

L'ARXIPÈLAG DE CABRERA DINS DEL CONTEXT TECTÒNIC DEL MEDITERRANI OCCIDENTAL

**Bernadí
Gelabert**

Departament de Biologia,
Universitat de les Illes
Balears

bernadi.gelabert@uib.es

**Antonio
Rodríguez-Perea**

Departament de Geografia,
Universitat de les Illes
Balears

arperea@uib.es

**Francesc
Sàbat**

Departament de Dinàmica
de la Terra i de l'Oceà,
Universitat de Barcelona

sabat@ub.edu

**Jordi
Giménez**

Direcció General de
Recursos Hídrics,
Govern Balear

jgimenez@dgreghid.caib.es

Gelabert, B., Rodríguez-Perea, A., Sàbat, F. i Giménez, J. (2020). L'arxipèlag de Cabrera dins del context tectònic del Mediterrani Occidental. *In*: Grau, A.M., Fornós, J.J., Mateu, G., Oliver, P.A., Terrasa, B. (2020) *Arxipèlag de Cabrera: Història Natural*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 30. 738 pp. ISBN 978-84-09-23487-5.

RESUM

Des del punt de vista de la geologia estructural, l'arxipèlag de Cabrera constitueix la prolongació cap al SO de les Serres de Llevant de Mallorca. Les Illes Balears corresponen a la part emergida del Promontori Balear el qual constitueix la prolongació nord-oriental de l'arc orogènic Balears-Bètiques-Rif (BBR) i representa la part septentrional de l'arc en la seva primera etapa d'evolució. El relleu i la morfologia de les illes (i del promontori) està condicionat, bàsicament, per les dues últimes etapes tectòniques que han afectat a l'arxipèlag: compressió Alpina i distensió neògena. La distensió neògena configura els grans trets de la morfologia de les illes i del promontori. Les falles normals neògenes són responsables de la compartimentació del promontori en dos blocs i de l'aprimament de l'escorça. Aquestes falles, amb orientacions NE-SO i NO-SE, limiten la majoria de les plataformes submarines. La compressió alpina estructura els materials en plecs i encavalcaments amb una convergència majoritària al NO.

Paraules clau: : *Promontori Balear, Tectònica, Convergència de plaques, Migració subducció*

ABSTRACT

Under the structural geology point of view, the archipelago of Cabrera constitutes the prolongation towards the SW of the Serres de Llevant of Mallorca. The Balearic Islands correspond to the emerging part of the Balearic Promontory, which constitutes the northeastern prolongation of the Balearic-Betics-Rif orogenic arch (BBR) and represents the northern part of the arch in its first stage of evolution. The relief and morphology of the islands (and the promontory) is basically conditioned by the last two tectonic stages that have affected the archipelago: Alpine compression and neogene distension. The neogene distension configures the main features of the morphology of the islands and the promontory. Neogene normal faults are responsible for the division of the promontory into two blocks and the thinning of the crust. These faults, with NE-SO and NO-SE directions, limit most of the submarine platforms. Alpine compression produces a thrust and folded belt facing to the NW.

Keywords: *Balearic Promontory, Tectonics, Plate convergence, Subduction migration*

L'ARXIPÈLAG DE CABRERA DINS DEL PROMONTORI BALEAR

Les illes Balears -de N a S, Menorca, Mallorca, Cabrera, Eivissa i Formentera- són la part emergida d'una àmplia zona submarina elevada coneguda com Promontori Balear (Fig. 1). El Promontori, situat a la part més occidental de la Mediterrània, té una longitud de 350 km i una amplada d'uns 100 km, i té una alçada relativa sobre els fons circumdants d'entre 1.000 i 2.000 m (Acosta *et al.*, 2002). Presenta una orientació NE-SO i constitueix la prolongació cap al NO del Sistema Bètic.

