

DIDÀCTICA DE FORMACIÓ DELS ARC D'ILLES MITJANÇANT "CHOCHO MONEDEROS" I PLASTILINA

Bernadí Gelabert ¹, Francesc Sàbat ², Francesc X. Roig-Munar ³, José Ángel Martín-Prieto ⁴

¹ Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

² Carrer Mollerò, 3. 08415 Bigues i Riells (Catalunya)

³ QU4TRE Conculoria Ambiental, c. Carritxaret, 18. Apt. 6. 07749 es Migjorn Gran (Menorca)

⁴ Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa, km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears)

Resum: Les explicacions vigents sobre l'origen dels arcs d'illes del Pacífic oriental no responen a dues qüestions bàsiques: 1) Per què els arcs d'illes són arcs? i 2) Per què la nova escorça oceànica que es crea darrera dels arcs d'illes és més recent que l'escorça oceànica que subdueix a l'altra costat dels arcs d'illes?. En aquest article, partint d'una teoria antiga defensada per Wegener, es proposa una nova teoria sobre la formació dels arcs d'illes i la conca de rere-arc associada, a partir d'una compressió paral·lela al marge continental, que respon a les dues preguntes anteriors. A més, es proposen dues modelitzacions analògiques, una mitjançant plastilina i l'altra mitjançant antics moneders (anomenats "chocho-monederos") que expliquen amb claredat i d'una manera didàctica com es formen els arcs d'illes.

Paraules clau: arcs d'illes, models analògics, Pacífic, "chocho-monederos", plastilina.

Abstract: Current explanations about the origin of island arcs in the eastern Pacific do not answer two basic questions: 1) Why are island-arcs arcs? and 2) Why is the new oceanic crust created behind the island arcs more recent than the oceanic crust that subducts to the other side of the island arcs? In this article, based on an old theory defended by Wegener, a new theory is proposed on the formation of island arcs and the associated back-arc basin, based on a compression parallel to the continental margin, which answer the two previous questions. In addition, two analogical models are proposed, one using plasticine and the other using old purses (called "chocho-purses") that explain clearly and in a didactic way how island arches are formed.

Keywords: island-arcs, analogical models, Pacific, "chocho" purses- plasticiline.

Introducció: els arc d'illes del Pacífic occidental

Els arcs d'illes són diversos conjunts d'illes oceàniques que s'ordenen en forma d'arc i es troben adjacents a zones de subducció. Es troben a tots els oceans però són especialment vistosos a l'oceà Pacífic i, més concretament, a la zona limítrofa del continent asiàtic amb l'oceà Pacífic. En aquesta zona trobem, de S a N, l'arc d'illes del Japó, l'arc de les Illes Kurils i l'arc de les Illes Aleutianes (Fig. 1). L'origen d'aquests tres arcs serà el tema de discussió d'aquest article.

Cadascun dels tres arcs constitueix un límit entre l'oceà Pacífic i una conca oceànica adjacent al continent asiàtic. La conca associada a l'arc de les Aleutianes s'anomena mar de Bering; la conca associada a l'arc de les Illes Kurils s'anomena mar d'Ojotsk i la conca associada a l'arc del Japó és el mar de Japó.

Que l'origen dels arcs d'illes no està encara perfectament definit està demostrat en el tractament que en fan manuals de Geologia propis d'un primer curs d'Universitat. Aquí mostrarem com expliquen l'origen dels arcs d'illes els manuals de TARBUCK i LUTGENS (Ciències de la Terra, 2005, 8ena edició), SKINNER, PORTER i PARK (Dynamic Earth. An Introduction to Physical Geology, 2004, 5ena edició) i PRESS i SIEVER (Understanding Earth, 1998, 2ona edició).

