



TEMARIO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS			
Denominación de la actividad académica (completa): Morfometría geométrica en R, curso teórico/práctico			
Clave:	Semestre: 2025-1	Campo de conocimiento: Sistemática; Biología evolutiva; Ecología	Número de Créditos: 64
Carácter	Horas		Horas por semana
	Teóricas	Prácticas	Horas por semestre
Optativa	3	1	64
Modalidad		Duración del curso	
Curso		<i>Semestral</i>	
Seriación indicativa u obligatoria antecedente, si es el caso: No aplica			
Seriación indicativa u obligatoria subsecuente, si es el caso: No aplica			
Objetivo general:			
<p>Que el estudiante comprenda y use los fundamentos básicos de la morfometría geométrica, sus enfoques y métodos actuales. Que el alumno aprenda la importancia de un marco morfométrico robusto y valore la necesidad de unir este marco metodológico con el conocimiento filogenético y ecológico para poner a prueba hipótesis biológicas, evolutivas y sistemáticas.</p> <p>El alumno aprenderá sobre las herramientas conceptuales y prácticas, así como los programas y paquetes existentes en el lenguaje estadístico R que permitirán el uso apropiado de esta técnica. Durante el curso el alumno, además de aprender la teoría, practicará cada paso del proceso y diseñará un sistema de landmarks para su grupo de estudio, además realizará un trabajo final analizando su grupo de estudio con morfometría geométrica.</p>			
Objetivos específicos:			
<ul style="list-style-type: none"> • Aprender la teoría de la morfometría geométrica y sus aplicaciones en biología evolutiva y sistemática • Aprender la teoría y práctica sobre landmarks y semilandmarks • Aprender sobre recursos para obtener conjuntos de escaneos 3D de la web • Desarrollar un sistema de landmarks para el grupo de estudio de cada alumno • Aprender/Reafirmar el uso del software estadístico R • Aprender la teoría detrás de los análisis en morfometría geométrica y sus enfoques actuales • Aprender a realizar análisis básicos y avanzados en R • Realizar un análisis morfométrico significativo en el grupo de estudio de cada alumno 			
Temario		Horas	
		Teóricas	Prácticas
Unidad 1 Introducción a la Morfometría Geométrica		9	2
1.1 Introducción al curso			
1.2 Introducción a la morfometría geométrica			
1.2.1 ¿Qué es la morfometría geométrica?			
1.2.2 Desarrollo de la GM y contraste con la morfometría tradicional			
1.2.3 Forma, tamaño y morfología de los entes biológicos.			



TEMARIO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

<p>1.3 ¿Cómo obtener datos morfométricos? Adquisición de datos, digitalización, consideraciones metodológicas, equipos, landmarks, semilandmarks y software</p> <p>1.4 Fotogrametría: obteniendo modelos 3D.</p> <p>1.5 Segmentando CT-scans en 3D Slicer</p> <p>1.5 Elección de tema final (basado en el grupo de estudio de cada alumno)</p>		
<p>Unidad 2 Preparando las landmarks</p> <p>2.1 Diseñando un sistema de landmarks para el grupo de estudio del alumno, consideraciones metodológicas</p> <p>2.2 Adquisición de landmarks en dos dimensiones en tpsDig2</p> <p>2.2.1 Lectura de archivos de imagen</p> <p>2.2.2 Obtención de propiedades</p> <p>2.2.3 Asignación de tamaño</p> <p>2.2.4 Exportación de datos</p> <p>2.3 Adquisición de landmarks en 3D en SlicerMorph</p> <p>2.3.1 ¿Cómo encontrar y descargar modelos morfológicos 3D de la web?</p> <p>2.3.2 Definición de landmarks y semilandmarks (curvas)</p> <p>2.3.3 Exportación de datos</p> <p>2.4 Práctica de digitalización de landmarks y semilandmarks (2D y 3D).</p> <p>2.5 Teoría de Procrustes</p> <p>2.5.1 ¿Quién es Procrustes?</p> <p>2.5.2 Translación.</p> <p>2.5.3 Escalamiento y tamaño de centroide</p> <p>2.5.4 Rotación</p> <p>2.5.5 Superposición y comparación de dos formas</p> <p>2.5.6 Métodos de superposición alternativos</p> <p>2.5.6.1 Shape Coordinates (Bookstein), Ajuste Resistente (Resistant Fit), EDMA.</p> <p>2.5.6.2 Ajuste y superposición de semilandmarks; distancia mínima cuadrada (minimum square distance) y energía de torsión (Bending Energy)</p> <p>2.6 Exposición del sistema de landmarks de cada alumno</p>	10	3
<p>Unidad 3 re-introducción a R</p> <p>3.1 El ambiente estadístico R</p> <p>3.1.1 Ventajas del uso de R (software libre, basado en los usuarios(community based) y paquetes con matemática comprobada (peer-reviewed packages).</p> <p>3.2 Objetos en R, asignar e indexar</p> <p>3.2.1 Dataframes, arrays y listas</p> <p>3.2.2 Paquetes de R (localización, descarga y carga)</p> <p>3.3 Gráficas base de R</p> <p>3.3.1 ggplot2 (Gráficas avanzadas)</p> <p>3.4 Importación y exportación de archivos de landmarks en R</p> <p>3.5 Práctica en R</p>	5	3
<p>Unidad 4 Análisis morfométrico básico en R</p> <p>4.1 El paquete Geomorph</p> <p>4.2 Superposición de constelaciones de landmarks usando Procrustes</p> <p>4.3 Análisis de componentes principales (PCA)</p> <p>4.4 Representación de diferencias en las formas</p>	10	4



