



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA  
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**MODELO DE ANÁLISIS HIPERDIMENSIONAL  
MULTIVARIADO, BASADO EN LA MORFOMETRÍA  
GEOMÉTRICA Y APLICADO A CRÁNEOS HUMANOS.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA  
P R E S E N T A  
RODRIGO TIMOTEO VIEJO GONZÁLEZ.**

**Director de tesis: M EN A. MIRSHA QUINTO SÁNCHEZ**

**MINERAL DE LA REFORMA, HIDALGO.**

**2011**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
**Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería**  
**Licenciatura en Biología**  
 Coordinación Adjunta



**M. EN C. JULIO CÉSAR LEINES MEDÉCIGO**  
**DIRECTOR DE CONTROL ESCOLAR, UAEH**

**P R E S E N T E**

Por este conducto le comunico que el Jurado asignado al pasante de Licenciatura en Biología **Rodrigo Timoteo Viejo González** quien presenta el trabajo recepcional de tesis intitulado **“Modelo de análisis hiperdimensional multivariado, basado en la morfometría geométrica y aplicado a cráneos humanos”**, después de revisarlo en reunión de sinodales ha decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del Jurado:

- PRESIDENTE: M. en C. Jesús Martín Castillo Cerón  
 PRIMER VOCAL: Dra. Katia Adriana González Rodríguez  
 SEGUNDO VOCAL: Dra. María del Consuelo Cuevas Cardona  
 TERCER VOCAL: M. A. Mirsha Quinto Sánchez  
 SECRETARIO: M. en C. Miguel Ángel Cabral Perdomo  
 PRIMER SUPLENTE: Dr. Víctor Manuel Bravo Cuevas  
 SEGUNDO SUPLENTE: Dr. Carlos Esquivel Macías

*[Firmas manuscritas de los miembros del jurado]*

Sin otro particular, reitero a usted la seguridad de mi más atenta consideración.

**A T E N T A M E N T E**  
**“AMOR, ORDEN Y PROGRESO”**  
 Mineral de la Reforma, Hidalgo a 4 de Julio de 2011

*[Firma manuscrita de Magdalena Meza Sánchez]*  
**M. en C. Magdalena Meza Sánchez**  
 Coordinador Adjunto de la Licenciatura en Biología



c.c.p. Archivo

Ciudad Universitaria Carretera Pachuca – Tulancingo Km. 4.5 C.P. 42184  
 Col. Carboneras, Mineral de la Reforma Hidalgo.  
 Tel. 017717172000 Ext. 6600 Fax ext. 6602  
 Correo electrónico: [mmeza@uaeh.edu.mx](mailto:mmeza@uaeh.edu.mx)

A mis padres,  
A mi abuela Columba,  
con amor eterno.

How shall we comfort ourselves, the murderers of all murderers?

*Parable of the madman, Nietzsche (1882).*

We've raised ourselves to gods,  
we drank the seas and wiped away horizons,  
just everything we loved has bled to death by our own knives.

*Marcus Bischoff (2007).*

## **AGRADECIMIENTOS.**

En estas primeras líneas, escribo la conclusión de un capítulo de mi vida lleno de trabajo y esfuerzo, que sin duda no habría podido realizar sin el apoyo de las personas e instituciones que agradeceré a continuación.

En primer lugar quisiera agradecer al M. en Antropología, Mirsha Quinto Sánchez por haberme aceptado como su estudiante, por mostrarme el complejo mundo de la Morfometría geométrica e introducirme en el campo de la biología antropológica. Así también, por el gran apoyo mostrado durante la realización de esta investigación, por los cursos, las ponencias, conferencias, el acceso a instituciones, personas que conocí, experiencias que viví... pero sobre todo, estoy totalmente agradecido por haber soportado hasta el final de este viaje. ¡Mirsha, en verdad, muchísimas Gracias!

A las autoridades, investigadores y personal que permitieron el acceso a las colecciones en el Museo Nacional de Antropología de Madrid. También a los encargados del Departamento de Zoología y Antropología Física de la Facultad de Ciencias Biológicas y de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid. En especial a la gestión de los permisos de acceso realizados por el Dr. Antonio González Martín.

También quisiera agradecer al M. en Antropología Jorge A. Gómez Valdés, por permitir el acceso a la Facultad de Medicina de la UNAM, en las primeras etapas de esta investigación. A la M. en criminalística Albertina Ortega Palma por las facilidades mostradas para la realización de esta tesis en el Laboratorio de Osteología de la ENAH. Sin olvidar a todas las personas que ahí conocí, gracias por su hospitalidad.

A los doctores Víctor Manuel Bravo Cuevas, Carlos Esquivel Macías y Consuelo Cuevas Cardona, por su paciencia para conmigo, sus consejos, pláticas, regaños, charlas, comentarios, pero especialmente la guía que me dieron para poder desarrollar esta investigación. Es bueno poder contar con ustedes como asesores, pero más como amigos.

A los sinodales, M. en C. Miguel Ángel Cabral Perdomo, M. en C. Jesús Castillo Cerón, Dra. Katia Adriana González Rodríguez, que tuvieron la paciencia y amabilidad de revisar esta

tesis. Gracias por mostrarme mis errores y también por los comentarios hechos para mi continuo crecimiento académico. Gracias, he aprendido mucho de ustedes.

A mis amigos de la licenciatura con los cuales tuve el gusto de cursar con ellos distintas etapas, materias, fiestas, pláticas, viajes, aventuras, desventuras y fortunas. Sí, estoy hablando de ustedes, José Carlos, Absalón, Jorge, Guadalupe “*Lupita*”, Mayra, Ximena, Nayely, Yazmín, Héctor, Osiel, Emmanuel. Gracias por todo, la carrera y mi vida no hubiesen sido las mismas sin ustedes.

A Josué, Abraham, Gerardo, Benjamín, Fernando, Roy, Rafael, Cesar, Iván, Jesús, por un montón de vivencias. Gracias por su amistad y todo lo que eso implica.

Por último, y siendo para mí los más importantes, los incondicionales, mi familia. A mis padres por sus palabras de aliento, por su apoyo, por darme ánimos y consuelo cuando más lo necesitaba. Tengo una deuda impagable, jamás lo hubiera hecho sin ustedes. A mi abuela por su amor y ternura. A mis tías por preocuparse por mí. A mis primos, en especial a Jaziel, gracias por acompañarme desde la infancia. A ustedes, Daniela y Sandra que de alguna manera (*oculta*) u otra han estado conmigo. Al pequeño *Nabu*, gracias por tus risas inocentes y por hacerme redescubrir el mundo a través de tu mirada.

¡Gracias por todo, no podría pedirles más!

*Escrito una noche del 2011.*

## RESUMEN

El presente estudio es la integración de un modelo de análisis hiperdimensional multivariado para el estudio de las diferencias intra e interpoblacionales, aplicado a los cráneos humanos, puesto estos mantienen caracteres cuantitativos, que otorgan información sobre el fenotipo e inferir sobre el genotipo. El modelo se integra por cinco análisis elementales, el primero es el análisis de componentes principales, el cual permitió conocer la variación craneal de acuerdo a su región y función. Siguiendo con el análisis de variación canónica con la representación gráfica de los datos por medio del análisis de conglomerado que permite entender las diferencias fenotípicas craneales dentro y entre grupos. Los análisis Relethford y Blangero y el cálculo  $F_{st}$  permiten la inferencia sobre la varianza fenotípica y genético poblacional, que puede ser interpretada desde variables espacio-temporales. El modelo fue aplicado a tres series craneales españolas y una filipina con un total de 452 individuos. Los datos se obtuvieron por medio de la técnica llamada morfometría geométrica. Esta técnica permite el estudio de la forma biológica a partir de la digitalización de puntos anatómicos, lo cual permite eliminar los efectos de rotación, escala y translación. Se obtuvieron resultados de cada análisis, de los cuales el PCA permitió localizar al componente alveolar como la región craneal con mayor índice de variación. El CVA y el análisis de conglomerado muestran que las poblaciones españolas mantienen una variación estable geográfica y cronológicamente aún con la inclusión de una colección externa a modo de comparación. Con el RBA y el cálculo  $F_{st}$  se infirió sobre el comportamiento genético poblacional de las colecciones. La aplicación de este modelo abarca las áreas básicas para la caracterización biológica de colecciones humanas.

## RESUMEN

This thesis is the integration of a hiperdimensional multivariate analysis model used in the study of differences between and within populations. This model was applied in human skulls, because they maintain the quantitative information about phenotype and from this we can infer the genotype one. The model is integrated by five different analyses; the first one is the principal component analysis that gives information about the variation of the skull shape in order to its place and function. Following with the canonical variate analysis and the cluster analysis used for the graphical representation of the data, this analysis provides the phenotypic variance between and within groups. The Relethford-Blangero analysis and the Fst allow inferring about the phenotypic and genotypic variance which can be explained by space and time variables. The model was run in a total of 452 individuals from three Spanish and one Philippine human skull collections. Geometric Morphometric methods were used to obtain the data, this technique permit to examine the biological form of the skulls from the digitalization of skull landmarks that rid of the effects of translation, scale and rotation. The PCA results in the localization of the alveolar component as the more variable in the whole skull. The CVA and the cluster analysis show that the Spanish collections have a geographical and chronological phenotypic stability even with the inclusion of an out-group. With the RBA and the FST we infer about the population genetics behavior of the data. This model covers the basic areas for a biologic characterization of human populations.



# ÍNDICE

Dedicatoria	i
Agradecimientos	iii

## I: Introducción.

---

1. Introducción	2
1.1 Fundamento teórico	3
Sujeto de estudio	
Caracteres morfológicos y su utilidad en la inferencia biológica	
Morfometría geométrica	4
1.2 Estudios previos de caracterización poblacional para las muestras españolas.	5
1.3 Justificación.	8
1.4 Objetivo principal	
Objetivos particulares.	

## II: Método: Integración del Análisis Hiperdimensional Multivariado (AHM).

---

2. Modelo de análisis hiperdimensional multivariado (AHM).	11
2.1 Análisis preliminares para la depuración de la muestra y procedimientos de estandarización de la variación de landmarks.	12
Criterios de inclusión-exclusión.	
Estimación de edad y sexo.	13
Digitalización (obtención de datos).	
Error intraobservador.	16
Transformación de la matriz de <i>landmarks</i> .	
Valores perdidos y valores fuera de rango.	17
Efecto del sexo: análisis discriminante.	18
Regionalización de la variación craneofacial mediante componentes o módulos funcionales del cráneo.	
Elección de CF para el estudio.	
Estimación del tamaño.	21
2.2 Análisis por modelo libre.	

Análisis de componentes principales por CF del cráneo.	
2.3 Análisis por modelo restringido.	22
Análisis de variación canónica.	
Análisis de conglomerado.	23
Análisis Relethford-Blangero y calculo FST.	
2.4 Programas informáticos utilizados.	24
2.5 Muestra empleada para la aplicación del AHM.	25
Configuración de las colecciones.	

### III: Resultados de la aplicación del AHM.

---

3.1 Análisis preliminares para la depuración de la muestra y procedimientos de estandarización de la variación de landmarks.	28
Transformación de datos.	
Valores fuera del rango normal de distribución.	
Total de individuos.	29
Efecto de sexo.	30
Variación del tamaño en la muestra.	
3.2 Modelo libre	
Análisis de componentes principales por CF craneal.	
Colección de Wamba (WAM).	31
Colección Olóriz (OLZ).	43
Colección del Museo de Antropología de Madrid (MAM).	54
3.3 Modelo restringido.	65
Análisis de variación canónica y conglomerado.	
Análisis Relethford-Blangero (RBA) y calculo FST.	72

### IV: Discusión.

---

4. Integración del AHM.	75
4.1 Acerca de los individuos incluidos en el estudio.	76
4.2 Variación intragrupal por CF craneal (PCA).	77
4.3 Variación intergrupala a partir del CVA y Análisis de conglomerado.	81
Variación intergrupala de las colecciones españolas.	
Variación intergrupala de las colecciones españolas y un grupo externo.	84
4.4 Inferencia de la histórica biológica española: RBA y calculo FST.	85

## V: Conclusiones.

---

5. Conclusiones.	89
Literatura citada.	91
Anexo I.	97

---

# I: Introducción.

---

La excepción la constituye un mono desnudo que se ha puesto a sí mismo el nombre de *Homo sapiens*.

Morris, D. *El mono desnudo*. 1967

---

---

## 1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las aproximaciones para conocer la historia biológica de las poblaciones humanas antiguas a partir de material óseo, principalmente el cráneo, son realizadas mediante estudios antropométricos que caracterizan poblaciones por medio de variantes clasificatorias obtenidas a partir de distancias lineales. Las variables que se han utilizado son ángulos, distancias, índices cefalométricos y capacidad craneal, etc. que obtienen insuficiente información biológica de los individuos (Pucciarelli, 2008). Esto permitió que a principios de siglo XX se formularan posturas racistas, eugenésicas y tipologistas (Gould, 1996; Relethford 2009), que desacreditaron en cierta manera los estudios sobre estructura y variación morfológica humana.

La biología antropológica ha sufrido cambios en la metodología aplicada al estudio de la variación de las poblaciones, las cuales por lo general son analizadas a partir de estudios genético-moleculares. Actualmente, las nuevas tecnologías y metodologías han reivindicado la importancia del fenotipo humano como parte del estudio de la variación intrapoblacional e interpoblacional para explicar distintos fenómenos biológicos a partir de restos óseos.

El presente trabajo, es la integración y aplicación de un modelo que replantea los estándares generalizados para la caracterización poblacional empleados en la biología antropológica, usando métodos morfológicos y multivariantes para el análisis de la historia biológica antigua, aplicable a cualquier colección osteológica. El estudio retoma las bases morfométricas clásicas a las cuales añade nuevas herramientas y perspectivas para el conocimiento de la estructura poblacional, teniendo como objeto de estudio el cráneo, del cual se obtiene gran información sobre la variación poblacional.

El modelo se basa en la aplicación de la metodología de la morfometría geométrica, la cual puede obtener la información de la variación biológica mediante la forma en sí, y no una proyección o reducción lineal de la misma (Zelditch, *et al.*, 2004). La inclusión de análisis de estadística multivariante, permite el estudio de caracteres cuantitativos para inferir la variación fenotípica y genotípica. Este enfoque metodológico, se sustenta en la caracterización

por medio del análisis hiperdimensional multivariado, que representa una síntesis de metodologías aplicadas al análisis de la forma (Slice, 2005). Este análisis aporta nuevas perspectivas aplicadas a los estudios de historia biológica en poblaciones humanas, siendo caracterizadas de manera objetiva y ubicándolas de manera espacio-temporal. Finalmente, para comprobar la factibilidad y funcionalidad, para no apartar la teoría de la práctica, se emplearon tres colecciones craneales españolas para aplicar el modelo.

## 1.1 FUNDAMENTO TEÓRICO

### SUJETO DE ESTUDIO.

Se seleccionó el cráneo humano, como sujeto de estudio, porque es un complejo óseo de suma importancia que refleja patrones genéticos, presiones ambientales, y es clave para determinar edad, sexo y tendencias evolutivas en homínidos (White y Folkens 2005). Está conformado por una red de estructuras anatómicas, módulos, integradas por presiones genéticas y ambientales. La interacción entre los módulos craneofaciales durante el proceso morfogenético, produce que se fijen cambios en diferentes etapas del crecimiento, que permiten sean cuantificables, ya que modifican la forma del material óseo (Bruner, 2007).

Asimismo, es ampliamente conocido que la utilización de los restos óseos otorga mucha información sobre las relaciones genético-poblacionales de los individuos (Pucciarelli, 2008), además de poder cuantificar la variabilidad de los individuos, y así poder estimar y localizar los cambios que se muestran dentro y entre poblaciones (González-José, 2003).

### CARACTERES MORFOLÓGICOS Y SU UTILIDAD EN LA INFERENCIA BIOLÓGICA.

El estudio de la variabilidad morfológica permite el análisis de un gran número de caracteres cuantitativos, lo que conlleva a comprender al fenotipo como un modelo integrado de sistemas estructurados que es afectado por factores ambientales (González-José *et al.*, 2005; Bruner y Ripani, 2008). El cráneo es uno de los marcadores de caracteres cuantitativos que permiten

deducir los patrones, genéticos y/o fenotípicos, que yacen en su morfología (Martínez-Abadías *et al.*, 2009a).

Estos patrones pueden ser estudiados por medio de la variación y los factores que la provocan. Determinando las características de la población (Falconer y Mackay 2001). Esta idea se resume en que, si el ambiente determina la variación morfológica de los individuos, la varianza fenotípica podría resumirse por medio del modelo infinitesimal de Fisher (Falconer, 1985). Éste explica que la varianza fenotípica,  $V^2P$ , está determinada por los valores de las varianzas genotípica,  $V^2G$ , más los efectos de la varianza ambiental,  $V^2E$ . El modelo se encuentra resumido en la ecuación:

$$V^2P = V^2G + V^2E$$

De esta manera, la variación fenotípica puede ser estudiada mediante caracteres cuantitativos, a partir de los cuales se pueden inferir patrones morfológicos de índole genético o ambiental. El estudio de la plasticidad (componente ambiental) del cráneo puede realizarse con fundamento en la hipótesis de la matriz funcional, que explica que la forma del cráneo refleja las funciones de tejidos blandos y la actividad muscular (Moss, 1960, 1997). También, se puede llegar a estudiar las relaciones ambientales con base en la genética de los individuos, misma que se puede examinar desde la integración fenotípica (Olson y Miller, 1958) dado que su análisis abarca las variables espaciotemporales.

## **MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA.**

La morfometría geométrica se define como la fusión entre la geometría y la biología según Rohlf (1990) y Bookstein (1997). Se emplea como método para el estudio de la forma biológica en más de dos dimensiones. Esta técnica propone un cambio rotundo en la aproximación al tamaño y la forma estructuras, ya que los datos a estudiar se obtienen a partir de puntos morfométricos o *landmarks* (González-José *et al.*, 2004). Los *landmarks* son puntos anatómicos descriptores de la forma biológica del objeto (Zelditch *et al.*, 2004). La utilización de *landmarks*

arroja información importante sobre la variación y variabilidad del objeto estudiado y por ende de la población a la que perteneció (Richtsmeier *et. al*, 2002; Richtsmeier *et. al*, 2005).

La caracterización biológica por medio de la morfometría geométrica posee protocolos del análisis de las coordenadas obtenidas en la digitalización de los *landmarks*, que satisfacen los distintos objetivos que se planteen durante la investigación; por ejemplo, los métodos de superposición basados completamente en el análisis generalizado de Procrustes (GPA), eliminan los efectos de translación, rotación y escala de los sets de datos, lo que permite analizarlos de manera independiente (Bookstein, 1997).

De igual manera, la técnica permite la inclusión de la estadística multivariante como el de componentes principales y de variación canónica, además de la inclusión de la teoría genético poblacional, lo cual es comúnmente conocido como morfometría multivariante (Adams *et. al*, 2004), que se abastece de teoría estadística rigurosa para el análisis de la forma, siendo posible su uso combinado con métodos para visualizar la forma biológica (Bookstein, 1997).

### **1.2 ESTUDIOS PREVIOS DE CARACTERIZACIÓN POBLACIONAL PARA LAS MUESTRAS ESPAÑOLAS.**

Las colecciones craneanas empleadas en este proyecto son de origen español, por lo cual se describirán trabajos realizados en el ámbito de la biología antropológica con colecciones del país ibérico. Entre los primeros trabajos dentro del rubro bioantropológico se encuentra el efectuado por el Doctor Federico Olóriz en la recolección de cráneos para estudios antropológicos en 1884. El propósito en ese trabajo fue coleccionar el material de estudio necesario para trazar la historia anatómica y fisiológica de la región geográfica española por medio de índices cefalométricos. Olóriz encontró que en toda la población española el índice de variación craneal se mantuvo en un rango de 76 cm a 80cm (Colección de cráneos, 2010).

Se tienen registros de trabajos realizados casi un siglo después para conocer la variación morfológica de las colecciones españolas por medio de la antropometría como el trabajo de Garralda (1981), quien estudió 13 poblaciones españolas utilizando un análisis de 8



variables morfológicas propuestas por Martin y Saller (1957), a partir de distancias lineales obtenidas desde la localización de puntos craneométricos extremos del cráneo, como altura, anchura, etc.

Varela López y colaboradores (1981), compararon cuatro poblaciones españolas mediante variables antropométricas basadas en el índice de similitud racial de Rao, junto con el uso de la distancia de tamaño y forma de Penrose, el cual tuvo por resultado una mayor afinidad antropométrica entre los individuos de la región central de España, con más diferencia en comparación con los individuos del País Vasco, localizado al noroeste de España y éstos con los de la comunidad de Andalucía, ubicada en el sureste de España.

En 1985 Rúa realizó un trabajo con variables craneométricas para comprobar la diferenciación de la población vasca de las demás regiones peninsulares. Bajo la premisa de obtener una caracterización morfológica europea Sokal y colaboradores (1987) realizaron análisis craneométricos del continente europeo y encontraron que la muestra de la península ibérica no era representativa, lo cual pudo ser debido a que los estudios realizados anteriormente fueron hechos en regiones determinadas. No obstante así obtenían características morfológicas estables entre las poblaciones europeas.

González Martín y Lalueza (1996) analizaron datos craneométricos de poblaciones de la península ibérica y los compararon con poblaciones del resto de Europa utilizando distancias euclidianas para comparar similitudes además de los algoritmos UPGMA y Neighborh Joining como sistemas para la representación de las distancias. Ellos emplearon en total 874 individuos masculinos y 557 femeninos, más 3286 del resto de Europa. Los resultados basan las diferencias morfológicas en las zonas geográficas de donde provenían los individuos aunado a los climas de estas regiones, pero a pesar de éstos se muestra una homogeneidad morfológica en el continente con excepción de la población vasca que se muestra diferenciada de Europa y de la población española.

En el año 2000, Pucciarelli y Sardi analizaron morfológicamente, y por medio de módulos, cráneos pertenecientes a las regiones insulares de España (Islas Canarias) y de

grupos europeos, africanos y asiáticos, obteniendo como resultado que la población de estas islas tenían más similitud con los individuos europeos que con los asiáticos o africanos, además de que se observó un dimorfismo sexual en la región neurocraneal, que se relacionó con patrones microevolutivos en estas poblaciones.

En 2001 Souich utilizó caracteres morfológicos para hacer una comparación dentaria de dos colecciones españolas, una que data de la época medieval y otra de la prehistoria. Estas poblaciones fueron comparadas estadísticamente por medio de ANOVAS y resultó que no hubo diferencias significativas entre ambas.

Fernández-García (2004) analizó morfométricamente la colección osteológica del museo de medicina forense de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid en España, la cual consta de una colección de más de 2000 cráneos con un período cronológico de entre 1500 años (s.V a s. XX) de los cuales alrededor de 600 se encontraron en buen estado. Él estudio mostró homogeneidad morfológica con algunas regiones que presentan diferenciación de las demás como lo es la región vasca y alguna provincia cercana a Jaén de las cuales la investigadora concluye que estas diferencias no son importantes para ser tomadas en cuenta como marcadores para nuevas regiones morfológicas.

Para este mismo año Estévez (2004), utilizó la implementación de la morfometría geométrica para estimar indicadores de la actividad biocultural en la comunidad de Guanche en Tenerife, España. Su investigación obtuvo resultados que muestran que existen marcadores morfológicos relacionados con las actividades socioeconómicas de los individuos.

Asimismo y de manera general, los estudios que son el sustento principal de este trabajo son los modelos libre y restringido propuesto por Relethford y Lees (1982), mismos que permiten estudiar la diferenciación dentro y entre poblaciones. Esto contribuye a la caracterización biológica poblacional basada en la estructura y variación de las poblaciones. Los modelos permiten anexar análisis para medir la variación poblacional como los análisis estadísticos multivariantes y de inferencia genético poblacional. Lo que permite que los análisis de diversos caracteres cuantitativos otorguen información de la estructura poblacional.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La caracterización poblacional realizada hasta nuestros días, por la escuela de la antropología física clásica mexicana, tiene una falta de ejes teóricos que fundamenten y estandaricen el conocimiento mínimo sobre el fenotipo craneofacial de poblaciones humanas antiguas. La construcción de rangos discontinuos o clases fuera de las características mismas de la variación han permitido que las relaciones sobre variabilidad fenotípica entre poblaciones sean reducidas a explicaciones taxonomistas. Por estos motivos es que la presente tesis integra una serie de modelos y análisis aplicados a la obtención de caracterizaciones poblacionales multivariantes de estimación genética y fenotípica por medio de la forma biológica de los individuos de cualquier colección osteológica humana. La primer idea que sustenta este trabajo es el criterio de integración/estandarización del estudio de fenotipos complejos y posteriormente la adopción de nuevas metodologías que mejoren la inferencia sobre la variación y estructura de las poblaciones del pasado en el marco de la teoría evolutiva.