Segons TARBUCK i LUTGENS (2005) i PRESS i SIEVER (1998), on convergeixen dues plaques oceàniques, una subdueix davall de l'altra i s'inicia una fusió parcial del tascó de mantell situat sobre la placa que subdueix (Figa. 2A i 2C). Aquest fet acaba generant la formació d'un arc d'illes volcàniques

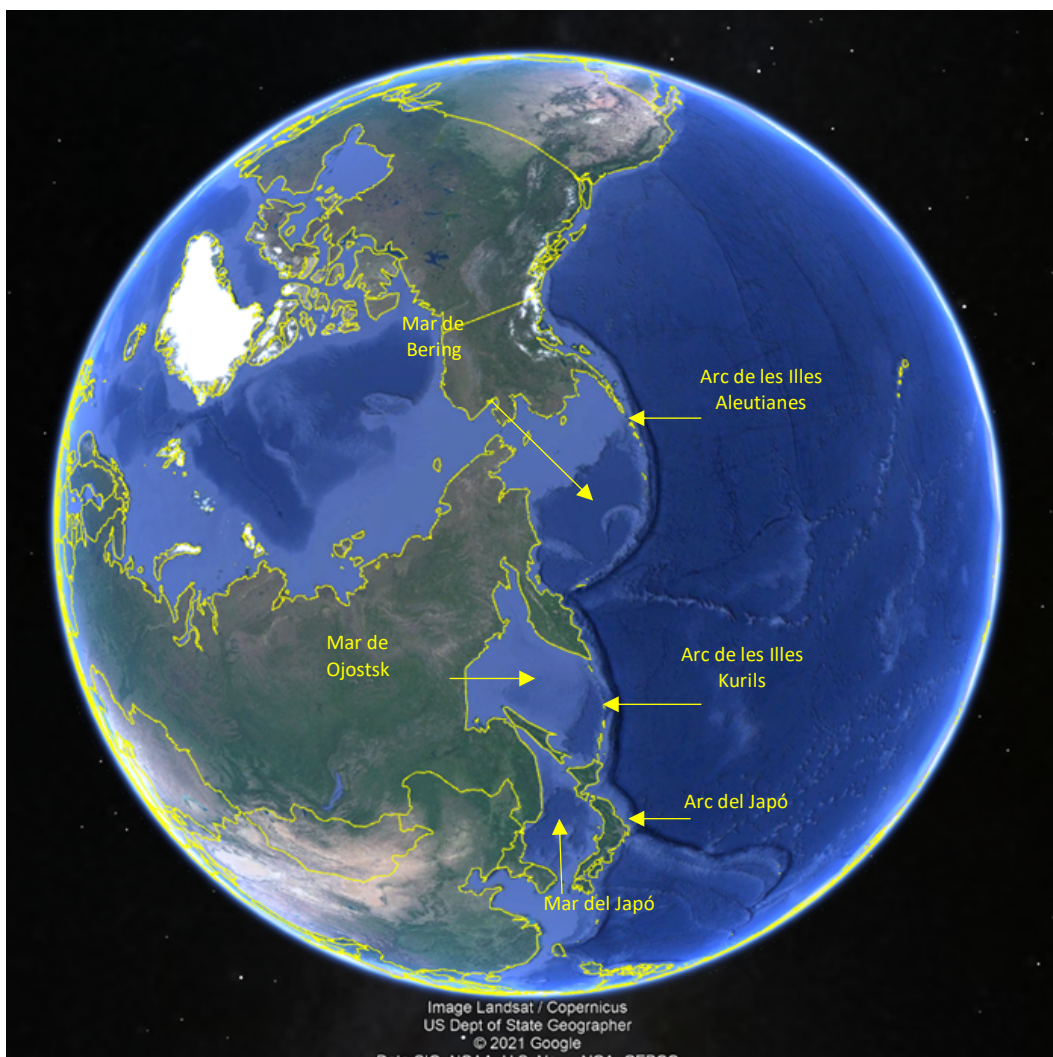


Fig. 1. Arcs d'illes del Pacífic. Vista de la Terra des de la vertical del pol N. Amb aquesta vista es comprova com els costats americà i asiàtic del Pacífic són, en definitiva, un mateix costat.