TEMARIO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

4.4.1 Formas graficadas como wireframes 4.4.2 Thin plate splines y formas transformadas		
4.5 Práctica de Geomorph		
Unidad 5 Análisis avanzados en R 5.1 Regresión multivariada (generalized Least squares) 5.2 Mínimos cuadrados filogenéticos (Phylogenetic least squares) 5.3 Asimetría fluctuante y direccional 5.4 Correlación de tamaño y forma (alometría) 5.5 Mínimos cuadrados parciales en dos bloques (Two-Block partial least squares) 5.6 Modularidad e integración 5.7 Práctica de análisis avanzados usando el género Anolis 5.8 Reconstrucción filogenética con datos de morfometría geométrica	10	4
Unidad 6 Presentación de trabajos finales <u>Programas que serán usados durante el curso</u> R (gratis), R Project for Statistical Computing <ul style="list-style-type: none"> • R studio o • Notepad++ (ambos gratuitos) 3D Slicer y SlicerMorph (gratis). Zephyr3D (Gratis) tpsDig2 (gratis). TNT (gratis) Cualquier tabulador que maneje archivos .csv <ul style="list-style-type: none"> • Microsoft Excel (de paga) • libreoffice, google sheets, etc. (gratis). 	4	0
Total de horas teóricas	40	
Total de horas prácticas	16	
Suma total de horas	64	

Bibliografía básica

Adams, D. C. 2014. A method for assessing phylogenetic least squares models for shape and other high-dimensional multivariate data. *Evolution* (N. Y). 68:2675–2688.

Adams, D. C. 2016. Evaluating modularity in morphometric data: Challenges with the RV coefficient and a new test measure. *Methods Ecol. Evol.* 7:565–572.

Adams, D. C., and M. L. Collyer. 2018. Multivariate Phylogenetic Comparative Methods: Evaluations, Comparisons, and Recommendations. *Syst. Biol.* 67:14–31.

Adams, D. C., and M. L. Collyer. 2016. On the comparison of the strength of morphological integration across morphometric datasets. *Evolution* (N. Y). 70:2623–2631.

Adams, D. C., and E. Otárola-Castillo. 2013. Geomorph: an R Package for the Collection and Analysis of Geometric Morphometric Shape Data. *Methods Ecol. Evol.* 4:393–399.

Adams, D. C., F. J. Rohlf, and D. E. Slice. 2013. A field comes of age: Geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix* 24:7–14.

Bookstein, F. L. 2015. Integration, Disintegration, and Self-Similarity: Characterizing the Scales of Shape Variation in Landmark Data. *Evol. Biol.* 42:395–426. Springer US.

Bookstein, F. L. 1997. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group difference in outline shape. *Med. Image Anal.* 1:225–243.

Bookstein, F. L. 1991. *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press.



