

Portafolio

La Morfometría geométrica y el análisis matemático de imágenes médicas

Sandra Milena Ospina-Garcés

La Morfometría geométrica y el análisis matemático de imágenes médicas

Sandra Milena Ospina-Garcés

La comparación de las formas orgánicas y el creciente interés por registrar caracteres anatómicos y su variación, han permitido el desarrollo teórico de la biología comparativa, y ha impactado otras áreas fuera de la biología, como la antropología y la medicina. La forma como concepto fundamental dentro la biología, y en particular los métodos para describirla, han sufrido una transición desde el campo de lo descriptivo al campo de lo cuantitativo generando una conexión entre la biología y la matemática. La primera aproximación metodológica para la medición de los rasgos morfológicos en humanos fue desarrollada por Francis Galton (1885), por lo cual es considerado el padre de la antropometría, y quien sentó las bases para el mejoramiento de la raza a través de la selección de rasgos fenotípicos. Sus trabajos sobre la heredabilidad de diferentes descriptores morfométricos de la talla en humanos aportaron diferentes modelos matemáticos y conceptos estadísticos para evaluar la relación entre rasgos cuantitativos, los cuales siguen siendo utilizados para estudiar la variación morfológica en diferentes contextos médicos.

Posteriores aplicaciones de herramientas de medición de las características morfológicas de los organismos permitieron describir de manera numérica la diversidad morfológica de los organismos y dieron origen a la “morfometría”, término que acuñó Frederick Bookstein (1982) para nombrar al conjunto de técnicas de medición de las formas biológicas y su cambio. El desarrollo teórico de la morfometría o el análisis matemático de la forma y la definición de los espacios matemáticos en los cuales puede ser descrita, impulsaron los más recientes desarrollos metodológicos en el campo de los análisis antropométricos y el análisis de imágenes médicas.

Recibido: 20/06/ 2023

Aceptado: 10/07/2023

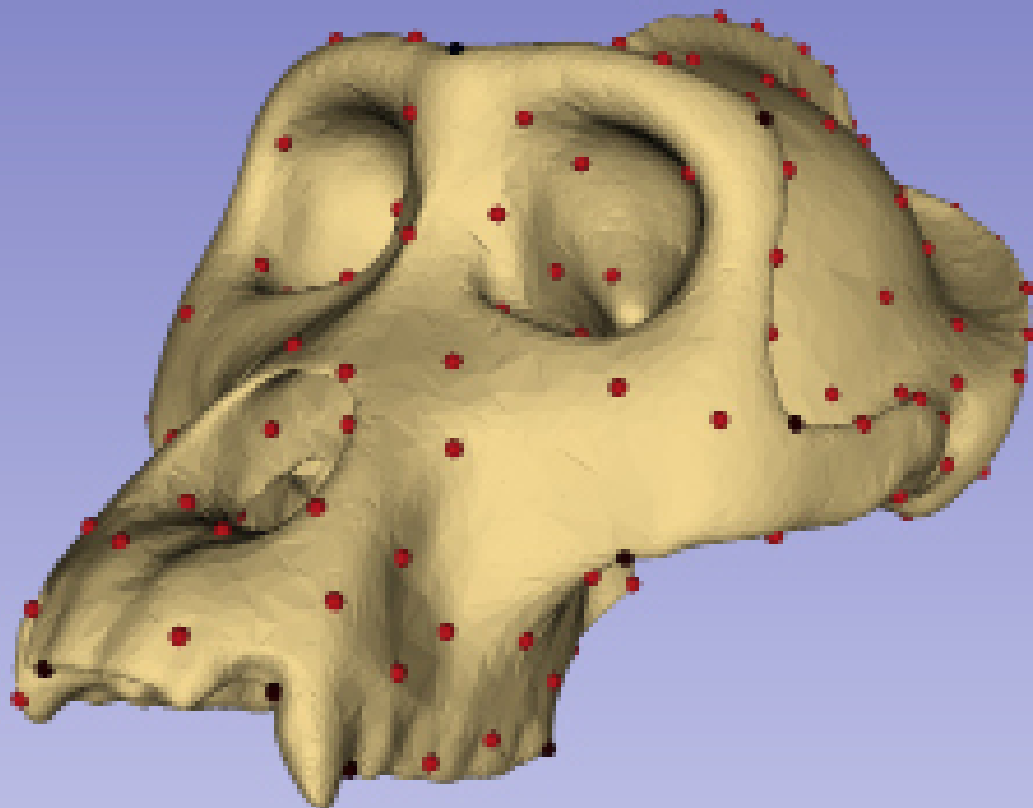
¹ Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. correo: ospinagarcess@gmail.com