sobre el fons oceànic. Més que una explicació es tracta d'una descripció parcial de la zona. La pregunta que es genera és, perquè aquesta subducció ha de donar lloc a una morfologia arquejada de l'arc d'illes? L'esquema del llibre de SKINNER, PORTER i PARK (Fig. 2B) mostra, a diferència dels anteriors, el marge continental adjacent a la conca de rere-arc. Segons aquest esquema, l'escorça oceànica que conforma la conca de rere-arc és més antiga que la de la part oceànica (a l'altra costat de la subducció), la qual cosa ja se sap actualment que no és cert que la conca de rere arc té una edat més moderna que l'escorça oceànica que subdueix. En definitiva, si bé les descripcions que donen dels arcs d'illes els tres treballs esmentats són correctes, no donen resposta a dues preguntes fonamentals: 1) Per què els arcs d'illes són arcs? i 2) Per què l'escorça oceànica de les conques de rere-arc és més moderna que l'escorça oceànica que subdueix sota l'arc d'illes?

Per què els arcs d'illes són arcs?

És ben sabut des de la dècada dels 60 que les zones de subducció de la terra, i en particular els arcs d'illes, es poden representar geomètricament mitjançant petits arcs de cercle que tenen una curvatura que és una funció de l'angle de la subducció, o millor dir, de l'angle entre la llosa que està en subducció i la que no hi està. FRANK (1968) fou el primer en proposar el model de "pilota de ping-pong" que

assimila la flexió cap baix de la litosfera (és a dir, una zona de subducció) a l'abonyegadura d'un pilota de ping-pong espenyada.

Diversos autors han provat la hipòtesi de Frank (TOVISH i SCHUBERT, 1978) i han trobat que és una aproximació justa en alguns casos i una aproximació deficient a d'altres. Generalment s'accepta que l'estructura arquejada dels arcs de les illes es pot atribuir a la rigidesa de la placa descendent, però el mecanisme detallat continua sent controvertit. YAMAOKA *et al.* (1986) atribueixen les cúspides que representen els arcs d'illes a flexions litosfèriques.

Les conques de rere-arc

La formació de les conques de rerearc del Pacífic Oriental va ser explicada per ROYDEN i BURCHFIEL (1989). Segons aquests autors les conques de rerearc d'aquesta zona es formen perquè la velocitat de convergència entre les plaques del Pacífic i d'Àsia és més petita que la velocitat de la subducció de la llosa de l'oceà Pacífic (Fig. 3). Aquesta menor velocitat de subducció respecte de convergència, implica que la distància AB de la Fig. 3 (esquema inferior) augmenta amb el temps i es forma una conca. Si la velocitat de convergència (vel. AA') fos més gran que la velocitat de subducció (vel. BB') implicaria que la distància AB disminueix en el temps (figura 3 esquema superior) i es produiria una compressió. En qualsevol cas, aquesta hipòtesi explica la formació de la conca i el fet que aquesta sigui simultània a la subducció, però no explica la formació dels diferents arcs.