### **1.4 OBJETIVO PRINCIPAL.**

Integrar un modelo de análisis hiperdimensional multivariado cuya utilización facilite el estudio de la estructura y variación del fenotipo craneal humano con base en la morfometría geométrica.

### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

- a) Aplicar el modelo propuesto a tres series craneales bajo la perspectiva del modelo Relethford y Blangero, para conocer las principales variaciones intra e interpoblacionales.
- b) Inferir la variación de las distintas regiones craneales dentro de las colecciones estudiadas mediante la aplicación de la teoría de componentes funcionales y el análisis de componentes principales (PCA).

- c) Utilizar el modelo para analizar la variación fenotípica craneofacial interpoblacional de las colecciones estudiadas mediante al análisis de variación canónica (CVA) y análisis de conglomerado (como representación gráfica). Además de evaluar su comportamiento con la inclusión de un grupo externo.
- d) Utilizar los análisis Relethford y Blangero ( $F_{st}$ ) incluidos en el modelo para inferir patrones génicos que pudieran interactuar en las poblaciones estudiadas.

---

# II: Método: Integración del análisis hiperdimensional multivariado (AHM).

---

Alguien que copia de un texto es un plagio,  
alguien que copia de muchos es un  
investigador.

Wilson Mizner (1876-1933).

---

---

## 2. MODELO DE ANÁLISIS HIPERDIMENSIONAL MULTIVARIADO (AHM).

El modelo de análisis hiperdimensional multivariado se sustenta en la caracterización poblacional, que representa una síntesis de metodologías aplicadas al análisis de las formas biológicas (Slice, 2005). De esta manera, el AHM permite probar propuestas metodológicas a la estructura general establecida en este trabajo, lo que le confiere una visión integradora al propio proceso de investigación científica.

El AHM evalúa la variación biológica intra e interpoblacional, incluye estudios comparativos y de diferenciación desde la perspectiva de los modelos libre y restringido propuestos por Relethford y Lees (1982). Los estudios de comparación buscan determinar el patrón de varianza dentro y entre grupos para que a partir de esta información se puedan relacionar con variables demográficas, cronológicas y climáticas. Los estudios de diferenciación buscan determinar la variación sin relacionarla con la causante, para inferir los factores que pudiesen producir las variables observadas (deriva génica, flujo génico etc.) (Ibídem, 1982).

El AHM, constituye la parte central del estudio y se conforma en tres bloques interrelacionados para su implementación y análisis. El primer bloque se enfoca en los análisis preliminares para la depuración de la muestra que representa un breve protocolo para definir los criterios de inclusión exclusión de individuos, además de los análisis y procesos de la estandarización de la variación de *landmarks*. El segundo bloque es la aplicación del modelo libre enfocado a la variación intrapoblacional y, el último, el modelo restringido que pretende inferir los patrones de variación interpoblacional y vislumbrar la presencia de algún efecto microevolutivo operante.

Cada bloque tiene diferentes análisis y técnicas que se describen en su oportunidad, además de recalcar que no pueden llevarse a cabo los análisis del segundo y tercer bloque sin haber realizado con anterioridad los análisis preliminares. También, es importante resaltar que los análisis se efectuaron por medio de programas informáticos específicos, los cuales son tratados más adelante.

## 2.1 ANÁLISIS PRELIMINARES PARA LA DEPURACIÓN DE LA MUESTRA Y PROCEDIMIENTOS DE ESTANDARIZACIÓN DE LA VARIACIÓN DE *LANDMARKS*.

El primer bloque, que tiene dos subdivisiones, es un conjunto de pruebas anteriores a la transformación o ajuste de los datos por medio del Análisis Generalizado de Procrustes (GPA) que contiene aspectos de inclusión y exclusión de individuos, estimación de sexo y edad en las muestras, el protocolo de digitalización y la estimación del error intra observador.

La segunda parte consiste en eliminar aquellas fuentes de variación (exógena o endógena) controlables y estandarizar dentro del modelo general de perturbación de *landmarks* (Richtsmeier *et. al*, 2005); puntualmente, se trabaja con los valores perdidos y la detección de individuos fuera del rango normal de la distribución, efecto de sexo, transformación de la matriz de *landmarks* y estimación del tamaño. El programa informático *MorphoJ* fue utilizado para la realización de estos análisis. Con esta parte del protocolo se pretende que las pruebas realizadas reduzcan algunas de las posibles fuentes de variación ajenas a la misma forma biológica. A continuación se describe cada uno de los rubros mencionados anteriormente.

### CRITERIOS DE INCLUSIÓN-EXCLUSIÓN.

Las pautas a seguir para la inclusión de un cráneo para ser examinado están basadas en el protocolo propuesto por Martínez- Abadías (2005), el cual tiene cinco requerimientos mínimos para la inclusión de un individuo:

- Que los individuos sean adultos, que el cráneo muestre caracteres morfológicos adultos.
- Ser cráneos sin modificaciones culturales intencionales, ya que estas prácticas modifican la forma general del cráneo.
- Que no presenten huellas de enfermedades en una o distintas regiones del cráneo, (ej. rasgos de tumoraciones, infecciones o síndromes etc.).
- El cráneo no puede estar restaurado total o parcialmente, ya que es una fuente de variación exógena que modifica la forma biológica del individuo.

- Los cráneos deberán contar con el 95% de su estructura ósea o que esta abarque la mayoría de variables (*landmarks*) a evaluar para la toma de datos. Si el cráneo presenta un porcentaje cercano a esta cantidad se valora si esto puede afectar el estudio.

Si los cráneos cumplieran estos requerimientos se procede a determinar su sexo y edad, para después digitalizarlos e incluirlos en la base de datos.

### **ESTIMACIÓN DE EDAD Y SEXO.**

La mayoría de los caracteres óseos para el sexamiento de los individuos yacen en el cráneo, la mandíbula, el fémur y la pelvis (Giles, 1970), por lo que estos caracteres son las fuentes primarias de la estimación del sexo.

Primeramente, se propone utilizar caracteres morfoscópicos para determinar el sexo de los individuos, tales como el desarrollo de la región glabellar, orbitaria y mastoidea, basado en lo propuesto por Buikstra y Ubelaker (1994). Si es posible, la estimación del sexo se debe llevar a cabo mediante la pelvis (Bruzek 2002). Una vez llevado a cabo el sexamiento, se le asignaron claves a los cráneos de acuerdo a su sexo: masculino (M), femenino (F), masculino dudoso (M?), femenino dudoso (F?) y no determinable (ND). Posteriormente, se aplicó un análisis discriminante para explorar el comportamiento de la asignación del sexo en las colecciones estudiadas.

Como ya se mencionó un requisito para la inclusión de los individuos fue que sean adultos, la estimación de esta variable se realiza por medio de los parámetros de evaluación para el cráneo propuestos por Ubelaker (2003) y White y Folkens (2005), enfocados al estado del desarrollo dentario.

### **DIGITALIZACIÓN (OBTENCIÓN DE DATOS).**

En este punto se tienen los cráneos con sexo y edad estimada además de un estado de conservación tal que permitió la medición de, por lo menos, el 95% de las variables. Para



capturar la información biológica del cráneo se retomó un set de 65 puntos craneométricos o *landmarks* basado en el protocolo de digitalización propuesto por Martínez-Abadías (2005). Para la aplicación del AHM de éste protocolo, se utilizaron 60 los cuales ocupan por completo la forma biológica del cráneo, además de ser los necesarios para los objetivos de este trabajo (Tabla 1). Dichos *landmarks* permiten analizar las regiones con mayor variación y plasticidad en respuesta ambiental desde la perspectiva de integración morfológica.

La digitalización puede ser realizada por medio de varios métodos: fotografía, digitalizadores, escáner 3D, tomografías computarizadas, etc. Para el caso de esta tesis los cráneos fueron medidos con el brazo digitalizador *Microscribe G2* (Figura 1) que presenta las características de un área de trabajo de 127cm. (50 pulgadas) con una exactitud de 0.23 mm. (0.009 pulgadas) o 100 puntos en la esfera de ANSI.



Figura 1. Digitalizador Microscribe G2 utilizado en el estudio.

Tabla 1. Lista de puntos craneométricos utilizados en el presente estudio.

No.	Abreviatura	Landmark	Definición
1	pr	Prostion	Punto medio más anterior sobre el borde del proceso alveolar.
2,3	ekm r,l	Ectomolar	Punto más lateral de la superficie exterior del margen alveolar de la maxila, generalmente en la posición del segundo molar.
4	ss	Subspinale	Punto más posterior en la concavidad entre la espina nasal anterior y el prostion (Base apical).
5,6	nar r,l	Nariale	Punto con mayor inferioridad en la apertura nasal.
7,8	al r,l	Alare	Punto más lateral en el margen de la apertura nasal
9	n	Nasion	Punto medio donde los dos huesos nasales y el frontal se interceptan.
10, 28	mf r,l	Maxillofrontale	Punto donde la cresta lagrimal anterior de la maxila se encuentra con la sutura frontomaxilar.
11,27	zyo r,l	Zygoorbitale	El punto donde el borde orbital se intercepta con el hueso cigomático-maxilar.
12,26	or r,l	Orbitale	Punto más bajo en el margen orbital.
13,29	ek r,l	Ectoconchion	Punto más lateral del margen orbital
14,31	fm:a r,l	Frontomalare ant	Punto donde la sutura fronto cigomática cruza el borde orbital interior.
15,33	ft r,l	Frontotemporale	Punto donde la línea temporal alcanza la posición más antero medial en el frontal
16,25	zm:a r,l	Zygomaxillare ant	Punto más anterior en la sutura cigomático-maxilar
17,24	zy r,l	Zygion	Punto lateral que se extiende en la superficie del arco cigomático.
18,23	pt r,l	Pterion	Es una región, que señala el punto, donde el frontal, temporal, parietal, y esfenoidal se encuentra en el punto del baúl.

Tabla 1. Continuación.

19,22	eu r,l	Euryon r	Puntos de máxima anchura del neurocráneo perpendicular al plano medio sagital. El punto es tomado de las elevaciones del parietal sobre la del temporal.
20,21	ast r,l	Asterion r	Punto de encuentro de las suturas lambdaoideal, parietomastoidal y occipital.
30	oc	Optic canal	Foramen inter esfenoidal.
32	fmt	Frontomalare temp	Punto donde la sutura fronto cigomática cruza la línea temporal.
34	en	Enthomion	Punto más anterior y basal de la escotadura parietal.
35	st	Stephanion	El punto donde la sutura coronal se cruza en la línea temporal inferior.
36	g	Glabella	El punto medio anterior del hueso frontal, generalmente sobre la sutura frontonasal.
37	m	Metopion	Punto medio sagital ectocraneal donde la elevación frontal, en relación nasion-bregma, es mayor.
38	b	Bregma	Punto ectocraneal donde convergen las suturas coronal y sagital.
39	v	Vertex	Punto superior del cráneo en el contorno de la línea medio sagital cuando el cráneo se encuentra posicionado en la escala de Frankfurt.
40	l	Lambda	Punto de intersección de las suturas sagital y lambdaoideal en el plano medio sagital.
41	op	Opisthocranium	El punto más posterior en el cráneo en el plano sagital. Es el punto más lejano desde glabella.
42	i	Inion	Punto medio ectocraneal en la base externa de la protuberancia occipital, es el punto en el cual las líneas de la nuca superior se unen en la protuberancia occipital externa.
43	o	Opisthion	El punto medio en el margen posterior del foramen magnum.
44	ba	Basion	Punto medio del margen anterior del foramen magno
45	ho	Hormion	Punto más posterior a la mitad del vómer
46	pns	Post nasal spine	Punto más posterior de la espina postnasal.
47	pal	Palate	Intersección del hueso palatino y la maxila, en el eje sagital.
48	alp	Alveolar point	Limite posterior del arco maxilar alveolar en la sutura pterigo alveolar.
49	zm	Zygomaxillare	Borde más bajo de la sincondrosis del borde cigomático
50	ifc	MW1	Punto más inferior en la esfeno- temporal en el ala del hueso esfenoide.
51	fov	Foramen ovale	Punto más lateral de margen del foramen oval.
52	ipe	Inner petrous	Punto medio interior del hueso petroso.
53	gle	Glenoid fossa	Borde posterior de la cavidad glenoidea
54	ra	Radicular	Borde posterior en el arco cigomático, al nivel del porion
55	ju	Jugale	Punto medio sobre el borde de la curvatura de los huesos temporal y el frontal.
56	szt	Sup zygo-temp	Sutura entre los huesos temporal y el cigomático su parte superior.
57	izt	Inf zygo-temp	Punto más bajo de la sincondrosis cigo temporal.
58	po	Porion	Punto superior en el margen del meato auditivo externo.
59	sty	Stylomastoid for	Foramen estilo mastoidea
60	ms	Mastoidale	Punto más inferior de la apófisis mastoidea.

La obtención de coordenadas 3D ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) permite que puedan ser calculadas las distancias lineales simples (que antiguamente se tomaban con un calibre o vernier) entre todos los pares de *landmarks* del protocolo, lo que brinda una ventaja adicional a los métodos tradicionales.

En esta tesis, el set de los *landmarks* se tomó en la norma lateral izquierda. Durante el proceso de digitalización los cráneos fueron fijados con plastilina de tipo comercial, además de colocar etiquetas adhesivas en algunos puntos craneométricos antes de realizar el estudio, ya que esto disminuye el rango de error en la medición en determinados *landmarks*.

El *Microscribe*, presenta por defecto el origen de las coordenadas en el centroide del aparato, las cuales sirven para la orientación espacial del objeto a digitalizar. Se utilizó un sistema de referencia donde el origen de coordenadas fuera Nasion (0, 0, 0), el eje de orientación en X sería el Hormion, y en Y, Bregma. Con esto se obtuvieron las coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$  de cada uno de los puntos craneométrico digitalizados, los cuales fueron almacenados en hojas de cálculo en Excel.

### **ERROR INTRA OBSERVADOR.**

Este estudio fue pensado en estimar el error en la toma de datos de un observador. Aunque hay muchos protocolos para poder desarrollarlo, para el caso de este trabajo, el estudio debió realizar al menos 10 repeticiones de una misma serie de cráneos del mismo sexo, para controlar el efecto de dimorfismo sexual. Se incluyen los dos sexos, si es el objetivo del trabajo. Los datos resultantes fueron tratados estadísticamente mediante una ANOVA, para conocer si existían diferencias significativas entre las diferentes sesiones de mediciones. Con esta misma prueba se obtuvo un valor medio de la variación intra observador.

### **TRANSFORMACIÓN DE LA MATRIZ DE *LANDMARKS*.**

La transformación de la matriz de *landmarks* se realizó mediante metodología de la morfometría geométrica expuesta por Bookstein (1997). En primer lugar, se realiza la localización de los *landmarks* en un plano cartesiano de dos o más dimensiones (2D o 3D). El segundo paso es la transformación de estas coordenadas, a coordenadas de la forma (*shape coordinates*), que eliminan el efecto de escala, obteniendo simplemente la forma del objeto a estudiar.

Ésta se realizó dentro del programa informático *MorphoJ* por medio del análisis generalizado de Procrustes, GPA por sus siglas en inglés, que es el método hiperdimensional apropiado para el análisis de la forma, ya que conlleva una transformación total de los datos en el espacio morfométrico de Kendall donde se remueve toda la información que no sea referente a la forma como la escala, la rotación y la translación (Zelditch, *et al.*, 2004), este análisis también estima el tamaño, la forma y su variabilidad (Dryden y Mardia, 1998).

### **VALORES PERDIDOS Y VALORES FUERA DE RANGO.**

Los individuos presentan diversos factores que afectan la composición del material óseo, como la pérdida de regiones óseas por tafonomía o durante el proceso de excavación (Hernández-Espinosa, 1997). Por lo cual, para el presente estudio se optó por eliminar la información de cualquier individuo con datos perdidos como parte de un análisis más acertado a la forma del cráneo. De manera general, es elegible no utilizar cráneos con grandes pérdidas óseas. Sin embargo, dadas las condiciones del material en la antropología biológica debe señalarse que el estudio puede llevarse a cabo con cráneos hayan perdido menos del 5% de los puntos craneométricos. Además, estos puntos pueden estimarse por medio de diferentes modelos para reemplazarlos (Sokal y Rolfh 2003).

Asimismo, la localización de valores fuera del rango normal que pudieran afectar en los resultados fue determinada mediante el algoritmo configurado en el programa *MorphoJ*. Este procedimiento permite mostrar la distancia de cada individuo (que contiene a la sumatoria de todo el set de *landmarks*) a su forma media (Klingenberg y Monteiro, 2005). De igual manera, mediante el programa estadístico PAST se realizó un gráfico de caja para poder localizar el intervalo de confianza a 95% y, de esta forma, ubicar los organismos extremos al rango de distribución poblacional, mismos que fueron excluidos del estudio.

### **EFFECTO DEL SEXO: ANÁLISIS DISCRIMINANTE.**

Mediante la aplicación de un análisis discriminante clasificatorio con validación cruzada se busca observar cómo se comportan las matrices de asignación de grupo de reclasificaciones generada, para conocer la validez de las asignaciones dadas a cada sexo según sus caracteres morfológicos. Esta prueba es como un parámetro que ayudaría a vislumbrar algún efecto del sexo en la muestra.

### **REGIONALIZACIÓN DE LA VARIACIÓN CRANEOFACIAL MEDIANTE COMPONENTES O MÓDULOS FUNCIONALES DEL CRÁNEO.**

Para un mejor estudio de la variación del cráneo se eligió la teoría de los componentes funcionales (CF). En esta teoría se integran función, estructura y presiones ambientales (Dressino y Lamas, 2003). Se basa en la hipótesis principal propuesta por Van der Klaauw (1945), la cual considera al cráneo como una estructura dinámica que, a pesar de tener una funcionalidad independiente, mantiene una integración en toda su morfología (Lieberman, 2008). Los CF están compuestos por las partes funcionales craneales, que están relacionadas a funciones básicas de sostén y protección de tejidos blandos, órganos y cavidades (Pucciarelli y Sardi, 2000).

Los CF utilizados estuvieron basados en lo propuesto por Van de Klaauw (1948) y retomado por Dressino y Lamas (2003), que explican que en el cráneo se pueden distinguir CF basados en su tamaño y forma individual influenciados por el medio. Esto permite identificar la variación de cada CF y estimar cuales fueron los factores que la produjeron (Pucciarelli y Sardi, 2000).

### **ELECCIÓN DE CF PARA EL ESTUDIO.**

El set de landmark se dividió de 60 *landmarks* iniciales a subconjuntos de *landmarks* que formaron los ocho CF utilizados en el estudio. Estos se representaron por medio de polígonos de deformación o wireframes que informan cual es la región craneal estudiada y la variación

dentro de ella. El presente análisis, parte del estudio general del cráneo (CFG) que fue dividido jerárquicamente en tres partes anatómicas generales que son: el CF neurocraneal (CFN) que corresponde anatómicamente al neurocráneo, basicraneal (CFB) correspondiente a la base del cráneo y facial (CFF) correspondiente a la parte anatómica del esplancocráneo. Todos estos son componentes de primer orden.

El CFF se subdividió en cuatro subcomponentes de acuerdo a las principales funciones anatómicas que se presentan en la región, los CF elegidos fueron el óptico (CFO), nasal (CFN), masticatorio (CFM) y alveolar (CFA). Estos conforman los componentes del segundo orden.

La figura 2 explica la jerarquización seguida en esta investigación, además que la figura 3 muestra uno de los polígonos de forma creados para observar la variación craneal. Para fines de replicación de esta prueba la Tabla 2 presenta el número de identificación de cada uno de los *landmarks* que conforman cada CF, los cuales pueden ser localizados en la Tabla 1.

Tabla 2. Puntos craneométricos que conforman cada uno de los CF utilizados en el estudio. Los CF sombreados son los pertenecientes a los considerados del segundo orden.

<b>Componente Funcional</b>	<b>Puntos Craneométricos</b>
Neurocraneal	21,22,23,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,58
Basicraneal	1,3,21,25,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,57,59,60
Facial	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,14,17,24,26,28,29,31,36
Óptico	10,12,13,14,26,28,29,30,31
Respiratorio	4,5,6,7,8,9,4,5,4,6
Masticatorio	1,3,31,32,33,35,49,53,54,55,56,57
Alveolar	1,2,3,4,48

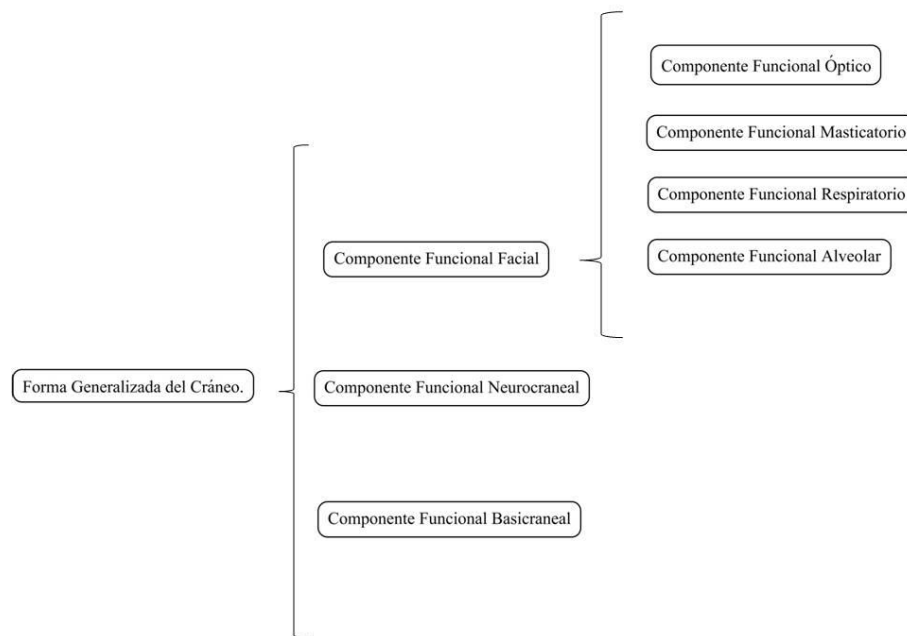


Figura 2. Estructura jerárquica de la división del cráneo que conforma cada uno de los componentes funcionales utilizados en el presente estudio. Explicando que la forma general del cráneo está conformada de los CF del primer orden. Donde el CFF se conforma por cuatro CF también llamados del segundo orden.

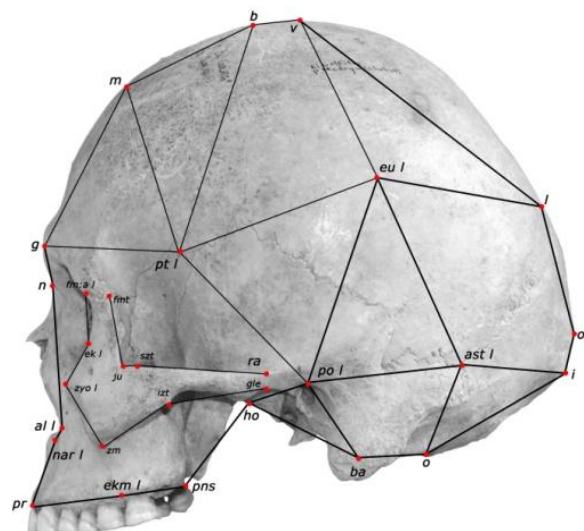


Figura 3. Polígono creado para conocer y localizar los cambios en la forma general del cráneo (CFG). En el apartado de resultados solamente se mostrará un polígono de deformación por componente funcional (Tomado de Quinto-Sánchez 2010).

Las figuras que explican los otros CF craneales se encuentran en el Anexo I.

## **ESTIMACIÓN DEL TAMAÑO.**

El tamaño del cráneo fue estimado por medio del *centroid size*, que es una medida geométrica calculada por la raíz cuadrada de la suma de distancias cuadradas de un cada punto craneométrico desde la configuración del centroide del *landmark* de referencia (Bookstein, 1997, Zelditch *et al.*, 2004). Esta técnica se restringe a buscar el tamaño del objeto. En otras palabras los individuos medidos no diferirán en la forma biológica sino solamente en escala.

