

# EL MEDITERRANI: ORIGEN GEOLÒGIC

Francesc Sàbat <sup>1</sup> i Bernadí Gelabert <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Carrer Mollerò, 08415 Bigues i Riells (Barcelona)

<sup>2</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

**Resum:** La Mediterrània està situada a la zona de convergència entre Àfrica i Euràsia. La convergència és responsable de la formació de les serralades de muntanyes que existeixen al marge nord africà i al marge meridional europeu. La Mediterrània és el resultat de la subducció de distintes lloses oceàniques d'edat mesozoica i també del seu retrocés, el qual origina els distintes arcs orogènics que existeixen a la Mediterrània (Gibraltar, Calabria, Egeu).

**Paraules clau:** *Mediterràni, conques, retrocés de la subducció, convergència de plaques, col·lisió arc-continent.*

**Abstract:** The Mediterranean is located in the convergence zone between Africa and Eurasia. Convergence is responsible for the formation of mountain ranges that exist on the North African margin and on the southern European margin. The Mediterranean is the result of the subduction of different oceanic slabs of Mesozoic age and also of its retreat, which gives rise to the different orogenic arcs that exist in the Mediterranean (Gibraltar, Calabria, Aegean).

**Keywords:** *Mediterranean basin, subduction, plates convergence, arc-continent collision.*

## Introducció

El Mediterrani és un mar envoltat per continents: Euràsia al nord, Aràbia a l'est, Àfrica al sud i Iberia a l'oest, i també envoltat de serralades tals com els Alps, Apenins, Dinàrics, Hel·lènides, Taurus, Atlas, Magrèbids, Rif, Bètiques, Pirineus,... L'oceà Atlàntic se situa a l'oest de tot aquest conjunt i l'Índic, a l'est.

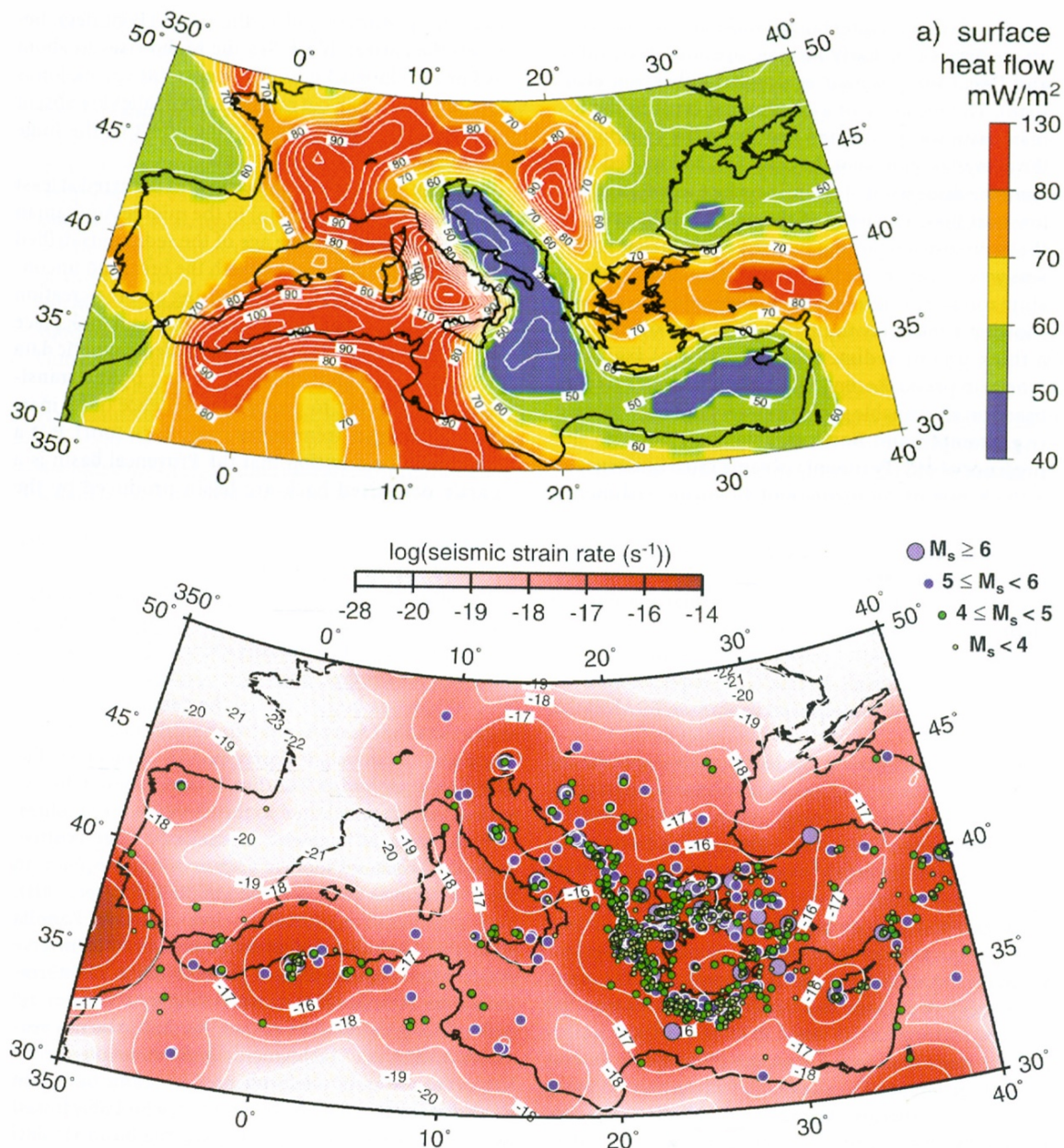
L'origen d'aquest mar envoltat de continents i serralades sempre ha estat molt enigmàtic. El motor principal de l'evolució geotectònica de tota la regió ha estat la convergència entre Àfrica i Euràsia que es va iniciar ara fa uns 80 Ma i que encara continua (PATRIAT *et al.*, 1982; SAVOSTIN *et al.*, 1986; VAN HINSBERGEN *et al.*, 2014). És comprensible que en una zona de convergència de plaques es generin serralades de muntanyes, en canvi és més difícil d'entendre que al mateix temps i a la mateixa regió s'hi generin conques. Hi ha hipòtesis de diversos tipus que intenten explicar aquest enigma.