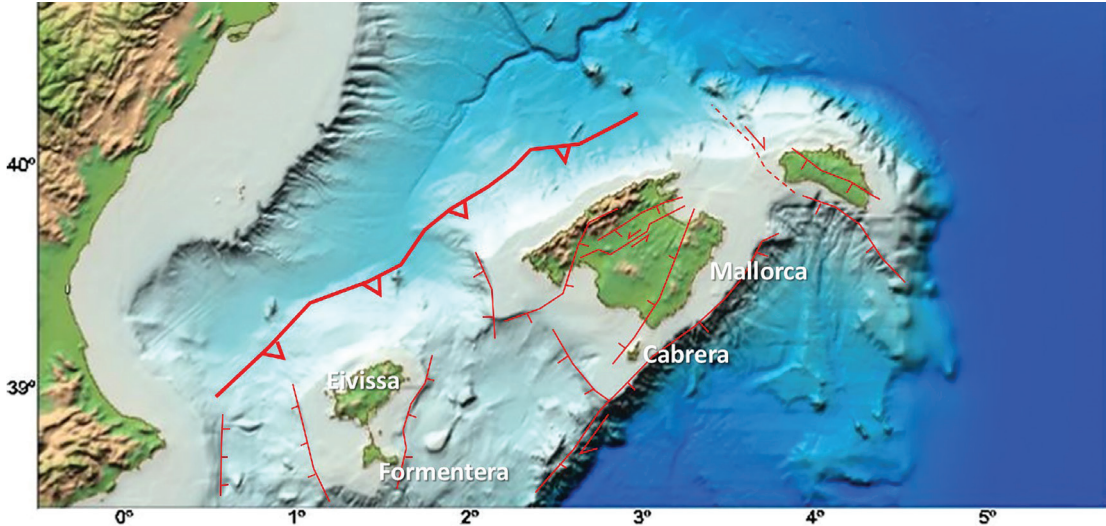


Figura 1 Model tridimensional del Promontori Balear amb les principals estructures tectòniques. La trama amb triangles correspon al front orogènic; la trama amb línies perpendiculars correspon a les falles extensives. Les fletxes corresponen a les falles en direcció i indiquen el sentit de moviment del bloc.

Des del punt de vista geològic el Promontori Balear forma part de la placa Ibèrica. El Solc de València el separa de la resta de la Península Ibèrica per l'oest, i les profundes conques oceàniques de Provença i Algèria l'envolten (Fig. 2). El solc de València té una longitud de 400 km i una orientació NE-SO, fent-se ample i profund cap al NE, on arriba a una profunditat de 2.200 m. La Conca Provençal separa Iberia (incloent el Promontori Balear) i el SO d'Europa del bloc Corso-Sard; té forma triangular i una profunditat màxima de 2.800 m. La Conca d'Algèria separa Iberia d'Àfrica; té forma triangular i una profunditat màxima de 3.000 m (Fig. 2).

L'escorça del Promontori Balear és de tipus continental però prima (el seu gruix màxim és de 25 km). L'escorça del Solc de València també és continental però més prima que la del Promontori (uns 15 km de gruix). La part oriental de la Península Ibèrica té una escorça continental amb un gruix d'uns 30 km, mentre que el gruix de l'escorça continental al nord d'Àfrica és d'uns 35 - 40 km i en el bloc Corso-Sard és d'uns 32 km. L'escorça de les Conques Provençal i d'Algèria és de tipus oceànic amb un gruix d'uns 5 km.

El Promontori Balear se subdivideix en dos blocs o plataformes, que s'alcen sobre els fons oceànics circumdants fins a profunditats de l'ordre dels 1500 metres, separats pel canal de Mallorca, on s'assoleixen profunditats superiors a 1.000 m. La plataforma que envolta al bloc septentrional, format per Cabrera, Mallorca i Menorca, és relativament estreta pels seus costats NO i NE (3 km al nord de Mallorca) i relativament ampla pel SE i SO (35 km al SO de Cabrera). Els límits o ruptures de la plataforma són majoritàriament abruptes i rectilinis, destacant el límit SE que coincideix amb l'escarpament (falla) d'Émile Baudot. D'altra banda la plataforma que envolta el bloc meridional, format per Eivissa i Formentera, és relativament ampla a l'oest de les illes (25 km a l'oest de Formentera) i d'uns 10 km a la resta de zones. Els límits d'aquesta plataforma són també

majoritàriament abruptes i rectilinis. Cal destacar que el bloc de les Pitiüses té els límits oriental i occidental orientats en una direcció N-S, orientació que només es repeteix a l'est de Menorca, ja que la resta de límits de plataforma s'orienten en direccions properes a NE-SO o NO-SE.

