

# EOLIANITES A LA PART SEPTENTRIONAL DE LA SERRA DE TRAMUNTANA: LA PENÍNSULA DE FORMENTOR (POLLENÇA, MALLORCA)

Damià Vicens <sup>1</sup>, Guillem X. Pons <sup>1,2</sup>, Guillem Vicens <sup>1</sup> i Laura del Valle <sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup> Societat d'Història Natural de les Balears. Carrer Margarida Xirgu, 16 baixos. 07011 Palma.

<sup>2</sup> Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears).

<sup>3</sup> Faculty of Environmental Sciences and Engineering, Babes-Bolyai University, Cluj-Napoca, Romania.

<sup>4</sup> Grup de Recerca de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa km 7.5, 07122 Palma (Illes Balears).

**Resum:** Es presenta un estat de la qüestió descriptiu sobre les eolianites quaternàries de la península de Formentor (Illa de Mallorca). Moltes es troben dins cales que donen cap el NO, com són cala Sant Vicenç, Cala Bóquer i cala Figuera. N'hi ha d'altres que es troben a la badia de Pollença. Malgrat la presència de dunes fòssils, actualment no hi ha sistemes dunars a la zona. També es comenta breument les cavitats que hi ha a les eolianites i els maressars de la zona.

**Paraules clau:** eolianita, península de Formentor, Pollença, Mallorca.

**Abstract:** A state of the art is presented on the Quaternary aeolianites of the Formentor Peninsula (Island of Mallorca). Many are located in coves that face to the NW, such as Cala Sant Vicenç, Cala Bóquer and Cala Figuera. There are others in the Bay of Pollença. Despite the presence of fossil dunes, there are currently no dune systems in the area. The cavities in the Aeolianites and quarries in the area are also briefly discussed.

**Keywords:** eolianite, Formentor peninsula, Pollença, Mallorca.

## Introducció

La península de Formentor es troba situada a la part septentrional de la serra de Tramuntana (Mallorca). Estructuralment està composta per un sistema imbricat d'encavalcaments amb un sentit principal de transport vers el NO. L'evolució geomorfològica ve marcada per una estructuració prèvia al miocè inferior i a una posterior compressió miocena SE-NO donant lloc a encavalcaments (GELABERT *et al.*, 1991; GELABERT 1997). Els materials que afloren són dolomies i margues del triàsic superior, calcàries i dolomies massives dels lias, miocè discordant sobre els materials anteriors format per dues unitats (RODRÍGUEZ-PEREA 1984). La unitat inferior constituïda per calcarenites i conglomerats de fàcies continentals, litorals i de plataforma, amb una edat corresponent a l'aquitanià-burdigalià inferior (Formació Calcarenites de Sant Elm). La unitat superior, està formada per una alternança, principalment de, calcarenites i margues, i esta datada com burdigalià superior-langià (Formació Turbidites de Banyalbufar). Una revisió la podem trobar a NICHOLSON (2006), on es presenten alguns talls geològics.

No presenta diferències notables respecte la costa que continua cap el SO fins a Sóller, a excepció del contacte lateral de les valls longitudinals que queden entre els diferents encavalcaments o que estan associades a sinclinals (GÓMEZ-PUJOL *et al.*, 2007). Tal n'és el cas de cala Castell (aquesta cala ja es no es trobaria a la península de Formentor), cala Sant Vicenç, cala Bóquer o cala Figuera. Una altra qüestió és que la posició relativament enfora dels entrants respecta a la isòbata de -50 m, poden explicar en un marc de fluctuacions glacioeustàtiques al quaternari, la presència d'eolianites carbonatades als vessants i flancs d'aquestes cales.

D'altra banda, a part de les eolianites, també hi ha altres materials no deformats del quaternari, com són els dipòsits de vessant de muntanya, paleosòls (VICENS i PONS, 2007; VICENS, 2015) i toves (VICENS *et al.*, 2014).



Fig. 1. Localitats amb eolianites a la península de Formentor.

Encara que sí hi ha platges arenoses, com són les de Cala Sant Vicenç, la Platjola, Formentor, etc., actualment no hi ha camps dunars al terme municipal de Pollença (veure SERVERA 1997, SERVERA *et al.*, 2014). Malgrat això, si hi ha eolianites a Cala Bóquer, Cala Figuera, Formentor, Cala Sant Vicenç, entre d'altres.

Cal recordar que, segons GÓMEZ-PUJOL (en premsa), els primers en donar valor a les eolianites de Mallorca i el seu significat ambiental són BUTZER (1962) i BUTZER i CUERDA (1962). FORNÓS (2014) comenta el significat històric d'eolianita, defineixen les principals característiques texturals i sedimentològiques, els dipòsits associats i les característiques paleogeogràfiques i paleoambientals que representen dintre de la complexa evolució sedimentària del Quaternari, mostrant exemples de les Illes Balears. A POMAR (2016) podem trobar exemples de Mallorca i de Menorca i a DEL VALLE (2016) d'Eivissa, així com una extensa bibliografia sobre el tema.

Una eolianita és una calcària costanera que registra el retreballament de grans quantitats de sediment marí d'aigües someres (litoral i de plataforma) majoritàriament d'origen biogènic. La cimentació és carbonatada i la seva deposició va ser en un ambient costaner durant el Quaternari. La seva localització, extensió i grau de cimentació fa que siguin unes roques fàcils de treballar i això fa que s'hagin utilitzat com a material de construcció des de fa temps als llocs on aflora. A nivell regional té diferents noms (consultar FORNÓS 2014); a Mallorca i Menorca se la coneix per marès i a Eivissa per pedra maresa (ALCOVER & MOLL 2021).

