

Niveles escalonados de cuevas marinas cuaternarias en la costa oriental de Gibraltar

Quaternary staircased sea caves in the eastern coast of Gibraltar

J. Rodríguez Vidal y L.M. Cáceres Puro

Universidad de Huelva, Departamento de Geodinámica y Paleontología, Campus del Carmen, Avda. de las Fuerzas Armadas s/n, 21071 Huelva. jrvidal@uhu.es.

ABSTRACT

Several sets of staircased Quaternary marine deposits can be observed along the Gibraltar coast ranging from 1 to 210 m above the present mean sea level. Geomorphological mapping establishes, from the relationship between shore, scree and dune sedimentary formations, five main morphotectonic steps on the Rock: marine terraces between 1 and 25 m, 30-60 m, 80-130 m, 160-210 m, and above. Each terrace level and its shore linked morphologies is backed by a steep relict sea cliff with sea caves and notches along its landward margin.

Staircased sea cave levels are representative of Quaternary highstand position. Inside the caves remains of both notch and boring levels are found. We have distinguished three main sea cave levels at the Eastern flank of the Rock: A, at present sea level; B, +55 m; C, +180 m.

Key words: rocky coast, sea cave, tectono-eustasy, Quaternary, Gibraltar.

Geogaceta, 37 (2005), 147-150
ISSN:0213683X

Introducción

El Peñón de Gibraltar es una pequeña península rocosa de unos 6 km² de superficie, alargada en dirección meridiana unos 5,2 km y de 1,6 km de ancho, con perfil asimétrico, acantilado al Este y más tendido al Oeste (Fig. 1). Su composición es de carbonatos y margas, asignadas geológicamente al Grupo Gebel Tarik (Rose y Rosenbaum, 1991) y dividida en tres formaciones: Margas de Little Bay, Calizas de Gibraltar y Margas de Catalan Bay. Todo el conjunto está fracturado en un juego de diaclasas y fallas con orientaciones NE-SW y NW-SE, según una clara componente transcurrente (Rose y Rosenbaum, 1994), consecuencia de la colisión tectónica entre las placas africana y europea.

El relieve de Gibraltar está condicionado por dos grupos de factores y procesos (Rodríguez-Vidal y Gracia, 1994, 2000): la estructura tectónica, que condiciona su forma, y los procesos marinos ligados a las fluctuaciones eustáticas durante el Cuaternario. La conservación de los depósitos y modelados de edad cuaternaria ha sido posible gracias a la rápida litificación de los sedimentos, ya que las aguas de escorrentía son muy ricas en calcio.

El flanco oriental del Peñón está y ha estado expuesto a las tormentas de levante, que proceden del Mediterráneo occidental y Mar de Alborán, con un fetch de más de

1500 km (Flemming, 1972). Esto significa que la ladera Este ha estado sujeta a una acción erosiva mucho más intensa que la Oeste, favoreciendo un marcado y rápido retroceso costero, además de una variada gama de modelados.

Las fluctuaciones del nivel marino durante el Cuaternario y los sucesivos pulsos de ascenso tectónico han conformado unas laderas, Este, preferentemente, Norte y Sur, con niveles escalonados de morfologías costeras erosivas, entre las que sobresalen acantilados y cuevas marinas.

Modelo tectono-eustático

Los trabajos realizados por Rodríguez-Vidal y Gracia (1994 y 2000) y Rodríguez-Vidal *et al.* (2001 y 2004) demuestran la existencia de un amplio cortejo de depósitos y modelados erosivos marinos, que se escalonan altitudinal y temporalmente, a lo largo de las laderas del Peñón de Gibraltar, originando "acantilados compuestos" (composite cliffs).