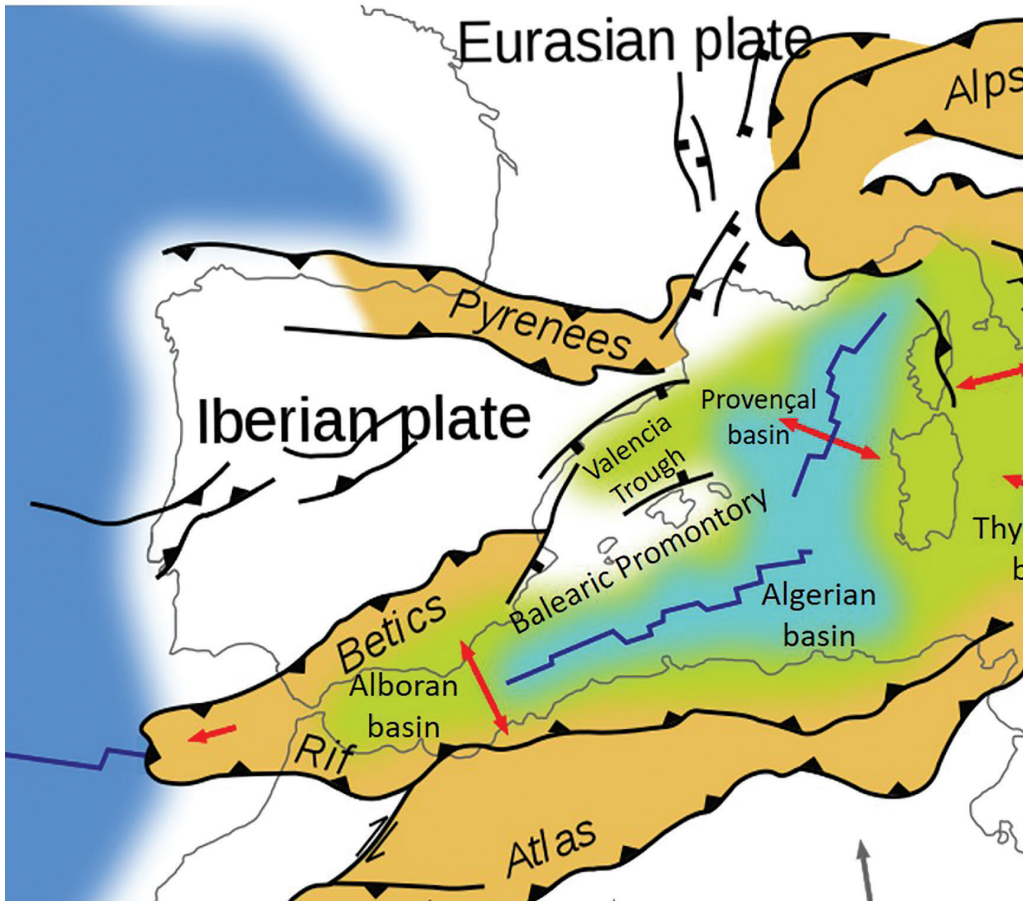


Figura 2 Mapa tectònic del Mediterrani Occidental. Font: Wikipedia, modificat.

L'escarpament Émile Baudot és l'accident més destacable del Promontori (Fig. 1), ja que forma un esglaó rectilini que arriba gairebé als 2.000 m de desnivell i que s'estén en direcció NE-SO al llarg d'uns 200 km. Aquest escarpament marca el límit entre el Promontori Balear, de naturalesa continental, i la conca d'Algèria, de naturalesa oceànica, i cal interpretar-ho com una falla de primera magnitud. En aquest sentit cal indicar que gran part dels límits abruptes de la plataforma del Promontori semblen estar condicionats per falles (Fig. 1).