El fet d'haver una informació escassa sobre les eolianites i maressars d'aquesta zona de la serra de Tramuntana, ha fet que presentàssim aquest escrit, que seria més bé un estat de la qüestió. El treball s'estructura en tres apartats, el primer situa les eolianites (Fig.1), el segon les cavitats a les eolianites i el tercer els maressars.

### Localització

Les eolianites a Cala Sant Vicenç es localitzen a totes les cales que conformen aquest indret: Cala Barques, Cala Clara, Cala Molins i Cala Carbó. Ara bé, a Cala Molins, les eolianites es troben prop de la punta de la Torre i entre Cala Molins i Cala Carbó. Els dipòsits que hi ha dintre d'aquesta Cala són dipòsits tovacis. A Cala Carbó els dipòsits eòlics arriben fins uns 400 m al NO de la Cala i rere d'aquesta desapareixen, al contrari que Cala Barques, Cala Clara i Cala Molins, on els dipòsits eòlics s'estenen fins uns 1300 m terra endins, ocupant la major part de la urbanització de Cala Sant Vicenç, fins als alzinars de Can Botana. A Cala Sant Vicenç hi ha maressars a molts indrets.



**Fig. 2.** Eolianites molt alterades i en procés de desmantellament per l'erosió a cala Bóquer. La presència de materials tous del miocè pre-orogènic per davall ha estat un factor condicionant.

A cala Bóquer les eolianites, se situen al marge occidental de la cala i es troben molt desmantellades deguda l'erosió (Fig. 2). A uns 775 m rere la cala, cap el SO i a uns 69 m snm, hi ha una zona on hi ha una taca d'eolianites, on ENCINAS (1994) va topografiar una cavitat.

A cala Figuera, se situen al mateix marge que la cala anterior, a l'occidental. Degut a l'erosió hi ha en l'actualitat a la cala dues zones d'eolianites. Una just a la cala i l'altra a uns 500 m al NE (Fig. 3). També presenta una taca d'eolianites a uns 1100 m cap l'E-SO i a uns 92 m snm, on hi ha tres cavitats excavades dins aquest tipus de material (ENCINAS 1994). A uns 600 m de la cala, al cap de Catalunya, hi ha la cova Negra, on GRÀCIA *et al.* (2001) documenten la presència d'eolianites. A la badia de Pollença, on hi ha eolianites és a la platja de Formentor i a darrera d'aquesta. També n'hi ha a la punta de l'Avançada.

### Eolianites i cavitats

Les eolianites, moltes de vegades a ran del nivell de la mar, són susceptibles de ser erosionades i contenir coves d'abradió marina. També pel fet de ser una roca no tant dura com altres, l'home les ha excavat per a diferents usos. Tot seguit, comentam breument les cavitats excavades a les eolianites, tant artificials com naturals.

#### *Necròpolis de cala Sant Vicenç*

La necròpolis de cala Sant Vicenç, juntament amb la de Son Sunyer en el terme municipal de Palma i la de Son Toni Amer a Campos, són les necròpolis més importants constituïdes per hipogeus de tipus mediterrani excavades en la roca (ROSSELLÓ *et al.*, 1994), de l'illa de Mallorca.

A ROSSELLÓ *et al.* (1994) hi ha la història de l'estudi d'aquestes coves artificials d'enterrament de l'edat del bronze, envoltades d'enterraments paleocristians. Les coves artificials presenten topografies aixecades per diversos autors i es poden consultar a l'obra citada. L'única planimetria de les tombes paleocristianes que hi ha als voltants, és l'aixecada per ENCINAS (1981), abans de la remodelació del lloc degut a la urbanització. Aquestes tombes a l'igual que les coves de l'edat del bronze estan excavades dins eolianites.





**Fig. 3.** Eolianites de cala Figuera adossades als materials plegats. No presenten vegetació prop de la mar.



**Fig. 4.** Entada de la cova 6 (esquerra) i cova 7 (dreta) de la necròpolis de cala Sant Vicenç, excavades dins les eolianites quaternàries.



Una de les cavitats més representades a articles d'arqueologia és la núm. 7, descrita per Hemp (1927). La interpretació que dona ENCINAS (2007) d'aquesta cova (Fig. 4), excavada segons l'autor a partir de la remodelació d'una cova natural formada per dissolució, trobam que és arriscada, més quan no aporta proves.

#### *Cova Negra*

Cavitat molt interessant, descrita per GRÀCIA *et al.* (2001) al cap de Catalunya. Aquesta cavitat amb un recorregut d'uns 400 m, no apareix per oblit a l'inventari del 2011 de cavitats de les Illes Balears malgrat els seus més de 300 m de recorregut (GRÀCIA *et al.* 2011). Encara què la cavitat es troba instal·lada dins les calcàries del mesozoic, si val la pena parlar-ne ja que durant el pleistocè es va veure reblida per dunes, i la cimentació d'aquestes i posteriors erosions ha donat com a resultat la morfologia actual. Donat el seu interès, també és esmentada per VICENS *et al.* (2011).

La boca de dimensions notòries, té 50 m d'amplària i 44 d'alçada (on 24 són subaquàtics), dona pas a una sala de 70 m de longitud. La cavitat de direcció general N-S, segueix per una galeria amb el fons cobert d'arena amb *ripplemarks* que penetren cova endins fins quasi el final de la cavitat. La fondària va dels -23,5 m al començament de la galeria fins als -20,5 m al final de la zona coberta per arena. La distància màxima entre l'entrada i el final de la gruta és de 200 m (125 subaquàtics). No hi ha dipòsits litoquímics, exceptuant una cambra aèria al final, on hi ha colades de poca rellevància. Per tot arreu hi ha eolianites erosionades.