La cartografía geomorfológica de estos depósitos, y su relación espacio-temporal, permite diferenciar cinco peldaños morfotectónicos (MTU) principales (Figs. 1 y 2): terrazas marinas entre 1 y 25 m (p.e. cuevas de la playa del Gobernador), 30 y 60 m (p.e. cuevas de Monkey), 80 y 130 m (p.e. plataforma de Windmill Hill), 180 y 210 m (p.e. cueva de Martin) y, probable-

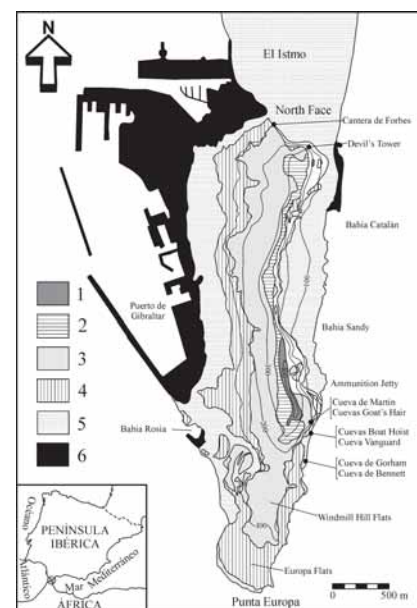


Fig. 1.- Mapa morfo-tectónico esquemático de la península de Gibraltar. La equidistancia entre curvas de nivel es de 100 m. Leyenda: 1 a 5, unidades morfotectónicas (MTU_{1 a 5}) de más antigua a reciente, separadas por un escarpe o paleoacantilado. 6, terreno ganado al mar.

Fig. 1.- Simplified morphotectonic map of the Gibraltar Peninsula. Contours at 100 m intervals. Legend: 1 to 5, staircased morphotectonic units (MTU_{1 to 5}), older to recent, separated by an escarpment or palaeocliff. 6, Reclaimed land.

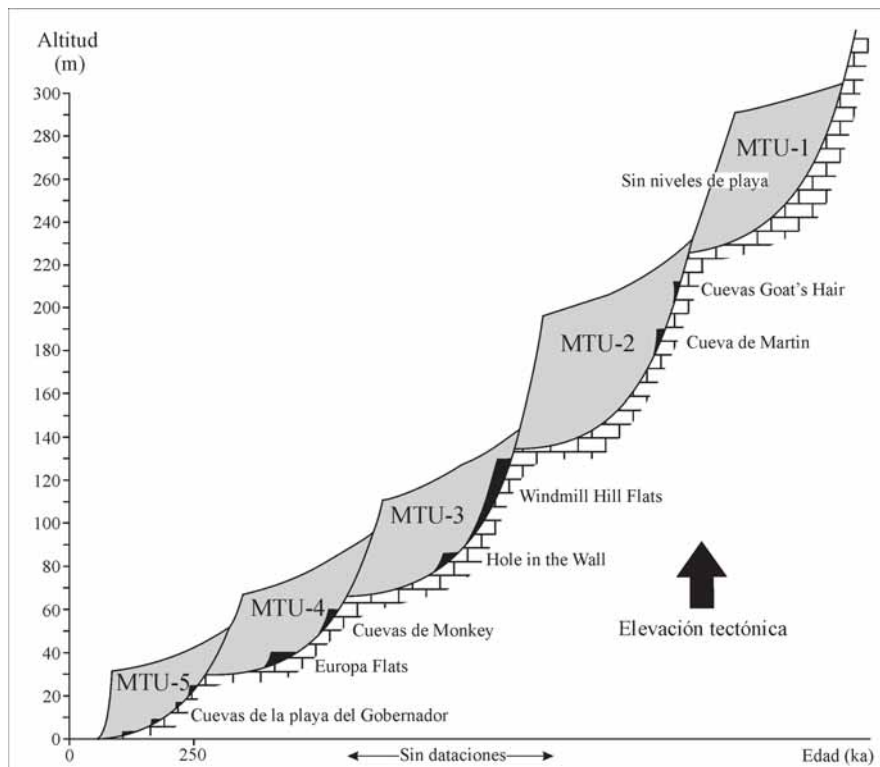


Fig. 2.- Acantilados compuestos de la costa oriental de Gibraltar. Cada peldaño constituye una unidad morfotectónica (MTU), con un completo registro morfosedimentario. Se distinguen cinco de estos escalones, en los que se indican algunos lugares con depósitos marinos que actúan como referencia.

Fig. 2.- Composite cliffs on the Eastern coast of Gibraltar. Each shelf separates a morphotectonic unit (MTU) with a complete morphosedimentary record. Five morphotectonic units are distinguished. In each unit there examples of marine terraces that act as a reference.

mente, otros depósitos a mayor altitud, aún no verificados. Es evidente, que los peldaños morfotectónicos más altos son más antiguos que los de cotas inferiores, pudiendo abarcar casi toda la historia del Cuaternario.