Els canals submarins més importants del Promontori són el d'Eivissa i el de Mallorca. El primer, amb una orientació N-S, està situat entre la Península i les Pitiüses, i el segon, té una orientació NO-SE i separa Mallorca d'Eivissa.

Si enfocam a una escala més petita, s'observa com l'arxipèlag de Cabrera constitueix la continuació cap al SO de les Serres de Llevant de Mallorca. De fet, l'arxipèlag presenta un estil estructural i una història geològica idèntics a les Serres de Llevant, es a dir, una extensió mesozoica, una compressió alpina i finalment una nova extensió neògena. La compressió alpina és la causant de la creació del relleu que caracteritza les Serres de Llevant i l'arxipèlag mitjançant l'apilament de làmines encavalcants. L'extensió neògena és la causant de la creació de blocs aixecats (les serres) i blocs enfonsats (les conques de Campos, Palma, Inca, sa Pobla). La separació entre els distints illots de l'arxipèlag de Cabrera es deu a n'aquesta darrera etapa extensiva.

L'ARXIPÈLAG DE CABRERA DINS DEL CONTEXT TECTÒNIC DE LA MEDITERRÀNIA OCCIDENTAL

Com tot el relleu de la Mediterrània occidental, l'origen de l'arxipèlag de Cabrera s'ha de situar a partir de la convergència entre les plaques tectòniques d'Àfrica i Europa. Normalment la convergència entre plaques dona lloc a la creació d'una serralada de muntanyes, com per exemple l'Himalaia, format a partir de la convergència entre les plaques d'Índia i Àsia. Aquest fet també ha passat a la Mediterrània occidental. La convergència entre les plaques d'Àfrica i Europa és la causant final de totes les serralades peri-mediterrànies: els Magrèbids, el Rif, les Bètiques, el Promontori Balear, els Alps i els Apenins. Però a la Mediterrània es dona una "anomalia": la convergència dona al mateix temps serralades però també conques oceàniques. Les conques Provençal, Argeliana i la Tirreniana són conques de naturalesa oceànica i s'han format simultàniament a les serralades nomenades anteriorment. Com és possible aquest fet?

A la Fig. 3 mostrem dues àrees continentals separades i envoltades d'àrees oceàniques. La litosfera oceànica se suposa que és de 100 km de gruix i es considera que la litosfera continental és de 200 km de gruix, segons dades mitjanes (Schubert *et al.*, 2001). Per tant, per sota de l'àrea oceànica situada entre els continents hi ha una capa gruixuda d'astenosfera viscosa i fluïda delimitada, a ambdós costats, per la litosfera continental. Si existeix una convergència continental (Fig. 3), aquesta capa viscosa de 100 km d'espessor és expulsada lateralment, paral·lela als marges continentals. Aquest flux astenosfèric lateral es produeix perquè el fluid viscos de 100 km de gruix està confinat per la litosfera continental en dos costats, la litosfera oceànica a la part superior i la astenosfera més densa en el fons.

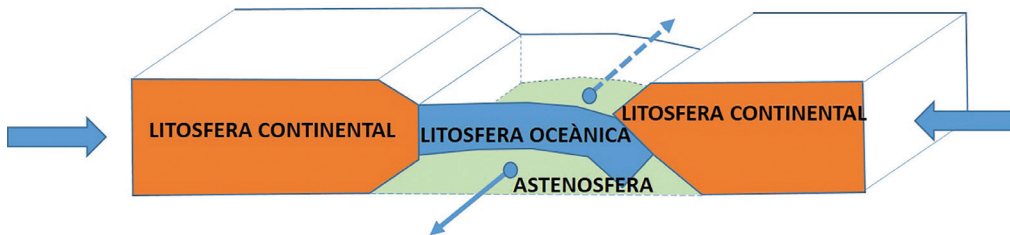


Figura 3 Si dues àrees continentals separades per una àrea oceànica convergeixen, el material astenosfèric (més fluid que la litosfera) atrapat entre mig de les àrees continentals ha de ser expulsat lateralment. Aquesta expulsió lateral és la que pot provocar la migració de la subducció.

