

# Filogeografia de la sargantana balear



a

A les illes Balears hi ha representades dues espècies endèmiques de sargantanes: *Podarcis lilfordi* (illes Gimnèsies) i *Podarcis pityusensis* (illes Pitiüses). A cada illa o illot s'ha produït diferenciació, i la més fàcil d'observar és la morfològica. Són espècies molt valuoses per a l'estudi de l'evolució, ja que, juntament amb el ferreret, són els únics representants vius de la fauna prehumana a les Illes; la resta de vertebrats actuals han estat introduïts a partir de l'arribada dels humans a les illes Balears. Les tècniques de seqüenciació de DNA han permès mesurar la divergència genètica entre les poblacions de *P. lilfordi* i determinar les relacions filogenètiques en aquesta espècie.



b

Escrit per

••• Bàrbara Terrasa,<sup>1</sup> Virginia Rodríguez,<sup>1</sup> Valentín Pérez-Mellado,<sup>2</sup> Richard Brown,<sup>3</sup> Antònia Picornell,<sup>1</sup> José A. Castro,<sup>1</sup> M. Misericòrdia Ramon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratori de Genètica del Departament de Biologia de la Universitat de les Illes Balears

<sup>2</sup> Departament de Biologia Animal de la Universitat de Salamanca

<sup>3</sup> Escola de Ciències Biològiques i de la Terra de la Universitat John Moores de Liverpool

© Fotografies de Bàrbara Terrasa Pont



**E**ls rèptils del gènere *Podarcis* (Reptilia; *Lacertidae*), coneguts popularment com a *sargantanes*, constitueixen la fauna herpetològica predominant a les illes, illots i terres continentals de la conca mediterrània, que proporcionen ambients molt variats a les distintes espècies del gènere.

Actualment es reconeixen dinou espècies dins aquest gènere, enormement variables en coloració, morfologia i en el nombre d'escates. Les relacions filogenètiques entre les espècies del gènere *Podarcis* no estan establertes definitivament, tal com passa en altres gèneres de rèptils. Així doncs, la seva taxonomia és complexa i no permet diferenciar les espècies utilitzant únicament claus morfològiques, perquè la majoria d'espècies presenten una variabilitat intraespecífica alta, una variació interespecífica baixa i polimorfismes morfològics substancials.

### Les sargantanes de les illes Balears

A les illes Balears hi ha representades dues espècies endèmiques de *Podarcis*: *P. lilfordi*, que habita el grup de les illes Balears anomenades *Gimnèsies*, format per Mallorca, Menorca, Cabrera i altres illes més petites i els illots que les envolten. A partir de les restes fòssils, podem dir que va viure en aquestes illes durant un extens període de temps, segurament des del Pliocè inferior fins a l'Holocè, ja ben avançada l'arribada dels humans a les illes, d'això fa uns 4.500 anys. A causa, segurament, de la presència humana, actualment *P. lilfordi* no viu ni a Menorca ni a Mallorca; només sobreviu en alguns illots que les envolten i a gairebé tots els illots de l'arxipèlag de Cabrera.

És difícil identificar amb certesa quina o quines espècies en concret en van provocar l'extinció; podria ser a causa de la introducció dels mostels (*Mustela nivalis*) pels romans, per controlar les poblacions de conills que feien malbé els conreus de cereals, o per la introducció d'altres depredadors, com ara genetes (*Genetta genetta*), moixos (*Felis silvestris*) o serps (*Macrotodon mauritanicus*).

A diferència del que ha passat amb la sargantana balear, la sargantana pitiüsa (*P. pityusensis*) ha sobreviscut fins avui tant a les illes principals de l'arxipèlag pitiü (Eivissa i Formentera) com als nombrosos illots i illes que les circumden. A les Pitiüses mai no hi van ser introduïts ni els mostels ni les serps. En contrast amb *P. lilfordi*, *P. pityusensis* ha demostrat una gran capacitat i habilitat per colonitzar àrees fora del seu rang original. En podem trobar algunes poblacions a l'illa de Mallorca: la murada de Palma, ses Illetes, cap de Formentor i cala Rajada. A la península Ibèrica, també s'hi han trobat dues poblacions, una a la plaça de les Glòries Catalanes (Barcelona), i l'altra a San Juan de Gaztelugatxe (Bakio), al País Basc.