## **2.2 ANÁLISIS POR MODELO LIBRE.**

Según lo propuesto Relethford y Lees (1982) para estudios poblacionales, se plantea la utilización del modelo libre que permite inferir los patrones de variación intrapoblacional y relacionarlos con los factores que pudieron causarlos. Este modelo puede incluir análisis estadísticos multivariantes como el PCA, o el uso de los análisis factoriales que explican la varianza común de la muestra.

Para este caso, se incluyen módulos craneales como variables de estudio, que proporcionan información de acuerdo a la variación de la forma biológica de los individuos.

## **ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) POR CF DEL CRÁNEO.**

El PCA es una importante técnica estadística que permite reducir el número de variables que contiene una muestra sin perder información, con lo cual se puede revelar a menudo, información escondida o que subyace en el banco de datos.

A partir del análisis se construyen nuevas variables lineales y se ordenan según su importancia en la variación total (Smith, 2002). De acuerdo con esto, el PCA aplicado a los ocho CF de cada colección obtiene y localiza la variación morfológica craneal dentro de la nube de distribución.

El programa *MorphoJ*, permitió obtener la matriz de varianza-covarianza con la cual no se pierden las variables originales, lo que elimina información redundante y preserva los factores que explican la variación total.



Para estandarizar la investigación se decidió utilizar solamente los tres primeros valores propios o *eigenvalores* de cada componente principal, ya que manejan los mayores valores de varianza explicada. Además se calcularon 8 percentiles (0, 5, 10, 15, 20, 50, 80, 85, 90, 95 y 100) para cada componente principal. Finalmente se obtuvo una representación gráfica para cada percentil, wireframes, en el software *MorphoJ* mediante la escala de variación en la forma de cada CF.

Los resultados de los PCA aplicados a los CF fueron descritos a partir de los componentes del segundo orden, con la finalidad de que las descripciones anatómicas se integren y no sean repetitivas. También se optó por representar sólo los percentiles 0, 50 y 100 que muestran los valores de la mediana y extremos de variación morfológica de los componentes.

### **2.3 ANÁLISIS POR MODELO RESTRINGIDO.**

El modelo restringido (Relethford y Lees, 1982) otorga información de la estructura poblacional además de poder compararla entre poblaciones, además de estimar información génica poblacional a partir de los caracteres cuantitativos en este caso morfológicos.

Este modelo utiliza métodos estadísticos multivariantes como medio para estimar los procesos microevolutivos, y en algunos casos filogenéticos, de las poblaciones analizadas. Dentro de los análisis estadísticos se utilizará: el análisis de variación canónica (CVA) y el análisis de conglomerados para la reconfiguración de distancias euclidianas entre poblaciones. La estima del flujo o estabilidad génica en las poblaciones u otros patrones microevolutivos por medio del análisis Relethford y Blangero para el cálculo de la diversidad  $F_{st}$ .

### **ANÁLISIS DE VARIACIÓN CANÓNICA (CVA).**

El CVA es un método utilizado para determinar la discriminación resultado de la variación entre grupos previamente asignados como variables de respuesta. El CVA, para el caso de la aplicación del AHM fue dividido en dos:

1. Análisis de variación canónica con las colecciones españolas.
2. Análisis de variación canónica con la inclusión de un grupo externo. Este método permite conocer si el modelo CVA anterior (1) es persistente en su resultado, ya que estos métodos son sensibles al número de poblaciones analizadas.

El CVA arroja raíces canónicas, similares a los valores propios del PCA, a las que se les estimaron percentiles (0, 50 y 100) para poder observar los gradientes de transformación del cráneo por medio de los polígonos de forma (*wireframes*). Además, se obtuvieron las distancias de Mahalanobis, distancias lineales entre los centroides de cada distribución poblacional, que permiten indagar en similitudes entre variables aleatorias (Mahalanobis, 1936) y de Procrustes (Bookstein, 1997).

### **ANÁLISIS DE CONGLOMERADO.**

En el programa PAST, se crearon árboles o conglomerados (fenogramas), a partir de las matrices de distancias de Mahalanobis por medio del algoritmo UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*). Así, se observaron las similitudes de las colecciones estudiadas basadas en las distancias euclidianas simples por medio de un sistema alternativo de agrupación. El algoritmo matemático, no reestructura los datos lo que permite tener una visualización directa de las distancias entre las poblaciones, esta idea es similar a las distancias entre frecuencias génicas.

Este análisis fue realizado con los mismos criterios que el CVA. En este, la inclusión del grupo externo permitió generar un contraste matemático utilizado para conocer la reclasificación de las muestras con un fenotipo no relacionado directamente.

### **ANÁLISIS RELETFORD-BLANGERO (RBA) Y CALCULO FST.**

El cálculo Fst y el RBA son estimadores de la diversidad fenotípica y genotípica de los datos. Estos permiten obtener un modelo de varianza genotípica esperada en función de los datos observados provenientes de los rasgos cuantitativos del cráneo. Como la diversidad está

relacionada con altas tasas de flujo de las poblaciones (migración), los datos resultantes son una estimación del flujo génico de las mismas.

González- José (2003), explica que la varianza resultante del análisis proporciona información acerca del flujo génico diferencial con el universo externo a la región. Su estimación puede representar patrones de migraciones, flujo génico entre otros y con esto la resolución de las causantes de la variación, dependen del criterio y conocimientos previos sobre las poblaciones del investigador.

Al igual que el CVA y el análisis de conglomerado, el análisis se realizó dos veces, uno para las poblaciones españolas y otro con la inclusión del grupo externo.

## 2.4 PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS.

Las plataformas informáticas utilizadas permitieron realizar las pruebas pertinentes según los objetivos y las hipótesis planteadas para este estudio.

El principal programa utilizado enfocado en la técnica de la morfometría geométrica *MorphoJ* (versión 1.00k Klingenberg Lab, 2008) para la plataforma Windows 7, permite realizar análisis multivariantes, discriminantes, general de Procrustes, regresiones, parrillas de deformación, polígonos de forma, creación de wireframes. Es uno de los programas más completos en su rubro, de uso sencillo y amigable; disponible de manera gratuita en la siguiente página electrónica: [http://www.flywings.org.uk/MorphoJ\\_page.htm](http://www.flywings.org.uk/MorphoJ_page.htm).

El PAST (*paleontological statistics* creado por Ryan P.D) realiza análisis de conglomerado, entre otros análisis multivariantes; su interfaz maneja hojas de cálculo para su realización. Disponible de manera gratuita en la siguiente página electrónica: <http://www.nhm.uio.no/norges/past/download.html>.

La plataforma informática enfocada al análisis estadístico Statistica (versión 7; statsoft) fue utilizada para la realización de gráficos 2D y 3D, gráficos de caja, de dispersión de puntos, gráficas lineales y análisis estadísticos básicos.

El R-Met (versión 5.0) fue utilizado para análisis Relethford-Blangero y el cálculo Fst llevados a cabo en la parte del modelo restringido en esta investigación. Que se encuentra disponible de manera libre en: <http://konig.la.utk.edu/relethsoft.html>

## 2.5 MUESTRA EMPLEADA PARA LA APLICACIÓN DEL AHM.

Se analizaron 452 cráneos humanos pertenecientes a las colecciones óseas de tres instituciones españolas. En la Tabla 3 se presentan las instituciones, las claves utilizadas para cada colección, cronología y el número de cráneos provenientes de cada una de ellas.

Tabla 3. Lista de las instituciones y de las colecciones estudiadas.

Colección	Clave	Cronología	Región	n
Museo de Antropología Madrid <sup>1</sup>	MAM	1801-1900	España	92
Individuos filipinos <sup>2</sup>	FLP	--	Filipinas	71
Wamba <sup>3</sup>	WAM	1601-1700	Valladolid	134
Dr. Olóriz <sup>4</sup>	OLZ	1501- 1600	España	155
			Total	452

<sup>1</sup> Museo Nacional de Antropología de España.

<sup>2</sup> Museo Nacional de Antropología de España.

<sup>3</sup> Departamento de Zoología y Antropología Física.\*

<sup>4</sup> Facultad de Medicina.\*

\*Ambos pertenecientes a la Universidad Complutense de Madrid

## CONFIGURACIÓN DE LAS COLECCIONES.

Las colecciones utilizadas tienen distintas configuraciones de acuerdo a los objetivos por las que fueron fundadas, desde contextos arqueológicos definidos (WAM) y dos colecciones con propósitos forense-anropológico de diferentes cronologías, zonas geográficas y culturas.

La colección del Museo Nacional de Antropología de Madrid (MAM) fue instituida principalmente con el fin de almacenar material óseo español y de otras regiones geográficas, provenientes de expediciones realizadas por los colonizadores españoles. Se le han integrado restos óseos de diversas partes del mundo y de distintas cronologías. Los cráneos estudiados pertenecen a una temporalidad aproximada del año 1801 hasta 1900. Las colecciones óseas del

museo están clasificadas y divididas según la procedencia geográfica de los individuos (Historia del Museo, 2010). La colección de individuos filipinos (FLP), que se utilizó como grupo de comparación morfológico, procede de esta institución y son cráneos recolectados durante las expediciones españolas a Filipinas.

La colección del Dr. Olóriz (OLZ) es producto de una compilación iniciada en 1899 de material osteológico netamente español para estudios científicos principalmente sobre la variación morfológica española y sus patologías. Los cráneos utilizados fueron los delimitados cronológicamente desde los años 1501 a 1600.

La colección de Valladolid o Wamba (WAM) es proveniente de un depósito óseo situado en la Iglesia de Santa María de esta provincia española. El material osteológico es prácticamente inédito, los individuos de esta colección comprenden desde los años 1601 a 1700, además de estar circunscritos geográficamente a esta región.

La información cronológica fue evaluada por medio de fichas de registro de las instituciones, si algún elemento no presentaba datos sobre su procedencia o temporalidad, el individuo no fue tomado en cuenta para el estudio.

El acceso a las colecciones fue realizado dentro del proyecto “Inferencia de la historia biológica de poblaciones antiguas americanas” por el Dr. Antonio González-Martín y el M. en antropología Mirsha Quinto Sánchez. Este último llevó a cabo la primera fase de los análisis preliminares de las colecciones estructurando las bases de datos con procedimientos parte del modelo de análisis hiperdimensional multivariado, como los criterios de inclusión de individuos, determinación de edad y sexo, la digitalización y el estudio de error de medición.

---

# III: Resultados de la aplicación del AHM

---

Cada uno de nosotros existe durante un tiempo muy breve, y en dicho intervalo tan sólo explora una parte diminuta del conjunto del universo. Pero los humanos somos una especie marcada por la curiosidad. Nos preguntamos, buscamos respuestas.

Hawking, S. *El gran diseño*. 2010.

---

---

### 3.1 ANÁLISIS PRELIMINARES PARA LA DEPURACIÓN DE LA MUESTRA Y PROCEDIMIENTOS DE ESTANDARIZACIÓN DE LA VARIACIÓN DE *LANDMARKS*.

#### TRANSFORMACIÓN DE LOS DATOS.

La transformación de *landmarks* después de aplicar el GPA dentro del programa *MorphoJ* muestra la configuración de la dispersión de los puntos craneales (Figura 4) en forma tridimensional en la cual se han eliminado los efectos de rotación, translación y escala, lo que dejó solamente la información del tamaño y la forma que fue utilizada en los análisis parte del modelo.

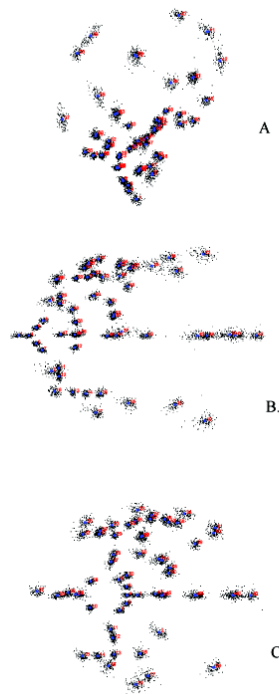


Figura 4. Configuración tridimensional de los cráneos sin tener presentes los efectos de rotación, translación y escalamiento por medio del *full procrustes fit* del GPA. A: vista lateral izquierda. B: vista superior. C: vista inferior.

#### VALORES FUERA DEL RANGO NORMAL DE DISTRIBUCIÓN.

Por medio del programa *MorphoJ* se excluyó del análisis a los individuos fuera del rango normal de variación (95%), respecto a la desviación de cada individuo a la forma media poblacional. El rango o intervalo de confianza de 95% fue calculado por medio de un gráfico de

caja (Figura 5), que exhibió los valores que se encontraban fuera del intervalo de confianza elegido, lo que permitió localizar el punto de corte (intervalo 114 a 225) con lo cual los datos tuvieron una distribución normal ( $p > 0.05$ ).

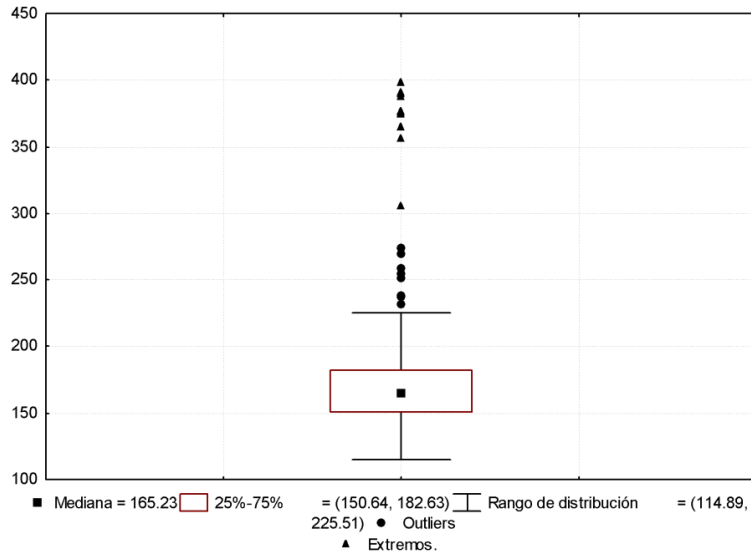


Figura 5. Muestra gráfica de caja de los valores de desviación de la forma media para el intervalo de confianza utilizado (punto de corte alrededor de 225).

## TOTAL DE INDIVIDUOS.

De acuerdo al análisis realizado los números muestrales fluctúan de acuerdo a la inclusión/exclusión propia del análisis, a razón de la integración de la población Filipina que se incluyó como grupo externo. De manera general, la n inicial pasó de 413 individuos a 397, la tabla 4 resume este proceso.

Tabla 4. Se muestra el número de individuos incluidos en cada modelo de análisis poblacionales realizados dentro del estudio.

Colección osteológica	Datos incluidos en los análisis	
	Modelo Libre	Modelo Restringido
Valladolid / Wamba	105	105
Doctor Olóriz	151	151
Museo de Antropología, Madrid	76	76
Filipinos	-	65
Total individuos	332	397



**EFEECTO DE SEXO.**

El análisis discriminante con 10000 permutaciones ( $p > 0.0001$ ) arrojó información sobre la clasificación de los cráneos a partir de los caracteres morfoscópicos. Los individuos femeninos se clasificaron correctamente en el 100% (66) de los casos, mientras los masculinos concretaron 257 casos correctos (96.6%). En el análisis de validación cruzada los cráneos femeninos se reclasificaron apropiadamente en 35 ocasiones mientras tanto los masculinos 209 veces fueron clasificados correctamente, como lo muestra la tabla 5.

Tabla 5. Muestra las clasificaciones resultantes del análisis según el sexo, arriba análisis sin permutación abajo, análisis con permutación por 1000.

<b>Sexo</b>	<b>Femenino</b>	<b>Masculino</b>	<b>Total</b>
Femenino	66	0	66
Masculino	9	257	266
<b>Validación Cruzada</b>			
Femenino	35	31	66
Masculino	57	209	266
		n=	332

**VARIACIÓN DEL TAMAÑO EN LA MUESTRA.**

Los individuos que presentaron una mayor escala (*centroid size*) son los individuos correspondientes a las colecciones de MAM y OLZ; es decir, en términos generales estas dos colecciones presentan cráneos de mayores dimensiones en su forma generalizada.

**3.2 MODELO LIBRE.****ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES POR CF CRANEAL.**

Se generaron ocho PCA independientes por cada una de las colecciones incluidas en el estudio. Cada CF en cada población presenta los polígonos de forma (*wireframes*) con el fin de hacer observable el rango la variación morfológica de cada colección estudiada.

**COLECCIÓN DE WAMBA (WAM).****VARIACIÓN DEL CFA.**

El PCA de este componente arrojó 8 valores propios que explican el 78.7% de la varianza en los 3 primeros componentes principales (Tabla 6 y Figura 6).

Tabla 6. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFA resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00545449	46.81	46.81
2	0.00229917	19.731	66.542
3	0.00141388	12.134	78.676
...	...	...	...
8	0.00008431	0.724	100

El gradiente morfológico de la forma (*shape*) hacia valores positivos del primer componente principal (PC1) denota una modificación en la estructura general del paladar. Los valores positivos (percentiles 100, 95, 90, 85, 80) muestran una menor dimensión longitudinal (DL) antero-posterior en relación a la forma poblacional (percentil 50). Su contraparte negativa (percentiles 0, 5, 10, 15, 20) muestra un incremento. Además, es observable una variación en cuanto a la forma poblacional en la parte del tercio posterior del componente; dando como resultado una forma más reducida del paladar, para valores negativos, teniendo una forma casi convergente hacia la parte medial posterior. Los valores positivos en la región tercio posterior no denotan tal reducción posterior, sino que tienen una forma más paralela.

El gradiente de cambio morfológico en cuanto a los valores del segundo componente principal (PC2), muestran una mayor DL en la parte posterior, además de una reducción en la región intermaxilar. Estos cambios son inversos en los valores negativos, puesto que la DL de la parte posterior presenta una tendencia convergente en la arcada maxilar junto con una forma más amplia de la región intermaxilar.

El tercer componente principal (PC3) muestra en los valores positivos que la DL del componente presentan un aumento en la parte del tercio posterior que resulta en una reducción de la forma generalizada del paladar, en comparación a los valores negativos en donde se presenta también una reducción en la amplitud general de esta configuración. La parte

anterior del componente funcional tiene una gran amplitud, a diferencia de los valores negativos donde tiende a ser muy reducida. La proyección frontal dentaria es más marcada en las formas correspondientes a los valores positivos.

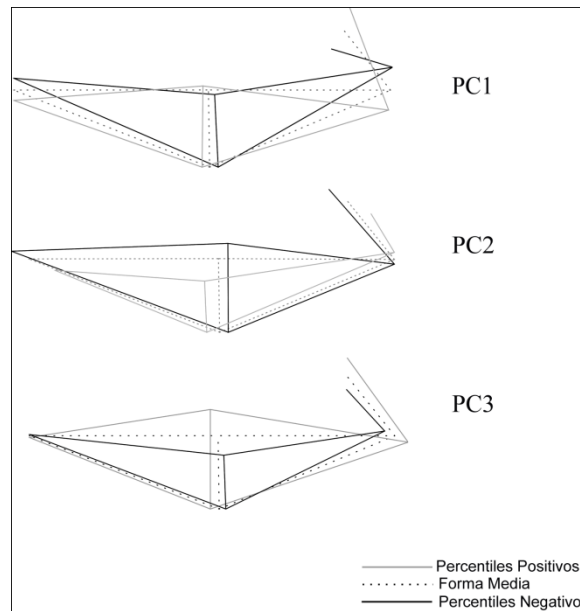


Figura 6. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFA, valores extremos positivos, negativos y forma media de cada los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFO.

El PCA arrojó 20 valores propios, explicando el 44.3% de la varianza en los primeros 3 componentes funcionales (Tabla 7 y Figura 7).

Tabla 7. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFO resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00048486	16.737	16.737
2	0.0004486	15.486	32.223
3	0.00034964	12.069	44.292
...	...	...	...
20	0.00000692	0.239	100

El PC1 muestra que en los valores positivos, existe una mínima variación en la cavidad orbital con respecto a la media poblacional. Además, los valores negativos no presentan cambios importantes en la profundidad de la cavidad orbitaria. Asimismo, para valores positivos se observa una proyección de la sutura cigomático-maxilar en comparación a la media muestra, misma que en los negativos presenta una reducción. El borde lateral a la altura del

hueso cigomático presenta variaciones convergentes en valores positivos y divergentes en negativos.

Los cambios observados en el PC2 muestran que los valores positivos muestran que la cavidad orbitaria tiene una mayor profundidad, además de un ligero desplazamiento en el ángulo del canal óptico hacia la región superior del cráneo. En los valores negativos se presenta un desplazamiento hacia la parte medial del cráneo con una menor profundidad en comparación a la forma promedio; además de mostrar una reducción en cuanto a las dimensiones del componente. Las paredes externas del componente muestran una reducción longitudinal en los valores positivos del mismo.

Los cambios mostrados en el PC3 manifiestan una variación mínima correspondiente a los valores positivos, ya que presentan una reducción dimensional en las paredes externas de la órbita. El canal óptico presenta una mayor profundidad. Los valores negativos tienen cambios inversos dando como resultado una mayor dimensión con referencia al promedio poblacional y únicamente se ve reducida la profundidad de la cavidad orbitaria.

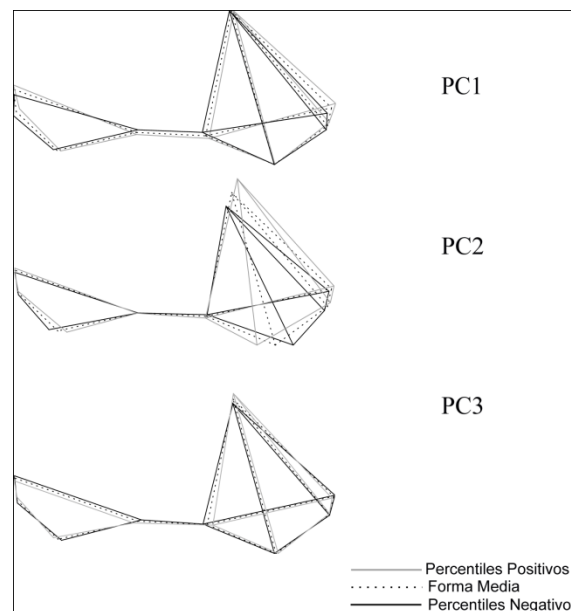


Figura 7. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFO, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFR.

Los resultados correspondientes al CFR provenientes del PCA arrojan 17 valores propios explicando con los 3 primeros componentes el 61.4% de la varianza (Tabla 8 y Figura 8).

Tabla 8. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFR resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00128146	29.885	29.885
2	0.00076126	17.753	47.638
3	0.00059125	13.788	61.427
...	...	...	...
17	0.0000132	0.308	100

El gradiente de cambio morfológico de la forma en el PC1, muestra en los valores positivos un cambio en la retracción de la parte inferior que abarca las zonas del maxilar junto con el espinal superior; y de la región superior donde se encuentra en seno frontal. Además, se observa un aumento dimensional en la parte posterior de la zona nasal. Los puntos que cubren la zona nasal posterior presentan un desplazamiento hacia la zona anterior. Caso contrario a los valores negativos que denotan una reducción considerable de dimensiones, con una mayor proyección. Igualmente, la zona inferior nasal tiene un desplazamiento superior, aunado a que la parte nasal posterior exhibe un alargamiento.

Lo que refiere a la variación morfológica del PC2 se observa que el componente general muestra mayor dimensionalidad a lo largo en valores positivos, contraria a la parte negativa que presenta mayor profundidad en la región nasal posterior. Los percentiles positivos presentan acortamientos en las regiones de inserción del cartílago alar. En los valores negativos ésta región muestra más grande.

La variación morfológica del PC3 se circunscribe a la región de la sutura frontonasal. En esta región, hacia valores positivos, exhibe una retracción a comparación de los valores negativos donde muestra una proyección anterior en el plano sagital. La parte inferior del componente que cubre la región del palatino muestra una elevación en la espina nasal anterior. La región nasal posterior presenta una trayectoria hacia la parte inferior del cráneo, en los valores negativos, reduciendo solamente su dimensión.

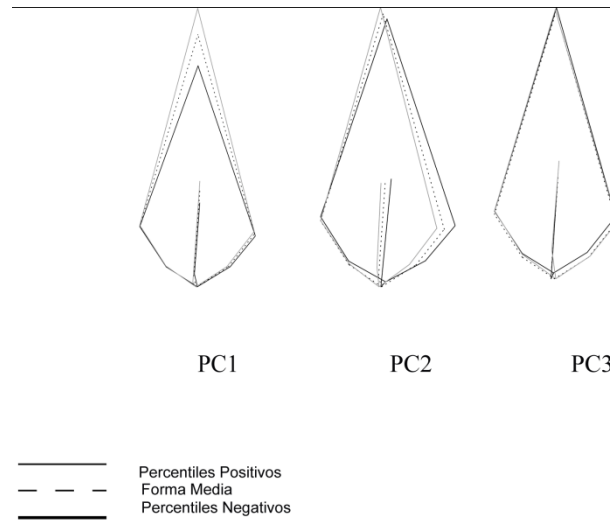


Figura 8. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFR, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFM.