El context geodinàmic és radicalment diferent si apareix una mega-esclatxa a l'àrea oceànica situada entre els continents. L'esclatxa s'omple amb material astenosfèric creant una incipient litosfera oceànica a la superfície i un problema espacial que es resol mitjançant la subducció de l'antiga litosfera que envolta el buit. Aquesta subducció inicial es veu reforçada per la tendència natural a caure verticalment ja que l'antiga litosfera oceànica és més densa que el material astenosfèric de sota (Fig. 4).

Quan la vella litosfera comença a subduïr i enfonsar-se, es transfereix una astenosfera menys densa per sobre de la litosfera, la qual cosa condueix a l'extensió i la creació de nova litosfera oceànica. Una vegada que s'estableix l'astenosfera, això s'accelerará, ja que permet la transferència d'astenosfera de menor densitat des de sota, per sobre de la litosfera en subducció. L'expulsió lateral d'aquest material fluid astenosfèric també causa l'empenta horitzontal de la placa que subdueix. D'aquesta manera, el retrocés és causat per ambdós, la tendència de caure verticalment de la placa més alta i densa i l'embranchida horitzontal sobre la placa que subdueix del mantell lateral expulsat. D'aquesta manera en superfície es produeix una serralada en la zona de subducció i una conca oceànica al seu darrere. Com que la placa que subdueix es empena pel mantell expulsat lateralment, la serralada (i també la conca oceànica) migra lateralment amb la mateixa direcció en que el mantell és expulsat (Fig. 4).

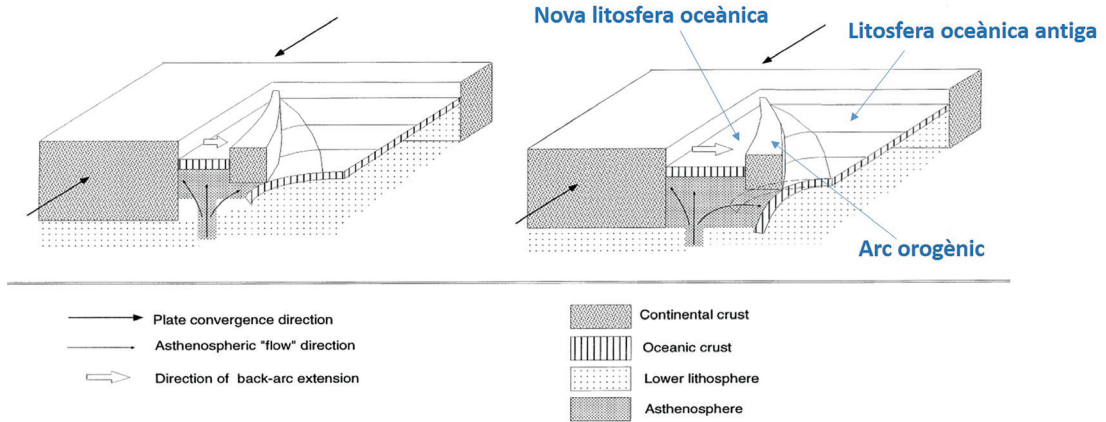


Figura 4 Sota la conca oceànica que es crea a la mega-esclerxa hi ha un augment del material astenosfèric que omple el buit causat per la migració de l'arc. Si continua la convergència continental, el material astenosfèric és expulsat cap a la "cara lliure" (és a dir, cap on hi hagi litosfera oceànica antiga i densa), provocant el retrocés i migració de la placa en subducció.