En aquest article es fa un resum de les observacions més rellevants, s'enuncien les diferents hipòtesis explicatives i es pren part per una d'elles. Finalment es suggereix una evolució que proporciona una explicació simple d'algunes de les observacions.

## Observacions

Des de bon principi és important remarcar que no hi ha un sol Mediterrani sinó dos: l'Oriental i l'Occidental; el límit entre tots dos es situa en el llindar de Sicília. En molts aspectes els dos mediterranis són molt diferents. Per exemple, la Fig. 1 il·lustra que el flux de calor a través de la superfície de la Terra des del seu l'interior és molt més elevat (aproximadament el doble) en el Mediterrani occidental que en l'oriental. També resulta evident que l'activitat (sísmica) és molt més elevada en l'oriental que a l'occidental (CAVAZZA *et al.*, 2004). Aquestes dues observacions suggereixen que hi ha algunes diferències en l'origen dels dos mediterranis; per exemple, el flux de calor en el Mediterrani occidental és més elevat perquè és més jove que l'oriental.

El Mediterrani occidental (Fig. 2) està constituït per una sèrie de conques profundes (Conca Liguro-Provençal, Conca Tirrènica i Conca Algeriana), per dos arcs (el de Gibraltar i el Calabrès) i per dos conjunts d'illes (les Balears i Còrcega-Sardenya).



**Fig. 1.** Fluxe de calor a través de la superfície de la Terra i sismicitat de l'àrea mediterrània (CAVAZZA *et al.*, 2004).

Les conques tenen un origen extensional i la sísmica reflexió ha permès determinar que consten de diverses zones: una zona amb escorça continental normal o lleugerament aprimada, una zona de transició (*neck*) on l'escorça continental està molt aprimada, una zona on l'escorça continental ha estat híper-estirada i és quasi irreconeixible (l'escorça superior pràcticament és inexistent i l'escorça inferior i/o el mantell van ser exhumats), i una zona amb escorça oceànica anòmala (JOLIVET *et al.*, 2015; GRANADO *et al.*, 2016).

Els arcs es situen damunt de zones de subducció actives. La tomografia sísmica permet visualitzar la geometria de les lloses en subducció (Fig. 3). Les lloses que subdueixen s'han detectat fins a més de 600 km de fondària i tant la de Gibraltar com la de Calàbria són asimètriques i presenten ruptures (SPAKMAN i WORTEL, 2004). Aquestes subduccions són actives des del punt de vista sísmic i la de Calàbria té vulcanisme actual associat (illes Eòliques).

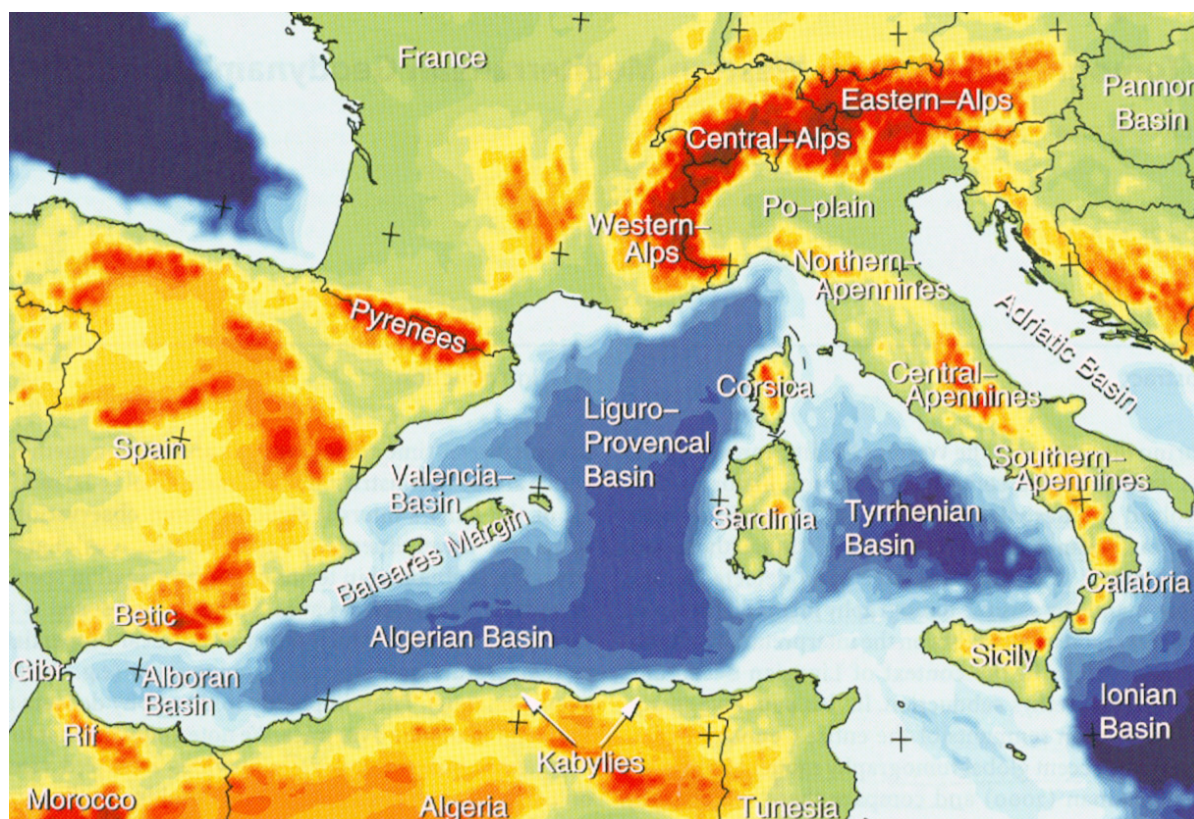


Fig. 2. Fisiografia del Mediterrani Occidental amb el nom de conques i serralades (SPAKMAN i WORTEL, 2004)

Les illes han experimentat una rotació. El paleomagnetisme ha permès quantificar la rotació i datar-la (PARÉS *et al.*, 1992; SPERANZA *et al.*, 2002; GATTACCECA *et al.*, 2007). El cas de Còrcega-Sardenya queda ben il·lustrat a la Fig. 4 (Michel, 2008).