- Collyer, M. L., D. J. Sekora, and D. C. Adams. 2015. A method for analysis of phenotypic change for phenotypes described by high-dimensional data. *Heredity* (Edinb). 115:357–365. Nature Publishing Group.
- Denton, J. S. S., and D. C. Adams. 2015. A new phylogenetic test for comparing multiple high-dimensional evolutionary rates suggests interplay of evolutionary rates and modularity in lanternfishes (Myctophiformes; Myctophidae). *Evolution* (N. Y). 69:2425–2440.
- Dobzhansky, T. 1956. What is an adaptive trait? *Am. Nat.* 90:337–347.
- Drake, A. G. 2011. Dispelling dog dogma: An investigation of heterochrony in dogs using 3D geometric morphometric analysis of skull shape. *Evol. Dev.* 13:204–213.
- Drake, A. G., and C. P. Klingenberg. 2010. Large-scale diversification of skull shape in domestic dogs: disparity and modularity. *Am. Nat.* 175:289–301.
- Drake, A. G., and C. P. Klingenberg. 2008. The pace of morphological change: historical transformation of skull shape in St Bernard dogs. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 275:71–76.
- Felice, R. N., and A. Goswami. 2017. Developmental origins of mosaic evolution in the avian cranium. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 201716437.
- Felsenstein, J. 1985. Phylogenies and the comparative method. *Am. Nat.* 125:3–147.
- Goswami, A., and P. D. Polly. 2010. Methods for studying morphological integration and modularity. Pp. 213–243 in J. Alroy and G. Hunt, eds. *Quantitative methods in paleobiology*. Paleontological Society, Ithaca (NY).
- Gould, S. J. 1966. Allometry and Size in Ontogeny and Phylogeny. *Biol. Rev.* 41:587–638.
- Gould, S. J. 1971. Geometric Similarity in Allometric Growth: A Contribution to the Problem of Scaling in the Evolution of Size. *Am. Nat.* 105:113–136.
- Gower, J. C. 1975. Generalized procrustes analysis. *Psychometrika* 40:33–51.
- Grafen, A. 1989. The phylogenetic regression. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 1683-94 326:119–157.
- Griffin, R. H. 2017. Missing 3D landmarks in objects with bilateral symmetry: reflecting points across a plane.
- Kendall, D. G. 1984. Shape manifolds, procrustean metrics, and complex projective spaces. *Bull. London Math. Soc.* 16:81–121.
- Klingenberg, C. P. 1998. Heterochrony and allometry: The analysis of evolutionary change in ontogeny. *Biol. Rev.* 73:79–123.
- Klingenberg, C. P. 2008. Morphological Integration and Developmental Modularity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 39:115–132.
- Klingenberg, C. P. 2009. Morphometric integration and modularity in configurations of landmarks: Tools for evaluating a priori hypotheses. *Evol. Dev.* 11:405–421.
- Klingenberg, C. P. 2016. Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Dev. Genes Evol.* 226:113–137. *Development Genes and Evolution*.
- Klingenberg, C. P. 2014. Studying morphological integration and modularity at multiple levels: concepts and analysis. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 369:20130249–20130249.
- Klingenberg, C. P., and J. Marugán-Lobón. 2013. Evolutionary covariation in geometric morphometric data: Analyzing integration, modularity, and allometry in a phylogenetic context. *Syst. Biol.* 62:591–610.



MacLeod, N. 2007. PalaeoMath 101 Data Blocks and Partial Least Squares Analysis. *Palaeontol. Newsl.* 36–48.

MacLeod, N. 2013. Palaeomath101: Semilandmarks and Surfaces. *Palaeontol. Newsl.* 83:37–52.

Mayr, E. 1983. How to Carry Out the Adaptationist Program? *Am. Nat.* 121:324–334.

McGhee, G. 2012. *The Geometry of Evolution: Adaptive Landscapes and Theoretical Morphospaces*. Cambridge University Press, Cambridge.

Melo, D., G. Garcia, A. Hubbe, A. P. Assis, and G. Marroig. 2016. *EvoIQG - An R package for evolutionary quantitative genetics [version 3; referees: 1 approved, 2 approved with reservations]*. F1000Research 2016, doi: 10.12688/f1000research.7082.1.