En els darrers treballs de tomografia sísmica de les Bètiques i del Rif (Spakman i Wortel, 2004; Levander *et al.*, 2014) s'ha detectat i "escanejat" la llosa oceànica localitzada en el mantell de l'arc de Gibraltar (Fig. 5a). Aquesta llosa correspon a la continuació de la litosfera oceànica atlàntica, però que ha estat subduïda per sota de l'arc de Gibraltar (de naturalesa continental). La llosa detectada reproduceix, per tant, la morfologia de la conca oceànica anterior a la subducció, que es troba actualment uns 200 km a l'oest de Gibraltar, dins de l'Atlàntic (Gutscher *et al.*, 2002). La restitució de la llosa a l'horitzontal (Fig. 5b) ens mostra com el Promontori Balear constitueix la prolongació nororiental de l'arc orogènic BBR (Balears-Bètiques-Rif). Aquesta llosa oceànica corresponia a la part més occidental del Tethys (oceà que durant el mesozoic se trobava entre Euràsia i Gondwana –Índia, Àfrica, Sudamèrica i Antàrtida) i que va entrar en subducció cap a l'E i NE durant la formació de l'arc orogènic BBR. La Fig. 6 mostra la posició de la zona de subducció al llarg del temps des del miocè inferior (23 Ma) fins a l'actualitat. El Promontori Balear forma part de la branca septentrional de l'orògen i es va formar en les seves primeres etapes d'evolució. En aquest context, la conca d'Alborà i part de la conca d'Algèria es consideren conques de retro-arc associades a l'arc de Gibraltar (Rehault *et al.*, 1984; Lonergan i White, 1979; Wortel i Spakman, 2000; Gelabert *et al.*, 2002; Spakman i Wortel, 2004).

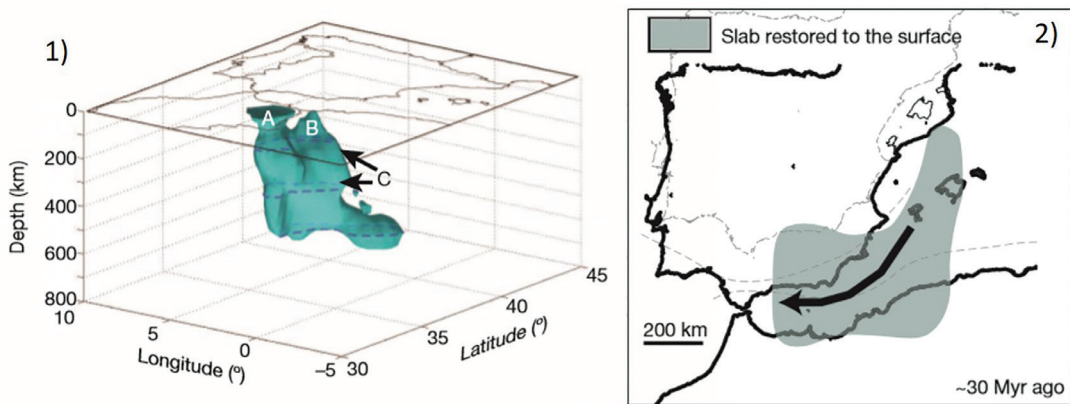
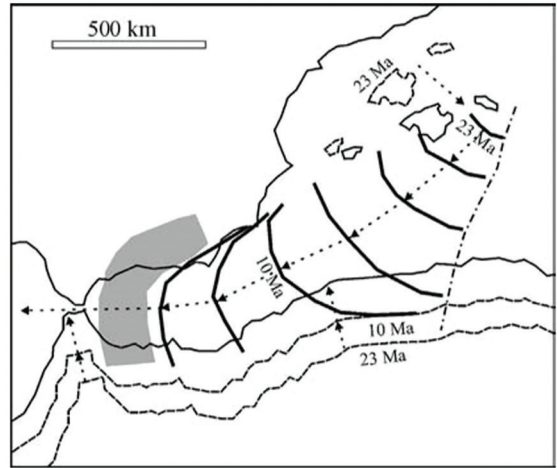


Figura 5 1) L'anomalia de la llosa en subducció sota el Mar d'Alborà es mostra en aquest diagrama de Levander *et al.*, (2014). L'anomalia s'estén per davall del Rif (A) i les Bètiques (B) i està inclinada cap a l'est. Una cortina d'altres velocitats es troba per sota del sud de la Península Ibèrica (C). 2) L'anomalia de la llosa d'Alborà restituint-se a la superfície. Les línies de punts mostren la posició de l'Iberia fa 30 Ma. La fletxa indica la direcció d'avanç de la subducció.