El Mediterrani oriental (Fig. 5) està dividit per un arc est-oest (*Mediterranean Ridge*) (JOLIVET *et al.*, 2013). Les conques que queden a l'exterior d'aquest arc són antigues (mesozoiques – restes del Thetys: Conca Jònica i Conca de Llevant) mentre que les conques que queden a l'interior són modernes (Cenozoiques: Mar Egeu) (JOLIVET i BRUN, 2010). Al nord del *Mediterranean Ridge* hi ha dos altres arcs concèntrics: Creta i les Cíclades amb les respectives conques entre els arcs: Mar de Creta, Egeu sud i Egeu nord. Les roques metamòrfiques són les predominants a les Cíclades; a més a més, en aquest arxipèlag hi ha alguns volcans recents, el més conegut és Santorini. La plataforma de Moèsia de naturalesa continental (Euràsia) queda al nord de l'Egeu.

Les velocitats dels diferents punts de la regió deduïdes amb GPS canvia de direcció descrivint una corba i augmentant el seu mòdul de manera que a l'est d'Anatòlia el desplaçament és de 15 mm/a cap el NW, a l'est d'Anatòlia és de 20 mm/a cap l'W, a l'Egeu nord és de 23 mm/any cap el SW i a Creta és de 32 mm/a cap el SSW (Fig. 6, CAVAZZA *et al.*, 2004). Les velocitats tenen una coherència extraordinària i suggereixen que tot és xuclat cap al *Mediterranean Ridge*.

L'estructura litosfèrica més important del Mediterrani oriental és la subducció de l'escorça oceànica d'Àfrica

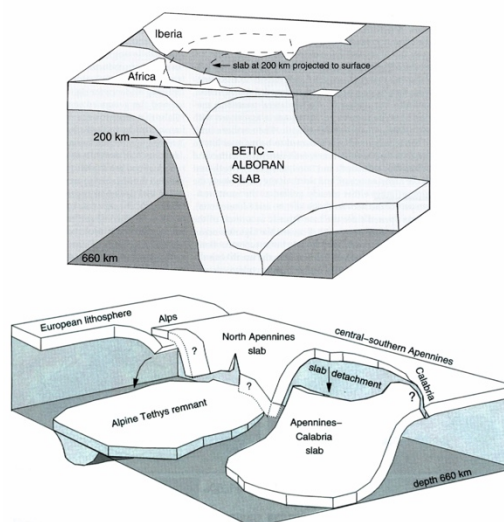
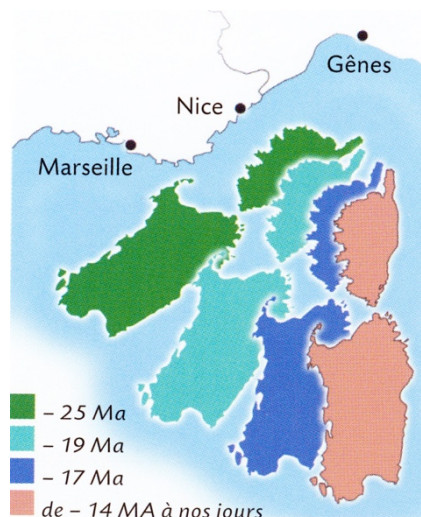


Fig. 3. Geometria esquemàtica de la subducció de Gibraltar i de Calàbria deduïda a partir de tomografia sísmica (Spakman i Wortel, 2004).



**Fig. 4.** Rotació de Còrsega-Sardenya durant el Miocè deduïda a partir de paleomagnetisme i geocronologia (MICHEL, 2008)

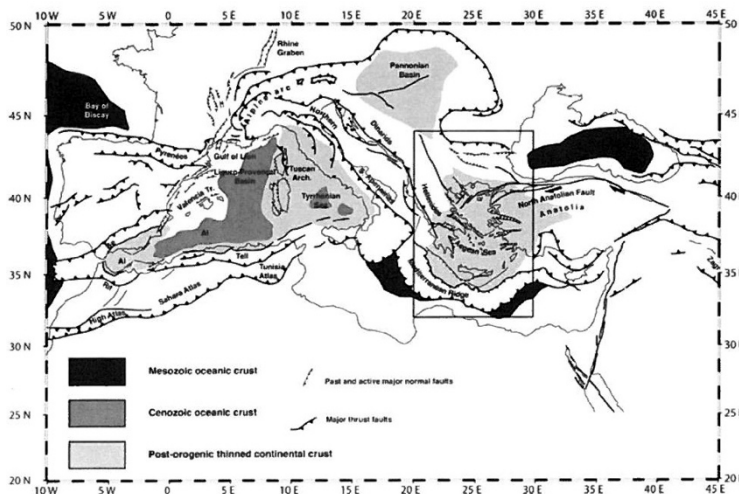
(Tethys) davall del *Mediterranean Ridge* i dels Hel·lènides. La Tomografia sísmica permet visualitzar que la llosa en subducció arriba fins el 2000 km de fondària el que indica que aquesta subducció ha estat funcional durant un període de temps molt llarg.

### Hipòtesi

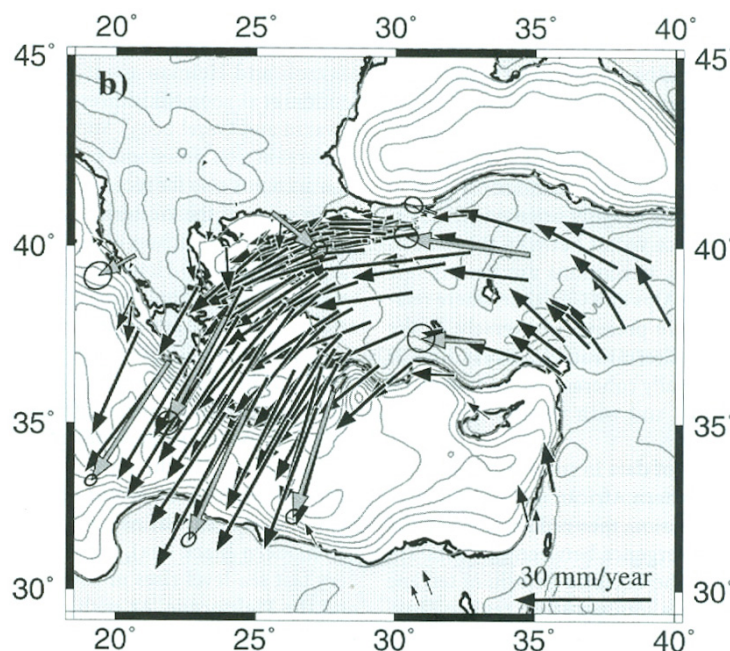
L'origen de les conques del Mediterrani s'han intentat explicar per tres tipus de processos diferents que no necessàriament són excloents entre si sinó que podrien complementar-se.