Existe una clara vinculación entre cambios eustáticos y tectónicos de la línea de costa y sus modelados resultantes. Cuando la elevación tectónica excede a la velocidad de ascenso del nivel del mar, o cuando el nivel descende, entonces los acantilados costeros quedan colgados y preservados en la ladera como una forma relictiva; en caso contrario, los acantilados sufren un fuerte retroceso erosivo o, incluso, quedan sumergidos.

En los últimos 100 ka (Goy *et al.*, 1995), las tasas de elevación relativa del nivel del mar han variado entre 0.04 y 0.06 mm/año, por lo que los acantilados y las playas han sido elevadas rápidamente. Las cotas que actualmente alcanzan en Gibraltar los niveles marinos de los estadios isotópicos (OIS) 7, 5 y 1, comparadas con las tasas anteriormente reseñadas, permiten deducir velocidades máximas de elevación de 0.33 ± 0.05 mm/año, entre 200 ka y hasta al menos 250 ka, y bastante menores (0.05 ± 0.01 mm/año) desde 200 ka hasta la actualidad (Rodríguez-Vidal *et al.*, 2004).

Modelados costeros erosivos

En las costas rocosas, como la de Gibraltar, la situación relativa del nivel del mar establece la porción de litoral que está sometida a los procesos marinos y a los procesos continentales. La evolución de las laderas y del sistema kárstico también están relacionadas con los cambios del nivel del mar, ya que éste es el nivel de base para todos ellos; es decir, el nivel freático y marino define una superficie morfogenética de referencia, en este tipo de costa rocosa aislada, con la siguiente secuencia de modelados: plataforma de abrasión – cueva/balma – acantilado – ladera. Esta secuencia puede repetirse temporalmente a lo largo de la vertiente montañosa, generando superposiciones erosivas o escalonamientos de modelados.

El desarrollo de una plataforma de abrasión en rocas resistentes, y su acantilado acompañante, requieren de una serie de condicionantes litológicos, climáticos y dinámicos marinos. El retroceso del acantilado va acompañado de un socave en su base, resultado de la acción del oleaje y de la actividad de organismos que, dependiendo de las fluctuaciones del nivel del mar, pueden elaborar una o varias balmas.

La cara oriental y septentrional de Gibraltar se ha visto sometida a fuertes tormentas de levante, que han favorecido el desarrollo de plataformas de abrasión y acantilados durante el Cuaternario. La alta densidad de fracturas, en las calizas de este sector, también ha permitido el desarrollo de pequeñas ensenadas y cuevas marinas, ampliadas y modeladas por la acción del oleaje (Fig. 3).

El escaso desarrollo en profundidad de estas cuevas y siempre rectilíneo, el claro condicionamiento por fracturas verticales, su sección transversal en triángulo isósceles, los niveles de balmas que bordean sus paredes (con claras evidencias de bioerosión) y que han ido ampliando progresivamente la base original de la cueva, y los depósitos marinos en su interior y exterior, nos inducen a pensar en un origen exclusivamente marino.

Niveles escalonados de cuevas marinas

Según los últimos trabajos efectuados en el Peñón (Rodríguez-Vidal *et al.*, 2004), el nivel morfotectónico más elevado (MTU-1, Figs. 1 y 2) carece aún de depósitos claros que lo representen; sólo laderas erosivas y cantiles se reconocen en la cumbre de O'Hara's Battery, en torno a 400 m de altitud.

La unidad morfotectónica de cota inmediatamente inferior (MTU-2) es el nivel C de cuevas que hemos identificado (Fig. 3). No conserva plataformas de abrasión marina, pero sí depósitos de playa de cantos y una balma erosiva en las paredes de la cueva meridional de Goat's Hair, a 210 m de altitud. También en la cueva de Martin, a 180 m de altitud, se localizan varios niveles de playa arenosa y de cantos, ya estudiados por Rose y Hardman (2000).

Otro afloramiento en la cara Norte del Peñón, actualmente en fase de estudio, es el de Farringdon Battery, a 160 m de altitud, y que fue descubierto en 1942 por el Mayor R.W. Dawes, de la Royal Artillery. Este interesante depósito marino de arenas y cantos silíceos, de unos 3 m de espesor máximo, está adosado a un pequeño escarpe acantilado y reposa sobre una clara plataforma de abrasión, en ocasiones previamente karstificada.