El análisis de la variación del CFM, a través del PCA, arrojó 29 valores propios que reúnen el 49% de la varianza en los 3 primeros componentes principales. (Tabla 9 y Figura 9).

Tabla 9. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFM resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00151642	20.027	20.027
2	0.00139422	18.413	38.44
3	0.00078248	10.334	48.774
...	...	...	...
29	0.00000526	0.07	100

El gradiente morfológico observado en los valores positivos del PC1 se presenta una mayor dimensión en el área de inserción del musculo temporal, situándose la cresta o línea de inclusión más superior que hacia los valores negativos. Otra zona que también tiene una variación importante es la parte más basal del componente que cubre la región alveolar (descrito en el CFA en PC1 en la zona de la arcada dentaria), ésta presentan una mayor distancia entre ellos, originando una morfología de menor dimensión en todo el componente, debido a que las regiones de la cresta supramastoidea y cavidad glenoidea presentan un desplazamiento con dirección hacia la parte antero-inferior del cráneo.

El gradiente de cambio morfológico observado a partir del PC2 (valores positivos) muestra una variación correspondiente en parte de la región alveolar del componente, porque presenta un distanciamiento con dirección basal, que resulta en una mayor separación entre estos. Los valores negativos presentan una severa reducción de la arcada dental (ya descrito en CFA-PC2). Los puntos que presentan una ligera variación son los que cubren la región de la sutura cigomática y maxilar con un desplazamiento hacia la parte inferior del cráneo. Además, la región del hueso malar presenta una modificación hacia la zona anterior del componente para valores positivos; y una tenue reducción en la forma para los negativos, ambas en comparación a la forma promedio poblacional. En cambio, la región asociada a la cavidad glenoidea y cresta supramastoidea presentan una notable variación en dirección anterior del componente para valores positivos del valor propio del PCA. La variación de la forma en los percentiles negativos es un desplazamiento hacia la zona superior del componente.

Lo que respecta al PC3 se resume la variación de la forma (*shape*) de las regiones frontomalar, frontotemporal, la fosa glenoidea y la fosa suprameática. Éstas muestran una reducción en comparación de la media, en tanto que los valores negativos presentan la variación en un sentido anterior que estaría modificando generalizadamente al componente. La región alveolar presenta una ligera tendencia hacia la parte superior; mientras que, su contraparte negativa, presenta una tendencia de desplazamiento inferior, también mostrando una variación hacia la parte posterior del componente. La región de inserción del músculo temporal presenta un movimiento hacia la parte anterior.

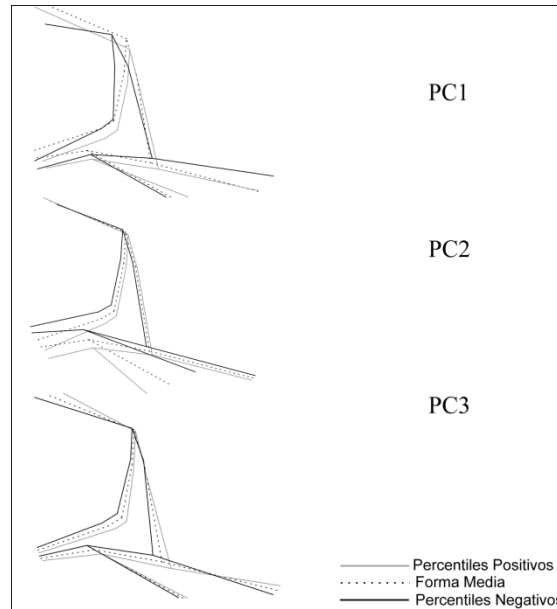


Figura 9. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFM, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFF.

El PCA del CFF arrojó 53 valores propios que explican el 43.3 % de la varianza en los primeros 3 componentes funcionales (Tabla 10 y Figura 10).

Tabla 10. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFF resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00113023	18.891	18.891
2	0.00093641	15.651	34.542
3	0.00052365	8.752	43.295
...	...	...	...
53	0.00000101	0.017	100

El gradiente de transformación morfológica observada en el PC1, para valores positivos, se asocia a un aumento dimensional y de proyección en la región alveolar, cambios ligados a la región cigomática con una reducción de la DL que provoca un desplazamiento medial de la sutura temporocigomática y de la cara cigomática del borde orbitario. Por su parte, los valores negativos presentan cambios completamente inversos en las regiones ya mencionadas.

Los cambios morfológicos que se presentan en el PC2 están asociados al aumento en valores positivos y reducción en valores negativos dimensional en la forma general del



componente. Lo cual provoca cambios en la región del borde supra orbitario y del hueso cigomático, que entre a mayor dimensión tiene menor es la extensión de estos.

Los cambios que se presentan en los valores positivos del PC3 son una proyección general del componente y una tendencia al aumento dimensional de la región del hueso cigomático que probablemente provoca una reducción en la cavidad ocular. En contraste, los valores negativos muestran la reducción general del componente junto con la disminución de volumen en la región cigomática y alveolar.

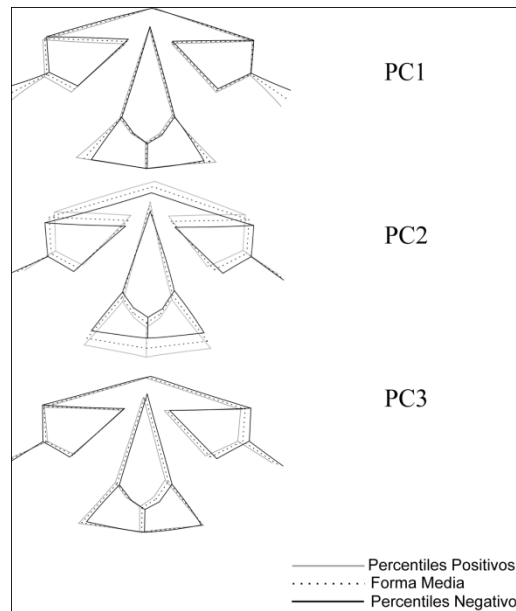


Figura 10. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFF, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFN.

Para el CFN el PCA arrojó 35 valores propios reuniendo el 41% de la varianza total en los 3 primeros componentes funcionales (Tabla 11 y Figura 11).

Tabla 11. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFN resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00089136	17.51	17.51
2	0.00059652	11.718	29.229
3	0.00059004	11.591	40.82
...	...	...	...
35	0.00000318	0.062	100

Los cambios generales proporcionados por el PC1 muestran un cambio de la globularidad craneal. Los cambios significativos recaen en el aumento de volumen craneal con una proyección en la línea media del hueso frontal en los valores negativos a diferencia de los positivos que muestran una disminución general de la dimensión craneal con un desplazamiento hacia adelante en la región frontal.

Los cambios que se presentan en el PC2 son una ampliación en la globularidad general del componente hacia valores negativos. La región de los senos y suturas frontales presenta una mayor dimensionalidad en valores positivos, que proporciona una perspectiva de mayor altura. El PC2 manifiesta el aumento del volumen general craneal se relaciona con un acortamiento dimensional en las zonas occipital y frontal.

Los cambios morfológicos concernientes al PC3 presentan ligeras variaciones conforme a la globularidad del cráneo. Los valores positivos tienen al aumento de volumen hacia la región frontal del cráneo relacionándose con la disminución de la región occipital. Los valores negativos muestran una reducción de la región del hueso occipital.

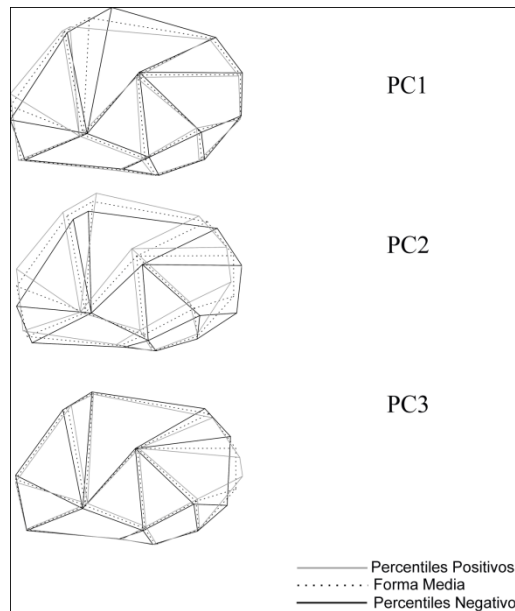


Figura 11. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFN, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFB.

Los resultados del PCA arrojaron 50 valores propios, reuniendo el 32% de la varianza total en los 3 primeros componentes funcionales (Tabla 12 y Figura 12).

Tabla 12. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFB resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00087981	14.129	14.129
2	0.00060974	9.792	23.921
3	0.00050576	8.122	32.044
...	...	...	...
50	0.00000205	0.033	100

El PC1 muestra cambios en la dimensionalidad del componente puesto que norma basal presenta una reducción dimensional en el plano transversal, además de una disminución en la globularidad de la bóveda craneal, referenciando este cambio de acuerdo a lo que presentan la región occipital, en los valores positivos. Con lo que el gradiente de variación muestra una progresión contraria para los valores negativos. Éste componente se denota un cambio en la región alveolar, hacia los valores positivos donde presentan una ampliación de esta zona, con una reducción en el plano coronal presentando un ligero aumento en el transversal. Siendo esta última, la que se presenta en una escala contraria de variación en los valores negativos.

En cuanto a la variación de la forma presentada por el PC2 para valores positivos, es observado un ligera modificación en la extensión de la bóveda craneal, que en valores negativos resulta lo contrario presentando esta región un poco más grácil. La región alveolar presenta los cambios ya descritos en CFA en el PC2.

En lo que respecta al PC3 se muestra una reducción dimensional basada en el plano transversal del componente, con la excepción de la región alveolar la cual se muestra con un aumento en su DL esto correspondiente a valores positivos. Los cambios presentados en valores negativos es una completa reducción dimensional del componente, además que muestran que existe una disminución en la globularidad de la bóveda craneal.

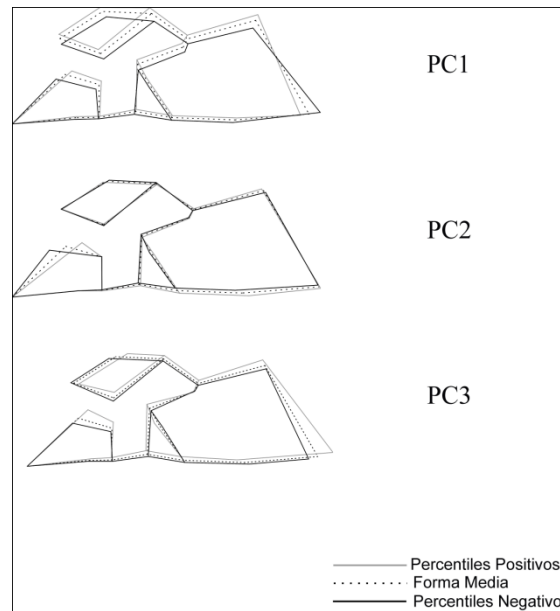


Figura 12 Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFB, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFG.

El PCA del CFG resultó en 104 valores propios que explican el 22% de la varianza total en los 3 primeros componentes principales (Tabla 13 y Figura 13).

Tabla 13. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFG resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00037987	8.422	8.422
2	0.00031264	6.932	15.354
3	0.00028185	6.249	21.603
...	...	...	...
104	0.00000041	0.009	100

EL PC1 muestra una mayor globularidad y una reducción dimensional del CF con referencia al plano sagital en los valores positivos; los valores negativos presentan una disminución en la globularidad total del cráneo y un aumento en su dimensionalidad (plano sagital).

En lo que concierne al PC2 se muestran las mismas variaciones ya descritas en PC1, de acuerdo a la globularidad general del componente. Los valores positivos muestran un aumento en la dimensión longitudinal del componente en la región más posterior del hueso temporal, con una reducción del hueso occipital presentando una trayectoria de reducción hacia la parte

anterior del cráneo. Las variaciones de los valores negativos son inversas a las anteriores, se observa una reducción en las dimensiones del hueso temporal y una trayectoria de cambio morfológico del hueso occipital hacia la parte posterior del cráneo.

El gradiente morfológico que muestra el PC3 define que los extremos positivos tienen un aumento dimensional en las regiones superiores del cráneo con ligeras reducciones de las mismas en las partes inferiores. Complementando el gradiente de variación, hacia valores negativos se observan los cambios de manera inversa. La globularidad del cráneo es mayor en los valores positivos.

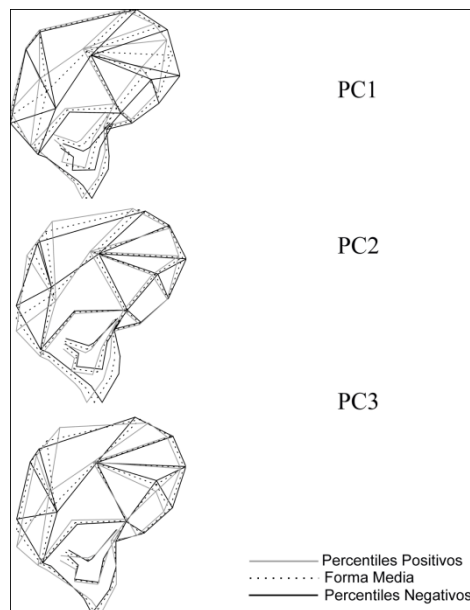


Figura 13. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFB, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

**COLECCIÓN OLÓRIZ (OLZ).****VARIACIÓN DEL CFA.**

En el CFA, el PCA resume su variación en 8 valores propios explicando 83% de la varianza en los 3 primeros componentes principales (Tabla 14 y Figura 14).

Tabla 14. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFA resultantes del PCA.

No.	Valores Propios	% Varianza	%Acumulado
1	0.00941454	49.392	49.392
2	0.00357782	18.771	68.163
3	0.00280975	14.741	82.904
...	...	...	...
8	0.0000996	0.523	100

El gradiente de variación morfológica de la forma del PC1 para los valores positivos, muestra una mayor dimensión y retrusión en la forma generalizada del componente, acentuándose en la región maxilar inferior a diferencia de los valores negativos, que muestran una morfología contraria; es decir, el componente es más pequeño y con menos diferencias que la forma media. Las regiones del maxilar inferior y palatino muestran una mayor dimensión en el plano longitudinal y transversal (largo y ancho) en los valores positivos; en cambio los negativos muestran la arcada dentaria más compacta en todas sus dimensiones.

Los cambios en el PC2, en comparación al promedio poblacional, muestran mayor dimensión en los valores negativos en comparación al PC1. La forma del maxilar en los valores negativos presenta una ligera protrusión, junto con una mayor dimensión del paladar, mientras que en los valores positivos la región alveolar se muestra retraída (retrusión no patológica). El desplazamiento (hacia la izquierda del individuo) de la sutura intermaxilar resulto ser el cambio más pronunciado, dado por una modificación del paladar, mostrando cambios significativos en la apófisis palatina, en valores positivos. En valores negativos se muestra también un desplazamiento de la sutura intermaxilar (hacia la derecha del individuo) el cual presenta también modificaciones en el paladar, además de que podemos observar que la región ectomolar es más grácil.

Las variaciones en la morfología general del CFA para el PC3, presentan una relación de su forma en sus dimensiones, proyección, amplitud y profundidad del CF con el PC1; cabe recalcar la variante de reducción dimensional que presentan los valores negativos. En los valores positivos la región alveolar posterior tiene un mayor movimiento respecto a su trayectoria posterior-superior. Además, ligeras variaciones en cuanto al desplazamiento de la región de la sutura intermaxilar, en trayectorias negativas descritas en el CFA del PC2.

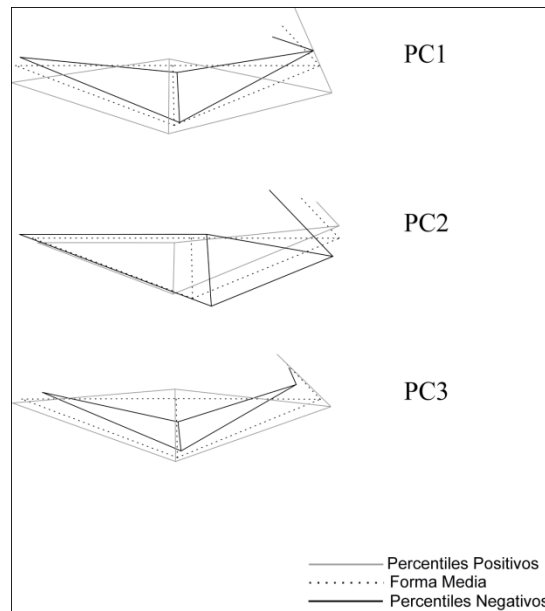


Figura 14. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFA, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFO.

El PCA arrojó 20 valores propios explicando el 46% de la varianza dentro de los 3 primeros componentes funcionales (Tabla 15 y Figura 15).

Tabla 15. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFO resultantes del PCA.

No.	Valores Propios	% Varianza	%Acumulado
1	0.00057438	16.822	16.822
2	0.00056663	16.595	33.417
3	0.00042749	12.52	45.937
...	...	...	...
20	0.00000844	0.247	100

El gradiente de cambio del PC1 muestra variaciones en cierta manera complementarias, puesto que en valores positivos, se presenta una mayor proyección general

del componente y, en valores negativos, la región que se encuentra proyectada en el borde anterior cigomático-maxilar. En las regiones restantes exhibe una reducción. Las órbitas presentan una trayectoria de desplazamiento hacia la zona inferior del cráneo para valores positivos, y los negativos al superior (distopía vertical).

Las variaciones morfológicas del PC2 presentan una reducción del componente en cuanto a la altura con una reducción pronunciada en la región supra orbital en los valores positivos del vector; ya que, en negativos solamente se presenta una mayor proyección anterior de esta zona. Las órbitas presentan una mayor profundidad en valores positivos a diferencia de los negativos donde es menor.

El cambio que se presenta PC3 presenta el mismo desplazamiento orbitario (distopía vertical) vertical que el PC2 en sentido inverso. Además de mostrar una ligera ampliación vertical a diferencia de su contra parte negativa que presenta una marcada mayor altura con ligeras variaciones en los bordes. Finalmente, el canal óptico presenta mayor profundidad en los valores negativos a diferencia de los positivos que son menos profundos en comparación a la forma poblacional.

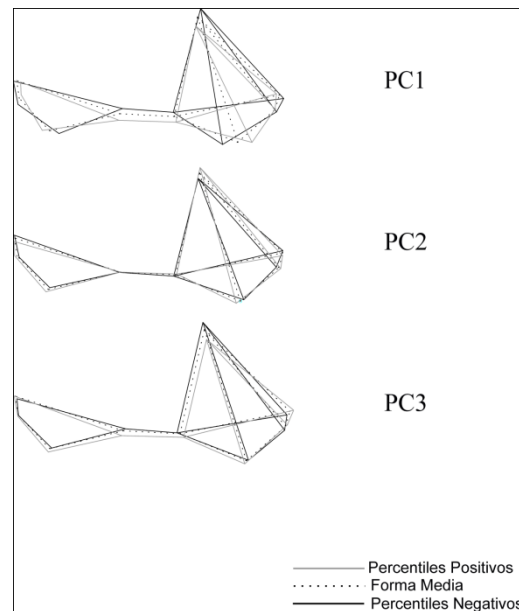


Figura 15. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFO, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.



### VARIACIÓN DEL CFR.

El PCA del CFR, arroja 17 valores propios, explicando el 60% de la varianza en los primeros 3 componentes funcionales (Tabla 16 y Figura 16)

Tabla 16. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFR resultantes del PCA.

No.	Valores Propios	% Varianza	%Acumulado
1	0.00151835	28.488	28.488
2	0.00095675	17.951	46.44
3	0.00072425	13.589	60.029
...	...	...	...
17	0.00001594	0.299	100

En lo que refiere al gradiente morfológico del PC1, se muestra en los valores positivos un aumento de dimensión en cuanto a la altura del componente en el plano transversal, con una mayor retracción. El gradiente de variación negativo, exhibe una reducción dimensional del componente con una mayor proyección frontal hacia el inferior de la zona del vómer.

El PC2 muestra cambios ligados principalmente a la dimensionalidad en el eje transversal de la apertura piriforme y de las regiones nasales posteriores (espinas posterior nasal y vómer), teniendo en valores positivos, una tendencia superior e inversa en valores negativos. Hacia valores positivos se muestra una variación medio lateral en la zona del cartílago alar. En lo correspondiente a valores negativos se muestra una disminución en la zona ya descrita. Existe una marcada proyección de la zona peri frontal en los valores positivos del CFR, diferenciándose con esto de los valores negativos. La apertura piriforme muestra un aumento en dimensión de la profundidad del componente en ambos extremos.

Las variantes morfológicas en el PC3 muestran ligeras variaciones de las dimensiones del CF. La amplitud de la apertura nasal muestra la misma variación que en el PC2 pero con una relación inversa. La cavidad nasal muestra una mayor profundidad hacia los valores positivos. El eje sagital del CF, zona superior e inferior, manifiesta una mayor distancia en valores negativos y menor en positivos.

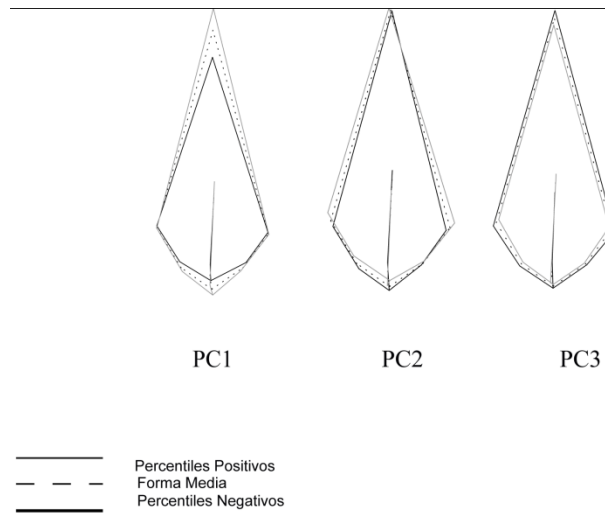


Figura 16. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFR, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFM.

El PCA arrojó 29 valores propios. Los 3 primeros componentes funcionales explican el 50% de la varianza total. (Tabla 17 y Figura 17).

Tabla 17. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFM resultantes del PCA.

No.	Valores Propios	% Varianza	%Acumulado
1	0.00191773	21.297	21.297
2	0.00169197	18.79	40.088
3	0.00092073	10.225	50.313
...	...	...	...
29	0.00000793	0.088	100

El PC1 y el PC2 muestran un aumento dimensional en la región de inserción del músculo temporal en valores negativos, además mostrar variaciones de amplitud en las regiones de los huesos fronto temporales y cigomático. En los valores positivos se aprecian reducciones en las regiones ya descritas, con la diferencia de que las regiones fronto temporal y cigomático malar exhiben ligeras proyecciones frontales. La región del maxilar del PC1 muestra una morfología ya descrita en el PC2 de CFA. En lo correspondiente al PC2 es la morfología descrita en PC1 de CFA.

El PC3 muestra en valores positivos un desplazamiento postero-anterior de la zona de inserción del músculo temporal, donde el componente también presenta un aumento de dimensión del cigomático con una trayectoria al inferior o basal. Lo anterior se complementa con los cambios inversos de los valores negativos, que muestran una reducción dimensional general, y robustez del arco cigomático. La región cigomática malar en valores positivos muestra una proyección anterior, que a su vez repercute en la región del maxilar inferior, el cual presenta menor dimensión, a comparación de valores negativos donde presenta una retracción posterior. Sin embargo esta no afecta la región maxilar, puesto que presenta proyección anterior y un aumento dimensional.

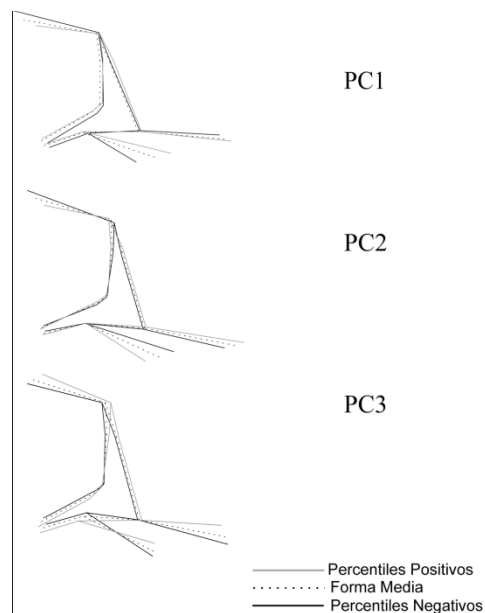


Figura 17. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFM, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFF.