En cada illa i illot les sargantanes tenen microambients aïllats, i cada una de les poblacions presenta unes característiques ecològiques pròpies (dimensions de l'hàbitat, topografia, vegetació, fauna, distància respecte a altres illes), i en quasi cadascuna s'han descrit històricament distintes subespècies sobre la base de diferències morfològiques. La capacitat de mesurar les diferències entre les diverses poblacions va millorar molt quan es va introduir



**Figura 1.** Cada illa o illot dona un hàbitat variat i únic a les poblacions de sargantanes. a) es Colomer (Mallorca); b) Illa dels Porros de Sanitja (Menorca), i c) illa de sa Dragonera (Mallorca).





**Figura 2.** La variabilitat morfològica de la sargantana balear i pitiüsa és molt elevada a les distintes poblacions. a) *Podarcis lilfordi*, na Guardia (Mallorca); b) *P. pityusensis*, punta des Trucadors (Formentera); c) *P. lilfordi*, sa Dragonera (Mallorca), i d) *P. pityusensis*, la Mola (Formentera).

la possibilitat d'amplificar i seqüenciar el DNA i poder conèixer la variabilitat de les seqüències nucleotídiques. Aquestes tècniques han tingut un gran impacte en la sistemàtica en general i en particular en els rèptils, i ens han permès establir relacions filogenètiques consistents entre les espècies de *Podarcis*.

L'mtDNA o DNA mitocondrial és una molècula amb unes propietats que el fan idoni com a marcador genètic en els estudis filogenètics i filogeogràfics: és una molècula circular, relativament petita (és aproximadament, 17 kb), presenta una alta taxa de substitució nucleotídica i és haploide i d'herència materna. Els haplotips de l'mtDNA obtinguts es poden connectar filogenèticament (filograma), el qual es pot superposar a la distribució geogràfica del grup, a fi d'interpretar els processos evolutius responsables de la distribució actual. La filogeografia estudia els principis i els processos que governen la distribució

dels llinatges i permet identificar els processos que relacionen la distribució geogràfica amb les filogènies; per tant, determina com ha modelat la història evolutiva recent els patrons de diversitat en les espècies. A més, el nombre de diferències entre les bases nucleotídiques és un estimador del temps de divergència entre llinatges i ens permet calcular el temps de divergència entre els grups.

### Filogeografia de *P. lilfordi*

A partir de l'estudi de 2.382 pb de mtDNA, s'han determinat les relacions filogenètiques de les poblacions de *P. lilfordi* de les illes i dels illots de les Gimnèsies (illes Balears occidentals). La distribució actual dels haplotips obtinguts s'ha relacionat amb la distribució geogràfica i la història geològica de les illes on habiten (figura 3).

Comprendre el procés de colonització de les Illes és una qüestió bàsica per entendre els processos de diferenciació genètica i d'especiació i els processos evolutius que fan possible la biodiversitat terrestre. S'han postulat diferents maneres de dispersió i de colonització a les illes: mitjançant connexions terrestres, per colonització o per dispersió transmarina i per salts. A les illes oceàniques, que no han estat mai connectades amb el continent, el procés de colonització se suposa que ha estat majoritàriament per colonització transmarina, com per exemple la colonització de les illes Canàries. D'altra banda, a les illes o fragments continentals, com són les illes Balears, el procés no és tan clar ni evident; aquestes illes han estat connectades al continent (o entre si) durant els períodes glacials del Plistocè. La separació d'aquestes illes del continent pot ser conseqüència tant de processos tectònics com de l'augment del nivell de la mar durant els períodes interglacials (Plistocè) que va aïllar les espècies, que abans estaven connectades, de les congenèriques del continent.

