

INTRODUCCIÓN A LA MORFOMETRIA GEOMÉTRICA EN R

Docentes

Dra. Paula N. Gonzalez

Dra. Jimena Barbeito

Dr. S. Ivan Perez

1- Fundamentación

El estudio de la forma ha ocupado un lugar fundamental en las ciencias naturales (i.e., paleontología, biología, antropología) desde su conformación. La descripción y análisis comparativo de las formas biológicas resulta un aspecto fundamental para el estudio de diferentes procesos naturales y, por lo tanto, es importante contar con herramientas metodológicas que faciliten esta clase de comparaciones. Tradicionalmente, se aplicaron con este fin técnicas morfométricas basadas en variables lineales cuantitativas tales como ancho, longitud y altura. En la década de 1990 se produjeron cambios sustanciales en el análisis de la forma debido principalmente al desarrollo y aplicación de métodos geométricos basados en coordenadas de puntos anatómicos. Los métodos basados en coordenadas de puntos combinan las variables de forma obtenidas con técnicas estadísticas multivariadas. Esta combinación le confiere la ventaja de captar la forma sin perder la relación espacial entre los puntos y la posibilidad de analizar estadísticamente el gran volumen de datos que se generan. Debido a la creciente importancia que tienen estas técnicas en las ciencias naturales, su comprensión es de particular relevancia para la formación de los estudiantes de grado y post-grado, así como para investigadores formados.

2- Objetivos

- Presentar los principios de las técnicas morfométricas.
- Discutir diferentes aproximaciones al estudio de la forma en las ciencias naturales, particularmente las de morfometría geométrica en 3D.
- Proveer los principios fundamentales de las técnicas estadísticas multivariadas empleadas en los estudios morfométricos.
- Proporcionar a los estudiantes información práctica acerca de los procedimientos y las herramientas básicas para realizar este tipo de análisis.

3- Programa

Tema 1. Introducción al análisis morfométrico

- *Definición de morfometría. Morfometría tradicional y geométrica.*
- *Datos en morfometría geométrica: Coordenadas cartesianas.*
- *El concepto de homología en el contexto de los análisis morfométricos.*
- *Forma y tamaño como elementos básicos de análisis: Definiciones y conceptos básicos.*

Tema 2. Variables de tamaño y forma

- *Tamaño: El empleo del tamaño centroide de una estructura.*
- *Obtención de variables de forma a partir de coordenadas cartesianas: Análisis Procrustes Generalizado, traslación, rotación y escalamiento. Análisis de contornos y superficies, el método de *Sliding Semilandmarks* basado en el criterio de distancia Procrustes mínima y de *bending energy* mínimo. Residuos Procrustes calculados a partir de coordenadas.*

- *Obtención de variables de forma a partir de superficies digitales: Análisis Iterativos Pseudo-Procrustes y obtención de residuos de pseudolandmarks.*
- *Visualización del cambio en forma: Desplazamiento de vectores en cada landmark y semilandmark sobre la referencia. Thin plate spline para describir la variación en forma (morphings). Mapas de colores (heatmaps).*

Tema 3. Métodos multivariados aplicados en los análisis de morfometría geométrica

- *Métodos exploratorios multivariados: Componentes Principales de las variables de forma o Relative Warps. Componentes Principales en el espacio de tamaño + forma.*
- *Métodos para el estudio de la asociación entre forma y tamaño: Regresión multivariada y cálculo de ángulos entre vectores.*
- *Variación alométrica y no-alométrica: Componente Común Alométrico y Componentes Principales en el espacio de los residuos de una regresión multivariada.*

Práctica

Tema 1. Obtención de datos

- *Adquisición de datos morfométricos en 3 dimensiones: técnicas manuales, automáticas y semi-automáticas.*
- *Discusión de criterios para la elección de variables morfométricas.*

Tema 2. Variables de forma y tamaño.

- *Obtención de las variables de tamaño: Cálculo del tamaño centroide.*
- *Obtención de las variables de forma: Superposición Procrustes Generalizada de landmarks y alineamiento de semilandmarks. Cálculo de residuos de landmarks y semilandmarks.*
- *Empleo de herramientas para la visualización de la variación en forma sobre estructuras en 3 dimensiones: morphings, heatmaps.*

Tema 3. Análisis multivariados en morfometría.

- *Análisis estadístico exploratorio de los datos morfométricos: Cálculo de componentes principales o relative warps.*
- *Análisis de asociación entre forma y tamaño: Regresiones multivariadas.*
- *Aplicación de métodos de visualización del cambio en forma obtenido a partir de análisis multivariados.*

En las clases prácticas se emplearán los paquetes Morpho y geomorph del programa R (Programa R, 2020).

4- Carga horaria y modalidad del curso

El curso será dictado bajo la modalidad a distancia y contará con una carga horaria total de treinta (30) horas, distribuidas en seis semanas en las que se desarrollarán clases y actividades según se detalla en la sección 5.