La unidad morfotectónica MTU-3 tiene una escasa representación en los escarpes de la vertiente oriental del Peñón y, por tanto, no se observan claros acantilados de esta unidad ni niveles de cuevas; posiblemente porque sus cuevas y acantilados fueron continuados y reelaborados durante la siguiente unidad MTU-4. El mejor afloramiento se encuentra en la punta meridional de Gibraltar, en la conocida plataforma de Windmill

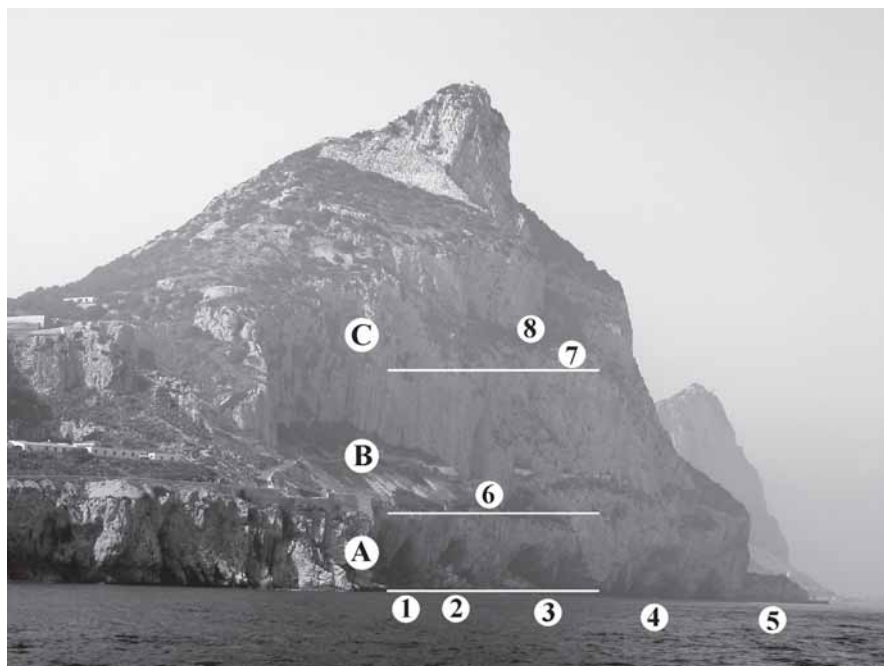


Fig. 3.- Acantilados compuestos y niveles de cuevas marinas en la vertiente oriental de Gibraltar. Se han diferenciado tres niveles de cuevas marinas: A, cuevas de Bennett (1), Gorham (2), Vanguard (3), Boat Hoist (4), y Ammunition Jetty (5); B, cuevas de Monkey (6); y C, cuevas de Martín (7) y Goat's Hair (8).

Fig. 3.- Composite cliffs and sea cave levels on the Eastern flank of Gibraltar. Three levels of sea caves are differentiated: A, with Bennett's Cave (1), Gorham's Cave (2), Vanguard Cave (3), Boat Hoist's Caves (4), and Ammunition Jetty Caves (5); B, with Monkey's Caves (6); and C, with Martin's Cave (7) and Goat's Hair Twin Caves (8).

Hill, entre 80 y 130 m de altitud, donde algunos autores del siglo XIX (Smith, Ramsay y Geikie, Alexander, y Brown) reconocieron depósitos marinos de muy escaso espesor. Nosotros hemos encontrado un pequeño afloramiento en la esquina SE de Windmill Hill Flats, a 100 m de altitud.

La unidad morfotectónica MTU-4 está claramente representada alrededor de todo el Peñón y la identificamos como el nivel B de cuevas marinas, con una cota basal aproximada de +55 m, que coincide con el depósito de playa localizado en Monkey's Cave (Figs. 3 y 4). Existen en esta zona otras cavidades que se localizan a una cota un poco más elevada, incluso que están ocultas o parcialmente cubiertas por las arenas eólicas fósiles de Monkey's Cave Sandstone (Rose y Hardman, 2000), cuya edad está en torno a 250 ka (Rodríguez-Vidal *et al.*, 2004). Gran parte de estas cavidades tienen un difícil acceso y fueron habilitadas, con edificaciones militares, durante la II Guerra Mundial. A pesar de todo ello, las cuevas tienen una morfología claramente marina y se ha podido distinguir un socave basal en relación con el nivel de +55 m.