El PCA, arrojó 53 valores propios, explicando el 46 % de la varianza en los primeros 3 componentes funcionales (Tabla 18 y Figura 18).

Tabla 18. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFF resultantes del PCA.

<b>No.</b>	<b>Valores Propios</b>	<b>% Varianza</b>	<b>%Acumulado</b>
1	0.00156986	21.238	21.238
2	0.0011574	15.658	36.895
3	0.00070318	9.513	46.408
...	...	...	...
53	0.00000163	0.022	100

En el PC1, los valores positivos muestran cambios en la zona superior de componente; con un incremento general de la dimensión orbital, además en las regiones del hueso cigomático y la zona peri glabelar presentan desplazamientos con dirección superior en el plano sagital. La variación nasal o respiratoria corresponde a la explicada en el CFR del PC1. La variación del tercio inferior, corresponde en cierta medida al CFA, presenta la misma variación a la ya descrita en el PC1 para valores negativos.

El PC2 muestra que la zona peri-glabelar en los valores positivos exhiben un ligero cambio en aumento de altura con respecto al plano horizontal; inverso a su contraparte negativa. La región orbital muestra una notable reducción dimensional, además de una retracción de la región del hueso cigomático, mostrando el gradiente de variación contrario hacia valores negativos. La zona maxilar, también perteneciente al CFA, se asocia a la forma mostrada en el PC2 pero en los valores negativos de esta zona.

El gradiente morfológico del PC3 muestra cambios en la altura de la parte superior del componente, en especial en la región glabelar que va de ser mayor en valores positivos a menor para valores negativos. Como compensación, la región orbital se muestra más alta. Asimismo se exhibe una ligera ampliación de los huesos cigomáticos en valores positivos, a diferencia de los negativos que expresan un acortamiento. La región maxilar en valores negativos es morfológicamente igual a la descrita en el PC3 del CFA, con la variante que en este CF muestra una proyección frontal, mientras que en valores positivos de esta región muestra una disminución dimensional con una retracción.

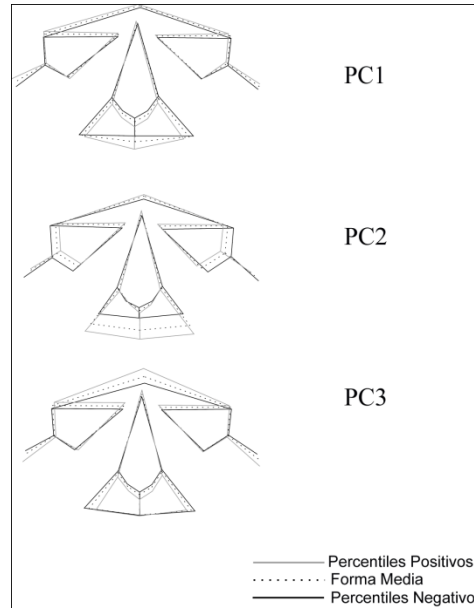


Figura 18. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFF, valores extremos positivos, negativos y forma media de cada los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFN.

Los resultados que arroja el PCA son de 35 valores propios reuniendo el 41% de la varianza total en los 3 primeros componentes funcionales (Tabla 19 y Figura 19).

Tabla 19. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFN resultantes del PCA.

No.	Valores Propios	% Varianza	%Acumulado
1	0.00113358	18.125	18.125
2	0.00095095	15.205	33.33
3	0.00057678	9.222	42.552
...	...	...	...
35	0.00000449	0.072	100

El gradiente morfológico de variación del PC1 presenta un aumento de globularidad general del componente para valores negativos, disminuyendo hacia positivos. Se muestran cambios en la dimensionalidad del cráneo con respecto al eje sagital (mayor en valores positivos y menor en negativos). La variación morfológica del plano frontal muestra una proyección en la región anterior del neurocráneo para valores positivos. En valores negativos se presenta mayor amplitud del CF en relación al plano coronal, además la región del hueso frontal, exhibe un aumento dimensional.

En el PC2 este CF presenta variaciones relacionadas a su globularidad (cambios interrelacionados de los ejes transversales sagital y coronal). Por ejemplo, es observado que entre mayor dimensión sagital la relación coronal-transversal decrece. En este caso los cambios fueron dados únicamente en relación coronal donde los valores positivos manifiestan una mayor dimensión discrepando con los negativos. La relación del eje coronal muestra una ligera variación en la dimensión de valores negativos la cual aumenta hacia la zona inferior del componente que corresponde a la región basicraneal.

El PC3 muestra cambios morfológicos para valores positivos en la zona del hueso frontal que manifiesta un incremento dimensional, correspondiendo a la disminución de la misma en el hueso occipital. Los valores negativos muestran diferencias en estas regiones de forma contrario a la ya descrita. La globularidad en esta componente es correspondiente a la del PC2.

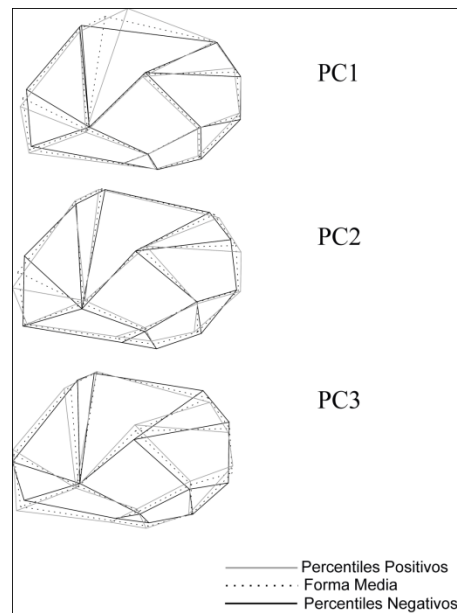


Figura 19. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFN, valores extremos positivos, negativos y forma media de cada los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFB.

El PCA arrojó 50 valores propios reuniendo el 32% de la varianza total en los 3 primeros componentes funcionales (Tabla 20 y Figura 20).

Tabla 20. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFB resultantes del PCA.

<b>No.</b>	<b>Valores Propios</b>	<b>% Varianza</b>	<b>%Acumulado</b>
1	0.00090275	12.436	12.436
2	0.00077933	10.736	23.173
3	0.00064333	8.863	32.035
...	...	...	...
50	0.00000317	0.044	100

El PC1 muestra modificaciones en el CF relacionadas a variaciones apenas perceptibles de aumento dimensional en el plano transversal para valores positivos y una reducción en negativos. La zona alveolar, tiene una variación considerable para valores positivos debido a un cambio marcado en la región ectomolar, resultando en un cambio en la arcada dentaria la cual posiciona paralelamente a la región alveolar dando una forma maxilar reducida. Sin embargo para valores negativos muestra una reducción orientada en el plano transversal provocando que la arcada dentaria se muestre compacta.

El PC2 presenta las variaciones ya descritas en el CFA en PC2 sobre el desplazamiento de la sutura intermaxilar, el resto del CF no muestra variaciones considerables para ser descritas.

La variación del PC3 es principalmente el aumento dimensional con respecto al plano sagital de la bóveda craneal para valores negativos, complementándose con la reducción dimensional en relación al plano transversal. Puesto que los valores positivos muestran una reducción dimensional en la bóveda craneal en el plano sagital, pero aumentando plano transversal (ancho).

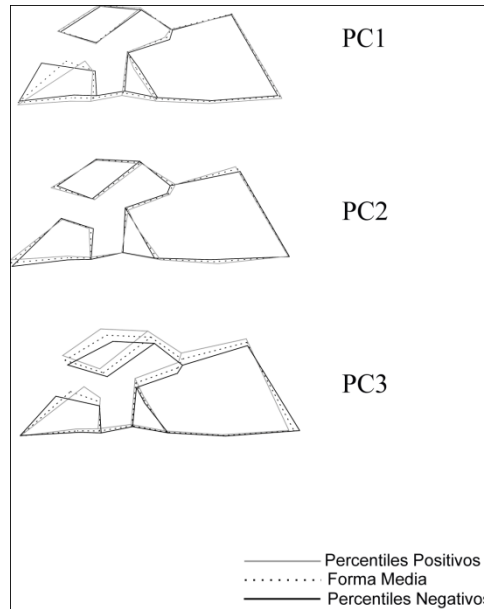


Figura 20. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFG, valores extremos positivos, negativos y forma media de cada los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFG.

El CFG el PCA arrojó 126 valores propios que explican el 23% de la varianza total en los 3 primeros componentes principales (Tabla 21 y Figura 21).

Tabla 21. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFG resultantes del PCA.

No.	Valores Propios	% Varianza	%Acumulado
1	0.00045594	8.361	8.361
2	0.00042291	7.756	16.117
3	0.00038927	7.139	23.256
...	...	...	...
126	0.00000015	0.003	100

Los cambios morfológicos del PC1 muestran un aumento de globularidad craneal para valores positivos diferencia de los negativos donde disminuye. La variación craneal referente al plano sagital tiende a una reducción generalizada en los extremos positivos de la variación, divergiendo de los negativos donde aumenta.

El PC2 muestra cambios en la globularidad iguales a los ya descritos en PC1. No obstante la variación general del CF muestra cambios dimensionales similares a los descritos en el PC2 del CFN, para valores positivos, puesto que los negativos muestran variantes relacionadas al PC3 del CFN.



El PC3 no registra variaciones en cuanto a la globularidad para valores negativos sin embargo los positivos muestran un aumento dimensional del CF con excepción del basicráneo.

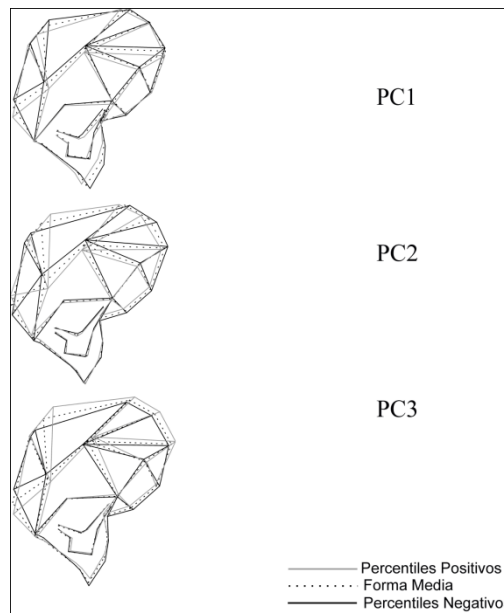


Figura 21. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFG, valores extremos positivos, negativos y forma media de cada los 3 primeros PCA.

## COLECCIÓN DEL MUSEO DE ANTROPOLOGÍA DE MADRID (MAM).

### VARIACIÓN DEL CFA.

El PCA arrojó, 8 valores propios que explican 80% de la varianza en los 3 primeros componentes principales (Tabla 22 y Figura 22).

Tabla 22. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFA resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00644934	43.129	43.129
2	0.00306822	20.518	63.647
3	0.00238877	15.975	79.621
...	...	...	...
8	0.00007014	0.469	100

El cambio morfológico observado en el PC1 en comparación a la media poblacional, presenta una mayor DL en la región de la sutura intermaxilar, además de una retracción del CF para valores positivos. La zona ectomolar tiende de ser más estrecha (valores negativos) a extensa (valores positivos). La forma del CF, en los extremos positivos de variación, vista desde la parte inferior muestra una ampliación de la arcada dentaria, relacionada al aumento

dimensional de la región palatina, mientras esta región se presenta más angosta para valores negativos.

Los cambios presentados en PC2 muestran cambios en la dimensionalidad general del componente, dado que en el extremo positivo tiende a reducirse mientras que en el negativo aumenta con la excepción del aumento dimensional en la arcada dentaria. La sutura intermaxilar muestra un alejamiento de la región ectomolar para valores positivos, manifestando un acercamiento para valores negativos.

Los resultados del PC3 manifiestan cambios en la región ectomolar la cual tiende a una mayor amplitud valores positivos. Mientras que en la parte negativa exhibe una reducción en la DL general junto con un desplazamiento de la sutura intermaxilar descrita en PC2.

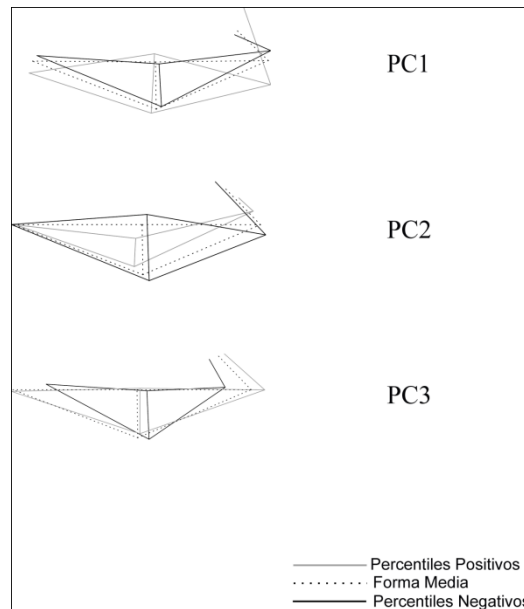


Figura 22. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFO, valores extremos positivos, negativos y forma media de cada los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFO.

El PCA arrojó 20 valores propios acordes al CFO, explicando el 53% de la varianza en los primeros 3 componentes principales (Tabla 23 y Figura 23).

Tabla 23. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFO resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00082929	20.413	20.413
2	0.00074756	18.401	38.814
3	0.00056813	13.984	52.798
...	...	...	...
20	0.00000821	0.202	100

El gradiente de variación del PC1 en valores positivos presenta un desplazamiento hacia la parte superior craneal con referencia al plano transversal en dirección contraria para negativos. El canal óptico presenta variaciones relacionadas a su profundidad que es menor para valores positivos que en negativos.

Las variantes morfológicas del PC2 muestran que el CF manifiesta un posicionamiento hacia el inferior craneal, con respecto al plano horizontal, en valores positivos, a diferencia de los valores negativos la parte superior, además de presentar una mayor DL.

En el PC3 los valores positivos presentan retracción del CF, y en los negativos muestra una mayor proyección. La profundidad del canal óptico muestra cambios ligeros hacia ambos extremos de la variación.

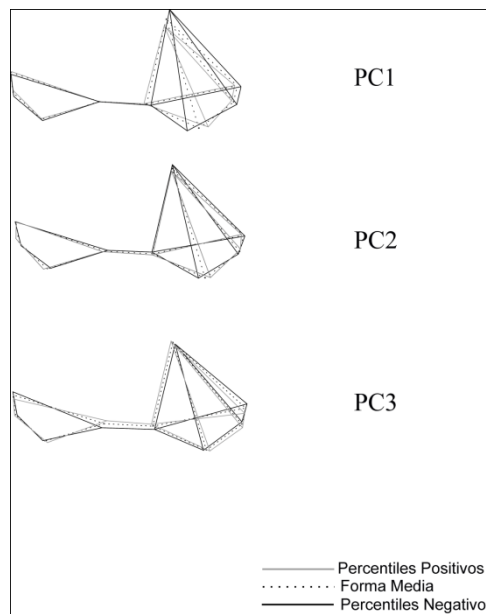


Figura 23. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFO, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFR.

Los resultados provenientes del PCA arrojan 17 valores propios, explicando con los primeros 3 componentes principales el 50% de la varianza (Tabla 24 y Figura 24).

Tabla 24. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFR resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00113325	20.925	20.925
2	0.00092406	17.063	37.988
3	0.000701	12.944	50.932
...	...	...	...
17	0.00001321	0.244	100

El PC1 muestra un incremento en la DL junto con un estrechamiento en la región de la escotadura nasal para valores positivos, los valores negativos muestran variaciones contrarias a estas. La región peri frontal anterior tiende a ser protuberante en los valores negativos, a comparación de los positivos. El área del vómer tiende a ser más profunda en los cambios presentados hacia las variantes de los extremos negativos.

Lo concerniente al PC2 muestra un aumento dimensional del CF en valores negativos, los positivos muestran mayor profundidad del CF.

En el PC3 se manifiesta un aumento en la amplitud y profundidad del CF, donde la espina nasal posterior muestra una modificación marcada al tener un desplazamientos hacia la derecha para valores positivos, mostrando que en los negativos se muestran las mismas variaciones pero en dirección contraria, exceptuando el desplazamiento de la espina nasal posterior la cual en este caso no presenta variaciones.

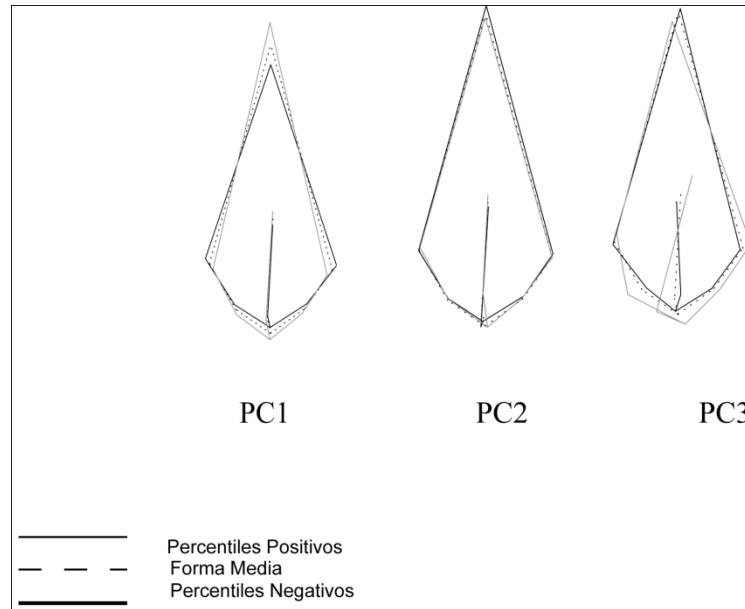


Figura 24. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFR, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFM.

El PCA del CFM, arrojó 29 valores propios, explicando el 54% de la varianza en los primeros 3 componentes principales (Tabla 25 y Figura 25).

Tabla 25. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFM resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00267183	25.018	25.018
2	0.00177901	16.658	41.675
3	0.00128507	12.033	53.708
...	...	...	...
29	0.00000718	0.067	100

El PC1 manifiesta cambios en la región de inserción del músculo temporal, mostrando mayor gracilidad para valores positivos, y robustez para negativos. La región frontomalar y arco cigomático tienden a ser mas robustas en valores positivos, mostrando un gradiente inverso para los valores negativos. La región de la fosa glenoidea presenta una disminución dimensional en valores positivos aumentando en negativos. Las regiones palatal y alveolar, muestran cambios en la forma correspondientes a los ya descritos en el PC1 del CFA.

Los cambios del PC2 de la forma general del CF, para valores negativos presenta un mayor grado de inclinación, modificando la región de la fosa glenoidea con un aumento en la

DL en comparación que los positivos, mientras que la dimensional del CF para valores positivos muestra una retracción en la zona de inserción muscular y frontotemporal diferenciándose de los negativos. La variación de la cara del maxilar es correspondiente a las descritas en el PC2 del CFA. El arco cigomático presenta una ampliación dimensional para los extremos negativos de variación.

La variación morfológica del PC3, muestra variaciones en la zona de inserción muscular presentando un aumento en sus dimensiones, influyendo en el arco cigomático para valores positivos, y en forma contraria para valores negativos. La cara del maxilar la variación corresponde a la ya descrita en CFA en el PC3.

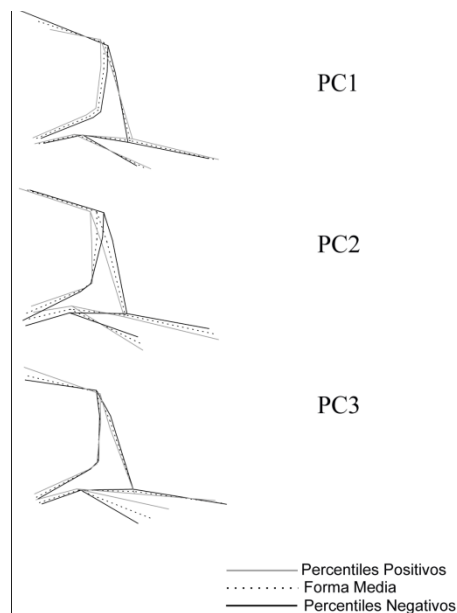


Figura 25. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFM, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFF.

El PCA, arrojó 53 valores propios, explicando el 49.3 % de la varianza en los primeros 3 componentes principales (Tabla 26 y Figura 26).

Tabla 26. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFF resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00172326	20.569	20.569
2	0.00151222	18.05	38.62
3	0.00089827	10.722	49.341
...	...	...	...
53	0.00000046	0.006	100

El PC1 muestra una variación del grosor del CF para valores positivos, tendiendo a ser angosto en los negativos, repercutiendo en cambios de la zona óptica y de la cuenca nasal. Los huesos cigomáticos muestran una mayor extensión, remarcando que estos huesos tienden a un movimiento hacia el inferior del componente en el plano coronal para valores positivos a diferencia de los negativos. La región alveolar muestra una mayor amplitud y profundidad, contrastando de los valores negativos que presentan una elongación en sentido del plano coronal y disminución en la amplitud de esta región.

El PC2 muestra un gradiente morfológico en el desplazamiento del CF con referencia del plano coronal, con dirección superior en valores positivos, e inferior para extremos negativos. Las cavidades ópticas se estrechan aumentando la DL en la región cigomática, afectando de misma forma a la cavidad nasal para valores positivos, con cambios opuestos a valores negativos. La región maxilar muestra reducción dimensional extrema de esta región, parecida a los extremos positivos del PC2 en CFA.

Los cambios mostrados en el PC3, muestra un aumento dimensional a lo largo y ancho de la parte superior del componente en valores positivos, contrastando con los extremos negativos. La región maxilar y la parte inferior de la cavidad nasal presentan una forma angosta del CF para valores positivos, lo contrario a los extremos negativos.

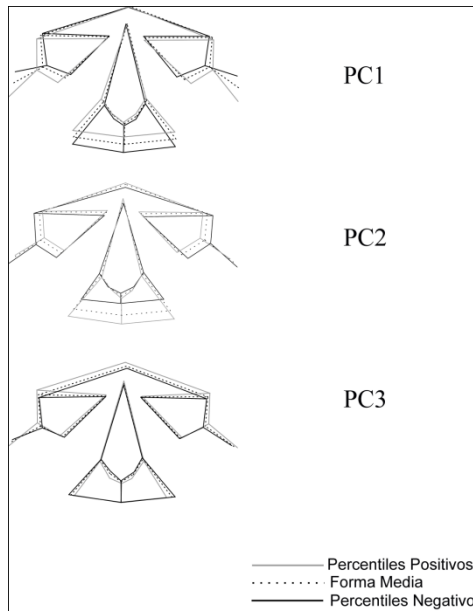


Figura 26. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFF, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFN.

El PCA, arrojó 35 valores propios que explican el 45% de la varianza en los primeros 3 componentes principales (Tabla 27 y Figura 27).

Tabla 27. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFN resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00107896	17.019	17.019
2	0.00098235	15.495	32.515
3	0.00079151	12.485	45
...	...	...	...
35	0.00000204	0.032	100

El PC1 muestra un gradiente de transformación en la globularidad y dimensionalidad craneal que es mayor globularidad para valores positivos, tendiendo a ser angosta en valores negativos.

El PC2 muestra variación dimensional en el plano transversal de los valores positivos siendo perceptible en los senos frontales del cráneo, mientras que en valores negativos esta región presenta reducciones dimensionales con referencia al plano transversal y aumento en el plano sagital.



La variación correspondiente al PC3 presenta una muestra una reducción dimensional en el plano sagital, resultando en aumentos dimensionales tenues en el plano transverso-coronal., para valores positivos. Los valores negativos muestran un aumento dimensional en el plano sagital y transversal en la región anterior del cráneo ya que en el tercio-posterior se reduce.

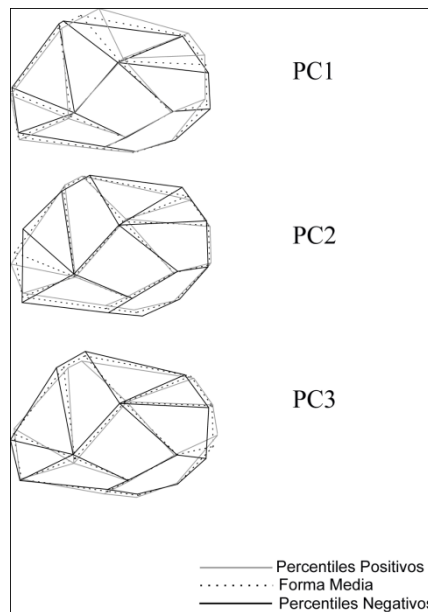


Figura 27. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFN, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFB.