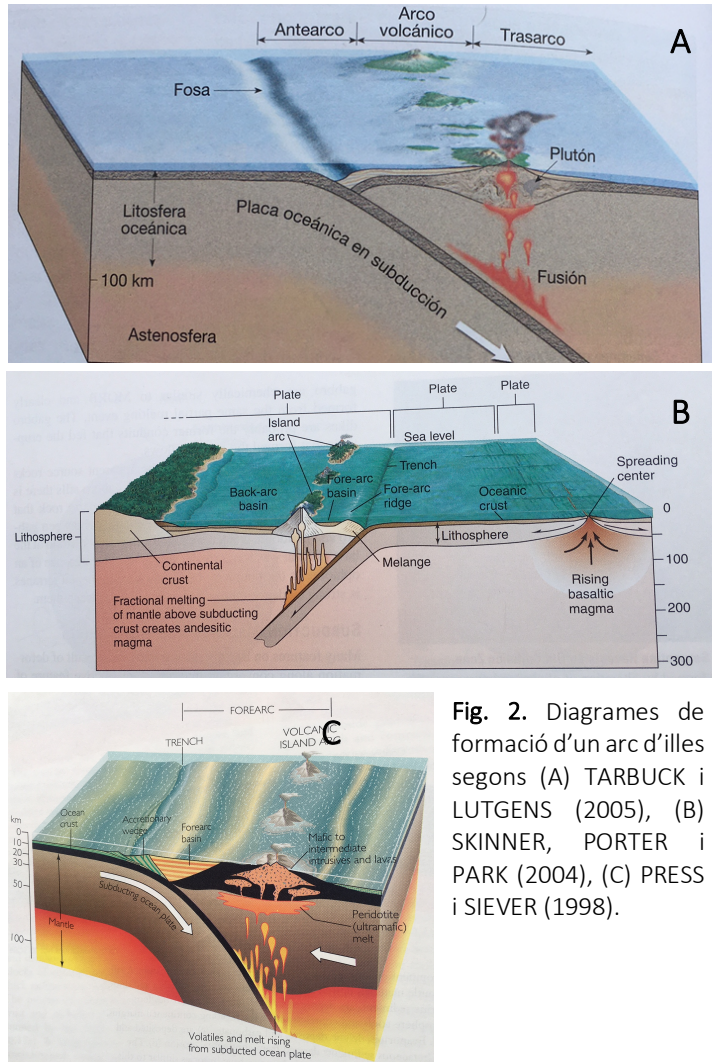


Fig. 2. Diagrames de formació d'un arc d'illes segons (A) TARBUCK i LUTGENS (2005), (B) SKINNER, PORTER i PARK (2004), (C) PRESS i SIEVER (1998).

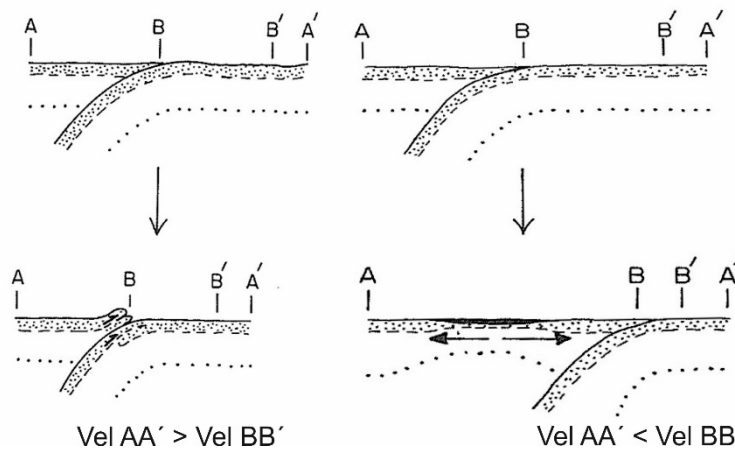


Fig. 3. Relació entre la velocitat de convergència i la velocitat de subducció i els seus efectes en la tectònica de la placa encavalcant (Royden i Burchfiel, 1989).

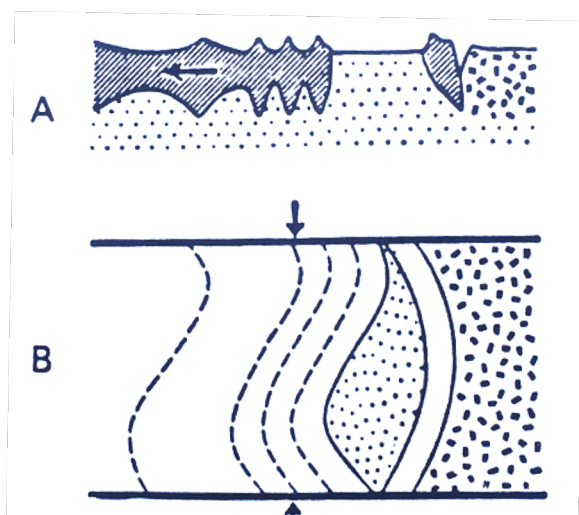


Fig. 4. Esquema de l'origen d'un arc d'illes, segons Wegener (1922). A) Secció transversal. B) Vista en planta. Els guions de la vista en planta corresponen a l'alineació de la part de l'escorça continental.