La continuación de este nivel hacia el Sur es la amplia plataforma de Europa, donde todos los autores precedentes han encontrado algún tipo de depósito o evi-

dencia morfológica marina. La cueva marina más conocida es la de Beefsteak, a unos 60 m de altitud, donde el talud acumulativo cubre los posibles depósitos marinos; aunque aún pueden contemplarse casi 5 m de niveles brechíferos con intercalaciones de espeleotemas. La existencia de industrias líticas, macro y microfauna, además de dataciones de U/Th en fase de estudio, sólo nos permite avanzar que estamos en una secuencia del Pleistoceno Medio y Superior.

Hacia la cara Norte del Peñón, en Upper Forbes Battery, pueden también observarse algunos restos de paleoacantilados y balmas a +40 m, todo ello acompañado por gravas silíceas de playa, fosilizadas en su totalidad por un potente depósito de brecha de ladera.

El último escalón morfotectónico (MTU-5) en la costa emergida de Gibraltar está relacionado con los estadios isotópicos 7, 5 y 1 (Fig. 4). Sus terrazas marinas se localizan a 25-20 m, 17-15 m y 10 m (OIS 7), 5 m (OIS 5c), 2-1 m (OIS 5a), y 1,5 m.s.n.m. (OIS 1). Todas ellas representan situaciones interglaciales de altas paradas de nivel del mar (Hoyos *et al.*, 1994, Zazo *et al.*, 1994a), aunque algunas otras terrazas (OIS 3) están sumergidas en la costa oriental (Flemming, 1972).

Durante el estadio isotópico 7, perteneciente al Penúltimo Interglacial (250-

195 ka), se han datado terrazas marinas del subestadio 7e y 7a (Goy *et al.*, 1995; Lario, 1996), a cotas entre 25-20, 17-15 m y 10-7 m, respectivamente.

El Último Interglacial (OIS 5), entre 130 y 74 ka, está representado en Gibraltar por el subestadio 5e (132 ka y 125-117 ka). En Punta Europa, Hoyos *et al.* (1994) dataron un resto de terraza a 5,25 m (92,5 ka en el subestadio 5c), y en la cueva de Gorham a 1,0 m (81 ka, en el subestadio 5a).

Las terrazas marinas del estadio isotópico 3, entre 59 y 24 ka, no se encuentran emergidas. Sólo las formaciones eólicas y de ladera, vinculadas a ellas, se han datado en las cuevas de Gorham, Vanguard e Ibex, y en el abrigo de Devil's Tower, así como en los espelotemas de Gorham y de Punta Europa.

Los depósitos marinos holocenos (OIS 1) se relacionan con el alto nivel Flandriense, datado en las costas españolas en 6450 años BP (Zazo *et al.*, 1994b). A partir de ese momento se formaron las playas de Rosia Bay, Catalan Bay y Sandy Bay, entre otras, incluyendo las arenas del istmo (Rose y Rosenbaum, 1991).

Toda la costa oriental del Peñón y su continuación hacia Punta Europa, en el Sur, y hacia Forbes' Quarry, en el Norte, está plagada de evidencias de depósitos de playa y de morfologías erosivas marinas. Ahora bien, los acantilados con cuevas marinas y balmas vuelven a ser típicos de la costa oriental.

En la costa Norte, hoy inactiva por el istmo holoceno que la une al continente, se encuentran los yacimientos neandertales de Devil's Tower y Forbes' Quarry. El primero de ellos es una estrecha grieta marina, que no llegó a formar cueva, pero donde a su pie se depositó un nivel marino de cantos calizos a +8-9 m. La segunda es una antigua y pequeña cueva, abierta al mar, con niveles de balma a +9 m y +17 m.

En la costa meridional de Punta Europa, en la zona de Deadman's Beach, hay grietas y oquedades con depósitos marinos y kársticos, como Rich Sand's Cave, con evidencias marinas a +1 m, +3 m, +5 m, +8,5 m, +10 m y +11 m (Hoyos *et al.*, 1994).