Sandra Milena Ospina-Garcés

Durante la década de los 90 se desarrollaron un conjunto de técnicas de medición fina de caracteres anatómicos, lo cual dio origen a una “revolución en morfometría” (Rohlf y Marcus, 1993). Esta revolución consistió en el reemplazamiento de los análisis clásicos de caracteres morfológicos basados en conjuntos de distancias lineales por aproximaciones geométricas, en las cuales las estructuras son descritas a partir de conjuntos de coordenadas derivadas de la ubicación de marcas sobre puntos anatómicos de referencia. Este método, conocido como “morfometría geométrica”, permite capturar la geometría de las estructuras, preservando sus propiedades a través de los análisis, y estudiar de manera independiente la variación la forma y el tamaño de los organismos (Adams et al., 2004, 2013). Dicha variación es descrita a través de coordenadas cartesianas (“x,y” o “x,y,z”) derivadas de la captura de un conjunto de marcas (o “landmarks”), ubicadas sobre referentes anatómicos, o semimarcas describiendo los contornos de las estructuras, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1.

Digitalización de marcas (círculos negros) y semimarcas (círculos rojos) sobre un modelo 3D del cráneo de un gorila.



El análisis estadístico de configuraciones geométricas, previamente procesadas para remover la variación no biológica, ha sido implementado para describir cambios en la anatomía humana en contextos evolutivos, como el estudio de la evolución del cráneo en humanos, y la cuantificación alteraciones anatómicas asociadas a desordenes funcionales, como la maloclusión dental (Toro-Ibacache et al. 2019), entre otros. Por ejemplo, en el caso de la Articulación Temporomandibular estudiada utilizando una configuración geométrica (Figura 2), se ha detectado la susceptible relación entre la posición de la mandíbula y la perdida de la función masticatoria. Los estudios morfométricos geométricos de la anatomía humana a partir de imágenes médicas, como radiografías o fotografías, han permitido reconstruir las trayectorias de crecimiento de los huesos (Pujol et al. 2014). Así mismo, el uso de imágenes del cuerpo caloso ha facilitado la detección de alteraciones anatómicas del tallo cerebral en pacientes con Síndrome de Alcoholismo Fetal (Bookstein et al. 2001).

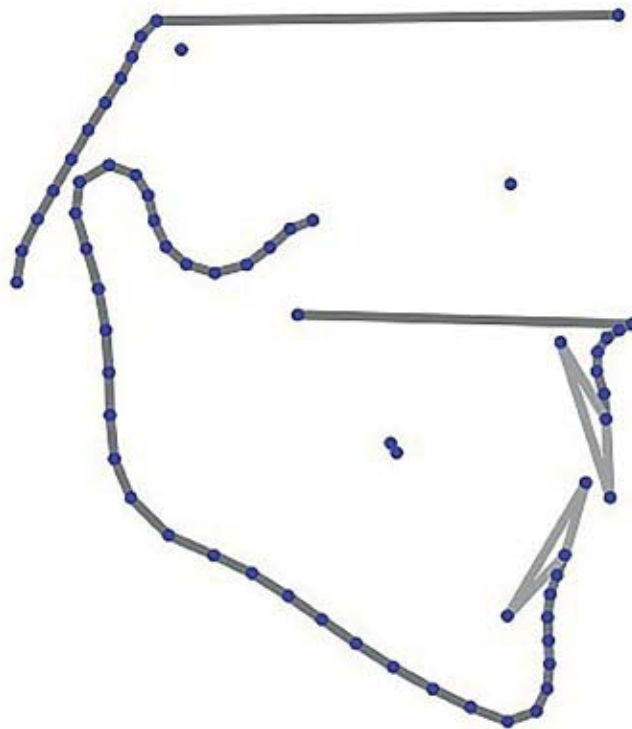


Figura 2.