La subducció que va donar lloc a l'actual configuració d'arc orogènic i conques de la Mediterrània més occidental es va iniciar al final del Paleogen i en l'actualitat encara és activa en l'arc de Gibraltar (Gutscher *et al.*, 2002). Els terratrèmols profunds de la zona bètica interna poden associar-se a aquesta subducció activa.

Figura 6 Evolució cinemàtica del retrocés de la subducció a l'orogen Balears-Bètiques-Rif (BBR), segons Spakman i Wortel (2004). La figura mostra la posició de la zona de subducció al llarg del temps (línies negres gruixades) des del Miocè inferior (23 Ma) fins a l'actualitat. Les illes Balears formen la branca septentrional de l'arc, en les seves primeres etapes d'evolució. La trama gris correspon a la localització actual de la llosa oceànica despresa i detectada per tomografia sísmica.



Al Promontori Balear hi ha clares evidències que ha estat sotmès a compressió. Durant l'orogènia Alpina, entre l'oligocè terminal i el miocè inferior i mitjà, al Promontori Balear es van generar plects i encavalcaments que van estructurar serralades importants i conques compressives. Aquestes estructures compressives han estat afectades a partir del miocè superior per falles bàsicament de component normal a causa de l'extensió retro-arc que han donat lloc a conques tectòniques. Així doncs tant les conques com les serralades són elements fisiogràfics de primer ordre en el Promontori Balear.

En aquest context de subducció, arc i conques de retro-arc és fàcil comprendre que en les regions que envolten el Promontori Balear ha dominat l'extensió (Vergés i Sàbat, 1999). Efectivament la Conca Provençal és el resultat de l'extensió i aprimament d'escorça continental i de la oceanització durant l'oligocè i el Miocè inferior; el solc de València resulta de l'extensió durant el Miocè inferior; la Conca d'Algèria resulta de l'oceanització durant el miocè mitjà; i finalment la conca d'Alborà presenta extensió durant el miocè mitjà i superior. Per tant, l'extensió activa a la Mediterrània més occidental s'ha traslladat en el temps cap al sud i sud-oest. En aquest context extensiu, es pot considerar que el Promontori Balear és una zona menys estesa que les que l'envolten, és a dir, una àrea afectada per extensió però parcialment preservada d'ella ("Boudin" continental, Gueguen *et al.*, 1997).

En conclusió, el relleu actual del Promontori Balear és el resultat d'un arc orogènic associat a la subducció de litosfera oceànica. En la seva estructuració van intervenir primerament episodis compressius seguits (però també simultàniament) d'episodis extensius, els quals han anat acompanyats d'un cert vulcanisme submarí. De fet el front contraccional migra cap al S i SO i les verticals dels successius fronts són aconseguides per la extensió un cert temps després.

Per motius didàctics es presenta la Fig. 7, on es mostra un esquema senzill de com pot haver-se format l'orògen Balears-Bètiques-Rif i, simultàniament, la conca oceànica Algeriana. Aquest es forma a partir de la migració d'un bloc rígid (equivalent a les Zones internes de les Bètiques i del Rif—límit discontinu en vermell). El moviment cap al l'O-SO d'aquest bloc provoca la formació de cadenes de muntanyes (límit en blau) a les parts laterals i frontals del bloc i la formació d'una conca oceànica al seu darrera (límit discontinu en vermell). Per simplicitat, es mostra a la part esquerra de la figura un esquema d'una roca (bloc rígid) que es mou sobre l'arena formant muntanyes al seu davant i als seus costats i deixant un buit (equivalent a la conca oceànica) al seu darrera. L'arxipèlag de Cabrera i el Promontori Balear equivalen a la part més oriental de la branca septentrional de la cadena muntanyosa.

