



# Las arenas eólicas del Pleistoceno Superior en Gibraltar

## *Late Pleistocene windblown sand record in the Rock of Gibraltar*

Joaquín Rodríguez-Vidal <sup>(1)</sup>, Luis Miguel Cáceres <sup>(1)</sup>, Francisco Ruiz <sup>(1)</sup>, Manuel Abad <sup>(1)</sup>, Clive Finlayson <sup>(2)</sup>, Geraldine Finlayson <sup>(2)</sup>, Darren Fa <sup>(2)</sup> y Arancha Martínez-Aguirre <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento Geodinámica y Paleontología, Facultad de CC. Experimentales, Universidad de Huelva, Campus del Carmen, 21071 Huelva. jrvidal@uhu.es; mcaceres@uhu.es; ruizmu@uhu.es; manuel.abad@dgyp.uhu.es.

<sup>(2)</sup> The Gibraltar Museum, 18-20 Bomb House Lane, Gibraltar. jcfinlay@gibraltar.gi; gfinlay@gibraltar.gi; darrenfa@gibraltar.gi

<sup>(3)</sup> Departamento de Física Aplicada I, EUITA, Universidad de Sevilla, ctra. de Utrera km. 1, 41013 Sevilla. arancha@us.es.

### ABSTRACT

*During the period represented by the sandy infills of the eastern flank caves and the Catalan Sand formation, it was likely that Gibraltar was part of the mainland, including a broad coastal plain covered with transgressive wind-blown dunes. All aeolian formations originated on marine beaches, from 6 m a.s.l. to 100 m b.s.l., before being blown inland to accumulate as topographic dunes. Cliff-front aeolian accumulations comprise echo dunes, climbing dunes and sand ramps. Aeolian deposition began immediately before the last interglacial marine highstand (MIS 6-5 transition) and continued during the subsequent fall in sea level until the end of MIS 3.*

**Key words:** Coastal dune, palaeoenvironment, evolution, Late Pleistocene, Gibraltar.

Geogaceta, 48 (2010), 27-30  
ISSN: 0213-683X

Fecha de recepción: 15 de febrero de 2010  
Fecha de revisión: 21 de abril de 2010  
Fecha de aceptación: 28 de mayo de 2010

### Introducción

El registro eólico pleistoceno en el Peñón de Gibraltar (Fig. 1) alcanza fuertes espesores sedimentarios y se localiza, tanto ascendiendo por sus escarpadas laderas (Rodríguez-Vidal *et al.*, 2004, 2007a), como conformando la mayor parte del relleno de sus cuevas marinas, preferentemente las orientadas a la fachada de Levante (Goldberg y Macphail, 2000; Pettitt y Bailey, 2000), aunque también hay algunos ejemplos en la de Poniente (*Red Sands*). En la actualidad, estas arenas eólicas son inactivas, pues carecen de área de abastecimiento al dominar costas acantiladas y en retroceso, a pesar de la actividad de fuertes vientos procedentes del Mar de Alborán. Vientos que generan importantes acumulaciones eólicas actuales en Valdevaqueros, Bolonia y Trafalgar.

Este trabajo recopila y sintetiza gran parte de los datos de campo y publicaciones sobre las acumulaciones eólicas en el Peñón de Gibraltar, planteando un modelo genético y evolutivo durante el Pleistoceno Superior en el Estrecho de Gibraltar.

### Antecedentes regionales

En esta zona del Estrecho, debido a la topografía canalizada y a la distribución

anual anticiclónica-ciclónica, los vientos dominantes proceden de Poniente y de Levante, aunque es este último el que posee una mayor efectividad energética, debido al *fetch*, tanto para generar olas como para el transporte eólico.

Los depósitos eólicos son igualmente abundantes en las costas del Estrecho, aunque predominan en afloramientos atlánticos, tanto del margen ibérico (Zazo *et al.*, 2005, 2008 a, b) como africano (Alouane, 1997), vinculado a tres ciclos sedimentarios: Último Interglacial (MIS 6-5), descenso eustático posterior (MIS 4-3) y Último Máximo Glacial- Presente Interglacial (MIS 2-1). Estos conjuntos suelen estar separados por hiatos erosivos, intercalaciones sedimentarias no eólicas o procesos edafoalterológicos.