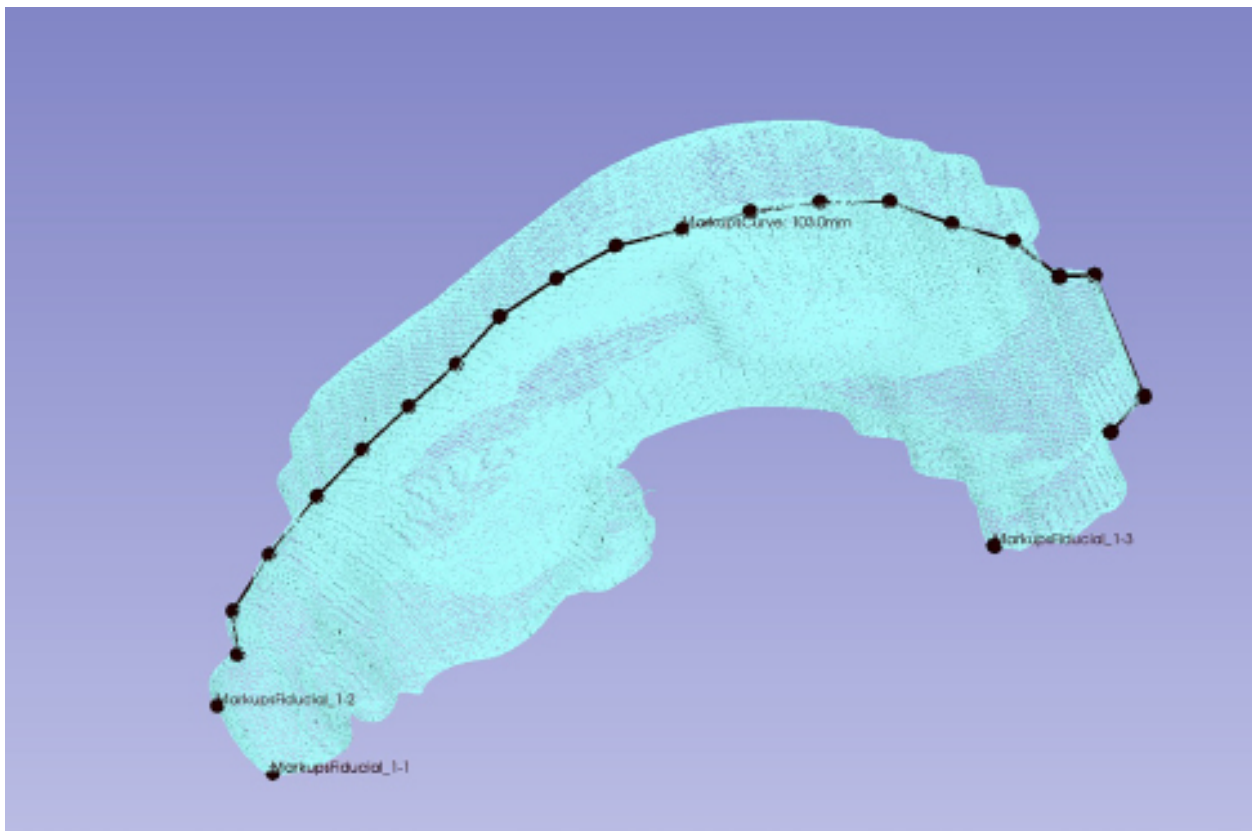
Conjunto de marcadores utilizados para estudiar la articulación temporomandibular con métodos morfométricos. Tomado de Freudenthaler et al 2011, Open Access.

Estos representan solo unos cuantos ejemplos de estructuras anatómicas cuya deformación y pérdida funcional han sido abordadas con las técnicas de morfometría geométrica, a partir de imágenes médicas.

En la actualidad existen diferentes alternativas para capturar coordenadas de modelos tridimensionales de la anatomía humana, como los escáneres tridimensionales y micro CT. Esto ha permitido el refinamiento en la cuantificación de alteraciones anatómicas, ya que los órganos de interés pueden ser segmentados, medidos en detalle y deformados bajo un modelo hipotético (Figura 3). Así mismo, los avances en la captura de imágenes y modelos anatómicos tridimensionales han mejorado la planeación de procedimientos quirúrgicos la enseñanza médica y la impresión de prótesis diseñadas a partir de biomateriales.

Figura 3.

Captura de imagen de mediciones realizadas sobre la segmentación del cerebelo en un modelo tridimensional del cerebro humano, procesado en el programa de análisis de imágenes Slicer 3D (<https://www.slicer.org/>).



Referencias

- Adams, D., Rohlf, F. J., y Slice, D. (2013). A Field Comes of Age: Geometric Morphometrics in the 21st Century. *Hystrix*, 24(1), 7-14.
- Bookstein, F. L. (1982). Foundations of Morphometrics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 13(1), 451-470.
- Bookstein, F. L., Sampson, P. D., Streissguth, A. P., & Connor, P. D. (2001). Geometric morphometrics of corpus callosum and subcortical structures in the fetal-alcohol-affected brain. *Teratology*, 64(1), 4-32.
- Galton, F. (1885). Some Results of the Anthropometric Laboratory. *The Journal of the Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 14, 275-287.
- Freudenthaler, J., Čelar, A., Ritt, C., & Mitteröcker, P. (2017). Geometric morphometrics of different malocclusions in lateral skull radiographs. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 78(1), 11.
- Pujol, A., Rissech, C., Ventura, J., Badosa, J., & Turbón, D. (2014). Ontogeny of the female femur: geometric morphometric analysis applied on current living individuals of a Spanish population. *Journal of anatomy*, 225(3), 346-357.
- Rohlf, F. J., y Marcus, L. F. (1993). A revolution morphometrics. *Trends in Ecology y Evolution*, 8(4), 129-132.
- Toro-Ibacache, V., Ugarte, F., Morales, C., Eyquem, A., Aguilera, J., & Astudillo, W. (2019). Dental malocclusions are not just about small and weak bones: assessing the morphology of the mandible with cross-section analysis and geometric morphometrics. *Clinical oral investigations*, 23, 3479-3490.