#### *Cova del Tresor*

Caverna que presenta una àmplia sala, on tot el sòtil són eolianites. La cavitat es va formar degut a l'abrasió marina que va actua sobre les eolianites i col·luvions basals. Ara per ara, l'arena present al trespol, tapa els blocs que dècada rere dècada s'han anat desprenent de la volta. La cavitat va ser topografiada per J. A. Encinas el 1993 (ENCINAS 1994; 2014) i presenta una planta de 56 x 25 m i una alçada de 14,5 m.

#### *Altres cavitats*

Hi ha una sèrie de cavitats d'abrasió marina situades a les eolianites de cala Figuera, aquestes són la cova de l'Amo, la cova Marina de l'Alba i la cova Marina de cala Figuera (ENCINAS 1994; 2014). Són coves de petites dimensions i d'edat holocena. També a uns 90 m snm hi ha tres cavitats topografiades pel mateix autor, i que es troben dins eolianites, aquestes són la cova Baixa, la cova de les Paretis i la cova de les Arenes.

Ja a la vall de Bóquer hi ha la cova del Pi de Bóquer, a uns 60 m snm, cavitat de modestes dimensions, dins eolianites.

### **Maressars**

Els maressars són llocs on hi ha marès i que sobretot s'ha treballat per extreure'l, és a dir, pedreres.

Segons MAS (2017a) hi havia una certa mancança de publicacions específiques sobre el tipus de marès existent a Mallorca, no obstant ressorgia l'interès tècnic-aplicat i patrimonial pel marès i per això citava a ALONSO *et al.* (1996), GARCIA-INYESTA i OLIVER (1997), AMENGUAL & SERRA (2008), SÁNCHEZ-CUENCA (2010), MATEOS *et al.* (2011) i el blog de Salvà. Respecte el tipus de marès en l'actualitat poden trobar tot una sèrie d'articles, escrits majoritàriament per MAS (2011, 2017a, 2017b), on es realitza una classificació tipològica a partir del context geològic i cronoestratigràfic i s'expliquen els usos tradicionals i aspectes històric-etnològics, entre d'altres. També cal destacar les aportacions de SALVÀ (2014, 2018)

sobre les pedreres de marès, i el seu blog (SALVÀ 2011-2021) on es pot trobar més informació al respecte.

MAS (2017a) assenyalava en un mapa la presència de pedreres amb marès del litotipus Q de cronologia entre el pleistocè mitjà-superior a cala Sant Vicenç. Aquest mateix autor, havia explicat amb tot detall les característiques d'aquest marès uns quants anys abans (MAS 2011), així d'on es troba generalment, a la costa sud de l'illa, i també a molts d'altres indrets. Les pedreres, excavades a cel obert, són nombroses però poc extenses, a les zones de costa baixa (Palma, Campos, Ses Salines, Alcúdia), els illots, i formacions dunars fòssils tipus *cliff-front* (adossades) i *cliff-top* (sobreposades) als penya-segats (Andratx, Calvià, Lluçmajor, Santanyí).

Les làmines d'aquestes eolianites poden presentar bioturbació per icnites de *Myotragus balearicus*, rizolites (Fig. 5) i traces d'insectes (MAS 2017a).

Respecte a la informació referent als maressars al terme de Pollença, aquesta és escassa. Així, a un treball recent sobre materials de la construcció a través de la documentació històrica entre els segles XIV i XVIII realitzat per BALLESTER (2015), no se cita cap maressar del municipi. Tal volta perquè no hi havia maressars al terme de Pollença, però trobam que el més probable és que n'hi havia, ja que hi ha edificis anteriors al s. XVIII construïts total o parcialment amb marès. Aquests marès, per proximitat, ha de ser de cala Sant Vicenç o de la zona d'Alcúdia.



**Fig. 5.** Rizòlits a les eolianites del Pleistocè superior de cala Carbó.



*Cala Sant Vicenç*

A cala Sant Vicenç hi ha molts de petits maressars, així n'hi ha entre cala Barques i cala Clara, actualment emmascarats per la terrassa d'un hotel (Fig. 6), al N de cala Clara a un indret denominat actualment el Maressar, al NO de cala Carbó (Fig. 7), a l'actual urbanització de cala Sant Vicenç i pels alzinars de Can Botana fins uns 1300 m terra endins.

Creiem que molts de maressars eren arrendats per finques més grans a trencadors a nivell individual. Així tenim constància que Guillem Cladera Totxo, mestre d'obres, treia marès d'una petita pedrera dins can Botana a la dècada dels anys 30 del s. XX. Als voltants hi havia més pedreres petites actives (*pers. com.* Pep Vicenç).

*El Maressar*, surt als topònims costaners de TORRES (2010) i el posa com a sinònim de *Les Pedreres*, si bé l'autor diu textualment: "es podria tractar de". Actualment es coneix amb aquest topònim una zona molt coneguda pels banyistes a un 200 m al NE de cala Clara. Ara bé, s'ha d'anar alerta quan es parla de "les pedreres vers la mar" en algun text històric, ja que hi ha pedreres a uns 300 al NE de cala Carbó i entre cala Molins i cala Clara, encara que aquest darrer no es pugui veure completament degut a la terrassa d'un hotel (Fig. 6).