Los afloramientos eólicos relictos en la costa del Estrecho, debido al sustrato básicamente silíceo, están débilmente cementados y son fáciles de erosionar o remover por el viento, sirviendo de área fuente a dunas más recientes o actuales, como las mencionadas anteriormente en la costa gaditana. En Gibraltar, por el contrario, con un sustrato carbonatado, las dunas alcanzan un grado progresivo de cementación, desde las eolianitas más antiguas (Martin's Cave) hasta las friables arenas más recientes (Catalan

Bay, Fig. 2). Las dunas holocenas y actuales se circunscriben al istmo que une el Peñón al continente, aunque están totalmente antropizadas.

### Registro sedimentario

El principal control en la génesis de las dunas costeras es el aporte sedimentario, que depende del viento, de la disponibilidad de arena y de la capacidad del sistema para renovar continuamente este almacenaje.

A escala temporal media o larga, dentro del Cuaternario, la distribución espacial de estos sistemas dunares depende de la capacidad morfológica de la costa para albergarlos y ésta, a su vez, de la historia de las variaciones eustáticas y de la fisiografía costera. Si se tiene en cuenta que estas variaciones supusieron descensos de más de 100 m del nivel del mar, significa que la fisiografía afectada hace referencia a la actual plataforma continental, donde se guarda la mayor parte de la historia del registro sedimentario cuaternario.

El registro de arenas eólicas de Gibraltar es una «reliquia sedimentaria», atrapada gracias a la escarpada topografía N-S del Peñón y por las cuevas que se orientan transversalmente a los vientos dominantes de Levante.