### Com van arribar les sargantanes a les illes Balears?

L'orogènia alpina va provocar, durant el Messinià (Miocè, 5,7 milions d'anys [Ma]), el tancament de l'estret de Gibraltar. La mar Mediterrània va quedar aïllada de l'oceà i es va produir una gradual i important regressió marina que va deixar grans àrees de la conca mediterrània emergides (crisi messiniana). Les illes Balears van quedar unides amb la península Ibèrica i entre si, i van formar un vast promontori, continuació de la serralada Bètica. D'aquesta manera es va facilitar la dispersió, per terres avui submergides, de faunes i flores en general, i en

particular va permetre el pas del tronc originari del gènere *Podarcis*, el qual es va distribuir per tota la Mediterrània dessecada.

Els moviments tectònics van provocar la separació d'Europa i de l'Àfrica i l'obertura de l'estret de Gibraltar. D'aquesta manera, durant el Pliocè (ara fa 5,5-5,35 Ma), va començar una transgressió marina a la conca mediterrània. Durant aquest període s'esdevingué la separació de les illes grans (Mallorca, Menorca i Cabrera, d'una banda, i Eivissa i Formentera, de l'altra) entre si i també respecte al continent. Aquest fet explica l'existència de les dues espècies vicariants a les illes Balears: *P. pityusensis* i *P. lilfordi*. Hi ha, per tant, fortes evidències que fan pensar que el temps de divergència entre *P. lilfordi* i *P. pityusensis* seria la data final d'aquesta crisi, fa 5,33 Ma. Aquestes evidències es basen en la mesura del rellotge molecular, que ens permet determinar el temps de divergència entre les dues espècies a partir del nombre de diferències nuclotídiques de les seqüències de mtDNA.

Aquesta transgressió va aïllar les poblacions de *Podarcis* a les diferents illes en unitats al·lopàtriques, i amb el transcurs del temps es va produir una radiació d'espècies molt important, que va originar l'aparició d'una forma endèmica a cada illa o grup d'illes properes.

Les anàlisis de l'mtDNA i les inferències filogenètiques realitzades a les poblacions de la sargantana balear (*P. lilfordi*) indiquen l'existència de quatre grans grups (fig. 3). El primer, el grup de Menorca, és format per setze poblacions i roman separat de tota la resta de poblacions de Mallorca i Cabrera; és l'esdeveniment cladogenètic més antic dins l'espècie *P. lilfordi*. El podem situar al final del Pliocè, entre 2,6-2,8 Ma. Aquest període coincideix amb el començament del Quaternari i va ser significatiu a causa del refredament global i del creixement de les plaques de gel a l'hemisferi nord i els seus efectes concomitants sobre els ecosistemes mundials. En aquest període, hi ha evidències que a la regió mediterrània hi havia un clima càlid subtropical (aproximadament, 4 °C més que avui), en el qual el nivell de la mar devia estar entre 30 i 40 m per sobre el nivell actual i, per tant, no sembla que Mallorca i Menorca, durant aquesta època, haguessin estat connectades. S'han considerat les hipòtesis alternatives que aquest node s'hagués originat per una dispersió transmarina o per una colonització de les illes a través de connexions terrestres temporals seguida d'una



vicariança, quan es va elevar el nivell de la mar. Els processos de refredament posteriors van impedir significativament l'intercanvi genètic entre les poblacions de sargantanes de Menorca i la resta de les illes Balears.