1) La convergència entre Àfrica i Euràsia va generar un engruïment (una arrel) cortical que en sobrepassar determinat gruix esdevé inestable i es desprèn. Això implica un increment del gradient geotèrmic cortical que comporta un augment del flux calòric i un refredament. Aquest refredament de l'escorça implica un augment de densitat de les roques i una subsidència (generació de conques) (PLATT i VISSERS, 1989).

2) Les conques s'assimilen a mega-esquerdes de tensió corticals. L'obertura d'una conca es produiria per una extensió en principi perpendicular a la convergència de les plaques. Si en un lateral de la zona en extensió hi hagués un oceà, aquest podria subduir sota de la conca generant-se un arc. La subducció seria conseqüència de l'extensió (TAPPONNIER, 1977; GELABERT *et al.*, 2002 i 2004). La Fig. 7 mostra l'evolució del Mediterrani occidental d'acord amb aquesta hipòtesi. Després de la col·lisió entre Àfrica i Euràsia (35 Ma), la convergència tenia una direcció NE-SW (20 Ma) i va produir una extensió SE-NW que va generar una conca embrionària; donat que al SE hi havia un oceà, aquest *free face* va permetre que es generés un arc sota del que l'escorça oceànica hi subduïa (10 Ma); a partir



**Fig. 5.** Mapa estructural de la Mediterrània Oriental. (DILEK i ALTUNKAYNAK, 2009).



**Fig. 6.** Desplaçament mesurat amb GPS de diverses localitats d'Anatòlia i de l'Egeu respecte a Euràsia (CAVAZZA *et al.*, 2004).

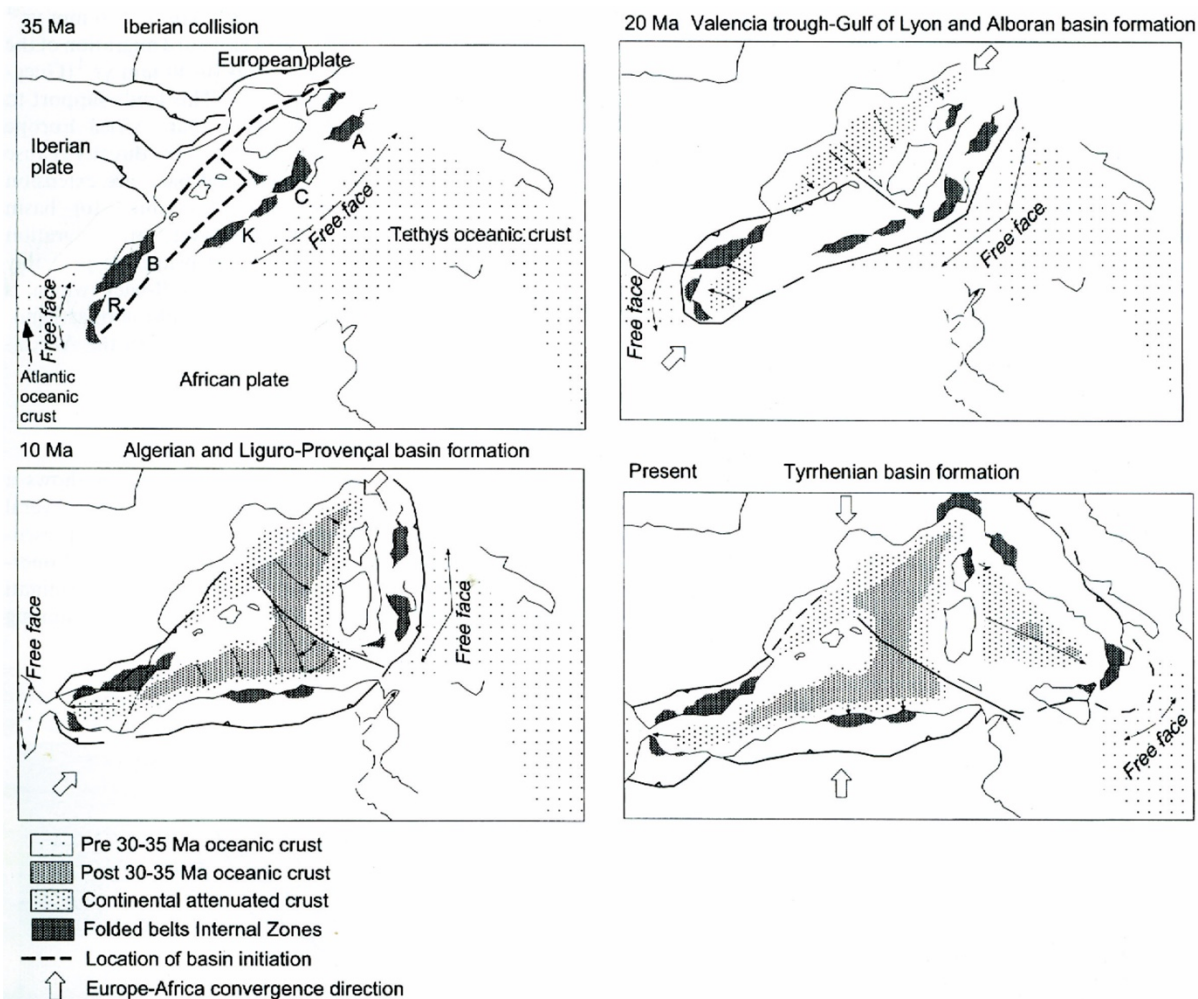
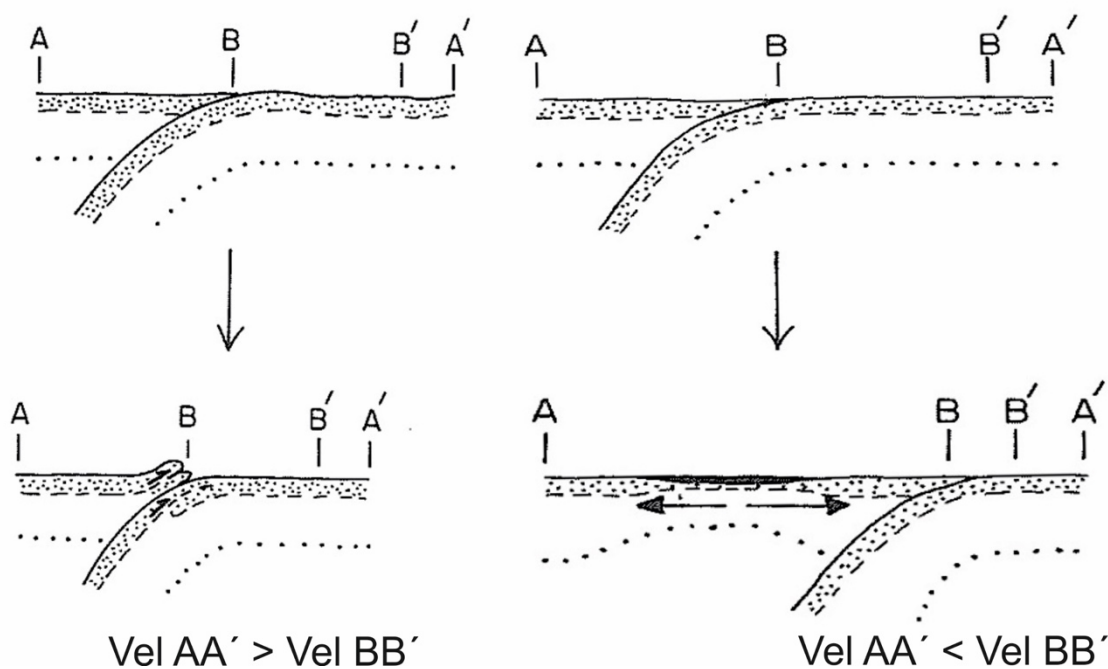