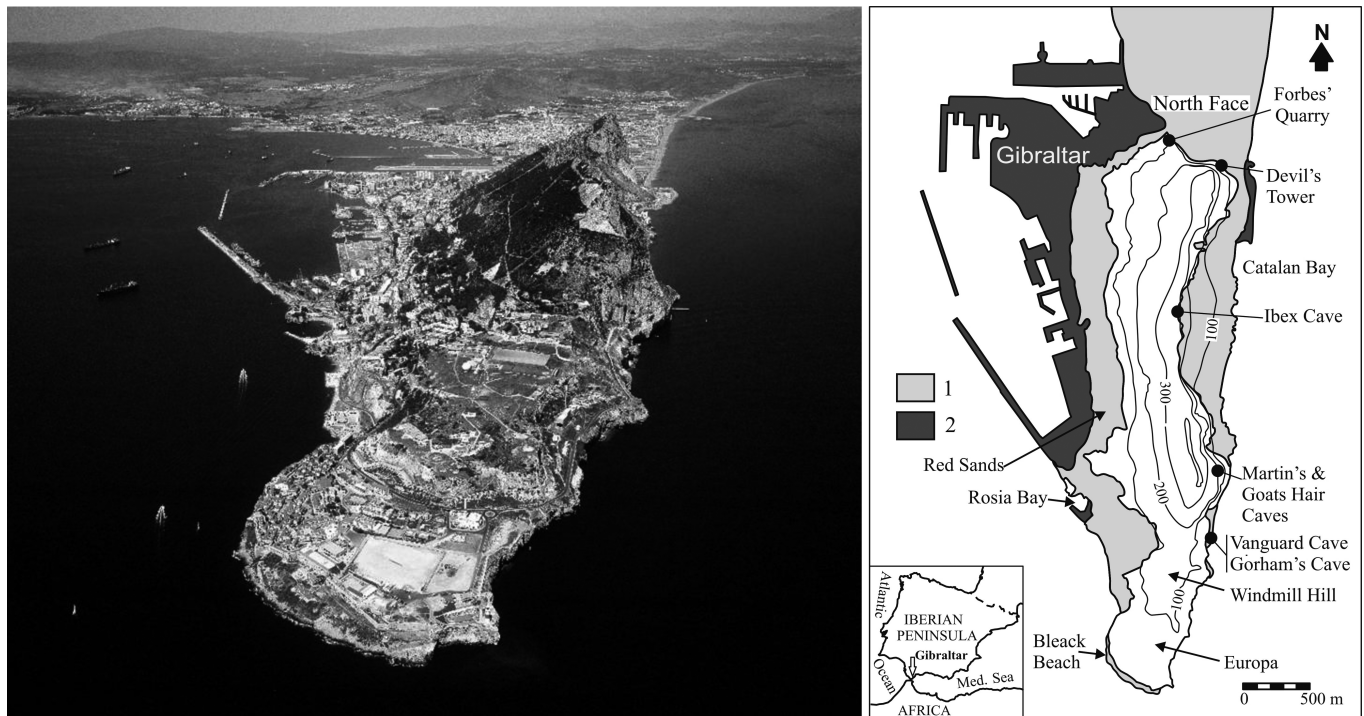


Fig. 1.- Vista aérea oblicua del Peñón de Gibraltar y mapa topográfico con la situación de lugares geográficos de referencia. Leyenda: 1. Depósitos del Pleistoceno Superior, 2. Terreno ganado al mar.

Fig. 1.- Aerial view of the Rock of Gibraltar and topographic map and location of geographic sites. Legend: 1. Late Pleistocene deposit, 2. Reclaimed land.

Tratando de integrar todas estas formaciones en un mismo modelo evolutivo, Rodríguez-Vidal *et al.* (2004) las asimilaron a su unidad morfotectónica más reciente, MTU-5 (< 250 ka), generadas bajo una misma génesis climático-eustática que se habría producido entre 75 y 40 ka, durante los estadios isotópicos 4 y 3, con niveles marinos más bajos que en la actualidad.

#### Arenas de Catalan Bay

La formación más importante y significativa de Gibraltar es la *Catalan Sands*, que constituye una inmensa rampa arenosa que se extiende por casi 1 km de longitud en la cara occidental de Gibraltar (Fig. 2). Esta rampa asciende desde casi el nivel del mar hasta 300 m de altitud, ocultando un relieve previo y posiblemente cuevas varias, como Ibx Cave (Fig. 1) que ha sido estudiada en varios trabajos de la monografía «Gibraltar during the Quaternary», editada por Finlayson *et al.* (2000).

El análisis sedimentológico de estas arenas (Rose y Hardman, 2000) indica que son de grano medio-grueso (0,5-2,0 mm), están moderadamente bien clasificadas, granos muy redondeados y su composición es básicamente de cuarzo (80%). En la fracción de mayor tamaño,

aumenta el contenido de clastos de caliza, espeleotema, esquisto y fragmentos de conchas y foraminíferos. Son arenas con pocos carbonatos y, por tanto, muy débilmente cementadas. Estas características, junto con otras morfoscópicas, indican una clara procedencia alóctona de las arenas. Su área fuente se situaría en las areniscas y esquistos de las costas inmediatamente al N, con génesis marina (playas y flechas litorales) y posterior reelaboración eólica.