La hipòtesi de Wegener

“Les formes protuberants de les vores continentals situats enfront dels arcs d'illes són un aspecte curiós. Concretament, quan a més de la línia de costa estudiem la isòbata de 200 m, veiem que la vora continental forma sempre la imatge especular de una “S”, mentre que l'arc insular situat enfront forma un arc convex simple. Aquesta geometria està representada esquemàticament a la Fig. 4. Aquestes línies de costa sortints són característiques d'una compressió paral·lela a la costa i també a la direcció de les cadenes costaneres. Per tot això han de ser considerades com grans plects horitzontals. Es tracta d'un aspecte subsidiari de les grans compressions experimentades per tota Àsia Oriental en direcció NE-SW. Si se prova de rectificar aquesta línia ondulada de la costa del continent asiàtic oriental, la separació entre Indoxina i l'estret de Bering creix

des dels 9100 km actuals fins a uns 11000 km. Així doncs, els arcs insulars i especialment els de l'Àsia oriental, són cadenes marginals que es varen desprendre dels continents a conseqüència del desplaçament d'aquests cap a l'oest, quedant adherits al fons oceànic antic i rígid. Entre ells i la vora continental sortiren a la superfície finestres de fons oceànic més recents i fluides.” La persona que diu aquestes paraules no som els autors de l'article, sinó Alfred WEGENER (1922), el pare (o l'avi) de la geologia moderna, la persona que va descobrir la deriva continental. És molt important tenir aquesta idea de Wegener en compte, perquè explica satisfactòriament com es formen els arcs i també la simultaneïtat entre la formació dels arcs i les conques de rere-arc.

La hipòtesi d'Antonio

Sense tenir coneixement previ del que havia escrit el Wegener sobre els arcs d'illes, la intuïció de l'Antonio va fer que pensés que els arcs d'illes es formen a partir d'una compressió paral·lela a l'eix llarg de l'arc. La hipòtesi d'Antonio va ser anomenada col·loquialment la hipòtesis del “chochito”. Els “chochitos”, també anomenats “chocho-monederos”, és el terme col·loquial que fa referència a unes carteres de plàstic que s'usaven antigament (fa més de quaranta anys) per posar-hi únicament les monedes (Fig. 5). Aquests moneders tenen forma ovalada, amb una ranura central longitudinal. En comprimir paral·lelament a la ranura, el moneder s'obri formant dos arcs i un espai central que s'obri al mateix temps que es formen els

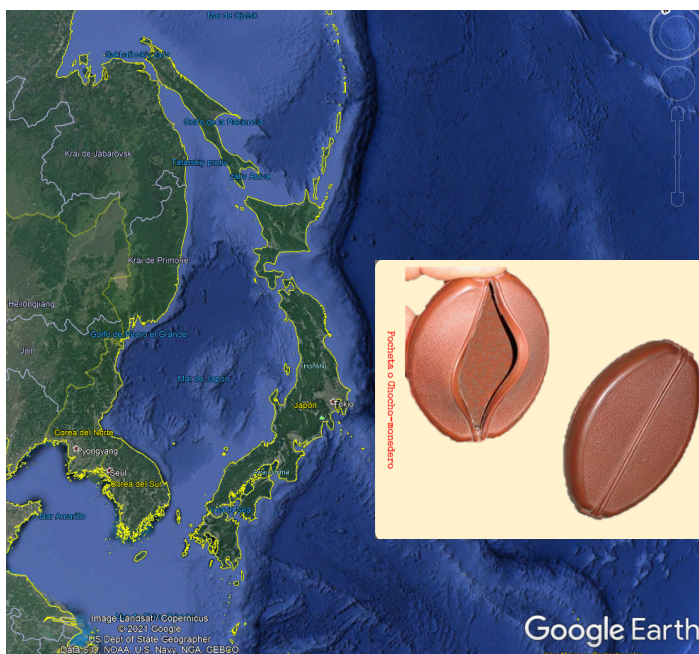


Fig. 5. Comparació entre la creació de dos arcs i un buit central en un “chocho-monedero” i els dos arcs del Japó-oest de la Xina i el mar del Japó.