Fig. 7. Evolució del Mediterrani occidental (Gelabert et al., 2002).

d'aquí l'evolució i engrandiment de la conca passaria a estar controlada per la subducció. DRIEHAUS *et al.* (2013) van realitzar i analitzar una sèrie de models analògics a base de sorra, silicó i mel per tal d'esbrinar l'efecte de diversos paràmetres sobre l'extensió en un marge continental. Els resultats indiquen que la velocitat de convergència no facilita l'obertura de la conca (més aviat la dificulta) mentre que el paràmetre que controla l'extensió i la formació de la conca és el contrast entre les densitats de l'escorça continental i de l'escorça oceànica. Quan més gran és la diferència de densitat més fàcilment es forma la conca. Probablement les propietats mecàniques (reològiques) de la litosfera continental no són les adequades per facilitar la formació de mega-esquerdes de tensió corticals.

3) Les conques del Mediterrani són el resultat del retrocés de la subducció. Sovint es considera que la subducció va associada a la convergència de plaques. La part esquerra de la Fig. 8 (ROYDEN i BURCHFIEL, 1989) il·lustra aquesta idea; la velocitat de convergència (vel. AA') és més gran que la velocitat de subducció (vel. BB') i això implica que la distància AB disminueix amb el temps i que es produeix escurçament i orogènesis en la placa de sobre la subducció. Però la desigualtat es pot invertir de sentit (part dreta de la Fig. 8); si la velocitat de convergència és més petita que la velocitat de subducció, aleshores la distància AB augmenta amb el temps i es forma una conca, la subducció retrocedeix i el motor de la subducció deixa de ser la convergència. Algunes de les subduccions descrites a l'oest de l'oceà Pacífic tenen associades conques de rera-arc i són coherents amb aquesta segona opció. Aquesta és la hipòtesi que avui en dia té major consens, si bé hi ha múltiples variacions (ROYDEN, 1993; JOLIVET i FACCENNA, 2000; SPAKMAN i WORTEL; 2004; VERGÉS i FERNÁNDEZ, 2012 ) en funció del pes atorgat a unes o altres observacions. D'altra banda, les imatges obtingudes per tomografia



**Fig. 8.** Relació entre la velocitat de convergència i la velocitat de subducció i els seus efectes en la tectònica de la placa encavalcant (Royden i Burhfiel, 1989).

sísmica han permès adquirir el convenciment que la formació de les conques del Mediterrani no poden ser degudes a un mecanisme exclusivament cortical sinó que es requereix un procés mantèl·lic com és el cas del retrocés de la subducció (WORTEL i SPAKMAN, 2000; FACCENNA *et al.*, 2003 i 2004; JOLIVET *et al.*, 2009 ; VAN DER MEER *et al.*, 2010). A més a més, els models analògics han permès determinar quins paràmetres condicionen el funcionament de la subducció i el seu retrocés (FUNICELLO *et al.*, 2003; REGARD *et al.*, 2008; STEGMAN *et al.*, 2010; BELLAHSEN *et al.*, 2005). La llosa que subdueix, per ser el motor del mecanisme, ha de tenir una flotabilitat negativa, es a dir, la seva densitat ha de ser superior a la del mantell en què s'enfonsa. Al seu torn, la densitat de la llosa que subdueix depèn de la temperatura (i aquesta de l'edat de la llosa – només les lloses antigues i fredes poden subduir) i de les reaccions metamòrfiques associades a una pressió que augmenta amb la fondària. En aquest cas l'extensió seria conseqüència de la subducció i en concret del seu retrocés.

## Discussió

La restitució seqüencial de talls corticals és una metodologia potent per intentar entendre i visualitzar l'evolució de les estructures en general i en particular de les conques (VERGÉS i SÀBAT, 1999).

La Fig. 9 recull de forma esquemàtica l'evolució de tres talls singulars del Mediterrani Occidental des dels 35 Ma fins a l'actualitat (FACCENNA *et al.*, 2004): un tall és ortogonal a l'arc de Calabria, l'altra passa per les Balears i el tercer per l'arc de Gibraltar. Aquests talls il·lustren clarament el retrocés de les subduccions i la sincronia entre retrocés i generació de les conques.