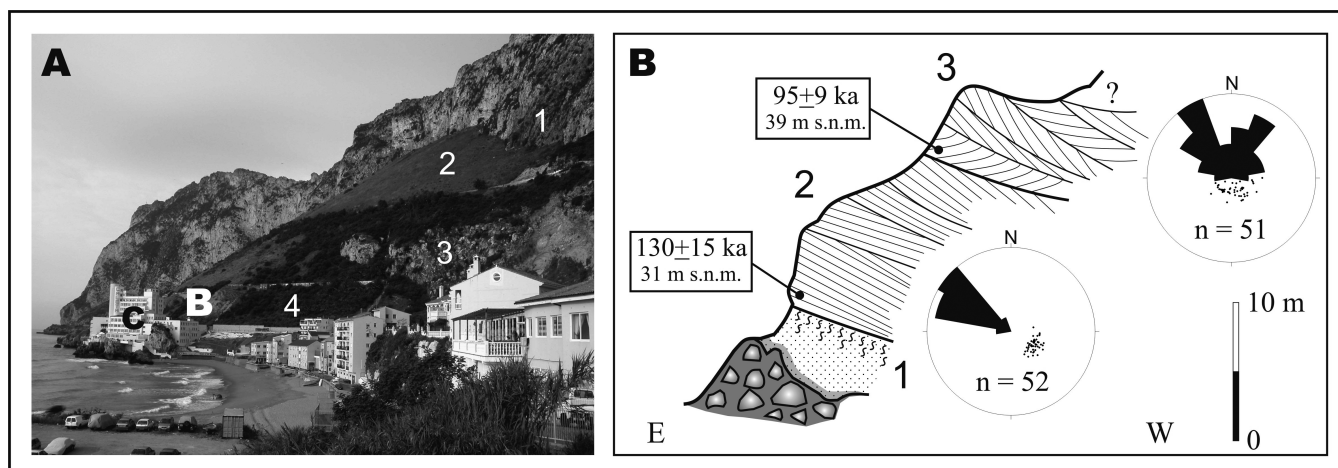
La morfología de rampa arenosa, con unos 30° de pendiente, supone una regularización reciente-actual del conjunto sedimentario, que no es representativa de la estructura ni de la morfología interna del depósito. El espesor máximo de arena, según datos de sondeos, es de 30 m y presenta muchas irregularidades, ya que recubre, al menos, dos escalones de una gran deslizamiento de ladera (Fig. 2A).

La cantera de arena abandonada, que se excava junto a la carretera y al Hotel Caleta (Fig. 2), permite una observación interna del depósito y facilita su estudio y la toma de muestras. El depósito arenoso, de color amarillo parduzco (10YR6/3), presenta una sección de unos 10 m de altura, con *sets* de 2 a 3 m de espesor y estratificaciones cruzadas en surco y tabulares. Los *sets* son erosivos

unos con otros y, en detalle, se puede llegar a definir la morfología de las dunas originales, con las láminas de barlovento y sotavento. El buzamiento de las láminas es principalmente contra pendiente, hacia el oeste a noroeste, entre 20° y 35°. Esto indicaría una génesis por vientos dominantes del E a SE (Levante) y localmente S.

La edad OSL en arenas de la base del primer tramo de este depósito (Fig. 2) es de hace 130±15 ka y la del suprayacente es 95±9 ka (Rodríguez-Vidal *et al.*, 2007a); es decir, elaborados durante el MIS 5. El techo del depósito coincide con la elaboración de la rampa arenosa y, por tanto, con el relleno de la cueva de Ibx, que ha sido fechada, casi en su base, entre 49,4±3,2 y 37,1±3,3 ka (Rhodes *et al.*, 2000), es decir, durante el MIS 3.

En su conjunto, las arenas de Catalan Bay forman un edificio eólico topográfico de barlovento. Se compone de una unidad basal formada por dunas de pie de acantilado, de hasta 60 m de espesor, y de otra unidad superior de arenas eólicas rampantes (rampa arenosa) con intercalaciones de depósitos coluviales. Su localización y almacenamiento se ha visto favorecido por un deslizamiento rotacional previo, que creó la geometría adecuada para atrapar la actividad eólica de levante.



**Fig. 2.- Interpretación morfosedimentaria del deslizamiento y dunas en Catalan Bay (sg. Rodríguez-Vidal *et al.*, 2007b). A) El pueblo de Catalan Bay con el Hotel Caleta (C): 1, Escarpe de cabecera del deslizamiento rotacional; 2, rampa arenosa; 3, escarpe secundario del deslizamiento; 4, dunas de pie de acantilado. B) Sección transversal de la base de las dunas (4) con sus edades OSL, y diagramas en rosa y polares de inclinación de láminas cruzadas de las arenas.**

*Fig. 2.- Morpho-sedimentary interpretation of rockslide and dune in Catalan Bay (after Rodríguez-Vidal *et al.*, 2007b). A) Catalan Bay village and Caleta Hotel (C): 1, Main rotational rockslide escarpment; 2, sand-ramp; 3, secondary rockslide escarpment; 4, cliff-front dune. B) Cross-section at the base of dune formation (4). OSL dates and both rose and polar diagrams of cross-bedding.*

### Arenas de Governor's Beach

En la costa oriental del Peñón existen numerosas evidencias de depósitos eólicos fósiles que rellenan grietas, oquedades, abrigos y, sobre todo, las grandes cuevas marinas de Governor's Beach. La más llamativa por su potente relleno (~ 21 m) y riqueza en evidencias arqueológicas es la cueva de Gorham's.