El PCA del CFB, arrojó 50 valores propios, que en los primeros 3 componentes funcionales explica 34% de la varianza (Tabla 28 y Figura 28).

Tabla 28. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFB resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00105478	13.58	13.58
2	0.00085606	11.021	24.601
3	0.00071196	9.166	33.767
...	...	...	...
50	0.00000153	0.02	100

El gradiente morfológico de variación del PC1, presenta tenues cambios dimensionales en dirección del plano coronal, hacia todas las regiones del CF. La región alveolar presenta cambios descritos en el PC1del CFA. La región basal del arco cigomático presenta un

desplazamiento con dirección medial, siendo lateral para valores negativos. La bóveda craneal muestra un ensanchamiento dimensional orientado en el plano transversal, a diferencia de los extremos negativos donde el cambio es inverso.

En lo correspondiente al PC2 muestra un gradiente de aumento dimensional de la bóveda craneal, con un desplazamiento en dirección medial craneal de la región cigomática para extremos positivos, mientras en las morfologías de los extremos negativos se presenta un aumento dimensional orientado transversalmente del componente.

La variación presentada por el PC3 muestra aumentos (plano transversal) y reducciones (plano coronal) dimensionales para valores positivos, con cambios inversos para valores negativos. La región alveolar muestra cambios descritos en CFA en el PC3.

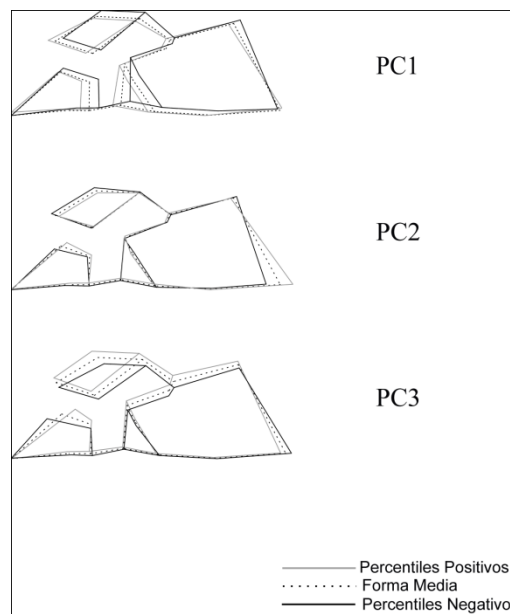


Figura 28. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFB, valores extremos positivos, negativos y forma media de cada 3 primeros PCA.

### VARIACIÓN DEL CFG.

El PCA del CFG arrojó 69 valores propios que explican el 23% de la varianza total en los 3 primeros componentes principales (Tabla 29 y Figura 29).

Tabla 29. Valores propios, porcentaje de varianza explicada y acumulada para CFG resultantes del PCA.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	0.00054069	9.096	9.096
2	0.00047385	7.971	17.067
3	0.00045647	7.679	24.746
...	...	...	...
69	0.00000289	0.049	100

El PC1 presenta aumento dimensional (plano sagital) del CF para valores positivos, diferente de los ejes de variación negativos, reflejándose este cambio en las regiones neurocraneal, y basicraneal. El esplagnocráneo no presenta cambios significativos únicamente el desplazamiento con dirección inferior del cráneo en la región cigo-malar en los extremos negativos.

El gradiente morfológico del PC2 presenta un aumento en la globularidad craneal hacia valores positivos y una disminución para negativos. La región facial manifiesta con mayor amplitud referente al plano sagital para valores negativos, siendo menor en los extremos positivos. La zona neurocraneal presenta para los valores negativos un incremento dimensional reduciéndose hacia la región de hueso frontal, donde los percentiles positivos muestran variaciones similares en sentido contrario.

El PC3, manifiesta aumentos dimensionales en la región basicraneal para valores positivos, con reducciones para valores negativos. El neurocráneo a partir de los extremos positivos de variación muestra un gradiente de incremento dimensional en el segundo tercio de esta región hacia un decremento en extremos negativos. La región facial muestra un aumento en el grosor de las regiones donde se encuentra el hueso cigomático y el malar; además de una inclinación hacia la parte posterior del cráneo; este cambio es inverso para los extremos negativos de variación.

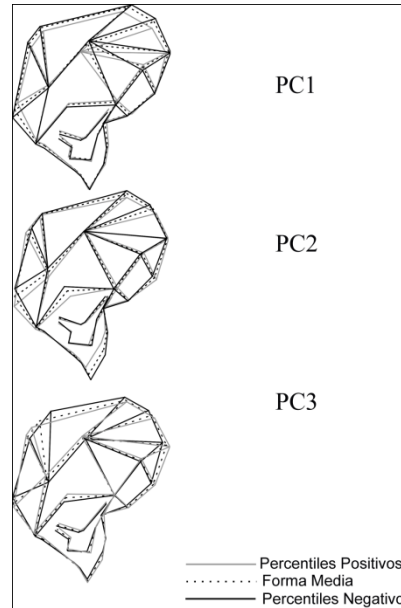


Figura 29. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en el CFG, valores extremos positivos, negativos y forma media de los 3 primeros PCA

### 3.3 MODELO RESTRINGIDO.

#### ANÁLISIS DE VARIACIÓN CANÓNICA Y CONGLOMERADO.

##### APLICADO A COLECCIONES ESPAÑOLAS.

El CVA de las 3 colecciones españolas arroja dos raíces canónicas (CV) que explican la variación intrapoblacional, donde la primera raíz CV1 explica el 64% y por consiguiente 36% restante lo explica la segunda raíz. CV2 (Tabla 30).

Tabla 30. Explica los valores propios, varianza y varianza acumulada de las raíces canónicas de las poblaciones españolas.

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	4.2709679	63.948	63.948
2	2.4078147	36.052	100

La figura 30 muestra la distribución de las colecciones en cuanto a los patrones de diferenciación entre grupos. Es observable una distribución cuasi uniforme o equidistante entre ellas, todas con sobre posicionamiento de distribuciones en los extremos de la variación.

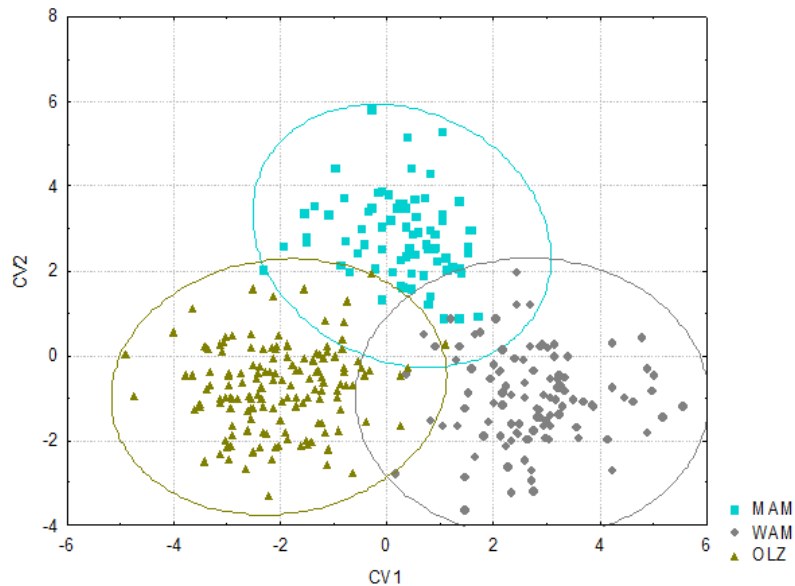


Figura 30. Diagrama de dispersión de los valores canónicos de las poblaciones analizadas. Las elipses muestran el 99% de variación de las poblaciones.

Los valores presentan una orientación de la colección de MAM hacia los valores positivos en la CV2, aunque se encuentra dividida entre positivos y negativos de CV1, donde la población de OLZ es tendiente hacia los valores negativos de ambas raíces y la población de WAM hacia los positivos de la primera y negativos de CV2. La CV1 muestra una continuidad de la variación morfología de la forma, teniendo un gradiente OLZ-MAM-WAM. La CV2 superpone a OLZ y WAM pero discrimina a MAM.

El análisis arrojó también la representación gráfica de los cambios morfológicos presentados en las raíces canónicas por medio de los polígonos de forma (Figura 31). En la CV1 se muestran pequeños cambios hacia la globularidad de la región neurocraneal en cuanto a los percentiles positivos, mientras que a valores negativos esta presenta menor volumen. Se muestra una mayor dimensionalidad en la parte posterior del cráneo en valores positivos a diferencia de los negativos.

Las diferencias en la CV2 (que discriminan a MAM) pueden resumirse en el cambio en la globularidad del cráneo, la cual es mayor hacia valores positivos con una amplia diferencia de los negativos (OLZ-WAM).

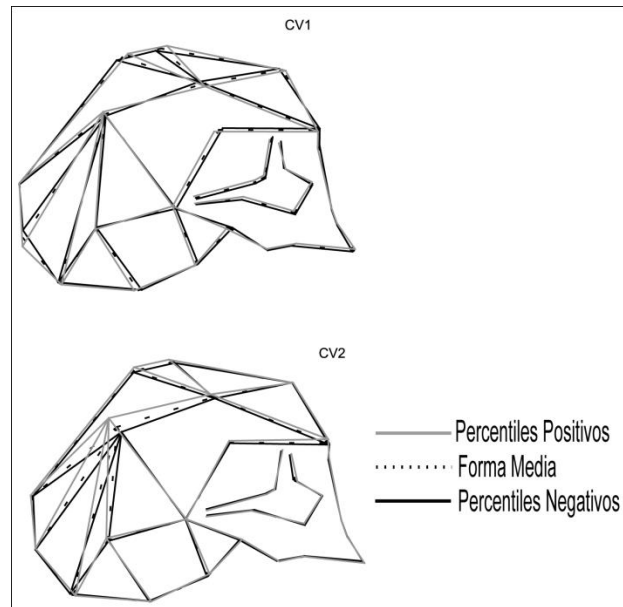


Figura 31. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en cada una de las raíces canónicas.

Las distancias de Mahalanobis, que miden la distancia entre grupos con variables iguales, resultantes del CVA permiten apreciar las distancias biológicas entre las poblaciones en este análisis. La tabla 31 nos muestra las distancias entre cada una de las colecciones analizadas.

Tabla 31. Matriz de distancia de Mahalanobis para este análisis, muestra que la población de WAM mantiene una mayor distancia con respecto a las otras dos colecciones.

	<b>MAM</b>	<b>OLZ</b>
<b>OLZ</b>	4.2415	
<b>WAM</b>	4.5358	4.7576

Los valores de las distancias de Mahalanobis (Tabla 32), con 10,000 permutaciones y valores p (0.005), presentan diferencias significativas entre todas las poblaciones incluidas, es decir, existe la certeza estadística para afirmar que el centroide de la distribución de cada población en un espacio multivariante es significativamente distante al centroide de las otras poblaciones.

Tabla 32. Valores  $p$  de significación de la Matriz de distancia de Mahalanobis.

	<b>MAM</b>	<b>OLZ</b>
<b>OLZ</b>	<.0001	
<b>WAM</b>	<.0001	<.0001

El análisis de conglomerado arrojó un dendograma, por medio de la aplicación del algoritmo UPGMA, que permite observar como las poblaciones de MAM y OLZ presenta una agrupación entre ellas (la más pequeña distancia entre centroides). WAM se presenta como el grupo hermano de ambas poblaciones (Figura 32).

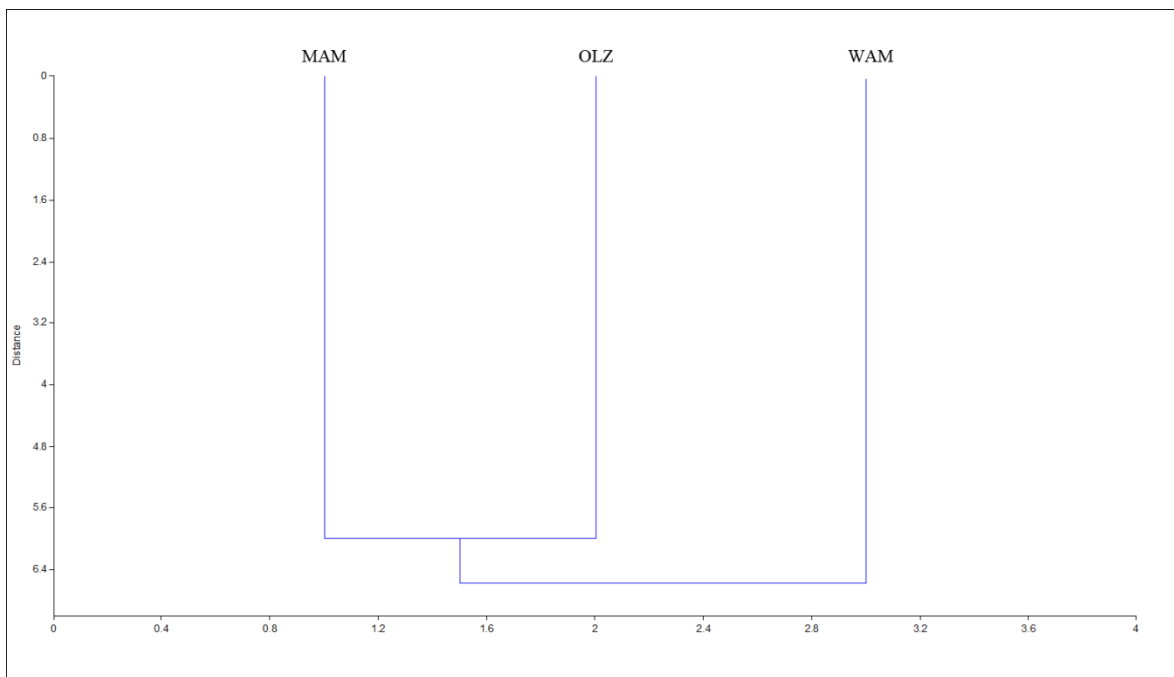


Figura 32. Dendograma realizado a partir de las distancias entre grupos de Mahalanobis por medio del algoritmo UPGMA, que muestra a MAM y OLZ como grupos hermanos, dejando a WAM como grupo externo, debido a la diferencia entre centroides.

### COMPARACIÓN DE LAS COLECCIONES ESPAÑOLAS CON UN GRUPO EXTERNO.

El CVA arrojó 3 raíces canónicas de variación para explicar la variación intragrupal de las colecciones españolas más la inclusión del grupo externo compuesta por los individuos provenientes de la colección filipina FLP. La primera raíz CV1 explica el 51% de la varianza total, la segunda CV2 el 31% y la última CV3 el 18% esto se explica en la Tabla 33.

Tabla 33. Explica los valores propios, varianza y varianza acumulada de las raíces canónicas de las colecciones españolas y el grupo externo, los filipinos (FLP).

No.	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
1	4.9090897	51.031	51.031
2	2.98853649	31.067	82.098
3	1.7221759	17.902	100

En la figura 33, se grafican los patrones de distribución de las poblaciones analizadas, las poblaciones españolas tienden a homogeneizarse, localizadas hacia valores negativos de la CV1, a comparación de la población filipina (FLP) la cual tiende a distribuirse en los valores positivos de la CV1. La CV2 delimita hacia valores positivos de la misma a OLZ y parte de MAM y FLP; hacia valores negativos a WAM y parte de MAM y FLP.

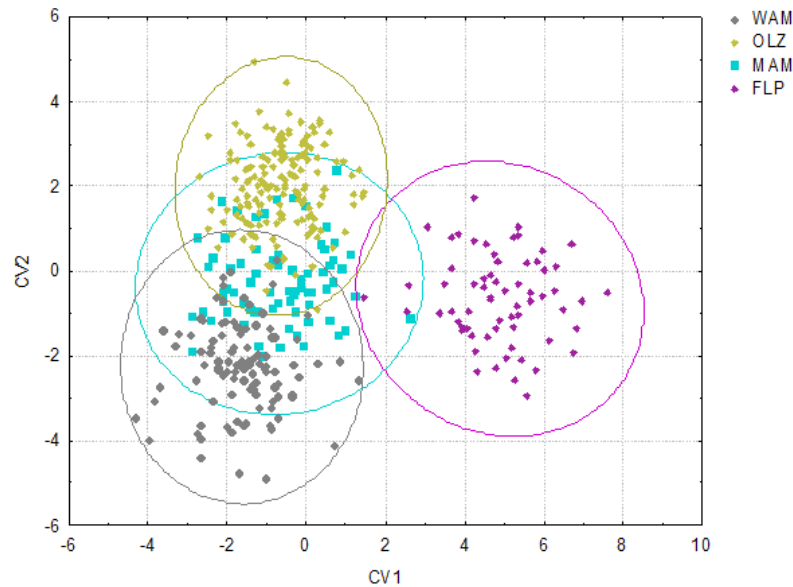


Figura 33. Grafica de dispersión de los valores canónicos de las poblaciones analizadas. Las elipses muestran el 99% de variación de las poblaciones.

La representación gráfica de los gradientes de cambio morfológico en los CVA's muestran que en la CV1 existen cambios en la globularidad del cráneo, la cual es mayor hacia los percentiles positivos; a este cambio se agrega un prognatismo y una mayor robustez en la región del borde orbitario. Sin embargo estos presentan una reducción en la dimensión total del cráneo, las cuales son mayores para los individuos en los percentiles negativos.

En lo que corresponde a la CV2 los valores positivos tienden a reducir su dimensionalidad general mientras los negativos muestran un ligero aumento de la misma. En



la CV3 los cambios sustanciales se muestran en la globularidad craneal que es mayor en los valores negativos (Figura 34).

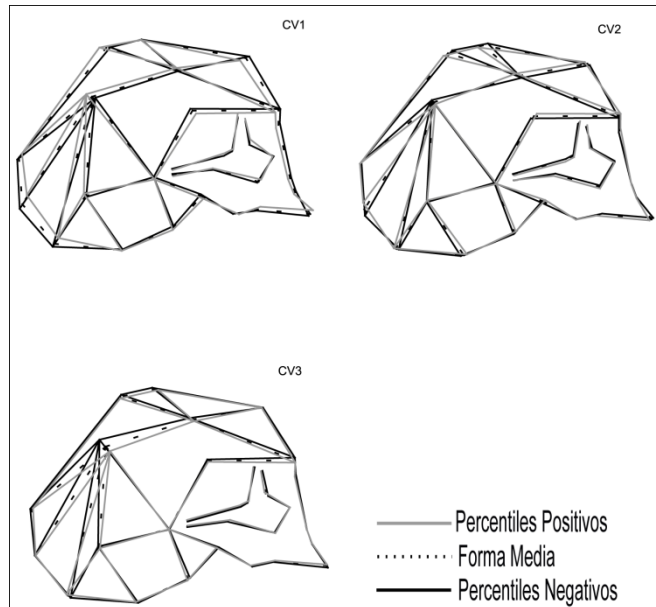


Figura 34. Polígonos del cambio en la forma que muestran los cambios en cada una de las raíces canónicas.

Las matrices obtenidas del análisis de distancias de Mahalanobis muestran una mayor distancia entre las colecciones españolas para con la columna de la colección filipina, además de mostrar aún el mismo patrón de distancias observado en el CVA anterior entre colecciones españolas (Tabla 34).

Tabla 34. Matriz de distancia de Mahalanobis para este análisis que muestra un distanciamiento entre las raíces de las colecciones españolas con la colección filipina.

	<b>FLP</b>	<b>MAM</b>	<b>OLZ</b>
<b>MAM</b>	6.2871		
<b>OLZ</b>	6.1425	3.9541	
<b>WAM</b>	6.7467	4.1895	4.387

Los valores resultantes de las distancias de Mahalanobis (Tabla 35), permutados 10,000 veces arrojan, valores  $p$  (0.005) de significación, que detectan variaciones significativas para la población de filipinas (FLP), como ya lo evidenciaban las distancias de Mahalanobis.

Tabla 35. Valores *p* de significación de la Matriz de distancia de Mahalanobis.

	<b>FLP</b>	<b>MAM</b>	<b>OLZ</b>
<b>MAM</b>	<.0001		
<b>OLZ</b>	<.0001	<.0001	
<b>WAM</b>	<.0001	<.0001	<.0001

Se elaboró un dendograma (UPGMA) para sintetizar las diferencias mostradas en las tablas anteriores. Se puede observar la clara agrupación de las colecciones españolas, diferenciándose en cierta manera de la población filipina. Las poblaciones españolas MAM y OLZ mantienen la relación de mínima distancia entre centroides.

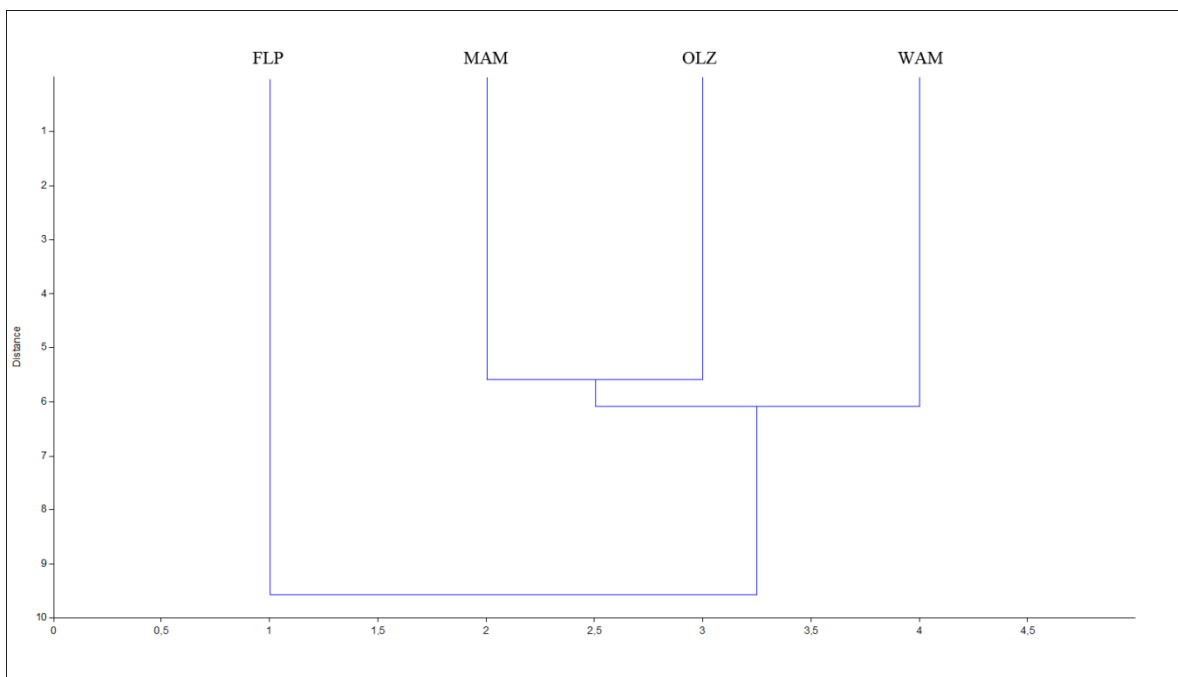


Figura 35. Dendograma realizado a partir de las distancias entre grupos de Mahalanobis que muestra la distancia que existe entre la colección filipina y las españolas, posicionando a estas últimas en un solo grupo, diferenciándose todavía entre ellas.

**ANÁLISIS RELETFORD-BLANGERO (RBA) Y CALCULO FST.**

**APLICADO A LAS COLECCIONES ESPAÑOLAS.**

Los resultados del RBA muestran un valor Fst total de 0.020199 para las poblaciones españolas (Tabla 36) manejándose el mismo peso de heredabilidad igual a 1 dentro del análisis.

Tabla 36. Muestra los valores Fst mínimo, Fst insesgado y error estándar sobre las poblaciones españolas.

	<b>Fst</b>	<b>Fst Insesgado</b>	<b>Error Estándar</b>
Poblaciones Españolas.	0.020199	0.015315	0.00839

La colección de MAM presenta un valor residual positivo de 0.048 el cual representa un posible mayor flujo génico de esta población (diversidad, heterogeneidad), siendo la colección de WAM la que muestra un menor flujo génico por el resultante negativo de -0.027 mostrados en la Tabla 37. La media de la varianza fenotípica entre estos grupos fue 0.983. Puede notarse que la distancia entre los centroides de WAM y OLZ es sutil, mientras que con MAM existe una diferencia marcada. También se muestran en la tabla 37 y se muestra la gráfica de comparación entre valores observados y el centroide en la figura 36 a modo de observar el comportamiento de los datos.