5- Metodología y recursos didácticos

La propuesta metodológica tiene por objetivo que los alumnos comprendan los principios conceptuales y metodológicos de las técnicas morfométricas y que se ejerciten en el reconocimiento y resolución de problemas que involucren estas técnicas. Para el desarrollo del curso se utilizarán las configuraciones y recursos didácticos que se detallan a continuación:

- **Clases teóricas:** los estudiantes dispondrán de **videos con clases explicativas** preparadas por los docentes para introducir los contenidos básicos de cada una de las unidades temáticas. En las mismas se expondrán los fundamentos conceptuales de los tópicos incluidos de manera breve. Se proyecta que cada clase tenga una duración aproximada de 30 minutos.
- **Bibliografía obligatoria:** para cada uno de los temas se indicará a los estudiantes los textos de lectura esencial que, en conjunto con las clases teóricas, proveerán el andamiaje conceptual para el trabajo sobre las actividades prácticas.
- **Actividades prácticas y material de apoyo para la resolución de ejercicios:** para cada tema se propondrá una **guía de actividades** que los estudiantes deberán desarrollar y entregar individualmente a los docentes para su revisión. Estas actividades podrán incluir tanto cuestionarios sobre conceptos clave de cada tema, como ejercicios a realizar sobre bases de datos proporcionadas por los docentes. Los ejercicios serán realizados utilizando **programas de libre acceso** para la obtención de datos de coordenadas cartesianas en 3D y la aplicación de técnicas morfométricas para analizarlos. Como apoyo para el trabajo sobre los ejercicios, se ofrecerán a los estudiantes **tutoriales** y ejemplos en forma de videos y textos.
- **Foro y espacio de consultas:** se abrirá para cada uno de los temas un **espacio de foro** en el que tanto los docentes como los estudiantes podrán participar. Se alentará a los estudiantes a compartir allí las consultas y discusiones derivadas de las clases teóricas, la lectura de la bibliografía y la resolución de los ejercicios. Asimismo, se coordinará un **espacio de encuentro virtual sincrónico** con los docentes en el que semanalmente los docentes del curso podrán intercambiar con aquellos estudiantes que planteen inquietudes que no hayan sido resueltas en los foros.
- **Entornos virtuales y software:** Se utilizará el entorno Aulas Web Formación – UNLP como un espacio organizado para que los estudiantes accedan a las clases teóricas, la bibliografía, las guías de actividades y las bases de datos, realicen sus entregas y participen de los foros. Para la presentación de los resultados de los ejercicios se utilizará R Markdown como asistente para la edición. Las clases sincrónicas de consulta se realizarán utilizando una plataforma de videoconferencia web (el acceso se realizará desde el aula virtual). El software que se utilizará (detallado en el punto 12. Programas) será en todos los casos de acceso libre y se indicará a los estudiantes las instrucciones para su descarga.

Al comienzo de cada semana se pondrá a disposición la clase teórica junto con la bibliografía y el material para la resolución de las actividades prácticas. A lo largo de la semana se responderán consultas en los foros y se atenderán las dudas en el encuentro sincrónico de consulta. Finalmente, las entregas obligatorias de los ejercicios deberán ser hechas antes del comienzo de la semana siguiente. Se requerirá cumplir con el 80% de las entregas para poder justificar la asistencia al curso, y la realización de la evaluación final para su aprobación.

6- Destinatarios del curso

El curso está dirigido a estudiantes de posgrado, o alumnos avanzados de grado, de las áreas de paleontología, antropología, biología y de otras disciplinas afines de las ciencias naturales. Los estudiantes deben tener conocimientos básicos de Estadística. Para la realización

del curso es imprescindible contar con un manejo básico del programa R. Aquellos estudiantes que no cumplan con esta condición serán invitados a completar, previo al inicio del curso, una práctica niveladora preparada por los docentes.

7- Número de asistentes

El número máximo de alumnos se establece en 30.

8- Fecha tentativa

El dictado del presente curso podrá ser realizado durante los meses de agosto y septiembre de 2021.

9- Evaluación

La evaluación contemplará tanto las entregas semanales de las actividades prácticas realizadas por cada estudiante como un trabajo final. El trabajo final consistirá en aplicar los métodos aprendidos en el curso a una problemática particular. Se estimulará que los estudiantes utilicen bases de datos de su propio interés. La realización del trabajo final podrá realizarse individualmente o en duplas. Se evaluará en qué medida los análisis elegidos son adecuados para la problemática abordada, cómo son aplicados los análisis, y qué interpretaciones se elaboran a partir de los resultados obtenidos.