El grup format per la cladogènesi de les poblacions de l'oest de Mallorca (sa Dragonera, es Malgrats i el Toro) és lleugerament més recent que l'anterior, uns 2,3-2,0 Ma aproximadament, període que abraça el límit del Pliocè i el Plistocè, i és coincident amb el final de la glaciació

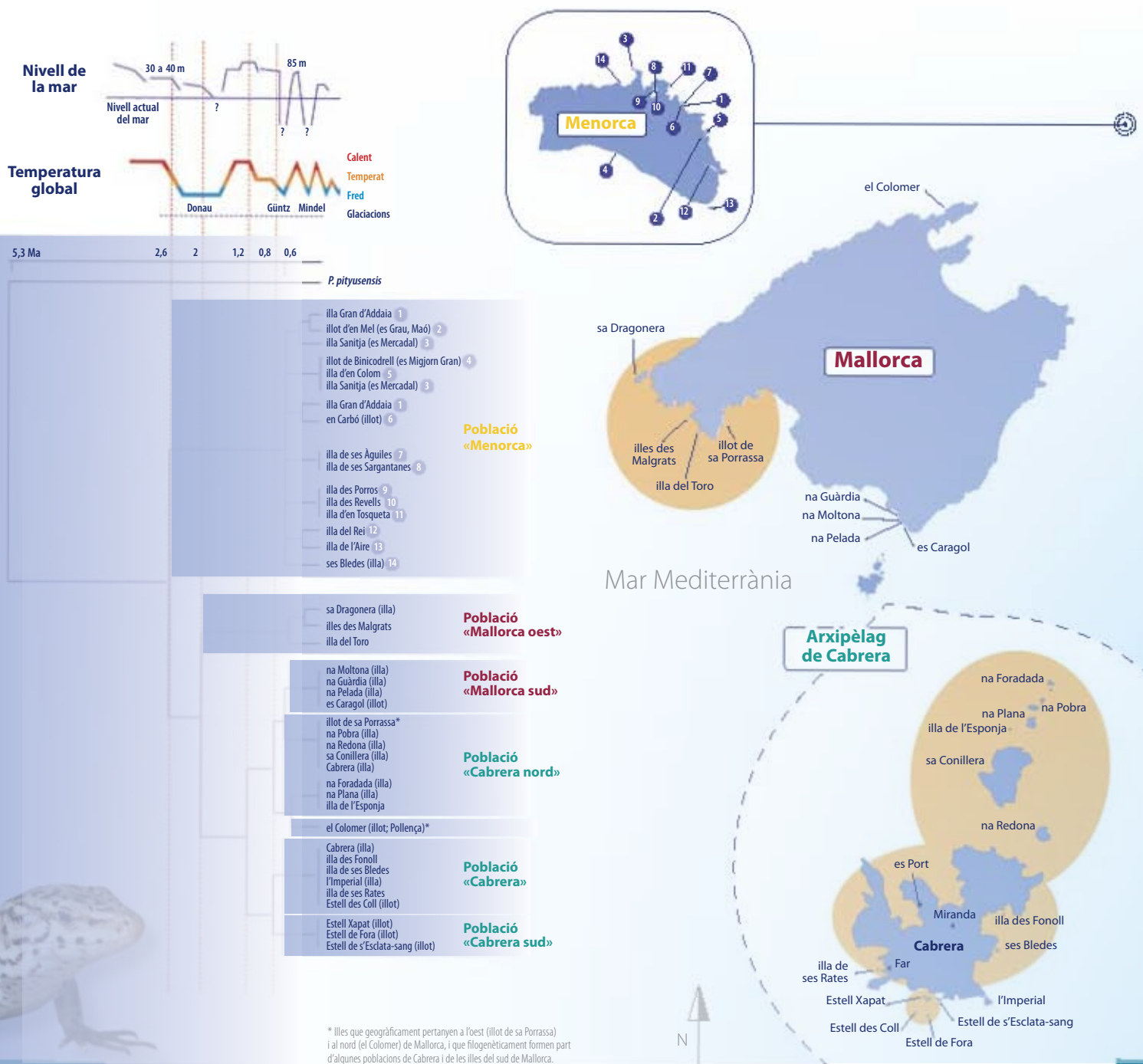


Donau, cap a 2,35 Ma. Aquest període es caracteritza per un gran nombre d'extincions possiblement pel canvi climàtic ocorregut al final del Pliocè, moment en què es va passar d'un clima més càlid que l'actual a l'inici del primer període glacial del Quaternari. És possible que el nivell de la mar fos més baix que el nivell actual, encara que, com hem esmentat, no prou baix per permetre la connexió de Mallorca amb Menorca, però sí la connexió de sa Dragonera, es Malgrats i el Toro amb Mallorca, i, fins i tot, entre Mallorca i Cabrera. Aquest fet permet de suggerir una dispersió continuada a través d'una connexió terrestre entre Mallorca i Cabrera. El patró filogeogràfic a l'oest de Mallorca s'explica més probablement per la fragmentació al·lopàtrica entre la població de sa Dragonera i d'aquesta respecte de les illes d'es Malgrat i del Toro. Aquestes illes són a prop de la costa, però la topografia

és abrupta i escarpada, circumstància que devia impedir la colonització transmarina.

Les poblacions de l'arxipèlag de Cabrera i del nord i sud de Mallorca estan agrupades en dos grans grups diferents. Els esdeveniments cladogenètics que han causat la separació d'aquests dos grups podrien estar datats ara fa 1,2 Ma, durant el Plistocè; concretament, durant el període interglacial situat entre el període glacial Donau i el Güntz. Durant aquest període interglacial s'han donat sovint moviments eustàtics, i el nivell de la mar algunes vegades ha arribat a assolir els 100 m per sobre de l'actual. Moltes illes petites i illots d'aquesta zona tenen una altura inferior als 100 m; per tant, bona part dels illots de l'arxipèlag de Cabrera i gairebé tots els illots del sud de Mallorca devien ser terres submergides, només devien restar alguns pics