VICENS i PONS (2007) al seu article sobre mol·luscs terrestres a la zona N de Mallorca presenten tres talls de cala Sant Vicenç, què també es varen presentar a VICENS (2015). Als talls si es designen, per la seva gènesi, les eolianites, no així els paleosòls i els derrubis de vessant de muntanya, què és denominen pel tipus de material, com són els llims i les bretxes. El registre paleontològic a un aflorament uns 600 m terra endins consta de mol·luscs, tots ells endèmics, com són *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Xerocrassa frater* i *Xerocrassa claudinae* –aquesta darrera fou nova cita per a la fauna del pleistocè superior de les Balears–. A cala Carbó, el registre paleontològic és més nombros i així hi ha icnites de *Myotragus balearicus*, rizòlits i mol·luscs, com són: *Iberellus balearicus*, *Tudorella ferruginea*, *Xerocrassa frater*, *Chondrula gymnesica* i *Oxychilus lentiformis*, també tots ells endèmics. Els autors



**Fig. 6.** Antic maressar entre cala Molins i cala Clara dins la terrassa d'un hotel.



**Fig. 7.** Antic maressar a uns 300 m al NO de cala Carbó.





**Fig. 8.** Antic maressar a la cara E de la punta de l'Avançada.

anteriori no són els únics en citar mol·luscs fòssils en aquesta zona, així GASULL (1963a) cita *Iberellus balearicus* i *Bithynia tentaculata* a cala Molins a uns llims vermells del Quaternari i VICENS *et al.* (2001) citen cf *Melania tuberculata* a un dipòsits travertínics que hi ha a cala Sant Vicenç. *Bithynia tentaculata* i cf *Melanoides tuberculata*, vinculades a ambients d'aigües dolces, actualment desapareguts. Referent a jaciments pleistocens amb fauna marina de cala Sant Vicenç, CUERDA i GALIANA (1976) en citen un a l'oest de la cala, entre aquesta i coves Blanques amb un registre paleontològic que s'incrementa amb dos tàxons a partir de la revisió feta per VICENS (2015) de la col·lecció Cuerda. Es desconeix la localització exacte d'aquest jaciment.



#### *Punta de l'Avançada*

També coneguda com a Punta de l'Albercuix (TORRES 2009). A la part E hi ha una pedrera notòria, que al mapa de l'IDEIB apareix amb el topònim de "el Maressar". Es tracta d'eolianites adossades a un antic paleo-penya-segat (Fig. 8).

#### *Formentor*

A la zona N de la platja es poden observar eolianites on afloren escassament i no se sap si són o no d'una potència considerable. On si hi havia pedreres, era més terra endins, com així consta a una fotografia de Muntaner (Fig. 9).

**Fig. 9** (esquerra). Maressar a Formentor a l'any 1954 (Foto Andreu Muntaner).



## Agraïments

A Pep Vicens Cladera per la informació subministrada al respecte dels maressars de cala Sant Vicenç.  
A Andreu Muntaner per aportar, entre altres coses, la fotografia del maressar de Formentor.

Al Dr. Francesc Pomar i a José Angel Martín Prieto per la lectura crítica del manuscrit i pels seus suggeriments per millorar-ho.

A Antonio Rodríguez-Perea per ser professor nostre fa anys i posteriorment company de batalla. Creiem que l'equilibri entre docent i després company demostra què és una persona que brilla per ella mateixa i sempre li estarem agraïts pel seu guiatge, per la qual cosa ha estat un honor participar en aquesta monografia homenatge.

Aquest treball és una contribució del projecte: *Overtourism in Spanish Coastal Destinations. Tourism Degrowth Strategies* (RTI2018-094844-B-C31) finançat per: FEDER/Ministerio de Ciencia e Innovación – Agencia Estatal de Investigación.

## Bibliografia

- ALONSO, F.J., ORDAZ, J. i ESBERT, R.M. (1996): Deterioro selectivo de la piedra de construcción de la catedral de Palma de Mallorca. *Geogaceta*, 20 (5): 1228-1231.
- AMENGUAL, C. i SERRA, M.M. (2008): *El marés y la piedra de Santanyí en Mallorca: Canteras y caracterización básica. Proyecto de final de carrera*. Arquitectura Tècnica. Escola Politècnica Superior. Universitat de les Illes Balears. 560 pp.
- ALCOVER, A. M. i MOLL, F. (2021): <https://dcvb.iec.cat/> Diccionari català-valencià-balear. Consultat el 02-09-2021.
- BALLESTER, M. (2015): *Els materials de construcció a Mallorca a través de la documentació històrica (segles XIV-XVIII)*. Memòria de Treball de Fi de Màster. UIB. 189 pp.
- BUTZER, K.W. (1962): Coastal geomorphology of Majorca. *Annals of the Association of American Geographers*, 52 (2): 191 - 212.
- BUTZER, K. W. i CUERDA, J. (1962): Coastal stratigraphy of Southern Mallorca and its implications for the Pleistocene chronology of the Mediterranean Sea. *Journal of Geology*, 70, 4: 398-416.
- CUERDA, J. i GALIANA, R. (1967): Nota sobre un nuevo yacimiento de cuaternario marino localizado en Cala San Vicente (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears.*, 13: 133-136.
- DEL VALLE, L. (2016): El registre sedimentari eòlic del Plistocè litoral d'Eivissa. Tesis Doctoral, Universitat de les Illes Balears, 286 pp.
- ENCINAS, J. A. (1981): *Pollença. Semblaça d'un poble*. Ed. J. A. Encinas. 206 pp.
- ENCINAS, J. A. (1994): *501 grutas del término de Pollensa (Mallorca)*. Ed. Punt Gràfic. 609 pp.
- ENCINAS, J.A. (2007): La incidencia antrópica en las cavernas balearicas. Colección Tarsilbet, 5. Pollença. 285 pp.
- ENCINAS, J. A. (2014): *Corpus Cavernario Mayoricense*. Pollença. El Gall Editor. 1360 pp.
- FORNÓS, J. J. (2014) Eolianitas y dunas cuaternarias en las Islas Baleares. In: SANJAUME, E. i GRACIA-PRIETO, F.J. (eds.). *Las dunas en España: 307-328*. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.
- GARCIA-INYESTA, N. i OLIVER, G. (1997): *Construir en Marès*. Col·legi Oficial d'Arquitectes de Balears. 270 pp.
- GELABERT, B. (1997): *La estructura geológica de la mitad occidental de la Isla de Mallorca*. Inst. Tec. Geominero de España. 129 pàgs. Madrid.
- GELABERT, B., SABAT, F. i RODRÍGUEZ-PEREA A. (1991): Estructura geológica de la península de Formentor (Mallorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 34: 85-94.
- GÓMEZ-PUJOL, L. (en premsa): Platges, dunes, i col·luvions: clima i un madadís nivell marí durant el plistocè a la mediterrània. Els cicles sedimentaris litorals de K. W. Butzer 40 anys després.
- GÓMEZ-PUJOL, L., BALAGUER, P. i FORNÓS, J.J. (2007): El litoral de Mallorca: síntesis geomórfica. In: FORNÓS, J.J., GINÉS, J. i GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.), Geomorfología litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca. *Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 15: 39-59.
- GRÀCIA, F., GINÉS, J., PONS, G.X., GINARD, A. i VICENS, D. (2011): Cavitats de major recorregut i de major fondària de les Balears. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 17/Endins, 36: 367-368.
- GRÀCIA, F., LANDRETH, R., GUAL, M. i CLAMOR, B. (2001): La cova Negra (Pollença, Mallorca): presència de dunes fòssils dins una cavitat submarina. *Endins*, 24: 137-142.
- HEMP, W. (1927): Some Rock-cut Tombs and Habitation Caves in Mallorca. *Archaeologia*, 66: 119-160.

