

Morfología integral: un estudio de la evolución del oído y el lenguaje en fósiles homínidos

Sandra Selene López Balderas*

ESCUELA NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA. (ENAH-INAH)

RESUMEN: *Este artículo describe, analiza y compara la anatomía del oído externo con la base del cráneo, desde la perspectiva de integración y modularidad craneal, dentro de la familia Hominidae. Por medio de un análisis osteométrico, realizado en los modelos digitales de tomografías computarizadas (CT), del cráneo de diferentes especímenes pertenecientes a los géneros Australopithecus, Homo, Pan, Gorilla, Pongo y Macaca. Se obtuvo como resultado que en todos los géneros analizados existe una correlación positiva entre el oído y la base del cráneo, a su vez, nos indica una posible adaptación en conjunto para producción y percepción de comunicación verbal. De igual manera se comprueba la presencia de variaciones morfológicas específicas en las estructuras anatómicas necesarias para la fonación, como el paladar y la audición, el conducto auditivo externo. Asimismo, se resalta la diferenciación de los humanos anatómicamente modernos, con otros primates, al colocar algunos de los especímenes fósiles en medio de estos dos grupos; estas diferencias dan indicios importantes sobre el posible origen del lenguaje doble articulado, que caracteriza a nuestra especie. Los resultados pueden ser aplicados en otros estudios paleoantropológicos, cuya contribución ayuda a la interpretación de rasgos osteológicos relacionados con la producción y con la percepción del lenguaje humano.*

PALABRAS CLAVE: *evolución del lenguaje, antropología virtual, paleoantropología, oído, frecuencias del habla*

* sandra.lopezbalderas@edu.unife.it

Integral morphology: a study of the evolution of the ear and language in hominid fossils

ABSTRACT: *This article describes, analyzes, and compares the anatomy of the outer ear with the cranial base from the perspective of cranial integration and modularity within the Hominidae family. Through an osteometric analysis conducted on digital models of computed tomography (CT) scans of skulls from different specimens belonging to the genera Australopithecus, Homo, Pan, Gorilla, Pongo, and Macaca. The result obtained shows that in all analyzed genera, there is a positive correlation between the ear and the cranial base, indicating a possible joint adaptation for the production and perception of verbal communication. Likewise, the presence of specific morphological variations in the anatomical structures necessary for phonation, such as the palate and audition, such as the external auditory canal, was confirmed. Highlighting a differentiation of anatomically modern humans from other primates and placing some fossils specimens between these two groups. These differences provide important clues about the possible origin of double-articulated language, which characterizes our species. The results can be applied in other paleoanthropological studies, contributing to the interpretation of osteological traits related to the production and perception of human language..*

KEYWORDS: *language evolution, virtual anthropology, paleoanthropology, ear, speech frequencies*

INTRODUCCIÓN: PRIMERO ESCUCHO, LUEGO HABLO

La adquisición del lenguaje articulado ha sido objeto de estudio en diversas disciplinas con un consenso en que el desarrollo de la capacidad de abstracción en el cerebro fue fundamental [Castro *et al.* 2002; Navarro 2003; P. Lieberman 2007; Benítez 2006].

Además, se reconoce que el surgimiento de rasgos culturales y el proceso lingüístico han contribuido a la modificación de estructuras funcionales presentes en los primates. Este estudio se centra en los aspectos físicos del lenguaje humano, explorando los órganos y estructuras relacionadas con el habla y la percepción auditiva, así como su importancia en la evolución del lenguaje.

El lenguaje humano se caracteriza por cuatro rasgos de diseño (cuadro 1) que abarcan desde su soporte físico hasta la forma en cómo se transmiten los mensajes [Igoa 2010]. Dentro del aspecto físico se analizan los órganos y las estructuras involucradas en el habla (laringe, fosas nasales, lengua), así como las relacionadas con la percepción acústica (conducto auditivo externo y la cóclea).