Tabla 37. Resultados del RBA. Varianza fenotípica entre grupos. La tabla muestra las distancias poblacionales con respecto al centroide ( $r(ii)$ ), los valores de variación observada, esperada y residual realizada por el programa.

<b>Población.</b>	<b>r(ii)</b>	<b>Observado</b>	<b>Esperado</b>	<b>Residual</b>
WAM	0.017527	0.953	0.981	-0.027
OLZ	0.017183	0.96	0.981	-0.021
MAM	0.011235	1.035	0.987	0.048

### RBA MÁS CALCULO FST CON LA INCLUSIÓN DEL GRUPO EXTERNO.

Los resultados del RBA muestran un valor Fst total de 0.026775 para las poblaciones incluidas manejándose el mismo peso de heredabilidad igual a 1 en el análisis, comparándose con los resultados del mismo análisis solamente de poblaciones españolas (Tabla 38).

La colección de Madrid presenta un valor residual positivo de 0.044 junto con la colección filipina con un valor residual positivo de 0.079, sugiriendo que estas que presentan un mayor flujo génico. La media de varianza fenotípica entre estas poblaciones fue 0.958. Los centroides de las poblaciones españolas cuando un grupo externo se incluye muestran equidistantes. Estos valores se encuentran datados en la tabla 39 y graficado en la figura 37, con el fin de un mejor entendimiento del comportamiento de los datos.

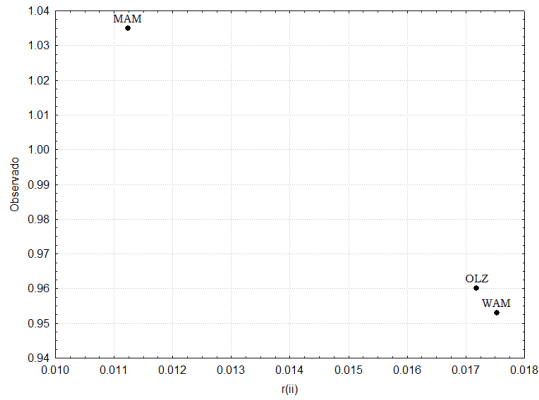


Figura 36. Representación gráfica de los valores observados en comparación con el centroide, del RBA. Los valores muestran mayor lejanía de la población de MAM con el centroide.

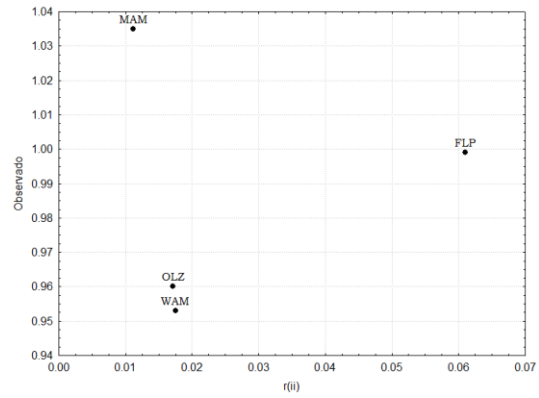


Figura 37. Representación gráfica de los valores observados en comparación con el centroide, del RBA. Los valores de MAM muestran lejanía en comparación con las poblaciones españolas. FLP cuyo centroide presenta valores distintos a las colecciones españolas.

Tabla 38. Valores Fst mínimo, Fst insesgado y error estándar sobre las poblaciones españolas, y estas más la población filipina.

	Fst	Fst Insesgado	Error Estándar
Poblaciones Españolas.	0.020199	0.015315	0.00839
Análisis con Filipinos	0.026775	0.021738	0.000848

Tabla 39. Resultados del RBA. Variación fenotípica entre poblaciones. La tabla muestra las distancias poblacionales con respecto al centroide, marcado como r(ii), los valores de variación observada, esperada y residual.

Población	r(ii)	Observado	Esperado	Residual
WAM	0.01945	0.929	0.96	-0.031
OLZ	0.010015	0.935	0.97	-0.034
MAM	0.014627	1.009	0.965	<b>0.044</b>
FLP	0.060979	0.999	0.92	<b>0.079</b>

---

## IV: Discusión

---

Y si tuviese profecía, y entendiese todos los misterios y toda ciencia, y si tuviese toda la fe, de tal manera que trasladase los montes, y no tengo amor, nada soy.

1. Corintios 13:2

---

---

#### 4. INTEGRACIÓN DEL AHM.

La integración del AHM provee un estudio completo de la forma biológica capaz de estimar de manera precisa las variaciones morfológicas e inferir algunas los componentes genéticos de las poblacionales o variaciones asociadas a patologías, estrés ambiental, etc. La morfometría geométrica con el potencial de la transformación de los puntos espaciales del GPA permite analizar configuraciones de *landmarks* eliminando efectos de translación, rotación y escala permitiendo analizarlos de manera independiente (Adams et. al. 2004).

La propuesta del AHM es de gran utilidad a la hora de estudiar poblaciones, para comenzar la depuración de la muestra a estudiar provee que los individuos incluidos en el estudio son los que aportan un mayor número de información biológica evitando sesgos pre análisis.

Ahora bien los estudios inter e intrapoblacionales tienen la bondad de incluir análisis multivariantes para estimar la variación feno-genotípica dentro de las poblaciones. En el caso de estudios de la variación craneofacial intragrupal el análisis de componentes principales junto con la inclusión de los módulos craneales proporcionan una mejor vía para el entendimiento de la información biológica de acuerdo a la varianza de la región estudiada de los individuos, que pudiesen ser respuestas a las cargas funcionales o de ambiente. Finalmente, mediante esta integración de perspectivas es que la morfometría comienza a dar solución a una de las problemáticas en el estudio de los fenotipos complejos.

En la variación intergrupala se incorporo los análisis CVA y el análisis de conglomerado que proveen información sobre las relaciones entre grupos por medio de diversas variables de respuesta, que permite acceder a una gran cantidad de información y observar/contrastar el comportamiento espacial de los datos en función de las variables clasificatorias dadas al programa y así hacer una asociación más verás con las fuentes de variabilidad fenotípica conocidas.

El modelo restringido también permitió estimar patrones de procesos microevolutivos e inferir flujo y estabilidad génica por medio del análisis de diversidad  $F_{st}$ , que como se pudo

observar permite indagar y complementar la información en rubros como relaciones filofenotípicas y microevolutivas de las poblaciones analizadas.

La integración y aplicación del AHM responde a una conexión entre distintas técnicas numéricas para el estudio de la población a partir de rasgos cuantitativos, las cuales mejoran las técnicas de investigación básica y las orientan a una investigación completa que aborda un mayor número de variables para el estudio poblacional, además el modelo se respalda estadísticamente con lo que demuestra a esta metodología de alto grado de eficacia.

#### **4.1 ACERCA DE LOS INDIVIDUOS INCLUIDOS EN EL ESTUDIO.**

El número muestral de las colecciones analizadas fue basto a pesar de la exclusión de individuos en las primeras etapas de la investigación. Los primeros filtros se realizaron al eliminar, antes de cualquier análisis, individuos que no estuvieran digitalizados en su totalidad sin la aplicación de métodos de sustitución de datos, lo que fortaleció el estudio. De esta se afirma teóricamente la distribución normal multivariada en las muestras. Según lo establecido en la metodología fueron eliminaron los extremos de variación, asociando los sesgos o desviaciones a ruidos como la inexactitud al momento de medir, o errores en el sistema de coordenadas del digitalizador.

La muestra se redujo a un total de 397 individuos de los cuales 332 son españoles y 65 filipinos. La n de cada colección rebasa la medida mínima muestral requerida en pruebas estadísticas, por lo que se consideran muestras válidas, representativas y con distribución normal de las poblaciones.

La integración de una muestra como la analizada tiene ventajas en virtud que reduce la heterocedasticidad, lo que hace al presente estudio confiable en cuanto a la varianza poblacional, además de que el análisis de error intra observador y la calibración en el sistema de medición permitieron que los datos incluidos en la investigación presenten un sesgo mínimo de datos.

#### 4.2 VARIACIÓN INTRAGRUPAL POR CF CRANEAL (PCA).

El cráneo es afectado de distintas maneras y por diversos factores lo que posibilita conocer las regiones que muestran mayor respuesta a los cambios ambientales e inferir que las determina. En el estudio, las regiones craneales utilizadas, fueron tomadas de manera arbitraria, correspondiendo a la actividad que se consideraron de relevancia anatómico funcional. Los resultados muestran que la variación craneal fluctúa según cada CF y que esta aumenta según se afine el estudio por región anatómica.

La variación craneal total, encontrada en el CFG, está compuesta por la variación encontrada en los CF del primer orden, siendo de estos tres CF el que presenta mayor variación el CFF, seguido por el CFB y teniendo una menor variación el CFN.

Los resultados para el CFN nos muestran una variación morfológica estable al igual que la forma general, solo con variaciones morfológicas importantes en la globularidad y en la parte anterior y posterior. Esta constante se mantuvo en las tres colecciones estudiadas.

Esto podría sugerir, que este CF no sea parámetro de comparación intragrupal. Sin embargo, el neurocráneo es una región altamente plástica en las etapas de su desarrollo, basta mencionar los casos de deformación cefálica en las antiguas poblaciones mesoamericanas. Además, existen estudios donde esta región es el indicador de la presencia de factores genéticos y ambientales al ser comparado entre poblaciones, los cuales permiten inferir causantes del fenotipo como lo indican los estudios, de comparación intergrupala, realizados por Martínez-Abadías y colaboradores (2006 y 2009b) o Quinto-Sánchez (2010).

La presencia de los factores genéticos y ambientales, son de suma importancia para explicar la variabilidad de los CF, en especial el CFB. En este componente es donde estos factores tienen mayor convergencia, puesto que como lo menciona Bastir y Rosas (2006) esta zona es la que está menos expuesta al ambiente, no obstante, la influencia ambiental en este componente se muestra en la parte anterior del mismo por la actividad de la región maxilar. El cambio del CFB influenciado genéticamente, como se muestra en este y otros estudios, es principalmente la inclinación del foramen magno, lo que afecta directamente en las morfologías



del esplagnocráneo y neurocráneo (Ibídem, 2006), aunado que por esta región se da soporte a importantes tejidos blandos especialmente el cerebro y el sistema nervioso central (Bastir y Rosas, 2008) y parte del aparato digestivo y respiratorio.

En dos de las tres colecciones españolas, OLZ y MAM, las variantes morfológicas encontradas en los aparatos masticatorio y respiratorio, están relacionadas con los cambios en la forma del CFB. Mientras que la colección restante, WAM, el componente basicraneal muestra relación con el neurocráneo.

Lo anterior corroboraría lo expuesto por Bastir y colaboradores (2006), al mostrar este CF como eslabón de la variación entre la región neurocraneal y facial, puesto que su compleja anatomía sostiene los huesos que conforman la bóveda craneal, además de recalcar que la morfología facial humana, singular por estar reducida, está influenciada por la morfología basicraneal ya que presenta contacto con los músculos y aparatos involucrados en la deglución de alimentos.

Las morfologías que muestra el CFF, son las más variables de los CF del primer orden, debido a que en esta región yacen funciones vitales como lo son la vista, el olfato, el aparato masticatorio y el inicio del digestivo. Por esta razón, la variación del esplagnocráneo mantiene un constante contacto ambiental. Esto se comprueba gracias a los resultados, que muestran mayor variación en regiones cuyas funciones presentan un fuerte estrés ambiental.

La variación encontrada en esta investigación, es semejante a lo encontrado por González-José (2006), donde muestra que las poblaciones aborígenes argentinas presentan cambios morfológicos, ligadas al clima de procedencia geográfica de las distintas poblaciones, en la región rinofacial.

Los resultados muestran los CF del segundo orden, como lo son el CFR, CFM, y CFA, presentan variaciones que se relacionan con factores ambientales, con excepción del CFO. Los cambios morfológicos del CFO están relacionadas con el ángulo del canal óptico, lo que concuerda por lo expuesto por Moss y Greenberg (1955), donde la morfología de esta región, se relaciona con la variación conjunta del hueso esfenoides y la inclinación de la base del cráneo,

esto podría originar la inclinación del ángulo orbital, produciendo variantes que son observables en el canal óptico. Estas variantes morfológicas, son producto de los cambios que se producen en la región durante las primeras etapas del crecimiento, lo que podría ser la causa de la variación mostrada.

El CFR o región nasal, muestra morfologías que sugieren estar relacionadas con el ambiente, puesto que este componente es el único que tal vez sea homogénea dentro de las tres colecciones españolas. Esto pudiera atribuirse a que la variación climática en España es semejante en gran parte de su geografía, con un clima mediterráneo y mediterráneo continental. Esto corrobora lo explicado en el trabajo de González-José (2006), con las poblaciones patagonas.

Las zonas craneales, que según los resultados son las de mayor variación, correspondientes a los CF alveolar y masticatorio, están anatómicamente asociadas directamente al inicio del aparato digestivo, específicamente el de la trituración de los alimentos.

Las variaciones morfológicas encontradas en el CFM están ligadas al estrés masticatorio de los músculos ligados a la trituración de alimentos, lo cual encaja por lo demostrado por Paschetta y colaboradores (2010), donde muestra que la mayor actividad masticatoria yace en los músculos masetero y temporal, este último es el que presenta mayor fuerza de todos los músculos del cuerpo humano, que producen cambios morfológicos en el cráneo. Este componente está altamente relacionado con la variabilidad mostrada por el CFA, o región alveolar, que presenta la mayor variación craneal observada.

Las variantes del CFA, pueden explicarse debido a que esta región muestra gran plasticidad fenotípica, además de estar en continuo contacto ambiental. Estas variaciones no pueden relacionarse a patologías óseas, ya que estas fueron excluidas en los análisis de inclusión-exclusión de individuos, pero sí a que esta región craneal naturalmente presenta reabsorciones, desgaste, pérdida de piezas dentales e infecciones menores como la caries. También esta región presenta alteraciones como hipodoncia, dientes supernumerarios, entre

otras, atribuidas a factores genéticos que en el caso de esta investigación no es posible averiguar.

Las variantes morfológicas encontradas en las colecciones españolas por cada CF se muestran resumidas en las siguientes tablas 40 y 41 y la figura 39.

Tabla 40. Resumen de los cambios morfológicos en las 3 principales regiones anatómicas del cráneo.

	<b>Neurocráneo (CFN)</b>	<b>Esplacnocráneo (CFF)</b>	<b>Basicráneo (CFB)</b>
<b>WAM</b>	Poca variación en la globularidad.	Presentan cambios en la región óptica y en las áreas de inserción musculo temporal.	Muestra variaciones en las zonas funcionales como la masticación y respiración, además de mostrar cambios dimensionales en la bóveda craneal.
<b>MAM</b>	Presenta poca variación en la globularidad craneal.	Muestra variantes muy marcadas en las regiones alveolar y masticatoria.	Las variantes asociadas a este componente están fuertemente ligadas a la región maxilar.
<b>OLZ</b>	Se observan variaciones relacionadas a la globularidad en la parte anterior y posterior.	Se muestran cambios morfológicos en la región alveolar y en la inserción del musculo temporal.	Existen pocos cambios en esta región, destacando la parte de la bóveda del cráneo.

Tabla 41. Resumen de los cambios morfológicos en el esplagnocráneo o CFF.

	<b>Componente Óptico (CFO)</b>	<b>Componente respiratorio (CFR)</b>	<b>Componente masticatorio (CFM)</b>	<b>Componente Alveolar (CFA)</b>
<b>WAM</b>	Manifiesta pocos cambios en la posición angular del canal óptico, con referencia a la pared superior.	Variantes en el suelo de la cavidad nasal, así como en su dimensionalidad de la región superior del cráneo.	Los cambios notables en la región de inserción del musculo temporal.	En la dimensionalidad del maxilar y la parte palatal.
<b>MAM</b>	Presenta pocas variaciones de acuerdo a la posición angular.	Variantes morfológicas relacionadas con el componente alveolar.	Cambios en las regiones de inserción de la musculatura y el área maxilar.	Presenta variantes morfológicas en los alveolos y en su dimensionalidad.
<b>OLZ</b>	Se observan cambios en el ángulo en el canal óptico.	Las variantes que se muestran en esta región se localizan en el suelo de la cavidad nasal.	Muestra cambios importantes en las regiones de la inserción muscular.	Presenta variación en los alveolos y en el área del maxilar.

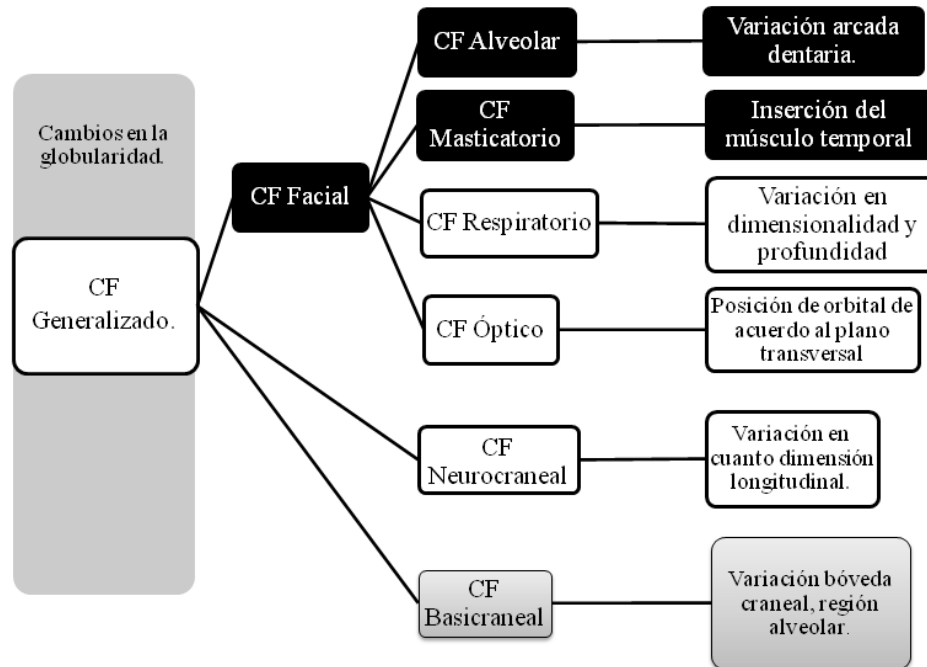


Figura 39. Esquema que explica la variación dentro de cada CF. Los CF en fondo negro (CF facial, alveolar y masticatorio) son los que resultaron más variables en el estudio, además se precisan las regiones más variables. El CF basicraneal en fondo gris, muestra que esta región craneal presenta cambios morfológicos por su relación con los demás CF. Mientras que los CF en fondo blanco, dentro de las colecciones españolas muestran cambios estables dentro de ellas.

#### 4.3 VARIACIÓN INTERGRUPAL A PARTIR DEL CVA Y ANALISIS DE CONGLOMERADO.

##### VARIACIÓN INTERGRUPAL DE LAS COLECCIONES ESPAÑOLAS.

Una vez conocidos los patrones de variación morfológica predominantes dentro de las colecciones españolas, la siguiente pregunta lógica a responder fue si estas características se mantenían o podrían diferenciarse entre las colecciones. Esta cuestión fue abordada por medio del análisis de variación canónica (CVA), teniendo una guía gráfica por medio del análisis de conglomerado, que nos permitió comprender las relaciones morfológicas entre las poblaciones.

Los resultados de este análisis, indican que las colecciones españolas no manifiestan patrones morfológicos disruptivos entre ellos, exhibiendo un patrón equidistante lo que sugiere que la variación de los cráneos españoles es homogénea. Esto puede discutirse desde dos perspectivas, de acuerdo a la configuración geográfica y cronológica de las colecciones.

Desde el punto de vista geográfico, la continuidad morfológica se sustenta en los límites geográficos de cada colección. Las colecciones de MAM y OLZ cuentan con individuos de todas las regiones españolas, sin embargo la colección de OLZ mantiene un contexto de orden científico, al igual que la colección de WAM que proviene solo de excavaciones concisas de un área o provincia (Valladolid).

Los resultados estadísticos que arroja el CVA, muestra que los centroides de los datos de las colecciones de MAM y OLZ presentan una relación cercana, esto sugiere que el fenotipo de la colección de MAM sea semejante a la colección de OLZ por la relación de la procedencia geográfica de los individuos de estas colecciones. Este contexto fundamentaría porque la colección WAM se muestra con distancia con estas colecciones, y aún así, mantiene relación con estas.

El contexto cronológico, sirve para explicar el patrón de relación fenotípica encontrada dentro de las colecciones. De acuerdo a las dataciones la colección de OLZ es la que presenta una mayor antigüedad a partir de 1500 a 1600, lo que proporciona fundamentos sobre la relación que existe con la colección de WAM puesto que su cronología es casi inmediata 1601 a 1700, sin olvidar que la colección que contiene individuos de una cronologías más moderna es MAM que data de 1801 a 1900.

Esto sugiere que la población española no ha sufrido variantes morfológicas abruptas en este corto periodo de alrededor de 400 años, teniendo una continuidad fenotípica en este lapso. Esto corrobora los resultados, puesto que la colección más moderna, que es MAM, mantiene parentescos con las otras poblaciones sin estar desligada totalmente de ellas.

En este punto hay que destacar que los intervalos de confianza, utilizados en el CVA, de 95% nos permiten asegurar que existen diferencias significativas entre las distribuciones de cada población. Entonces ¿cómo es que se propone un continuum fenotípico? Aunque las distancias entre los centroides de cada población son significativas, la proyección lineal del CV1 nos habla de una superposición continua de las poblaciones, mostrando que la fluctuación de las poblaciones esta maximizada por lo que se mantiene como un gradiente continuo de

variación fenotípica. Es por eso que aunque la tendencia central de los datos nos hable de significación, esto es independiente al concepto de continuidad morfológica. La continuidad se evidencia en los polígonos de cambio de la forma realizados a partir de las raíces canónicas, puesto que la variación morfológica craneal presenta ligeras variaciones en la globularidad de la región neurocraneal.

También se acude a la interpretación de cómo ha fluctuado el fenotipo español, geográfica y cronológicamente, mediante matrices de distancias de Mahalanobis, que según lo expuesto por Blangero y Blangero (1989), permiten realizar asociaciones de los patrones de semejanza fenotípicas que pudiesen estar relacionadas con las mínimas génicas, por medio de la interpretación de los fenogramas. Estos, permitieron una mejor comprensión de las formas de agrupación dentro de la población española, basando en el algoritmo UPGMA que deja sin ninguna transformación matemática especial a las distancias obtenidas en el análisis.

El análisis del fenograma resultante (Figura 32), muestra que existen mayores similitudes morfológicas entre las colecciones de OLZ y MAM, situándolas como grupos hermanos de la colección de WAM. La posible razón de este agrupamiento pudiera explicarse por distintos motivos: en primer lugar, y de la manera más simple posible, es que las colecciones de OLZ y MAM se conforman por individuos provenientes de toda la geografía ibérica, con la obvia exclusión de los portugueses.

En este mismo aspecto, se tiene que mencionar que la distancia euclídea entre las distribuciones de WAM, OLZ y MAM resultó significativa ( $p < 0.001$ ) para cada combinación, es decir, aunque OLZ y MAM tienen menor diferencia que WAM, están diferenciadas en un 95%, con lo que en primera instancia podría hacer pensar que al ser estadísticamente diferentes no son de la misma población, sin embargo, se debe tener presente que la técnica del CVA maximiza las diferencias entre grupos para permitir obtener la máxima discriminación entre las poblaciones en estudio.

Esto ayuda a disertar sobre lo ya discutido ¿Si la población española presenta una continuidad morfológica, por qué WAM tiende a separarse de las otras colecciones? La razón

podiera ser que WAM está conformada por una muestra delimitada cronológica y geográficamente aunque debido al tipo de análisis tiende a magnificarse la distancia entre colecciones.

### **VARIACIÓN INTERGRUPAL DE LAS COLECCIONES ESPAÑOLAS Y UN GRUPO EXTERNO.**

Las interpretaciones de una continuidad morfológica entre las colecciones españolas resultarían un tanto relativas si se fundamentara únicamente entre ellas, ya que únicamente son tres. Por lo cual se incluyó un grupo externo para analizar si esta continuidad fenotípica se mantenía.