La secuencia estratigráfica pleistocena comienza casi al mismo nivel del mar que el actual, con rasas y socaves marinos (*notch*) de hace ~130 ka y depósitos regresivos de playa de entre 120 y 110 ka. Lo recubre unas arenas eólicas de esta misma época o ligeramente posterior; todo ello incluido en el MIS 5e, en tránsito hacia el 5d (Rodríguez-Vidal *et al.*, 2007b).

La posterior bajada del nivel del mar favoreció los procesos continentales de arroyada, coluviones, espeleotemas, concrecionamientos, cementaciones y pedogénesis, con desarrollo de suelos rojos. Este suelo parece marcar el final de un ciclo sedimentario (MIS 5) y el inicio de otro nuevo que, por dataciones U/Th (espectrometría alfa, Universidad de Sevilla) de coladas que lo recubren, se fecharía en  $51,4 \pm 2,0$  ka.

Es a partir de ese momento (MIS 3) cuando se verifica la historia eólica del relleno de Gorham's Cave y de las cuevas limítrofes, con las evidentes intercalaciones de cuñas gravitacionales y de espeleotemas. Las arenas son silíceas, al igual que las de Catalan Bay, de origen marino y posterior transporte eólico. Las estructuras internas

observadas y su disposición morfológica indican que fueron dunas de pie de acantilado, entre 50 y 40 ka, que quedaron atrapadas e inactivas en el interior de las cuevas, creciendo en la vertical hasta aproximadamente el final de la ocupación humana neandertal, hace ~30 ka (Finlayson *et al.*, 2006).

### Discusión y conclusiones

En la actual situación eustática global, la mayor parte del paleo-registro eólico de la costa gibraltareña ha sido erosionado o está sumergido, y la parte que aflora es el resultado de una historia parcial de altos niveles marinos. Si las condiciones climáticas y ambientales son favorables al desarrollo eólico, las morfologías dunares se generan tanto en altos como en bajos eustáticos (Preusser *et al.*, 2002; Bateman *et al.*, 2004; Zazo *et al.*, 2005; Carr *et al.*, 2007), aunque las que mejor se conservan son las relativas a los *highstand* (Zazo *et al.*, 2008b), y son representativas de dos cortejos sedimentarios, uno transgresivo y otro de alta parada (Brooke *et al.*, 2003; Giannini *et al.*, 2007).

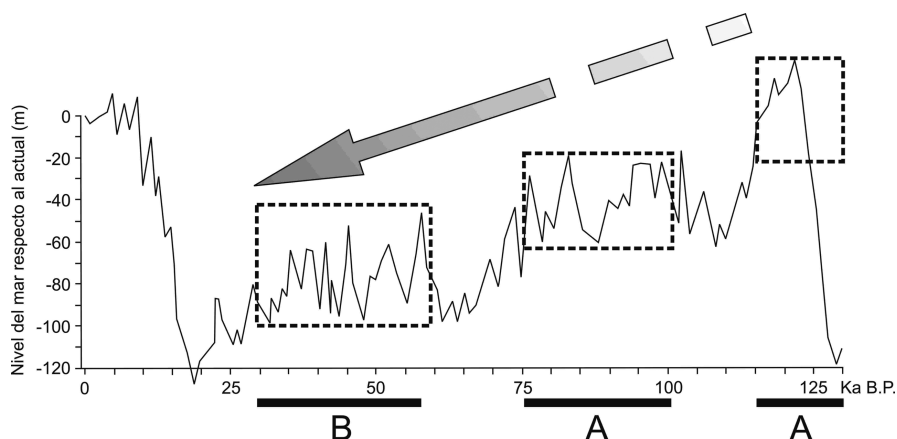
La amplia plataforma submarina de Levante en Gibraltar ha sido elaborada por sucesivos pulsos eustáticos pleistocenos y está labrada en rocas resistentes, tanto en las formaciones carbonatadas del Peñón como en las silíceas del Flysch. Esto significa que, con independencia de la posición del nivel del mar, la costa ha sido siempre rocosa, con una fisiografía parecida a la actual del margen atlántico del Estrecho (Cádiz o Marruecos); es decir, estrechas

rasas litorales con pequeños acantilados y una cubierta efímera de arenas silíceas en «playas de bolsillo». Estas pequeñas playas serían las áreas-fuente locales de arena para la formación de dunas litorales.