Cuadro 1. Clasificación de los rasgos de diseño del lenguaje

Soporte físico	Significante-significado	Funciones	Estructura
-Transmisión vocal-auditiva -Emisión multidireccional y recepción direccional	-Arbitrariedad -Desplazamiento -Semántica -Ambigüedad	-Libertad de uso -Predicación -Pluralidad de funciones -Intercambio de roles	-Infinitud discreta -Composición -Recursividad -Doble articulación

Modificada de Igoa [2010].

Si bien las actividades o comportamientos como el habla no se fosilizan, ciertas estructuras anatómicas a las que podemos acceder en los fósiles, como el hueso hioides o las impresiones del área de Broca o de Wernicke en el cráneo, proporcionan información. La ausencia de soporte anatómico adecuado sugiere la falta de una función biológica concreta [Martínez *et al.* 2009].

Investigaciones previas Cakir *et al.* 2002; Aguilera 2007; Quam *et al.* 2012; 2017] han demostrado una relación entre la capacidad auditiva y la producción de sonidos esenciales para la comunicación, incluso las correlaciones entre la morfología del cráneo y la percepción auditiva.

La función auditiva, esencial para la comunicación, ha evolucionado para adaptarse a las necesidades de supervivencia de cada especie, en cuanto a la captación de un espectro de frecuencias sonoras específicas. Esto implica una variedad de mecanismos de codificación auditiva que comparten diversas especies, incluso mecanismos especializados para codificar sonidos [Del Rio 1989]. De esta manera, el sistema auditivo constituye el brazo aferente de la comunicación y su evolución en los humanos está dirigida hacia la detección de los sonidos del habla [Martínez *et al.* 2013; Quam *et al.* 2013].

En los mamíferos, por lo menos en los terrestres, la función del oído es cualitativamente similar, sólo varía en la forma y escala al captar las vibraciones por medio del oído externo, que luego pasan por el oído medio e interno, atravesando la membrana timpánica y los huesecillos, hasta llegar a la cóclea, donde las vibraciones ejercen presión en la ventana oval, que permite el paso del líquido coclear para activar las células pilosas de la membrana basilar y generar potenciales de acción que se transmiten al

cerebro. Este proceso permite la percepción de distintos sonidos al ser los receptores sensoriales del oído los encargados de determinar las frecuencias en cada especie y la amplitud del sonido, el cual está determinado por la intensidad de la descarga y el número de neuronas que se activan [Soto *et al.* 2003; Rosowski 1994].

El análisis de este proceso y su aplicación en diferentes mamíferos ha permitido relacionar directamente las estructuras anatómicas con las frecuencias audibles, conocido como el ancho de banda, que indica las frecuencias mínimas y máximas de un sistema, plasmado en audiogramas.

Por ejemplo, los primates estrepsirinos muestran una mayor sensibilidad a las frecuencias altas con un límite superior de 60 kHz y rango de mejor audición entre 8 y 16 kHz; mientras que los haplorrinos exhiben una sensibilidad más equilibrada en todo el espectro auditivo, con un límite superior que va de los 40-50 kHz y mayor sensibilidad en frecuencias superiores a los 8 kHz, con excepción de los simios y los humanos.

En todos los primates neotropicales (*Platyrrhini*) la capacidad auditiva es similar, con un pico de sensibilidad de 1-2 kHz que se va perdiendo hacia los 4 kHz, siendo la máxima sensibilidad de 8-10 kHz, con una disminución paulatina hasta los 16 kHz. En los monos paleotropicales (*Catarrhini*) las variaciones son mayores, pero existen ciertas generalidades en el ancho de banda, que va desde menos de 60 kHz a 40-50 kHz, con un primer pico de sensibilidad a 1 kHz y un segundo a 8 kHz, así como una pérdida gradual que se intensifica después de los 16 kHz [Quam *et al.* 2012, 2017].