- IDEIB. Infraestructura de dades espacials de les Illes Balears. Govern de les Illes Balears. <http://www.caib.es/sites/sitibsa/ca/ideib-81258/>
- MAS, G. (2011): El marès de Mallorca: concepte, caracterització i tipologia. *Estudis Baleàrics*, 100/101: 151-171.
- MAS, G. (2017a): La piedra de marès de Mallorca, patrimonio natural y cultural. In: L. Carcavilla, J. Duque-Macías, J. Giménez, A. Hilario, M. Monge-Ganuzas, J. Vegas i A. Rodríguez (eds.), *Patrimonio geológico, gestionando la parte abiótica del patrimonio natural. Cuadernos del Museo Geominero, Instituto Geológico y Minero de España*, 21: 413-419.
- MAS, G. (2017b): Hacia una tipología de la piedra de marés de Mallorca. Concepto, caracterización y estratigrafía. *Boletín Geológico y Minero* (Monográfico Piedra Natural: Geología, economía y medioambiente), 128 (2): 301-328.
- MATEOS, R.M., DURÁN, J.J. i ROBLEDO, P.A. (2011): Mares Quarries on the Majorcan Coast (Spain) as Geological Heritage Sites. *Geoheritage*, 3: 41-54.
- NICHOLSON, R. (2006): Geological map of the Formentor Peninsula, Island of Mallorca. *Journal of Maps*, 2(1): 94-102.
- POMAR, F. (2016): *Arquitectura i fàcies deposicionals de la interferència entre sedimentació al·luvial, col·luvial i eòlica a les Illes Balears durant el Pleistocè superior: implicacions paleoclimàtiques*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears, 377 pp.
- RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1984): *El Mioceno de la Serra Nord de Mallorca. Estratigrafia, sedimentología e implicaciones estructurales*. Tesis Doctoral. Univ. de Barcelona i Palma de Mallorca. 532 pp.
- ROSSELLÓ, G., PLANTALAMOR, LI. i MURILLO, J. (1994): Cala de Sant Vicenç: Una necrópolis de cuevas artificiales de tipo mediterráneo en Mallorca. *Bull. Soc. Arqueol. Lul.*, 50: 3-56.
- SALVÀ, C. (2014): El descobriment d'un paisatge desconegut. Les pedreres de marès, rastres oblidats en el territori de Mallorca. *Boll. Soc. Arqueol. Lul-liana*, 70: 235-255.
- SALVÀ, C. (2018): *Les pedreres de marès. Identitat oblidada del paisatge de Mallorca*. Palma: Leonard Muntaner Editor.
- SALVÀ, C. (2011-2021): <http://paisatgestransformats.blogspot.com.es> (consultat el 09/05/2021).
- SÁNCHEZ-CUENCA, R. (2010): *El marés. El material, su origen, historia, propiedades, canteras y calidades disponibles actualmente*. Ramón Sánchez-Cuenca (ed.). 124 pp.
- SERVERA, J. (1997): *Els sistemes dunares litorals de les Illes Balears*. Tesi. Universitat de les Illes Balears. 904 pp.
- SERVERA, J., RODRÍGUEZ-PEREA, A. i MARTÍN, J. A. (2014): Las dunas costeras de las Islas Baleares. A: SANJAUME, E. i GRACIA-PRIETO, F.J. (eds.). *Las dunas en España*: 285-304. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.
- TORRES, J. M. (2010): Topònims costaners de Pollença des de la conquesta fins al segle XIX. A: BASSA, R & LATORRE, F. (Coordinadors), *XXII Jornada d'Antroponímia i Toponímia (Pollença, 2009)*, 59-74. UIB, Palma.
- VICENS, D. (2015): *El registre paleontològic dels dipòsits litorals quaternaris a l'illa de Mallorca (Illes Balears, Mediterrània occidental)*. Tesi Doctoral. Universitat de les Illes Balears, 985 pp.
- VICENS, D. i PONS, G. X. (2007): Els mol·luscs terrestres del Pleistocè superior a jaciments costaners de la zona septentrional de Mallorca (Artà, Alcúdia i Pollença). In: PONS, G.X. i VICENS, D. (eds.). *Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*, 14: 231-258.
- VICENS, D., FORNÓS, J. J. i RODRÍGUEZ-PEREA, A. (2014): Acumulaciones tobáceas en las Islas Baleares. Algunos ejemplos de Mallorca. A: GONZÁLEZ, J.A i GONZÁLEZ, M.J. (eds). *Las tobas en España*, 303-314. Sociedad Española de Geomorfología, Madrid.