**Figura 3.** Relació entre els grups filogenètics de la sargantana balear i la seva distribució geogràfica. Datació dels esdeveniments cladogenètics entre els grups filogenètics i la correspondència amb el nivell de la mar. Gràfic de Pep Homar.



aeris en els casos de les illes més altes (Cabrera, sa Conillera, el Colomer, etc.). També hi ha evidències que, durant aquest període, es van produir moviments tectònics i un cert basculament al sud de Mallorca, els quals impedeixen una reconstrucció paleogeogràfica més exacta.

La separació del grup format per les poblacions del nord de Cabrera i del sud de Mallorca s'ha datat al voltant de fa 0,7 Ma, que coincideix àmpliament amb l'inici de la glaciació del Günz (0,65 Ma). Al voltant d'aquest període, el rang de les fluctuacions eustàtiques de la mar entre períodes glacials i interglacials pot haver assolit els 200 m. D'aquest període també és l'esdeveniment cladogenètic de les poblacions del sud de Cabrera (fa 0,8 Ma). En aquest darrer cas, sembla que la causa ha estat la fragmentació, motivada per la inundació de les connexions terrestres entre el conjunt de Cabrera i els illots escarpats del sud de l'arxipèlag (Estell de s'Esclatans, Estell Xapat i Estell de Fora).

### Que hem de fer per conservar-les?

La consideració de l'estat de conservació actual de *P. lilfordi*, segons les categories i els criteris de la Unió Internacional per a la Conservació de la Natura (UICN, 2001), és que està en perill d'extinció (EN, *Endangered species*) a causa d'una greu fragmentació de les poblacions i un declivi continu a l'àrea d'ocupació i de la qualitat de l'hàbitat (EN B1 *ab(II)+2ab(III)*). Prova d'això és que recentment s'han extingit algunes poblacions. Per exemple a Menorca, la població de l'illa de ses Rates (port de Maó, Menorca) va desaparèixer quan l'illa va ser dinamitada l'any 1935 per facilitar la navegació; i la de l'illa de ses Mones (port d'Adadaia, Menorca), la qual en la dècada de 1990 va ser substituïda per *P. sicula*. Als illots de Mallor-

ca també s'hi han observat extincions, com per exemple, durant la dècada dels seixanta, a l'illot des Frares (Colònia de Sant Jordi, ses Salines).