L'evolució cortical de les Hel·lènides (JOLIVET i BRUN, 2010) té semblances amb els tres talls corticals del Mediterrani Occidental. A l'extrem dret de la placa situada sobre la subducció hi ha la *Mediterranean Ridge*; a continuació cap al N, hi ha l'arc de Creta, la Conca de Creta, les Cíclades, la Conca de l'Egeu nord i la plataforma de Moesia. La restitució seqüencial del tall des dels 65 Ma fins a l'actualitat (JOLIVET i BRUN, 2010) mostra molt clarament la formació progressiva de cadascuna de les conques i dels arcs que les separen, i el retrocés constant de la subducció.

La Fig. 10 vol posar de manifest l'evolució dels dos mediterranis i remarcar-ne les diferències. La fletxa representa la direcció predominant del desplaçament d'Àfrica en relació a Euràsia. 1, 2 i 3 repre-

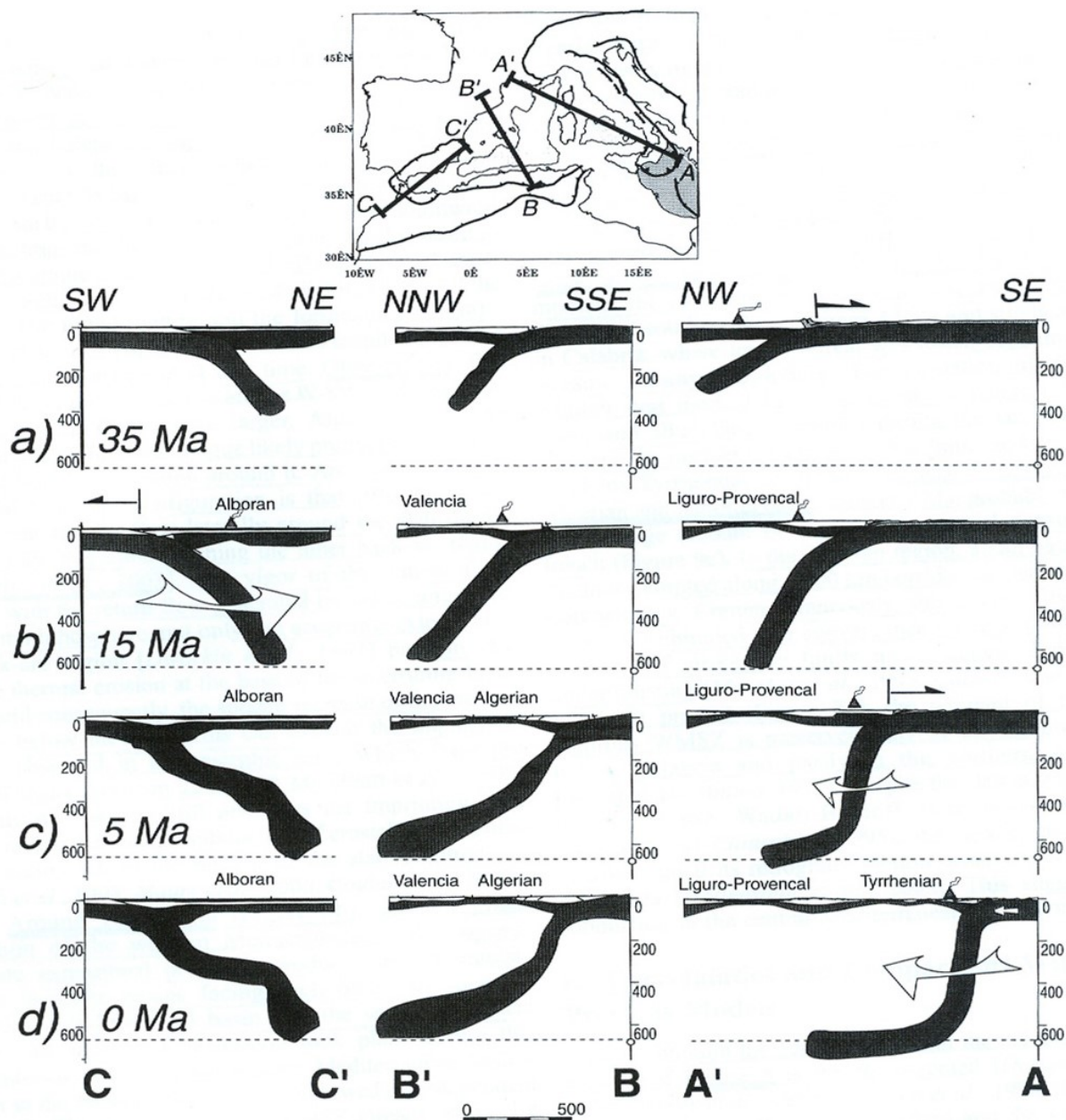
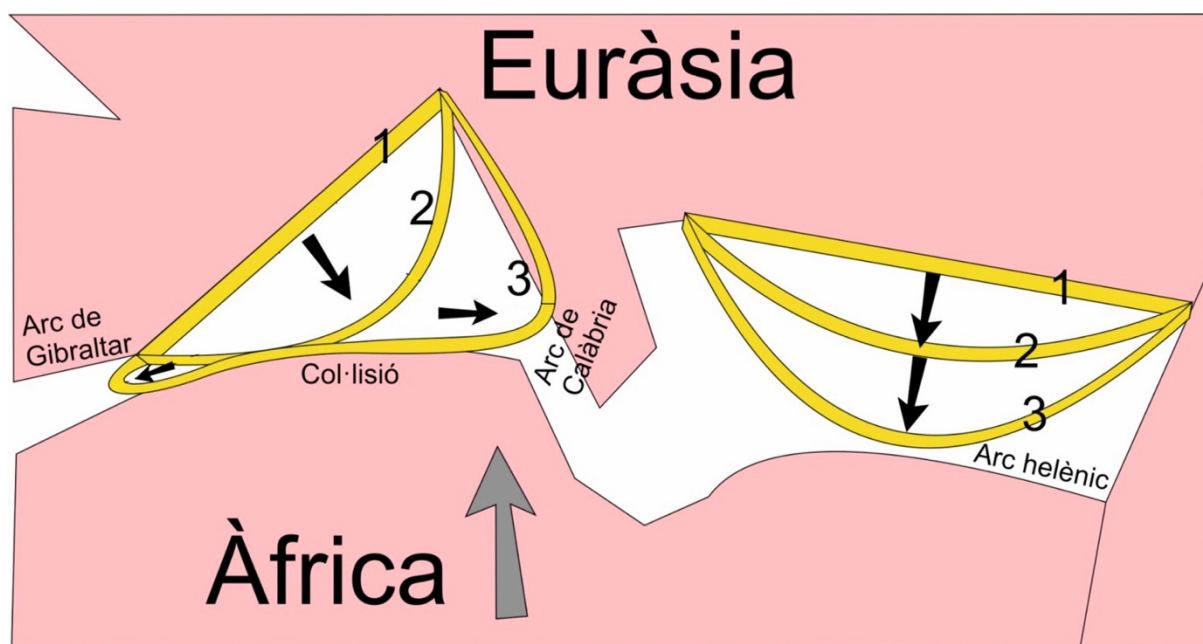