---

Data recepció: 08.09.21

Data revisió: 15.09.21

Revisió acceptada: 24.09.21



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

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

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

<sup>2</sup> Carrer Mollerò, 3. 08415 Bigues i Riells (Catalunya)

<sup>3</sup> QU4TRE Concultria Ambiental, c. Carritxaret, 18. Apt. 6. 07749 es Migjorn Gran (Menorca)

<sup>4</sup> 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.

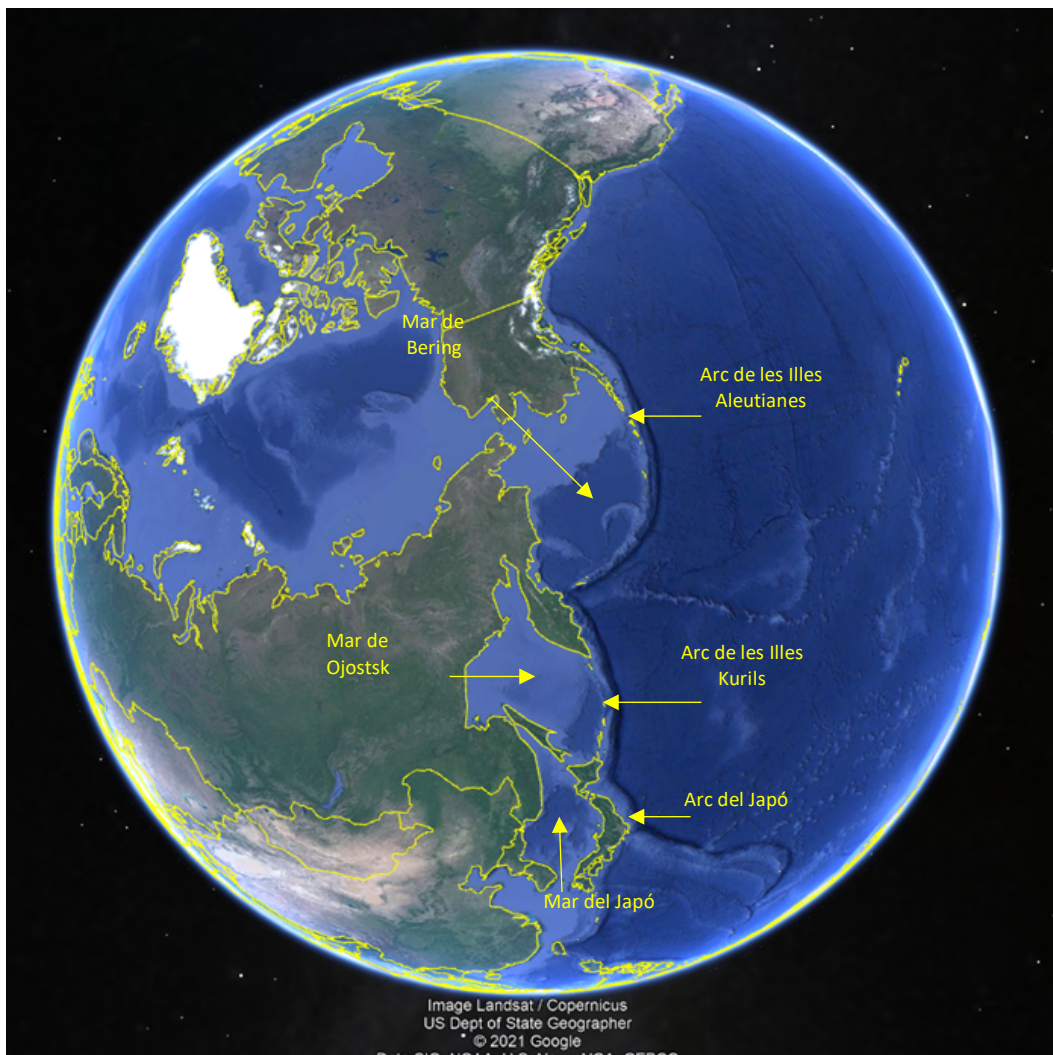
## Introducció: els arc d'illes del Pacífic occidental