Los audiogramas de *Platyrrhini* y de *Catarrhini* tienen forma de *w*, que sugiere una condición primitiva, sin embargo, este patrón no está presente en algunas especies como: *Macaca fuscata*, *Cercopithecus mitis*, *Chlorocebus aethiops* y *Papio cynocephalus*.

El valor promedio del ancho de banda, en la especie humana es de 3.8 kHz, mientras que en los chimpancés es de 2.8 kHz y en el caso de algunos especímenes neandertales, de Sima de los Huesos, es de 3.4 kHz con un límite superior de 4.3 kHz, que da lugar a una curva de transmisión de potencia de sonido similar al patrón humano [Martínez *et al.* 2004; 2013; Quam *et al.* 2017].

Respecto a los chimpancés, éstos tienen dos picos de mayor sensibilidad audible, el primero alrededor de 1 kHz que, a diferencia de los humanos, se reduce después de los 3 kHz, y el segundo que posteriormente se recupera en los 8 kHz [Martínez *et al.* 2013]. De igual manera, el tiempo de reacción en chimpancés para discriminar entre las vocales *i* y *u* y entre *e* y *o* es más largo, por tanto, estas vocales son percibidas de manera similar [Kojima 1990].

Por otra parte, la cadena osicular del oído medio de distintos homínidos evidencia diferencias significativas respecto a *Homo sapiens*, como un mayor tamaño en la cabeza del martillo y el estribo en *Homo neanderthalensis*; mientras que en *Australopithecus africanus* y *Paranthropus robustus* se mantienen similitudes con los chimpancés. La base del estribo, así como la cóclea en general, son más pequeña en los grandes simios comparados con los humanos modernos, aunque el área coclear no muestra una relación clara con las frecuencias auditivas percibidas y se hipotetiza que estas variaciones reflejan diferencias en tamaño más que en forma [Moggi *et al.* 2002; Quam *et al.* 2013; Rosowski 1994].

Por tanto, analizar las estructuras anatómicas asociadas permiten generar hipótesis sobre la plasticidad ontogenética de la organización craneofacial, sobre la influencia de factores epigénéticos, así como de factores internos y externos de las matrices y sobre los patrones de modularidad e integración.

1. MODULARIDAD E INTEGRACIÓN: UNA CORRELACIÓN EVOLUTIVA

Las repercusiones de la evolución en los cambios anatómicos del cráneo se dividen en módulos. El concepto de modularidad se refiere al grado de conectividad entre las estructuras anatómicas del cráneo, independientes de manera relativa, pero que interactúan durante los procesos biológicos y forman unidades integradas para producir características fenotípicas particulares [Klingenberg 2008; D. Lieberman 2011]. Los módulos se conforman de centros de tejido blando y espacios que proporcionan soporte funcional, también se conocen como matrices funcionales [Moss *et al.* 1968].

Se distinguen dos tipos de matrices (cuadro 2): las periósticas que incluyen tejido blando y dientes, y las capsulares que contienen cavidades y órganos como el cerebro y los ojos, divididas en unidades macroesqueletarias y microesqueletarias [Moss *et al.* 1968; Sardi 2017].

Cuadro 2. Ejemplificación de algunas matrices funcionales y sus componentes menores

Componente	Matriz funcional
Neural anterior	Porción del cerebro (principalmente lóbulos anteriores) relacionada al frontal y la fosa craneal anterior, meninges, líquido céfalorraquídeo, senos frontales.
Neural medio	Porción del cerebro (principalmente lóbulos anteriores) relacionada con los parietales, fosa craneal media y parte de la fosa posterior, tallo cerebral, meninges, líquido céfalorraquídeo.
Neural posterior	Cerebelo, meninges, líquido céfalorraquídeo.
Ótico	Cavidades, conductos, huesecillos, tímpano, ligamentos.
Óptico	Globo ocular, músculos orbitarios, nervios ópticos, tejido adiposo, ligamentos.
Respiratorio	Cavidad funcional, mucosas respiratorias y olfativas.
Masticatorio	Músculos masticatorios (principalmente los músculos masetero y temporal).
Alveolar	Dentición, mucosas orales, lengua.