arcs. D'una manera similar es formen els arcs d'illes i les conques de rere arc: mitjançant una compressió paral·lela a l'antic marge continental es formen, simultàniament, les dues morfologies arquejades i la conca de rere arc. Òbviament l'edat de la conca que es forma és més moderna que l'edat de la litosfera oceànica que subdueix. Aquesta hipòtesis explica, d'una manera molt didàctica i eficient les dues grans preguntes relatives als arcs d'illes, és a dir, l'edat de la conca i la morfologia arquejada. La subducció, en definitiva, no hi té res a veure, ni en la forma d'arc ni en la creació de la conca de rere-arc.

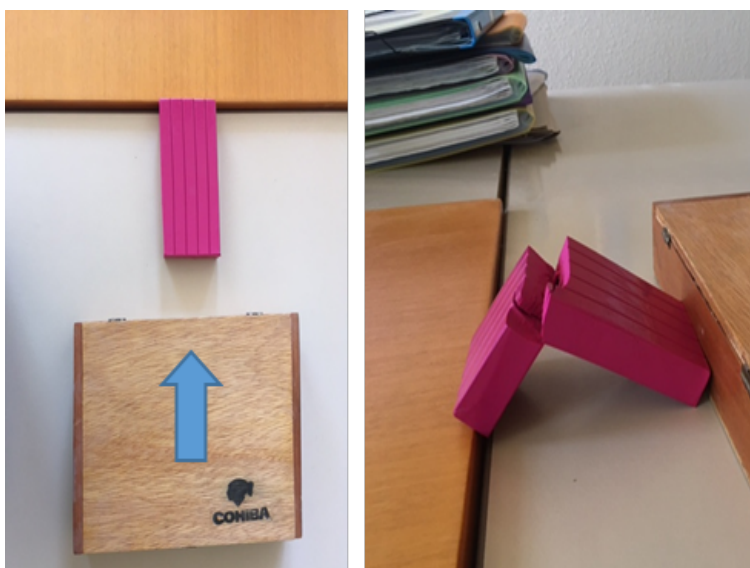


Fig. 6. Compressió d'una massa de plastilina (esquerra) i deformació perpendicular a la direcció de compressió (dreta).

Els models en plastilina

La mateixa dinàmica litosfèrica i les mateixes morfologies es poden simular utilitzant plastilina. Simulem una escorça continental mitjançant una placa de plastilina uniforme. Si comprimim aquesta massa compacta, uniforme, el que es forma és un bombament o una fractura de direcció perpendicular a la direcció de compressió (Fig. 6). Però si fem un tall lateral d'aquesta massa de plastilina, de tal manera que es creï una franja lateral prima i llarga, quan es comprimeix en la mateixa direcció que l'experiment anterior, apareix un arc i un buit, és a dir un arc d'illes i una conca de rere arc al marge ("continental") que suposa aquesta massa de plastilina (Fig. 7).

El model real

El nostre model de formació dels arcs d'illes de la vora oriental del continent asiàtic és el d'una compressió paral·lela al marge continental. A la Fig. 8A es mostra un model de marge continental passiu. Al marge s'hi troben làmines allargades i primes (d'escorça continental), paral·leles al marge i que estan delimitades per fractures. La Fig. 8B mostra la vista en planta d'aquest marge continental que presenta franges continentals allargades i primes (en comparació amb el centre continental). La figura 8C mostra el resultat de la compressió paral·lela al marge continental: dos arcs oposats i una conca oceànica central, ambdues morfologies formades simultàniament.