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

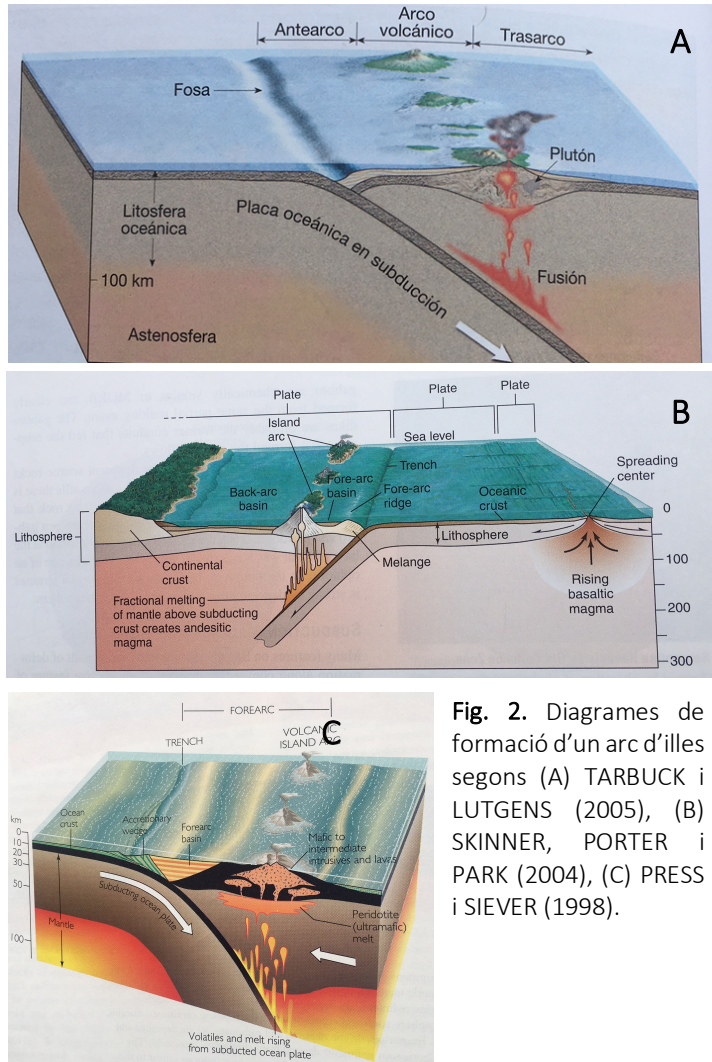


assimila la flexió cap baix de la litosfera (és a dir, una zona de subducció) a l'abonyegadura d'un pilota de ping-pong espenyada.

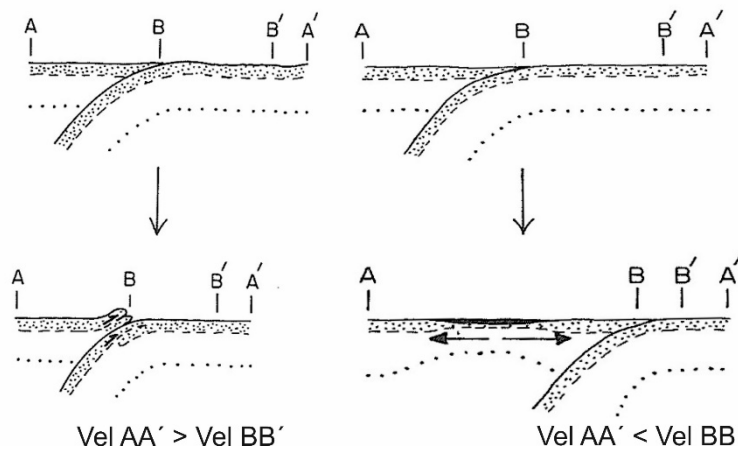
Diversos autors han provat la hipòtesi de Frank (TOVISH i SCHUBERT, 1978) i han trobat que és una aproximació justa en alguns casos i una aproximació deficient a d'altres. Generalment s'accepta que l'estructura arquejada dels arcs de les illes es pot atribuir a la rigidesa de la placa descendent, però 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**

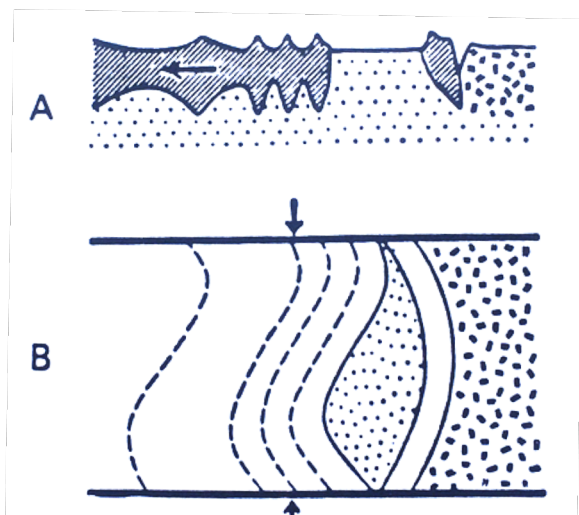
La formació de les conques de rere-arc del Pacífic Oriental va ser explicada per ROYDEN i BURCHFIEL (1989). Segons aquests autors les conques de rere-arc d'aquesta zona es formen perquè la velocitat de convergència entre les plaques del Pacífic i d'Àsia és més petita que la velocitat de la subducció 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.

