2185 ± 50	1870-1680
	Roma R-2185	1860 ± 50	1510-1295
	Roma R-2210	2010 ± 50	1680-1480
	Roma R-2204	1490 ± 50	1120-930
	Roma R-2187	1790 ± 50	1420-1250
	Roma R-2188	1850 ± 50	1510-1290
3. Valdelagrana	Roma R-2208	3145 ± 50	3040-2800
	Roma R-2181	2270 ± 50	1990-1750
	Roma R-2186	2120 ± 50	1820-1560
	Roma R-2182	2320 ± 50	2050-1820
<b>MEDITERRANEO</b>			
4. La Alunara	UQM PG-14	3140 ± 120	3329-2702
	UQM PG-13	3200 ± 110	3301-2741
	UQM PG-12	2675 ± 110	2700-2086
5. Calahonda	LGO LGQ-1026	2720 ± 180	2831-1959
	LGO LGQ-1027	800 ± 190	704-present
	LGO LGQ-1028	720 ± 190	650-present
	LGO LGQ-1025	1520 ± 170	1383-700
6. Roquetas	UQM R-8	6450 ± 100	7150-6710
	UQM R-7	3600 ± 100	3710-3270
	UQM R-10	2150 ± 400	2730-900
	UQM R-2	1870 ± 35	1490-1320

(1) UQM-GEOTOP, Université du Québec à Montréal (Canada); Roma, Centro di Studio per la Geochimica Applicata alla Stratigrafia Recente, Università "La Sapienza", Roma (Italia); LGQ-Laboratoire du Géologue du Quaternaire, Marseille, Luminy (France)

Figura 3. Mapa de localización de los sistemas de flechas litorales atlánticas y mediterráneas sobre los que se han realizado las medidas de C<sup>14</sup> indicadas en la Tabla I. Las muestras de cada sistema de flecha litoral están ordenadas de tierra (arriba) a mar (abajo) (según Zazo et al., 1994, modificado, y Lario et al, en prensa).

Location map of the systems of spit-bars. The samples and C<sup>14</sup> measurements are indicated on Table I. Samples from every spit-bar system are listed from land (above) to sea (below) (after Zazo et al., 1994, modified, and Lario et al., in press).