Mitteroecker, P., P. Gunza, and F. L. Bookstein. 2005. Heterochrony and geometric morphometrics: a comparison of cranial growth in *Pan paniscus* versus *Pan troglodytes*. *Evol. Dev.* 7:244–258.

Niklas, K. J. 1999. Evolutionary walks through a land plant morphospace. *J. Exp. Bot.* 50:39–52.

Niklas, K. J. 1994. Morphological evolution through complex domains of fitness. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 91:6772–6779.

Olsen, A. M., and M. W. Westneat. 2015. StereoMorph: An R package for the collection of 3D landmarks and curves using a stereo camera set-up. *Methods Ecol. Evol.* 6:351–356.

R Core Team. 2015. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Revell, L. J. 2009. Size-correction and principal components for interspecific comparative studies. *Evolution (N. Y.)* 63:3258–3268.

Rohlf, F. J., M. Corti, and R. Olmstead. 2000. Use of Two-Block Partial Least-Squares to Study Covariation in Shape. *Syst. Biol.* 49:740–753.

Rohlf, F. J., and D. Slice. 1990. Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. *Syst. Zool.* 39:40–59.

Bibliografía complementaria

Benson, R. B. J., E. Starmer-Jones, R. A. Close, and S. A. Walsh. 2017. Comparative analysis of vestibular ecomorphology in birds. *J. Anat.* 231:990–1018.

Bright, J. A., J. Marugán-Lobón, S. N. Cobb, and E. J. Rayfield. 2016. The shapes of bird beaks are highly controlled by nondietary factors. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 113:5352–5357.

Dollion, A. Y., G. J. Measey, R. Cornette, L. Carne, K. A. Tolley, J. M. da Silva, R. Boistel, A. C. Fabre, and A. Herrel. 2017. Does diet drive the evolution of head shape and bite force in chameleons of the genus *Bradypodion*? *Funct. Ecol.* 31:671–684.

Dumont, E. R., K. Samadevam, I. Grosse, O. M. Warsi, B. Baird, and L. M. Davalos. 2014. Selection for mechanical advantage underlies multiple cranial optima in new world leaf-nosed bats. *Evolution (N. Y.)* 68:1436–1449.

Foster, D. J., J. Podos, and a. P. Hendry. 2008. A geometric morphometric appraisal of beak shape in Darwin's finches. *J. Evol. Biol.* 21:263–275.

MacLeod, N. PalaeoMath 101 **Toda la serie está disponible en** *Palaeontol. Newsl.*
<https://www.palass.org/publications/newsletter/palaeomath-101>.

Tanner, J. B., M. L. Zelditch, B. L. Lundrigan, and K. E. Holekamp. 2010. Ontogenetic change in skull morphology and mechanical advantage in the spotted hyena (*Crocuta crocuta*). *J. Morphol.* 271:353–365.



TEMARIO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Tokita, M., W. Yano, H. F. James, and A. Abzhanov. 2016. Cranial shape evolution in adaptive radiations of birds: comparative morphometrics of Darwin's finches and Hawaiian honeycreepers. *Philos. Trans. R. Soc. B* 372:1–17.

Tseng, Z. J. 2013. Testing Adaptive Hypotheses of Convergence with Functional Landscapes: A Case Study of Bone-Cracking Hypercarnivores. *PLoS One* 8:e65305.

Sugerencias didácticas:

- Exposición oral
- Exposición audiovisual
- Ejercicios dentro de clase
- Ejercicios fuera del aula
- Seminarios
- Lecturas obligatorias
- Trabajos de investigación
- Prácticas de taller o laboratorio
- Prácticas de campo
- Otro: Prácticas digitales en R y otros programas

Mecanismos de evaluación del aprendizaje de los alumnos:

- Exámenes parciales
- Examen final escrito
- Tareas y trabajos fuera del aula
- Exposición de seminarios por los alumnos
- Participación en clase
- Asistencia
- Seminario
- Otro: Trabajo final analizando el grupo de estudio de cada alumno

Línea de investigación:

Sistemática y Biología evolutiva

Perfil profesional

Doctorado con formación y experiencia en investigación en morfometría geométrica, macroevolución y método comparativo. Amplia experiencia en asesoramiento de alumnos en temas de Morfometría geométrica.

Experiencia de al menos cuatro años enseñando morfometría geométrica y programación.