Los resultados muestran un claro comportamiento de las colecciones españolas como una población fenotípicamente homogénea, diferenciándose de la colección conformada por individuos filipinos, lo que fortalece la explicación sobre la continuidad del fenotipo español geográfica y cronológicamente.

La gráfica resultante de este análisis (Figura 33) puede causar interrogantes sobre por qué los individuos de la colección de MAM están superpuestos con los FLP, y dar cabida a interrogantes sobre si existe relación entre estas poblaciones. Esto se explica porque la técnica estadística utilizada sobre expresa las diferencias entre grupos, reconfigurándose al incluir nuevos grupos para su comparación, lo que no significa contacto de estas poblaciones a nivel genético próximo. Esta postura se reafirma al observar las morfologías descritas para las poblaciones, los valores positivos en la primera raíz canónica corresponden al fenotipo mostrado por la población española y la figura describe que el fenotipo de FLP muestra mayor globularidad craneal además de diferenciar de la región neurocraneal y también en la zona maxilar.

El fenograma con la inclusión de un grupo externo (Figura 35), muestra la reducción de distancias entre el fenotipo español, integrándose en un solo patrón fenotípico. En esa misma figura se tiende a distanciar a FLP, posiblemente por patrones morfológicos, de los españoles

debido a los contextos históricos y biológicos particulares. Cuando los filipinos, con su dispar patrón morfológico, se incluyen en el análisis, las poblaciones españolas conservan sus diferencias intragrupal pero dimensionalmente se conglomeran en un solo grupo por el efecto de un grupo externo. Esta representación, muestra que la discriminación de la población filipina permite esbozar una nueva discusión metodológica sobre la interpretación de los niveles de variación.

Finalmente, se puede asegurar que la superposición de poblaciones, como los FLP con MAM no representa convergencia (canalización) o algún fenómeno biológico operante. No hay relación causal entre su superposición, no todos los patrones fenotípicos tienen explicación en el ámbito sociocultural o biológico poblacional.

Asimismo, se debe aclarar que el *continuum* es muy sensible a las poblaciones incluidas que tienen individuos de muchas zonas de España. Sin embargo, WAM prueba que la inclusión de poblaciones mejor delimitadas arqueológicamente, y no colecciones para generalizar la morfología de un país, presentan mejores características discriminatorias. Quizás más adelante pueda evaluarse el efecto para la comprensión de una verdadera historia biológica de las antiguas poblaciones españolas.

#### **4.4 INFERENCIA DE LA HISTÓRICA BIOLÓGICA ESPAÑOLA: RBA Y CALCULO FST.**

Una forma para deducir la variación genética de la población española es a través del cálculo Fst, por el cual se puede inferir el flujo génico que pudo operar dentro de cada población estudiada. Este análisis parte de rasgos cuantitativos para calcular los cambios poblacionales donde las unidades de varianza genética son proporcionales a la varianza fenotípica, por medio de la configuración de la heredabilidad matemáticamente a un valor neutro y equitativo de uno.

De acuerdo a González-José (2003) una población que resulte en un cálculo Fst que fluctúa en valores cercanos a 0 la diversidad genética de estas poblaciones es compartida, si oscila en valores alrededor de 1 la diversidad genética se concentra entre poblaciones. Esto



significa que si el valor del  $F_{st}$  es cercano a 0 es probable que no existiera gran cantidad de flujo génico en dichas poblaciones, teniendo un pool genético homogéneo, ahora que si es cercano a 1 éste tendrá una mayor tasa de intercambio de genes (diversidad génica) con otras poblaciones.

Estas mediciones de similitudes biológicas como hemos explicado sirven para medir varianza fenotípica y genotípica, pero no puede medir las causantes de estas, ni el nivel de intercambio de genes, son simplemente métodos para estimarlos.

Los resultados del análisis (Tabla 37), muestran que el programa esperaría un flujo genético entre poblaciones equivalente con un promedio de variación esperada de 0.98, lo cual especificaría que tienen una constante variación de frecuencias alélicas, esto no dista mucho de lo observado por el programa, donde WAM y OLZ presentan una constante con estos valores (0.95 y 0.96), sugiriendo que entre estas colecciones españolas se mantiene una fluctuación génica equivalente, lo cual se relaciona con la variación fenotípica.

Sin embargo, la colección de MAM muestra fluctuaciones génicas con valores de 1.09 lo que sugiere que esta colección presenta una mayor diversidad, no muy distante de las otras colecciones, los parámetros de interpretación llevan a cuestionar la razón de una variabilidad tan grande, aun con el mismo trasfondo génico. Esto se explicaría a posibles intercambios alélicos de este grupo con otros o debido a un alto índice de fijación de los mismos.

El análisis de las colecciones españolas comparadas con la colección filipina resulto que, al igual que en los fenogramas, ocurriera una reducción de la variación intragrupal de las colecciones españolas diferenciándose del grupo externo. Empero, los resultantes del análisis no fueron como lo esperado, a pesar que el rango de variabilidad esperada por la plataforma fue de entre 0.92-0.97, las colecciones de WAM y OLZ mantuvieron un mismo índice de diversidad.

También existe una homogeneidad genética entre WAM y OLZ, mayor en WAM, puesto que es una colección delimitada geográfica y temporalmente. Sin embargo, MAM, mantuvo todavía una mayor variabilidad entre las poblaciones analizadas, lo que puede sugerir que este comportamiento se debiese a factores como la posible fijación o intercambio genético de esta

colección debido a su composición tan diversa temporal y geográfica. La colección FLP tuvo una variación genética estable, similar a la presentada por las colecciones de OLZ y WAM, lo que sugiere que la población filipina presenta también una posible diferenciación genética de las colecciones españolas.

Los resultados del índice  $F_{st}$  sugiere que el flujo génico parece uno de los agentes microevolutivos con mayor repercusión en la morfología craneofacial. Esto es parecido a lo identificado por otros estudios, como el realizado por González-José y colaboradores (2007). En el cual la agrupación de poblaciones estudiadas pertenecientes al horizonte cultural del Posclásico mesoamericano, que eran las poblaciones de Azcapotzalco y Tlatelolco, presentaban una mayor tasa de heterogeneidad. Estos resultados permiten disertar que las colecciones españolas que muestran mayor cantidad de flujo génico son las conformadas por individuos provenientes de diversas regiones de ese país. Lo que permite saber que aunque no tenemos más que una población delimitada (WAM), el  $F_{st}$  puede estimar la homogeneidad y heterogeneidad de los datos, gracias a su análisis en un hiperespacio analítico.

Sin embargo, estos resultados están limitados. El  $F_{st}$  no puede delimitar cuanto de la diversidad explicada por el modelo se debe categóricamente al flujo génico y mucho menos indicar los elementos de cuales provienen por la acción de otras fuerzas evolutivas.

---

# V:Conclusiones

---

A mí me basta con el misterio de la eternidad de la vida, con el conocimiento y el sentir de la admirable estructura de la existencia, con lo presente, así como con la abnegada tendencia hacia la comprensión y el logro aunque sea de la mínima parte de la razón que se manifiesta en la naturaleza.

Einstein, A. *Cómo veo el mundo*. 1979.

---

---

## 5. CONCLUSIONES.

El análisis hiperdimensional multivariado, ya integrado y aplicado, cumple con los objetivos de la investigación propuestos por lo que se puede concluir los puntos expuestos a continuación:

- a) La aplicación del AHM abarca los rubros necesarios para la caracterización de una población humana determinada a través de la cuantificación de sus marcadores fenotípicos y no una visión discontinua determinista fuerte de la variación morfológica.
- b) Los modelos de estudio poblacional libre y restringido propuestos por Relethford y Lees (1982) son pertinentes, complementarios y base para el conocimiento poblacional, puesto que arrojan información sobre la variación intra e interpoblacional.
- c) Los resultados confirman que los valores propios del PCA permiten detectar las variantes intragrupalas. Asimismo, las diferencias de los patrones fenotípicos entre poblaciones son perfectamente estimables por medio de las raíces canónicas del CVA. Lo que hace a estos análisis los ejes teóricos principales de la caracterización poblacional antigua a nivel multivariante.
- d) El uso de componentes funcionales del cráneo aunado con la integración morfológica, son enfoques elegibles para los estudios de la variación del fenotipo craneal, puesto que se estima la variación de los módulos craneofaciales y se atribuye a procesos de desarrollo o de respuesta funcional.
- e) Con la utilización del RBA y el cálculo del  $F_{st}$  permiten la estima de la heterogeneidad y/o homogeneidad poblacional bajo la perspectiva genético-poblacional a partir de datos cuantitativos craneofaciales.

---

# Literatura Citada.

---

"The most erroneous stories are those  
we think we know best, and therefore  
never scrutinize or question."

Stephen Jay Gould (1941- 2002)

---

---

- ACKERMANN, R., ROGERS, J. Y CHEVERUD, J. (2006). Identifying the morphological signatures of hybridization in primate and human evolution. *Journal of human evolution*, 51(6), 632-45.
- ADAMS, D. ROHLF, F. Y SLICE, D. (2004). Geometric morphometrics: Ten years of progress following the “revolution.” *Italian Journal of Zoology*, 71(1), 5-16.
- BASTIR, M. Y ROSAS, A. (2006). Correlated variation between the lateral basicranium and the face: a geometric morphometric study in different human groups. *Archives of oral biology*, 51(9)
- BASTIR, M., ROSAS, A. Y O’HIGGINS, P. (2006). Craniofacial levels and the morphological maturation of the human skull. *Journal of anatomy*, 209(5), 637-54.
- BASTIR, M., ROSAS, A., LIEBERMAN, D. Y O’HIGGINS, P. (2008). Middle cranial fossa anatomy and the origin of modern humans. *Anatomical record*, 291(2), 130-40.
- BLANGERO, S. Y BLANGERO J. (1989). Anthropometric variation and the genetic structure of the Jirels of Nepal. *Human Biology*, 61:1–12.
- BOOKSTEIN, F. (1997). *Morphometric tools for landmark data: geometry and biology*. Cambridge University Press.
- BRUNER, E. (2007). Cranial shape and size variation in human evolution: structural and functional perspectives. *Child’s nervous system*, 23(12), 1357-65.
- BRUNER, E. Y RIPANI, M. (2008). A quantitative and descriptive approach to morphological variation of the endocranial base in modern humans. *American journal of physical anthropology*, 137(1), 30-40.
- BRUZEK, J. (2002). A method for visual determination of sex using the human hip bone. *American Journal of Physical Anthropoloy*, 117:157–168.
- BUIKSTRA, J. Y UBELAKER, D. (1994). Standards for data collection from human skeleton remains. *Arkansas Archaeological. Surv. Res. Ser.*44.
- COLECCIÓN DE CRÁNEOS, COLECCIÓN DE OLÓRIZ. (Revisado por última vez el 16-Mayo del 2011). Recuperado el 15 de Marzo 2010 de: <http://www.ucm.es/info/museoana/Colecciones/Craneos/index.htm>
- DRESSINO, V. Y LAMAS, S. (2003). *Teoría craneana funcional de Cornelis Jakob Van Der Klaauw: Una teoría sobre adaptación morfológica*. Episteme, Porto Alegre. 16, 99-110.
- DRYDEN, I. Y MARDIA, K. (1998). *Statistical shape analysis*. Wiley.
- ESTÉVEZ, M. (2004). *Marcadores de estrés y actividad en la población guanche de Tenerife. Estudios prehispanicos. Tesis doctoral. Universidad de la laguna. Inédita.*

- FALCONER, D. (1985). Introduction to quantitative genetics. Longman Londres.
- FALCONER, D. Y MACKAY, T. (2001). Introducción a la genética cuantitativa. Acribia.
- FERNÁNDEZ-GARCÍA, M. (2004) Análisis morfométrico de una colección de cráneos del museo de antropología de la Escuela de medicina legal. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Inédita.
- GARRALDA, M. (1981). L'évolution recente dans la Péninsule Ibérique. En: FEREMBACH, D. Ed. Les Processus de L'Homínisation. Colloques Internat. Du C.N.R.S. 599:207-212.
- GILES, J. (1970) Discriminant function sexing of the human skeleton. En STEWART D (Ed.) Personal Identification in Mass Disaster. Washington D C. Natural Museum of Natural History.
- GONZÁLEZ-JOSÉ, R. (2003). El Poblamiento de la Patagonia. Análisis de la Variación Craneofacial en el Contexto del Poblamiento Americano. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Inédita.
- GONZÁLEZ-JOSÉ, R., PUCCIARELLI, H., MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., HERNÁNDEZ, M. Y SARDI, M. (2004). El aporte de la morfometría geométrica funcional al poblamiento de América. VIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Antropología Biológica.
- GONZÁLEZ-JOSÉ, R., RAMÍREZ-ROZZI, F., SARDI, M., MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., HERNÁNDEZ, M. Y PUCCIARELLI, H. (2005). Functional-cranial approach to the influence of economic strategy on skull morphology. American Journal of Physical Anthropology, 128(4), 757-71.
- GONZÁLEZ-JOSÉ, R. (2006). Aproximación a la historia y la estructura de las poblaciones a partir de la variabilidad en la morfología del cráneo. En GONZÁLEZ-MARTÍN Ed. Historia biológica del hombre en América. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- GONZÁLEZ-JOSÉ, R., MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., GONZÁLEZ-MARTÍN, A., BAUTISTA-MARTÍNEZ, J., GÓMEZ-VALDÉS, J. Y QUINTO, M. (2007). Detection of a population replacement at the Classic-Postclassic transition in Mexico. Proceedings. Biological sciences / The Royal Society, 274(1610), 681-8.
- GONZÁLEZ-MARTÍN, A. Y LALUEZA, C. (1996) Variación craneal en poblaciones de la península Ibérica y del continente europeo. Avances en antropología, ecología y genética. 41-50.
- GOULD, S. (1996) La falsa medida del hombre. Crítica. Barcelona, España
- HISTORIA DEL MUSEO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA DE MADRID. (Revisado por última vez el 14-febrero del 2011). Recuperado el 15 de Junio 2010 de: <http://mnantropologia.mcu.es/museo.html>
- HERNÁNDEZ-ESPINOSA, P. (1997). Los problemas metodológicos de los trabajos de osteología antropológica. En DEL ÁNGEL-ESCALONA, A., SERRANO-SÁNCHEZ, C. Y CÁRDENAS-BARAHONA, E. Eds. Estudios de Antropología Biológica VIII. Universidad

Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Antropología e Historia y Asociación Mexicana de Antropología Biológica, 97-104 (307).

KLINGENBERG, C. Y MONTEIRO, L. (2005). Distances and directions in multidimensional shape spaces: implications for morphometrics applications. *Syst. Biol.* 54: 678–688

LIEBERMAN, D. (2008). Speculations about the selective basis for modern human craniofacial form. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 17(1), 55-68.

MAHALANOBIS, P. (1936). "On the generalised distance in statistics". *Proceedings of the National Institute of Sciences of India* 2 (1): 49–55.

MARTIN, R. Y SALLER, K. (1957). *Lehrbuch der Anthropologie*. Fischer, Stuttgart, Germany.

MARTINEZ-ABADÍAS, N. (2005). Evolutionary patterns of the human skull . A quantitative genetic analysis of craniofacial phenotypic variation. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Inédita.

MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., ESPARZA, M., SJØVOLD, T., GONZÁLEZ-JOSÉ, R., SANTOS, M. Y HERNÁNDEZ, M. (2009a). Heritability of human cranial dimensions: comparing the evolvability of different cranial regions. *Journal of anatomy*, 214(1), 19-35.

MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., PASCHETTA, C., AZEVEDO, S., ESPARZA, M. Y GONZÁLEZ-JOSÉ, R. (2009b). Developmental and Genetic Constraints on Neurocranial Globularity: Insights from Analyses of Deformed Skulls and Quantitative Genetics. *Evolutionary Biology*, 36(1), 37-56.

MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., GONZÁLEZ-JOSÉ, R., GONZÁLEZ-MARTÍN, A., VAN DER MOLEN, S., TALAVERA, A. Y HERNÁNDEZ, P. (2006). Phenotypic evolution of human craniofacial morphology after admixture: a geometric morphometrics approach. *American journal of physical anthropology*, 129(3), 387-98.

MOSS, M. Y GREENBERG, S. (1955). Postnatal growth of the human skull base. *Angle Orthodontists*, 25, 77–84.

MOSS, M. Y YOUNG, R. (1960). A functional approach to craniology. *American Journal of Physical Anthropology*, 18(4), 281-292.

MOSS, M. (1997). The functional matrix hypothesis revisited. 1. The role of mechanotransduction. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics*, 112(1), 8-11.

OLSON, E. Y MILLER, R. (1958) *Morphological Integration*. University of Chicago Press.

PASCHETTA, C., AZEVEDO, S., CASTILLO, L., MARTÍNEZ-ABADÍAS, N., HERNÁNDEZ, M. Y LIEBERMAN, D. (2010). The influence of masticatory loading on craniofacial morphology:



A test case across technological transitions in the Ohio valley. *American journal of physical anthropology*, 141(2), 297–314.

PUCCIARELLI, H. Y SARDI, M. (2000). Variación craneofuncional en Guanches de Guayadeque (Islas Canarias). *Revista Española de Antropología Biológica*, 11-19.

PUCCIARELLI, H. (2008). Evolución y diversificación biológica humana desde la perspectiva craneofuncional (p. 123). México, City: Universidad Nacional Autónoma de México.

QUINTO-SÁNCHEZ, M. (2010). Morfometría Geométrica Craneofuncional de México: Procesos Microevolutivos y Contextos Históricos. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Inédita.

RELETFORD, J. Y LEES, F. (1982). The use of quantitative traits in the study of human population structure. *American Journal of Physical Anthropology*, 25(3), 113-132.

RELETFORD, H. (2009). Race and global patterns of phenotypic variation. *American Journal Of Physical Anthropology*. 139:16-22.

RICHTSMEIER, J., BURKE, V. Y LELE, S. (2002). The promise of geometric morphometrics. *American Journal of Physical Anthropology*, 119(S35), 63-91.

RICHTSMEIER, J., LELE, S. Y COLE, T. (2005). Landmark morphometrics and the analysis of variation. *Variation*, (1917), 49. Academic Press.

ROHLF, J. (1990). Morphometrics. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1990), 299-316. Academy of Natural Sciences of Philadelphia.

RUA, C. (1985). El cráneo vasco: morfología y factores craneofaciales. Zamudio: Diputación foral de Vizcaya.

SMITH, L. (2002). A tutorial on principal components analysis (PCA). *Statistics*.

SOUICH, P. (2001). Estudio de algunos rasgos no métricos dentales en dos poblaciones españolas. *Revista española de antropología física*. 23:27-31.

SOKAL, R. Y ROLFH, J. (2003). *Biometry: The principles and practice of biostatistics in biological research*. Third edition freeman and company. New York.

SOKAL, R., UYTTERSCHAUT, H., ROSING, F. Y SCHWIDETZKY, I. (1987). A classification of European skulls from three times periods. *American Journal of physical anthropologist*. 74. 1-20.

SLICE, D. (2005). Modern morphometrics in physical anthropology. (383)

UBELAKER, D. (2003). Enterramientos humanos: excavación, análisis e interpretación. Suplemento 24. Munibe. Gehigarria. Arizandia.

VAN DER KLAAUW, C. (1945). Cerebral skull and facial skull. A contribution to the knowledge of skull structure. *Archives Neerlandaises de Zoologie*. 7. 16-37.

VAN DER KLAAUW, C. (1948). Size and position of the functional components of the skull. A contribution to the knowledge of the architecture of the skull, based on data in the literature. *Archives Neerlandaises de Zoologie*. 9. 1-176.

VARELA-LÓPEZ, A., FARIÑA-FARIÑA, J. Y FERNÁNDEZ-DOMÍNGUEZ, M. (1981). Comparación entre cuatro poblaciones españolas por medio del coeficiente de similitud racial. *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos* 27(1). 119-126.

WHITE, T. Y FOLKENS, P. (2005). *The human bone manual* (Elsevier A., p. 453). Elsevier Academic Press.

ZELDITCH, M., SWIDERSKY, D., SHEETS, D. Y FINK, L. (2004). *Geometric morphometrics for biologists. A primer*. Elsevier Academic Press.

---

# Anexo I.

---

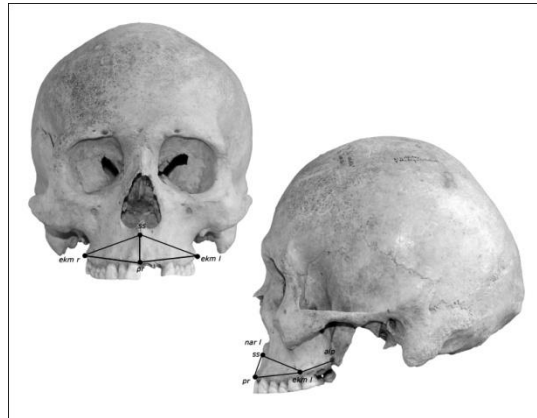
"La ciencia se construye a partir de aproximaciones que gradualmente se acercan a la verdad."

Asimov I. (1920 -1992).

---

---

Las figuras aquí mencionadas describen cada uno de las regiones craneales utilizadas través de wireframes que abarca cada uno de los CF en la tesis.



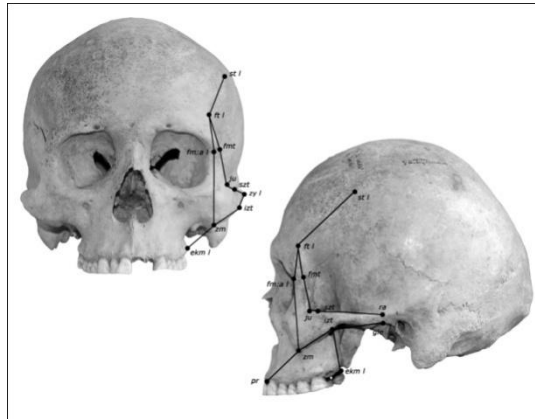
CFA. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF.



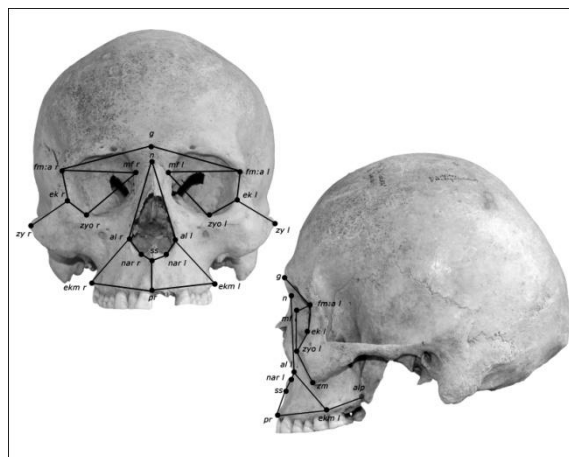
CFR. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF.



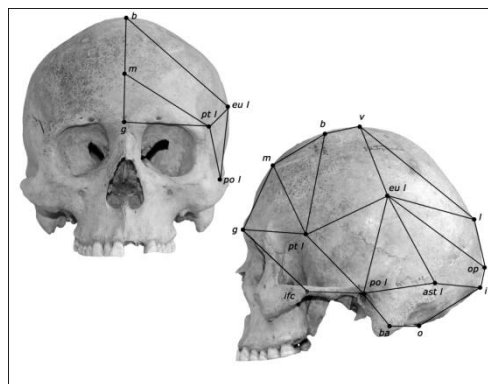
CFO. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF.



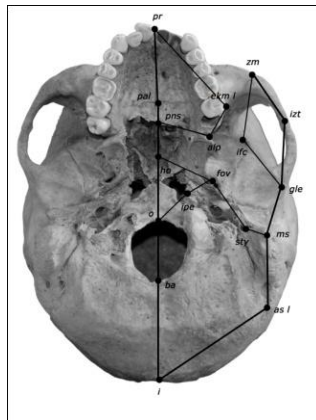
CFM. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF.



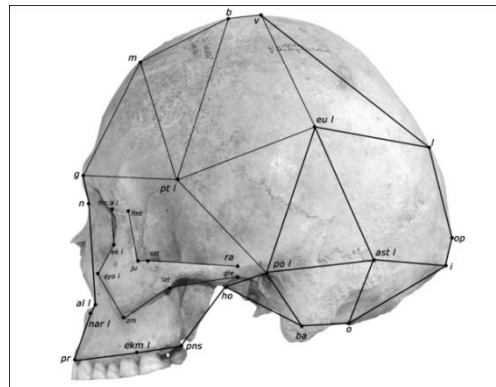
CFF. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF.



CFN. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF.



CFB. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF.



CFG. Representación en el cráneo de los wireframes que muestran la variación del CF