Fig.7. La mateixa compressió que a la figura 6, però s'ha definit una fractura allargada al marge de la massa de plastilina. El resultat ha estat la formació d'un arc i un "forat".

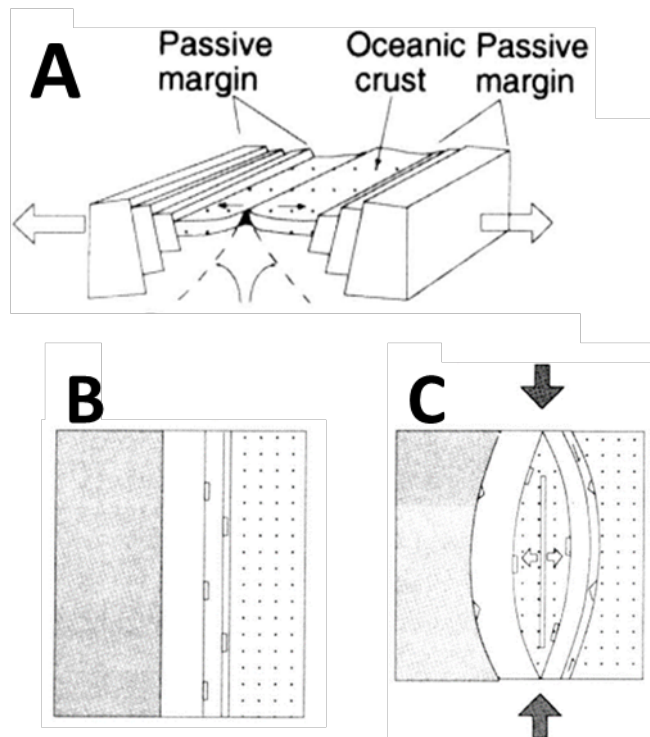


Fig. 8. A) Model de marge continental. B) Vista en planta del marge continental. C) Compressió paral·lela al marge continental amb formació de dos arcs oposats i una conca oceànica central.

La formació dels arcs d'illes del marge oriental asiàtic

Ja s'ha esmentat que la idea principal del nostre model és el de la compressió paral·lela al marge continental. Per tant, les conques de rere arc i els arcs d'illes s'han d'haver format a partir d'una compressió paral·lela al marge continental asiàtic. Efectivament, la placa Índica convergeix cap a la placa asiàtica segons una direcció que és paral·lela al marge continental asiàtic (Fig. 9). Els esforços horitzontals necessaris per crear aquesta compressió s'incrementen ostensiblement quan es va acabar la subducció d'escorça oceànica a la zona de col·lisió Índia-Eurasia (LONGLEY, 1997), aproximadament fa 42 Ma. Aquesta compressió va finalitzar al començament del règim tectònic actual, fa uns 15 m.a. amb l'expulsió lateral de grans fragments continentals degut a la ja col·lisió continental Índia-Eurasia (DEWEY *et al.*, 1989). Per tant, les conques de rere arc (i la formació dels arcs) tenen una edat compresa entre els 42 i els 15 Ma, com així ho confirmen les dades disponibles (ISEZAKI, 1975, per la conca del Japó, BURK i GNIBIDENKO, 1975 per la conca d'Ojostsk, entre d'altres). Aquesta hipòtesi