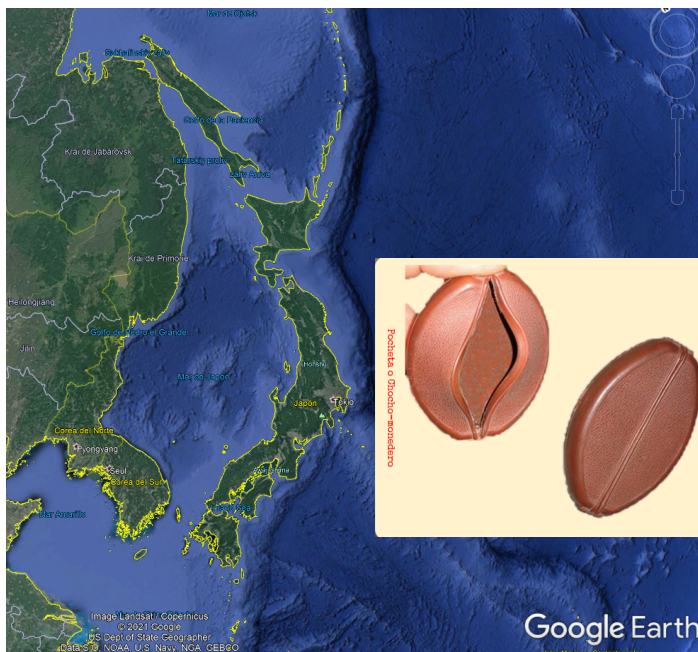
### La hipòtesi de Wegener

“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

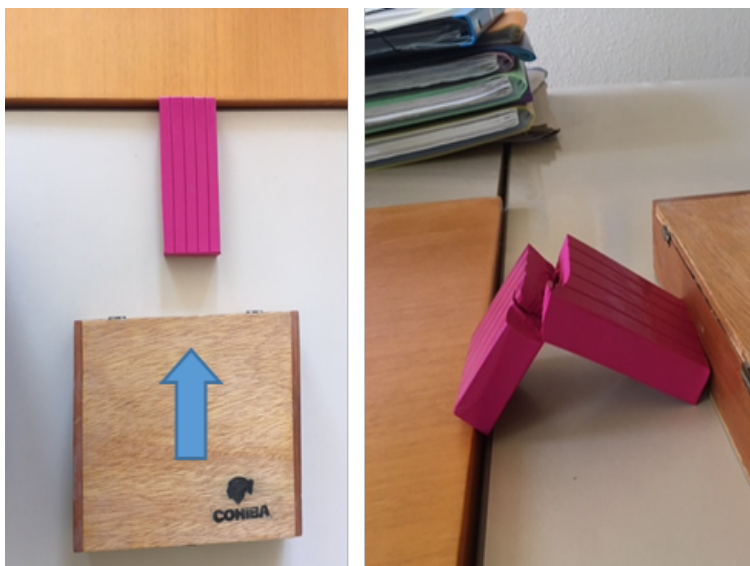
Sense tenir coneixement previ del que havia escrit el Wegener sobre els arcs d'illes, la intuïció de l'Antonio va fer que pensés que els arcs d'illes es formen a partir d'una compressió paral·lela a l'eix llarg de l'arc. La hipòtesi d'Antonio va ser anomenada col·loquialment la hipòtesis del “chochito”. 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

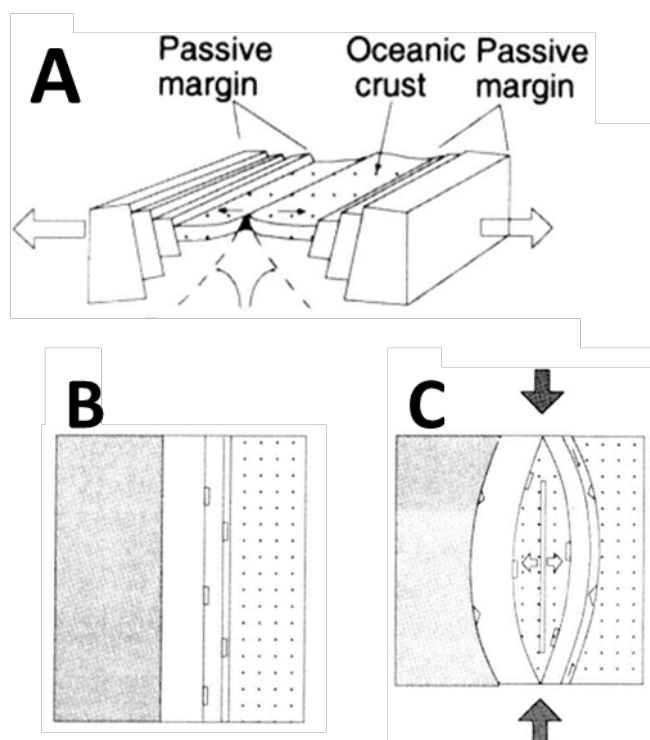
La mateixa dinàmica litosfèrica i les mateixes morfologies es poden simular utilitzant plastilina. Simulem una escorça continental mitjançant una placa de plastilina uniforme. Si comprimim aquesta massa compacta, uniforme, el que es forma és un bombament o una fractura de direcció perpendicular a la 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.



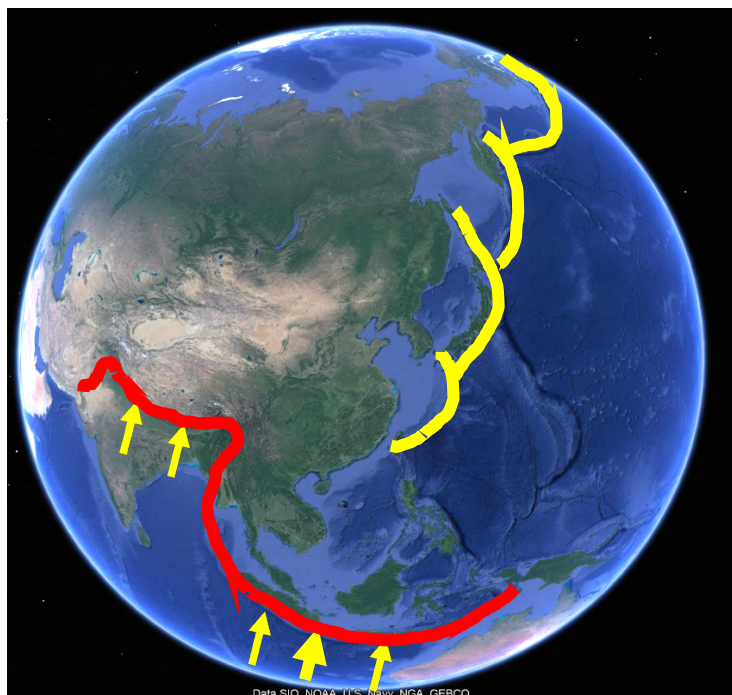
**Fig.7.** La mateixa compressió que a la figura 6, però s'ha definit una fractura allargada al marge de la massa de plastilina. El resultat ha estat la formació d'un arc i un "forat".



**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