10. Cronograma

Semana 1	<u>Clase teórica:</u> Presentación del curso y su modalidad. Tema 1. Introducción al análisis morfométrico. <u>Actividades prácticas:</u> Resolución cuestionario sobre conceptos generales de morfometría. Obtención de datos morfométricos 3D. Definición y obtención de <i>landmarks</i> y <i>semilandmarks</i> .
Semana 2	<u>Clase teórica:</u> Tema 2. Tamaño. Obtención de variables de forma a partir de coordenadas cartesianas, Análisis Procrustes Generalizado. Introducción a la visualización del cambio en forma. <u>Actividades prácticas:</u> Obtención de variables de tamaño y forma. Análisis Procrustes Generalizado.
Semana 3	<u>Clase teórica:</u> Tema 2. Análisis de contornos y superficies. <u>Actividades prácticas:</u> Alineamiento de <i>semilandmarks</i> . Cálculo de residuos de <i>landmarks</i> y <i>semilandmarks</i> .
Semana 4	<u>Clase teórica:</u> Tema 3. Métodos exploratorios multivariados. <u>Actividades prácticas:</u> Cálculo de componentes principales o <i>relative warps</i> .
Semana 5	<u>Clase teórica:</u> Tema 3. Métodos para el estudio de la asociación entre forma y tamaño. Variación alométrica y no-alométrica. <u>Actividades prácticas:</u> Cálculo de regresión multivariada.
Semana 6	<u>Clase teórica:</u> Tema 3. Visualización e interpretación de los resultados de métodos multivariados en morfometría geométrica. <u>Actividades prácticas:</u> Aplicación de métodos de visualización.

11- Bibliografía

- Adams, D. C., F. J. Rohlf y D. E. Slice. 2004. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. *Ital. J. Zool.* 71:5-16.
- Adams, D. C., Rohlf, F. J. y Slice, D. E. 2013. A field comes of age: Geometric morphometrics in the 21st century. *Hystrix* 24:7-14.

- Bookstein, F. L. 1991. *Morphometric tools for landmark data: Geometry and biology*. Cambridge Univ. Press: New York.
- Bookstein, F. L. 1997. Landmark methods for forms without landmarks: localizing group differences in outline shape. *Med Image Anal* 1:225-243.
- Boyer, D. M., Puente, J., Gladman, J. T., Glynn, C., Mukherjee, S., Yapuncich, G. S., et al. (2015). A new fully automated approach for aligning and comparing shapes. *The Anatomical Record* 298: 249–276.
- Corruccini, R. S. 1995. Of ratios and rationality *Am J Phys Anthropol* 96:189-191
- Drake, A. G. y C. P. Klingenberg. 2008. The pace of morphological change: Historical transformation of skull shape in St Bernard dogs. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences* 275:71–76.
- Gonzalez, P. N., N. Bonfili, M. N. Vallejo Azar, J. Barbeito-Andres, V. Bernal y S. I. Perez. 2019. Description and analysis of spatial patterns in geometric morphometric data. *Evolutionary Biology*, in press.
- Gunz, P. y Mitteroecker, P. 2013. Semilandmarks: A method for quantifying curves and surfaces. *Hystrix* 24:103–109.
- Gunz, P., Mitteroecker, P. y Bookstein, F. L. 2005. Semilandmarks in three dimensions. In D. E. Slice (Ed.), *Modern morphometrics in physical anthropology* (pp. 73–98). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Jungers, WL, Falsetti A, Wall CE. 1995. Shape, relative size and size-adjustments in morphometrics. *Yrbk Phys Anthropol* 38:137-161.
- Mitteroecker P. y P. Gunz. 2009. Advances in Geometric Morphometrics. *Evol Biol* 36:235–247.
- Mitteroecker, P., Gunz P., Bernhard M., Schaefer K. y F. L. Bookstein. 2004. Comparison of cranial ontogenetic trajectories among hominoids. *J Hum Evol* 46:679-698.
- Monteiro, L. y S. Furtado dos Reis. 1999. *Principios de morfometría geométrica*. Holos Editora.
- Perez, S. I., Bernal V. y P. N. Gonzalez, 2006. Differences between sliding semilandmarks methods: implications for shape analyses of human populations. *Journal of Anatomy* 208:769-784.
- Pomidor, B. J., Makedonska, J. y Slice, D. E. 2016. A landmark-free method for three-dimensional shape analysis. *PLoS ONE*, 11(3):e0150368.
- Rohlf, F. J. 1990. Rotational fit (Procrustes) methods. En *Proceedings of the Michigan Morphometrics Workshop* (F. J. Rohlf y F. L. Bookstein, eds.) Special Publ. No. 2. The University of Michigan Museum of Zoology. Pp. 227-236.
- Slice, D. E. 2005. Modern morphometrics. En *Modern Morphometrics in Physical Anthropology* (Slice D. E., ed.). Pp. 1-45. New York: Kluwer Acad. Plenum.
- Slice, D. E. 2007. Geometric Morphometrics. *Annu Rev Anthropol* 36:261–281.
- Zelditch, M. L., Swiderski, D. L., Sheets, H. D., y Fink, W. L. 2004. *Geometric morphometric for biologists: a primer*. London: Academic Press.

12- Programas

- Landmark Editor. 2005. <http://www.idav.ucdavis.edu/research/EvoMorph>
- MeshLab. 2016. <http://www.meshlab.net/>
- Package auto3dgm. 2019. <http://www2.stat.duke.edu/~sayan/auto3dgm/>
- Package Geomorph. 2020. <https://cran.r-project.org/web/packages/geomorph/index.html>
- Package Morpho. 2020. <https://cran.r-project.org/web/packages/Morpho/index.html>
- R 3.4. 2020. R Development Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>
- R Studio. 2020. <https://rstudio.com/>