La costa oriental del Peñón es la más rica y variada tanto en depósitos como en formas erosivas. Todas las cavidades de la zona de Governor's Beach (Fig. 3, nivel A) y su prolongación septentrional hacia Ammunition Jetty, junto con los acantilados intermedios que las separan, están labrados con socaves y balmas marinas a distintas alturas. El ejemplo más claro es el de la cueva de Gorham (Fig. 4), con balmas a todos los niveles descri-

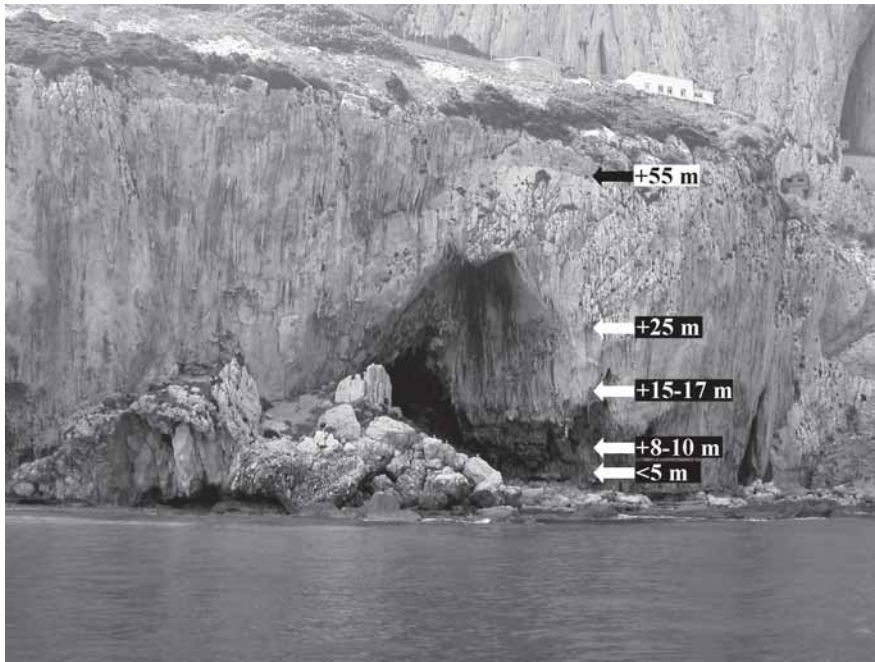


Fig. 4.- Niveles de balmas marinas en la cueva de Gorham y en los acantilados adyacentes. El nivel de +55 m es el depósito basal de playa de la unidad MTU-4, inmediatamente superior, y del nivel B de cuevas marinas en la zona de Monkey.

Fig. 4.- Notches levels marked in Gorham's Cave and the surrounding wall cliff. The level of +55 m is the basal shore deposit of upper MTU-4 and the sea caves B (Monkey's sector).

tos por distintos autores, en el interior y exterior de la cueva, que nos llevarían desde 250 ka hasta la actualidad:

Socave basal con balmas a +1, +3 y +5 m = 130-74 ka (OIS 5)

Socave intermedio con balmas a +8-10 m = 180 ka (OIS 7a)

Socave superior con balmas a +15-17 m y +25 m = ¿195-250 ka? (OIS 7e)

Las cuevas semisumergidas de Ammunition Jetty (Fig. 1), inicialmente descritas por Fa *et al.* (2001), se elaboran en una brecha caliza, consecuencia de un gran deslizamiento rocoso entre Sandy Bay y Catalan Bay. Sus niveles de balmas tienen cotas menores de 5 m, por lo que es de suponer que la avalancha se produjo entre 180 y 130 ka.

Conclusiones

El promontorio calizo de Gibraltar se ha visto afectado, durante el Cuaternario, por pulsos de elevación tectónica y ascensos del nivel marino. Estas altas paradas del nivel del mar han facilitado la elaboración de niveles de cuevas escalonadas, a favor de fracturas tectónicas subverticales.

Se han reconocido tres niveles de elaboración de cuevas marinas, relacionadas con otras tantas unidades morfotectónicas: nivel A, con la MTU-5; nivel B, con la MTU-4; y nivel C, con la MTU-2.