Modificado de Sardi [2017].

El cuadro muestra que todas las estructuras del cráneo están relacionadas entre sí y participan en más de una función. Los mecanismos de integración permiten que los módulos varíen según el contexto de cada organismo, sean funcionales y puedan adaptarse a las novedades [Klingenberg 2008; Wagner 1990; Camargo-Prada *et al.* 2017].

En este artículo se analizan dos módulos, el basicráneo y la cara como unidades macrosqueléticas distintas, pero significativamente integradas en los primates [Püschel 2014], con patrones de correspondencia de una cara alargada y estrecha con una base craneal larga, estrecha y plana [Neux 2016; Neux *et al.* 2018].

Esta clasificación facilita el análisis de los componentes que albergan estructuras anatómicas relacionadas con la transmisión y recepción del lenguaje articulado, localizadas principalmente en estructuras microsqueléticas del basicráneo (paladar, fosas craneales, foramen hipogloso y yugular) y el viscerocráneo (oído y ángulos faciales).

2. METODOLOGÍA

Se utilizaron las imágenes digitales de 31 especímenes adultos, actuales y extintos, pertenecientes a cinco géneros de la familia *Hominidae*: *Australopithecus* (n=1), *Homo* (*sapiens* n=7, *heidelbergensis* n=1, *neanderthalensis* n=1), *Pan* (n=6), *Gorilla* (n=5) y *Pongo* (n=4) y el género *Macaca* (n=6) de la familia *Cercopithecidae*, por medio de Tomografías Axiales Computarizadas (TAC).

Los ejemplares del género *Homo* y *Australopithecus* (*africanus* Sts5), se obtuvieron del Archivo Digital de Fósiles Homínidos, del Departamento de Antropología Evolutiva en la Universidad de Viena y del repositorio de Prehistoria y Evolución Humana de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), disponibles en la biblioteca “Juan Comas” del Instituto de Investigaciones Antropológicas (IIA).

Los 21 ejemplares de grandes simios se obtuvieron del repositorio digital del Instituto de Investigaciones en Primates de la Universidad de Kioto, Japón (*Digital Morphology Museum, kupri*).

Mediante morfometría virtual se visualizaron los cortes en 2D y se generó un modelo 3D de cada uno de los cráneos, usando el Software OsiriX MD®v12.0 [Rosset *et al.* 2004] y realizando 35 medidas (tabla 1): 23 lineales, nueve ángulos y tres áreas, siguiendo la metodología de Bromage [1992], Lieberman y McCarthy [1971] y Quam y colaboradores [2012; 2015; 2017]. Posteriormente, con estos datos también se obtuvieron seis índices.

Tabla 1. Medidas tomadas en las TACS de cráneo

Medidas	Abreviatura	Definición
Longitud		
Superior CAE	LCAES	Del receso superior al extremo distal del hueso temporal
Media CAE	LCAEM	Del centro del meato auditivo al centro de la membrana timpánica
Inferior CAE	LCAEI	Del surco timpánico al extremo distal del hueso timpánico
Ancho proximal CAE	ACAEP	Entre las inserciones de la membrana timpánica
Ancho medio CAE	ACAEM	Vertical en el punto medio de la longitud
Ancho distal CAE	ACAED	Del extremo del peñasco temporal al hueso timpánico