Els factors que més amenacen les poblacions de sargantana són variats: en molts dels illots hi ha un nombre efectiu d'individus molt reduït, s'han produït contínues translocacions efectuades pels visitants als illots, captura il·legal per a la utilització en terraris, utilització de trampes enverinades en les campanyes de desratització i eradicació de la gavina, a més de la destrucció de la vegetació per la presència humana. La sargantana és una espècie molt valuosa a l'hora d'estudiar l'evolució i la microevolució, ja que juntament amb el ferreret (*Alytes muletensis*) és l'únic representant de la fauna prehumana de les illes Balears. La resta d'espècies de vertebrats que hi trobem actualment són d'origen holocènic i, per tant, contemporanis a l'arribada dels humans.

A partir dels quatre grans grups filogenètics, es poden determinar les unitats significatives evolutives (ESU) que requereixen més protecció. L'existència de quatre llinatges filogenètics importants proporciona un punt de partida per al reconeixement de poblacions matrilineals úniques, i ens indica que almanco s'haurien de reconèixer quatre grans grups o llinatges a escala genètica en els objectius de conservació. A més petita escala, són evidents diverses poblacions restringides geogràficament amb històries de mtDNA úniques, que també podrien ser qualificades d'ESU. Aquests inclouen els haplotips trobats exclusivament a l'illa del Toro. Aquesta població consisteix, probablement, en només un nombre molt reduït d'individus i la seva història matrilineal és única; per tant, és justificada la prioritat més alta en la conservació. La població del Colomer n'és un cas semblant. |

### Grup d'investigació INSULAEVOL

Grup d'investigació interdisciplinari format per genètics, zoòlegs i ecòlegs terrestres de la Universitat de les Illes Balears, la Universitat de Salamanca i la Universitat de Liverpool. Des de l'any 2003 treballen conjuntament i interdisciplinàriament en els diferents aspectes evolutius i ecològics de les sargantanes insulars.

### Referències bibliogràfiques

- ARNOLD, E. N.; ARRIBAS, O.; CARRANZA, S. (2007). «Systematics of the Palaearctic and Oriental lizard tribe Lacertini (Squamata: Lacertidae: Lacertinae) with descriptions of eight new genera». *Zootaxa*, núm. 1430, p. 1-86.
- AVISE, J. C. (2000). *Phylogeography: The History and Formation of Species*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- BROWN, R. P. [et al.] (2008). «Bayesian estimation of post-Messinian divergence times in Balearic Island lizards». *Molecular Phylogenetics and Evolution*, núm. 48, p. 350-358.
- HEWITT, G. M. (2000). «The genetic legacy of the Quaternary ice ages». *Nature*, núm. 405, p. 907-913.
- PÉREZ-MELLADO, V. (2005). «*Podarcis lilfordi*». A: IUCN 2006. *IUCN Red List of Threatened Species* [en línia]. <[www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org)>
- PÉREZ-MELLADO, V. [et al.] (2008). «Population density in *Podarcis lilfordi* (Squamata, Lacertidae), a lizard species endemic to small islets in the Balearic Islands (Spain)». *Amphibia-Reptilia*, núm. 29, p. 49-60.
- TERRASA, B. (2009). *Variació genètica de la sargantana Balear. Filogeografia de Podarcis lilfordi a partir de DNA mitocondrial* [Tesi doctoral]. Palma: Universitat de les Illes Balears.
- TERRASA, B. [et al.] (2009). «Foundations for conservation of intraspecific genetic diversity revealed by analysis of phylogeographical structure in the endangered endemic lizard *Podarcis lilfordi*». *Diversity and Distributions*, núm. 15, p. 207-221.