En cada una de estas cuevas se han evidenciado depósitos marinos y niveles de balmas erosivas con bioerosión, indicadores de la ampliación y modelación paulatina de las cavidades por la acción del oleaje, principalmente, y la actividad de organismos.

El origen de cada nivel de cuevas se relaciona con el inicio de su nivel morfotectónico correspondiente, y su evolución y ampliación posterior (en profundidad y en desarrollo vertical) dependen de las distintas posiciones de altas paradas del nivel del mar que lo han modelado. Esto significa, para el caso de la unidad más reciente MTU-5, que el inicio de sus cuevas más antiguas tiene una edad de 250 ka; aunque es evidente que los depósitos que rellenan su interior son más jóvenes, sobre todo vinculados a los restos de playas localizadas en su base (OIS 5 y 1) o sumergidas (OIS 3).

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto "PalaeoMed" de la EU Interreg IIIB MEDOC: 2002-02-4.1-U-048, el Gobierno de Gibraltar y el Plan Propio de la Universidad de Huelva. Es una contribución al IGCP 495 (Quaternary Land-Ocean interactions: driving mechanisms and coastal responses).

Referencias

Fa, D., Finlayson, G. y Lario, J. (2001). *Boletín SEDECK*, 2, 82-83.

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

Goy, J.L., Zazo, C., Silva, P.G., Lario, J., Bardají, T. y Somoza, L. (1995). *IV Coloquio Internacional para el enlace fijo del Estrecho de Gibraltar*, 51-69, Sevilla. SECEG.

Hoyos, M., Lario, J., Goy, J.L., Zazo, C., Dabrio, C.J., Hillaire-Marcel, C., Silva, P.G., Somoza, L. y Bardají, T. (1994). En: *Gibraltar during the Quaternary* (J. Rodríguez-Vidal, F. Díaz del Olmo, J.C. Finlayson y F. Giles, Eds.). AEQUA Monografías, 2, 36-48.

Lario, J. (1996). *Último y Presente Inter-glacial en el área de conexión Atlántico-Mediterráneo (Sur de España). Variaciones del nivel del mar, paleoclima y paleoambientes*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense Madrid, 269 p.

Rodríguez-Vidal, J y Gracia, F.J. (1994). En: *Gibraltar during the Quaternary* (J. Rodríguez-Vidal, F. Díaz del Olmo, J.C. Finlayson and F. Giles, Eds.). AEQUA Monografías, 2, 12-20.

Rodríguez-Vidal, J y Gracia, F.J. (2000). En: *Gibraltar during the Quaternary* (J.C. Finlayson, G. Finlayson and D. Fa, Eds.). Gibraltar Government, Heritage Publications, Monograph 1, 31-38.

Rodríguez-Vidal, J., Cáceres, L.M. y Gracia, F.J. (2001). En: *V REQUI / I CQPLI*. Comunicaciones, 73-76.

Rodríguez-Vidal, J., Cáceres, L.M., Finlayson, J.C., Gracia, F.J. and Martínez-Aguirre, A. (2004). *Quaternary Science Reviews*, 23, 2017-2029.

Rose, E.P.F. y Hardman, E.C. (2000). En: *Gibraltar during the Quaternary* (J.C. Finlayson, G. Finlayson and D. Fa, Eds.). Gibraltar Government, Heritage Publications, Monograph 1, 39-85.

Rose, E.P.F. y Rosenbaum, M.S. (1991). *A field guide to the geology of Gibraltar*. The Gibraltar Museum, 192 p.

Rose, E.P.F. y Rosenbaum, M.S. (1994). *Paleontología i Evolució*, 24-25, 411-421.

Zazo, C., Goy, J.L., Hillaire-Marcel, C., Dabrio, C.J., Hoyos, M., Lario, J., Bardají, T., Somoza, L. y Silva, P.G. (1994). En: *Gibraltar during the Quaternary* (J. Rodríguez-Vidal, F. Díaz del Olmo, J.C. Finlayson y F. Giles, Eds.). AEQUA Monografías, 2, 26-35, Sevilla.

Zazo, C., Goy, J.L., Somoza, L., Dabrio, C.J., Belluomini, G., Improta, S., Lario, J., Bardají, T. y Silva, P.G. (1994b). *Journal of Coastal Research*, 10, 933-945.