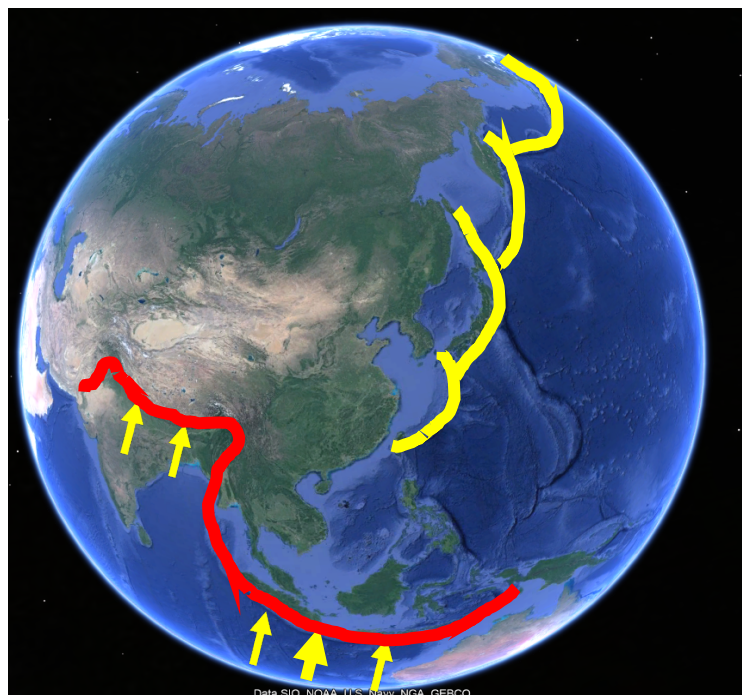


Fig. 9. Convergència entre la placa Índica i Eurasia i formació dels arcs d'illes del Pacífic Occidental.

explica, a més, el perquè en una subducció continua des de fa més de 150 Ma, com la del Pacífic sota Àsia, únicament s'han format arcs d'illes i conques de rere arc amb una edat compresa entre els 42 i els 15 Ma. Per què no es formen conques de rere arc actuals en aquesta zona? Doncs perquè els esforços compressius actuals o recents paral·lels a l'antic marge continental no són suficientment grans com per formar-los des que l'expulsió lateral (fa 15 m.a.) de la zona continental d'Índoxina (deguda a la convergència Índia/Àsia) impedeix transmetre-les a distàncies més grans.

Bibliografia

- BURK, C.A. i GNIBIDENKO, H.S. (1975): The structure and age of acoustic basement in the Okhotsk Sea; in *Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back-Arc basins. Maurice Ewing Series*, 1: 451-461.
- DEWEY, J.F., CANDLE, S. i PITMAN, W.C. (1989): Tectonic evolution on the India/Eurasia collision Zone. *Ecoglae Geologicae Helvetiae*, 82: 717-734.
- FRANK, F.C. (1968). Curvature of island arcs. *Nature*, 220: 363.
- ISEZAKI, N. (1975). Possible spreading centers in the Sea of Japan. *Marine Geophysical Research*, 2: 265-277.
- LONGLEY, I.M. (1997). The tectonostratigraphic evolution of SE Asia. *Geological Society, London, Special Publications*, 126, 311-33.
- PRESS, F. i SIEVE, R. (1998): *Understanding Earth*, Freeman and Co. New York.
- ROYDEN, L.I. i BURCHFIEL, B.C. (1989): Are systematic variations in thrust belt style related to plate boundary processes? *Tectonics* 8 (1): 51-61.
- SKINNER, B.J., PORTER, S.C., i PARK, J. (2004): *Dynamic Earth. An Introduction to Physical Geology*. John Wiley, Chichester. [5a edició].
- TARBUCK, E.J. i LUTGENS, F.K., (2005): *Ciencias de la Tierra*. Pearson, Madrid. [8a edició].
- TOVISH, A. i SCHUBERT, G. (1978): Island arc curvature, velocity of convergence and angle of subduction. *Geophysical Research Letters*, 5: 329-332.
- WEGENER, A. (1922). *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*. Borntraeger Gebrueder, Berlin.
- YAMAOKA, K., FUKAO, Y. i KUMAZAWA, M. (1986). Spherical shell tectonics: Effects of sphericity and inextensibility on the geometry of the descending lithosphere. *Reviews of Geophysics*, 24(1):27-53

Data recepció: 23.08.21

Data revisió: 12.09.21

Revisió acceptada: 15.09.21