Fig. 9. Evolució seqüencial de tres transversals del Mediterrani Occidental (FACCENNA *et al.*, 2004).

senten estadis: 1, l'inicial; 2, l'intermig i 3, el final. No representen temps determinats ja que les dues conques no evolucionen en sincronia. Pel cas del Mediterrani occidental l'estadi 2 és molt peculiar ja que consisteix en la col·lisió de l'arc amb Àfrica. Aquesta col·lisió comporta un canvi cinemàtic de primer ordre: l'arc queda bloquejat i la rotació de Còrcega-Sardenya s'atura; la continuació de l'evolució només és possible amb l'escapament lateral cap als "free face" de dos segments desiguals de l'arc. El més llarg s'escaparà cap a l'est formant l'arc de Calabria sobre una subducció local de l'oceà Jònic dirigida a l'oest, i el segment més curt s'escaparà cap a l'oest formant l'arc de Gibraltar sobre una subducció local de l'oceà Atlàntic dirigida cap a l'est. A més a més, en conjunt, el Mediterrani Occidental és oblic en relació a la convergència d'Àfrica amb Euràsia. En el cas del Mediterrani Oriental no s'ha arribat encara a la col·lisió de l'arc amb Àfrica (si bé no falta gaire) i l'arc s'ha desenvolupat lliurament de manera, que mentre a l'interior de l'arc hi ha les conques neoformades degudes al retrocés de la subducció, a l'exterior de l'arc encara subsisteixen porcions de l'oceà antic que ha subduït durant tota l'evolució i



**Fig. 10.** Evolució esquemàtica dels arcs del Mediterrani Oriental i Occidental. 1 representa l'estadi inicial, 2 representa un estadi intermedi i 3 representa l'estadi final. Els dos arcs no són sincrònics i per tant 1, 2 i 3 no representen temps determinats. La fletxa gris mostra la direcció predominant d'Àfrica respecta a Euràsia. Les fletxes negres mostren la direcció del retrocés de la subducció.

que encara continua subduint: a l'est de Conca de Llevant i a l'oest el mar (oceà) Jònic. A més a més, en conjunt, l'arc del Mediterrani Oriental és frontal en relació a la convergència; això ho fa tot més fàcil.

La convergència entre Àfrica i Euràsia és primordial per desenvolupar les orogènies d'algunes de les serralades, però juga un paper menor encara que cabdal a l'hora de desencadenar les subduccions. Un cop les subduccions han adquirit una certa maduresa és el seu retrocés el que produeix l'extensió que genera les conques.

El model presentat és volgudament simple perquè està focalitzat en posar de manifest el paper essencial de la col·lisió de l'arc amb el continent situat en la placa que està subduint. És la comparació entre els dos mediterranis que permet posar en valor aquest factor. En realitat tot és molt més complex del que s'ha explicat en aquest article; s'han deixat de banda moltes observacions i característiques ben conegudes que posen de manifest que el model presentat és del tot incomplet. A títol d'exemple es poden mencionar dos trets molt rellevants del Mediterrani occidental: 1) La falla de transferència nordbaleàrica que permet que Còrsega-Sardenya i les Balears tinguin desplaçaments de magnitud molt diferent, i 2) el fet que les Kabylies estiguin al sud de la conca d'Algèria mentre que les Bètiques estan al nord de la conca d'Alboran. Aquesta segona observació implica que hi ha d'haver una zona de transferència entre la conca algeriana i la conca d'Alboran i que les subducció a banda i banda de la transferència tinguin polaritats oposades (VERGÉS i FERNÁNDEZ, 2012), o bé que les Bètiques en conjunt han experimentat una rotació de 180° (SPAKMAN i WORTEL, 2004; VAN HINSBERGEN *et al.*, 2014). De fet, qualsevol de les dues explicacions no són coherent amb el model presentat.

## Conclusions

- Hi ha dos mediterranis diferents: L'oriental i l'occidental.
- El Mediterrani està situat a la zona de convergència entre Àfrica i Euràsia. La convergència és responsable de les orogènies que han generat algunes serralades de muntanyes.
- El Mediterrani és el resultat de la subducció i del seu retrocés.



- La subducció occidental ha estat obliqua i en un moment de la seva evolució es va produir col·lisió l'arc – continent. Això va comportar un bloqueig i la posterior formació de dos arcs laterals de dimensions desiguals. La subducció oriental ha evolucionat de forma més lliure perquè la col·lisió arc-continent no s'ha produït i encara queden petits romanents de l'oceà que subdueix.

## Agraïments

En primer lloc hem d'agrair a Antonio Rodríguez Perea les moltíssimes hores que hem passat discutint i aprenent sobre aquest tema. També volem agrair el temps i l'esforç realitzat pels revisors d'aquest article i pels editors del volum.

