

Alometría, modularidad e integración como determinantes de la variabilidad fenotípica: ¿qué nos pueden enseñar las *Podarcis* ibéricas y norteafricanas?

ANTIGONI KALIONTZOPOULOU¹, PEDRO MOURÃO²

¹CIBIO Research Centre in Biodiversity and Genetic Resources, InBIO, Universidade do Porto. Campus Agrário de Vairão, Rua Padre Armando Quintas N° 7, 4485-661 Vairão, Vila do Conde, Portugal.

²Departamento de Biologia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto. Rua Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal.

La comprensión de los mecanismos que subyacen a la generación de la variación fenotípica es un objetivo principal de la biología evolutiva. La alometría de la talla-forma, la modularidad y la integración morfológica, son algunos de los mecanismos de desarrollo principales que determinan el grado de variación en los diferentes rasgos y limitan la covariación entre rasgos. Las lagartijas *Podarcis* ibéricas y norteafricanas son un modelo emergente en los estudios evolutivos y se han utilizado ampliamente para investigar las fuentes de variación fenotípica. En particular, varios estudios han utilizado métodos de morfometría geométrica para estudiar la variación en la forma de la cabeza en relación con, por ejemplo, la ontogenia, el dimorfismo sexual, y el uso del hábitat. Curiosamente, todo indica que la variación de la forma de la cabeza se manifiesta generalmente en una dirección anterior-posterior, independientemente del factor biológico focal. Este hallazgo sugiere que la forma de la cabeza puede estar restringida en este grupo de lagartijas y las convierte en un modelo interesante para investigar cómo diferentes mecanismos contribuyen a la diversidad fenotípica. Utilizamos morfometría geométrica para cuantificar la forma de la cabeza dorsal y lateral en un total de 876 ejemplares, que representan 14 de los 16 linajes del grupo mediante la digitalización de 24 landmarks dorsales y 12 landmarks laterales. A continuación, utilizamos estadística multivariante para investigar la alometría de la talla-forma en ambos sexos y entre linajes. Además, examinamos si la cabeza está estructurada en dos particiones modulares (frontal y distal) e investigamos los patrones de integración entre diferentes regiones de la cabeza dentro y entre linajes. Nuestros resultados sugieren que la cabeza de estas lagartijas se divide en un módulo anterior y otro posterior, con cohesión interna, tanto dorsal como lateralmente. Estos dos módulos presentan una fuerte integración entre sí a través de toda la muestra y dentro de cada linaje por separado. La relación alométrica entre talla y forma aumenta el grado de integración, que sin embargo sigue siendo significativo una vez eliminados los efectos alométricos. Por otro lado, los patrones alométricos y de integración varían ampliamente a lo largo de los diversos linajes, lo cual sugiere un papel importante de estos mecanismos en la determinación de los importantes niveles de diversidad fenotípica observados en las *Podarcis* ibéricas y norteafricanas.

How do allometry, modularity and integration determine phenotypic variation? Insights from Iberian and North African wall lizards

Understanding the mechanisms that underlie the generation of phenotypic variation is a main objective of evolutionary biology. Size-shape allometry, modularity and integration are major developmental mechanisms that determine the degree of variation in different traits and constrain trait co-variation. Iberian and North African wall lizards are an emerging model in evolutionary studies and have been used extensively to investigate sources of phenotypic variation. Particularly, several studies have used geometric morphometric methods to study head shape variation in *Podarcis* wall lizards in relation to e.g. ontogeny, sexual dimorphism and habitat use. Interestingly, all indicate that head shape variation is usually manifested in an anterior-posterior direction, regardless of the focal biological factor. This finding suggests that head shape may be constrained in this group of lizards and makes them an interesting model to investigate how different mechanisms contribute to phenotypic diversity. We used geometric morphometrics to quantify dorsal and lateral head shape in a total of 876 individuals, representing 14 of the 16 lineages of the group by digitizing 24 dorsal and 12 lateral landmarks. After Procrustes superimposition to obtain shape variables, we used multivariate statistics to investigate size-shape allometry across both sexes and across lineages. Further, we tested whether the head is structured in frontal-distal modular partitions and investigated patterns of integration between different head regions within and across lineages. Our results suggest that the lizard head is divided in an anterior and a posterior module with internal cohesiveness in terms of shape variance, both dorsally and laterally. These two modules are highly integrated with each other across the whole sample and within each lineage separately. Size-shape allometry enhances the degree of head shape integration, which nevertheless remains significant once allometric effects are accounted for. However, allometric and integration patterns vary extensively across lineages, suggesting an important role of these mechanisms in determining the remarkable levels of phenotypic diversity observed in Iberian and North African *Podarcis*.

Podarcis, head shape, geometric morphometrics.