Los vientos dominantes en la zona serían, al igual que en la actualidad, unidireccionales de Levante, con fluctuaciones hacia el SE y S, a veces de gran intensidad y duración.

Es, por tanto, fácil de suponer que sobre la planicie de levante no existía un cobertera de dunas generalizada, sino cordones de dunas embrionarias (*foredunes*) en la zona litoral que, dependiendo del aporte sedimentario, de la cubierta vegetal y de la dirección/intensidad del viento, se transformaban en dunas parabólicas o en cuñas transgresivas de crestas transversas barjanoides. Por el diseño de la línea de costa, perpendicular a los vientos dominantes, el *fetch* de más de 1.000 km, la escasa disponibilidad de arena en las playas y la permanente cubierta vegetal, es posible que el mayor porcentaje de dunas fueran parabólicas, con abundantes cubetas de deflación (*blowouts*).

En una situación de ascenso eustático, los cordones dunares (*foredunes*) crecieron en altura, migraron rápidamente hacia el continente y se transformaron en dunas y complejos barjanoides. En una situación de descenso eustático, los campos de dunas fueron fijados por la vegetación y los suelos, creándose cordones litorales progradantes y grandes almancen de sedimentos. Evidentemente,



**Fig. 3.- Episodios eólicos (rectángulos) registrados en las laderas y cuevas del Peñón de Gibraltar. Curva global suavizada del nivel del mar según Siddall *et al.* (2003). (A) dunas de pie de acantilado y rampantes, (B) dunas de pie de acantilado y rampas arenosas. Flecha gris: ciclo interglacial-glacial de registro eólico transgresivo.**

*Fig. 3.- Aeolian stages (rectangles) recorded in slopes and caves on Gibraltar Rock. Smoothed sea-level curve after Siddall *et al.* (2003). (A) Cliff-front and climbing dunes, (B) cliff-front dune and sand-ramp. Grey arrow: Interglacial-Glacial transgressive aeolian record.*

éste es un modelo comparativo de evolución de dunas costeras, que necesita ser refrendado con investigaciones submarinas.

El modelo que sí es posible verificar, por ahora, es el registro arenoso que se correspondería con los niveles eustáticos más altos y/o con los episodios de dunas más transgresivas y de mayor actividad eólica (Fig. 3). Así pues, la aproximación transgresiva de los frentes dunares al relieve abrupto del Peñón, hizo que estos modelados eólicos se transformaran en dunas topográficas, tanto del tipo eco-dunas, al pie de los acantilados y obstáculos rocosos, como dunas rampantes y rampas de arenas sobre los taludes detríticos de los cantiles principales.

Los aportes arenosos, para los campos de dunas, procedían de la costa inmediatamente al norte, a partir de los detríticos transportados por el río Guadiaro hasta su desembocadura. Por ello, la disponibilidad arenosa en las playas debió vincularse con episodios locales de erosión fluvial.

El registro eólico emergido de Gibraltar (Fig. 3) corresponde, exclusivamente, a la fase final de dunas costeras transgresivas que se transformaban en dunas topográficas, con morfologías de dunas de pie de acantilado y rampantes, cuyas arenas fueron capturadas e inmovilizadas por la abrupta topografía y por las cuevas. Este registro es, por tanto, un sumidero sedimentario y sólo representa una parte de la historia eólica pleistocena. Los sedimentos y las dunas en tránsito

han sido erosionadas por el ascenso eustático holoceno o están cementadas y sumergidas en la plataforma interna submarina.

#### Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto español-FEDER: CGL2006-01412BTE y es una contribución a los IGCP 495 y 526.

#### Referencias

- Alouane, M. (1997). *Journal of African Earth Sciences*, 25, 391-405.
- Bateman, M. D., Holmes, P. J., Carr, A. S., Horton, B. P. y Jaiswa, M. K. (2004). *Quaternary Science Reviews*, 23, 1681-1698.
- Brooke, B.P. Murray-Wallace, C.V., Woodroffe, C.D. y Heijnis, H. (2003). *Quaternary Science Reviews*, 22, 387-406.
- Carr, A.S., Bateman, M.D. y Colmes, P.J. (2007). *Quaternary Geochronology*, 2, 110-116.
- Finlayson, C., Finlayson, G. y Fa, D. (2000). *Gibraltar during the Quaternary*. Gibraltar Government Heritage Publications, Monograph 1, 262 p.
- Finlayson, C., Giles Pacheco, F., Rodríguez-Vidal, J., Fa, D.A., Gutiérrez López, J.A., Santiago, A., Finlayson, G., Allué, E., Baena Preysler, J., Cáceres, I., Carrión, J.S., Fernández Jalvo, Y., Gleed-Owen, C.P., Jiménez Espejo, F.J., López, P., López Sáez, J.A., Riquelme, J.A., Sánchez Marco, J.A., Giles Guzmán, F., Brown, K., Fuentes,

N., Valarino, C.A., Villalpando, A., Stringer, C.B., Martínez Ruiz, F. y Sakamoto, T. (2006). *Nature*, 443, 850-853.

Giannini, P.C.F., Sawakuchi, A.O., Martinho, C.T. y Tatumi, S.H. (2007). *Marine Geology*, 237, 143-168.

Goldberg, P. y Macphail, R.I. (2000). En: *Gibraltar during the Quaternary* (C. Finlayson, G. Finlayson y D. Fa, Eds.). Gibraltar Government, Heritage Publications, Gibraltar, 93-108.

Pettitt, P.B. y Bailey, R.M. (2000). En: *Neanderthals on the Edge* (C.B. Stringer, R.N.E. Barton y C. Finlayson, Eds.) Oxbow Books, Oxford and Oakville, 155-162.

Preusser, F., Radies, D. y Matter, A. (2002). *Science*, 296, 2018-2020.

Rhodes, E.J., Stringer, C.B., Grün, R., Barton, R.N.E., Currant, A. y Finlayson, C. (2000). En: *Gibraltar during the Quaternary* (C. Finlayson, G. Finlayson y D. Fa, Eds.). Gibraltar Government, Heritage Publications, Gibraltar, 109-112.

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

Rodríguez-Vidal, J., Cáceres, L.M., Abad, M., Ruiz, F., Nathan, R., Schwenninger, J.L., Finlayson, C., Finlayson, G. y Fa, D. (2007a). En: *Contribuciones al Estudio del Periodo Cuaternario* (J. Lario y P.G. Silva, Eds.). AEQUA, Avila, 215-216.

Rodríguez-Vidal, J., Cáceres, L.M., Abad, M., Ruiz, F. y Martínez-Aguirre, A. (2007b). *Geogaceta*, 42, 107-110.

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

Siddall, M., Rohling, E. J., Almogi-Labin, A., Hemleben, C., Meischner, D., Schmelzer, I. y Smeed, D.A. (2003). *Nature*, 423, 853-858.

Zazo, C., Mercier, N., Silva, P.G., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Roquero, E., Soler, V., Borja, F., Lario, J., Polo, D. y de Luque, L. (2005). *Geomorphology*, 68, 269-290.

Zazo, C., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Lario, J., Cabero, A., Silva, P.G., Bardají, T., Mercier, N., Borja, F. y Roquero, E. (2008a). *Quaternary International*, 181, 72-87.

Zazo, C., Mercier, N., Lario, J., Roquero, E., Goy, J.L., Silva, P.G., Cabero, A., Borja, F., Dabrio, C.J., Bardají, T., Soler, V., García-Blázquez, A. y de Luque, L. (2008b). *Geomorphology*, 100, 212-222.