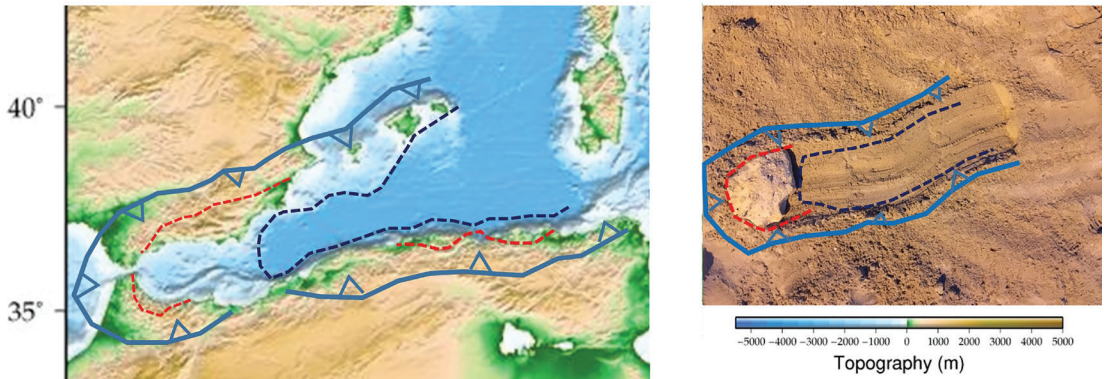


Figura 7 Esquema didàctic de la formació del Mediterrani Occidental. El fenomen és similar al moviment d'una roca (equivalent a les zones internes de les Bètiques i Rif –límit discontinu en vermell) sobre l'arena, el qual provoca una acumulació d'arena (equivalent a les cadenes de muntanyes –límit continu en blau-) a les parts frontals i laterals del bloc rígid. Al seu darrera deixa un buit que és equivalent a una zona oceànica (límit discontinu en negre).

REFERÈNCIES

- Acosta, J., Canals, M., Lopez-Martínez, J., Muñoz, A., Herranz, P. Urgeles, R., Palomo, C. i Casamor, J.L. 2002. The Balearic Promontory geomorphology (western Mediterranean): morphostructure and active processes. *Geomorphology*, 49: 177-204.
- Gelabert, B. Sàbat, F. i Rodríguez-Perea, A. 2002. A new proposal for the late Cenozoic geodynamic evolution of the western Mediterranean. *Terra Nova*, 14 (2): 93-100.
- Gueguen, E. Doglioni, C. i Fernández, M. 1997. Lithospheric boudinage in the western Mediterranean back-arc basins. *Terra Nova*, 9: 184-187.
- Gutscher, M.A., Malod, J., Rehault, J.P., Contrucci, I., Klingelhoefer, F., Mendes-Victor, L. i Spakman, W. 2002. Evidence for active subduction beneath Gibraltar. *Geology*, 30: 1071-1074.
- Levander, A., Bezada, M.J., Niu, F., Humphreys, E.D., Palomeras, I., Thurner, S.M., Masy, J., Schmitz, M., Gallart, J., Carbonell, R. i Miller, M.S. 2014. Subduction-driven recycling of continental margin lithosphere. *Nature*, 515: 253-256.
- Lonergan, L. i White, N. 1979. Origin of the Betic-Rif mountain belt. *Tectonics*, 16: 504-522.
- Rehault, J.P., Boicot, G. i Maufret, A. 1984. The western Mediterranean basin geological evolution. *Marine Geology*, 55: 447-477.
- Schubert, G., Turcote, D., Olson, P. 2001. *Mantle Convection in Earth and Planets*. Cambridge University Press. 940 pp.
- Spakman, W. i Wortel, R. 2004. A tomographic view on Western Mediterranean geodynamics. In: W. Cavazza, F. Roure, W. Spakman, G.M. Stampfli i P. Ziegler (Eds.) *The TRANSMED Atlas*. P. 31-52.
- Vergés, J. i Sàbat, F. 1999. Constraints on the Neogene Mediterranean kinematic evolution along a 1000 km transect from Iberia to Africa. *Spec. Publ. Geol. Soc. London*, 156: 109-120.
- Wortel, M.J.R. i Spakman, W. 2000. Subduction and slab detachment in the Mediterranean-Carpatian region. *Science*, 290: 1910-1917.