## Bibliografia

- BELLAHSEN, N., FACCENNA, C. i FUNICELLO, F. (2005). Dynamics of subduction and plate motion in laboratory experiments: Insights into the plate tectonics behavior of the Earth. *J. Geophys. Res.* 110: B01401.
- CAVAZZA, W., ROURE, F. i ZIEGLER, P.A. (2004): The Mediterranean Area and the Surrounding Regions: Active Processes, Remnant of Former Tethyan Oceans and Related Thrust belts. In *Transmed Atlas*. Springer.
- DILEK., Y. i ALTUNKAYNAK, S. (2009): Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in Western Turkey: Mantle response to collision, slab break-off, and lithospheric tearing in an orogenic belt. *Geological Society London Special Publications*, 311(1): 213-233
- DRIEHAUS, L., NALPAS, T., GELABERT, B., COBBOLD, P. i SÀBAT, F. (2013): Effects of margin-parallel shortening and density contrasts on back-arc extension during subduction: experimental insights. *Tectonophysics*, 608: 288-302.
- FACCENNA, C., JOLIVET, L., PIROMALLO, C. i MORELLI, A. (2003). Subduction and depth of convection in the Mediterranean mantle. *Journal of Geophysical Research* 108 (B2): 1-13.
- FACCENNA, C., PIROMALLO, C., CRESPO-BLANC, A., JOLIVET, L. i ROSSETI, F. (2004): Lateral slab deformation and the origin of the western Mediterranean arcs. *Tectonics*, 23: TC1012, 1-21.
- FUNICELLO, F., FACCENNA, C., GIARDINI, D. i REGENAUER-LIE, K. (2003). Dynamics of retreating slabs: 2. Insights from three-dimensional laboratory experiments. *Journal of Geophysical Research*, 108, B4, 2207.
- GATTACCECA, J., DEINO, A.L., RIZZO, R., JONES, B., HENRY, B. i VADEBOIN, F. (2007): Miocene rotations of Sardinia: New paleomagnetic and geochronological constraints and geodynamic implications. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 258: 459-377.
- 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.
- GELABERT, B., SÀBAT, F., RODRÍGUEZ-PEREA, A. i FORNÓS, J.J. (2004). On the origin of North Pacific arcs. *Geologica Acta*, 2 (3): 203-212.
- GRANADO, P., URGELES, R., SÀBAT, F., ALBERT-VILLANUEVA, E., ROCA, E., MUÑOZ, J.A. i MAZZUCA, N., GAMBINI, R. (2016): Geodynamic framework and hydrocarbon plays of a salt giant: the NW Mediterranean Basin. *Petroleum Geoscience*, 22: 309-321.
- JOLIVET, L., FACCENNA, C. i PIROMALLO, C. (2009). From mantle to crust: Sketching the Mediterranean. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 285: 198-209.
- JOLIVET, L. i BRUN, J.P. (2010): Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean. *Int. J. Earth Sciences*, 99: 109-138.
- JOLIVET, L., FACCENNA, C., HUET, B. i LABROUSSE, L. (2013): Aegean tectonics: strain localisation, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, 597-598: 1-33.

- JOLIVET, L., GORINI, C., SMIT, J. i LEROY, S. (2015): Continental breakup and geodynamics of rafting in back-arc basins: The Gulf of Lion margin. *Tectonics*, 34: 662-679.
- JOLIVET, L. i FACCENNA, C. (2000): Mediterranean extension and the Africa – Eurasia collision. *Tectonics* 19 (6): 1095-1106.
- MICHEL, F. (2008): *Le tour de France d'un géologue*. BRGM editions, Paris. 383 pp.
- PARÉS, J.M., FREEMAN, R. i ROCA, E. (1992). Neogene structural development in the Valencia trough margins from paleomagnetic data. *Tectonophysics*, 203: 111-124.
- PATRIAT, P., SEGOUFIN, J., SCHLICH, R., GOSLIN, J., AUZENDE, J.M., BEUZART, P., BONNIN, J. i OLIVET, J.L. (1982): Les mouvements relatifs de l'Índe, de l'Afrique et de l'Eurasie. *Bull. Soc. Géol. France*. 24 (2): 363-373.
- PLATT, J. i VISSERS, R. (1989): Exgtensional collapse of thickened continental lithosphere: a working hypothesis for the Alboran Sea and Gibraltar arc. *Geology*, 17 (6): 540-543.
- REGARD, V., FACCENNA, C., BELLIER, O. i MARTINOD, J. (2008): Laboratory experiments of slab break-off and slab dip reversal: insight into the Alpine Oligocene reorganization. *Terra Nova*, 20: 267-273.
- ROYDEN L. i BURDHFIEL, B.C. (1989). Are systematic variations in thrust belt style related to plate boundary processes? *Tectonics*, 8 (1): 51-61.
- ROYDEN, L. (1993): The tectonic expresion of slab pull at continental convergent boundaries. *Tectonics* 12, 303-325.
- SAVOSTIN, L.A., SIBUET, J.C., ZONENSHAIN, L.P., LE PICHON, X. i ROULET, M.J. (1986): Kinematic evolution of the Tethys belt from the Atlantic Ocean to the Pamirs since the Triassic. *Tectonophysics*, 123: 1-35.
- SPAKMAN, W. i WORTEL, R. (2004): A tomographic view on Western Mediterranean Geodynamics. *In Transmed Atlas*.
- SPERANZA, F., VILLA, I.M., SAGNOTTI, L., FLORINDO, F., COSENTINO, D., CIPOLLARI, P. i MATTEI, M. (2002). Age of Corsica-Sardinia rotation and Liguro-Provençal Basin spreading: New paleomagnetic and Ar/Ar evidence. *Tectonophysics*, 347: 231-251.
- STEGMAN, D.R., FARRINGTON, R. i SCHELLART, W.P. (2010).: A regime diagram for subduction styles from 3-D numerical models of free subduction. *Tectonophysics*, 483 (1-2): 29-45.
- TAPPONNIER, P. (1977): Évolution tectòniques du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique. *Bull. Soc. Géol. France.*, 29 (3): 437-460.
- VAN DER MEER, D.G., SPAKMAN, W., VAN HINSBERGEN, D.J.J. i TORSVIK, T.H. (2010): Toward absolute plate motions constrained by lower mantle slab remnants. *Nat. Geosci.*, 3: 36-40.
- VAN HINSBERGEN, D.J.J., VISSERS, R.L.M. i SPAKMAN, W. (2014): Origin and consequences of western Mediterranean subduction, rollback and slab segmentation. *Tectonics*, 33: 394-419.
- VERGÉS, J. i SÀBAT, F. (1999): Constraints on the Neogene Mediterranean kinematics evolution along a 1000 km transect from Iberia to Africa. *Geological Society Special Publication*, 156: 63-80. London.
- VERGÉS, J. I FERNÁNDEZ, M. (2012): Tethys – Atlantic interaction along the Iberia – Africa plate boundary: The Betic – Rif orogènic System. *Tectonophysics*, 579: 144-172.
- WORTEL, M.J.R. I SPAKMAN, W. (2000): Subduction and slab detachment in the Mediterranean – Carpathian region. *Science*, 290: 1910-1917.

---

Data recepció: 18.06.21

Data revisió: 02.07.21

Revisió acceptada: 09.07.21