Basion	LB	De Eb a Ba
Total del basicráneo	LBT	Total de LFCA más LFCP
Fosa craneal anterior	LFCA	De s a Fc
Fosa craneal posterior	LFCP	De s a Ba
Segmento vocal horizontal	LSvh	De Pr a Ba
Palatina	LP	De Pr a Ef
Estafilión-Basión	DEfB	Distancia lineal de Ef a Ba
Hormión-Esfenobasión	DHEf	Distancia lineal de H a Eb
Neurocráneo	LN	Distancia lineal de N a op
Ancho neurocraneal	AN	Distancia lineal entre E
Altura neurocraneal	HN	Distancia lineal de Ba a v
Facial	LF	Distancia lineal de Pr a H
Ancho facial	AF	Distancia lineal de entre z
Altura facial	HF	Distancia lineal de N a Pr
Ótica	LOT	Distancia lineal del margen posteroinferior del hueso timpánico al punto medio interno del petroso
Ancho ótico	AOT	Distancia lineal de punto más anterior al más posterior del meato auditivo externo
Altura ótica	HOT	Distancia lineal de Au a po
Ángulos		
Base craneal	ABC	Entre los planos de Ba-S y S-Fc
Deflexión craneal	DC	De la intersección de los planos N-Ba con Frankfurt
Del Plano SN y el Punto Subespinal	SNA	De la intersección de los planos S-N con N-Pr
Del Plano SN y el Punto Suprameatal	SNB	De la intersección de los planos S-N con N-Id
Facial	ANF	De la intersección de los planos Frankfurt con N-Pg
Porción petrosa	APP	Entre el plano trasverso de la superficie petrosa posterior y el plano S-Fc
Membrana timpánica	ANT	Entre el plano del receso superior al surco timpánico con el CAE en su porción timpánica

Ancho distal CAE	Aad	Del extremo distal del hueso timpánico al temporal y la prolongación sobre CAE
Meato auditivo	anMA	Del punto orbital medio, al punto medio del meato auditivo a la tuberosidad maxilar
Áreas		
Del meato auditivo	AMA	Suma de pixeles representando el meato auditivo
Del foramen hipogloso	AH	Suma de pixeles representando el foramen hipogloso
Del foramen yugular	AY	Suma de pixeles representando el foramen yugular
Índices		
Volumétrico neural	IVN	Raíz cúbica de la longitud por ancho y altura del neurocráneo
Volumétrico facial	IVF	Raíz cúbica de la longitud por ancho y altura del viscerocráneo
Volumétrico ótico	IVO	Raíz cúbica de la longitud por ancho y altura óticas
Neurofacial	INF	IVN entre IVF
Tamaño craneal	TCG	IVN más IVF
Retropalatino	IRP	LP entre DETB

La comparación de individuos con tamaño corporal distinto requirió de medidas análogas para minimizar el error intraobservador, aplicando la prueba de comparación de medidas repetidas; posteriormente se realizó un análisis MANOVA para relacionar varias variables de respuesta y un conjunto común de predictores. Por último, se obtuvieron coeficientes de covarianza y de correlación lineal (Pearson); se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para describir conjuntos de datos y describir modelos predictivos. Todos los análisis se realizaron con SPSS (v. 21) y PAST (v. 4.03).

3. UN ANÁLISIS DESDE LA PALEOANTROPOLOGÍA DEL ORIGEN DEL LENGUAJE

En cuanto a las capacidades fonadoras de las especies fósiles, existe un consenso en aceptar que su morfología craneal eran similar a las de los chimpancés [Laitman 1985; Martínez *et al.* 2009], que se confirma en el presente estudio, de manera específica en las vías aéreas superiores, donde la longi-

tud del segmento vocal horizontal o cavidad oral se encuentra nuevamente dentro del rango de chimpancés, lo cual se ha relacionado con un patrón de incapacidad para producir eficazmente la pronunciación de las vocales /a/, /i/, y /u/ [Lieberman *et al.* 1971; Martínez *et al.* 2009].

Este patrón se diferencia en *Australopithecus africanus*, ya que la longitud de la cavidad oral es intermedia entre *Homo sapiens* y *Pan troglodytes*. En el caso de *Homo sapiens* se encuentra dentro del rango de variación de los macacos, que nos hablaría de la importante reducción de la cavidad oral en los humanos, dentro del grupo *Hominini*.

En cuanto al índice retropalatino, los resultados confirman la hipótesis de Lieberman y Crelin [1971] de un paladar más corto en proporción a la longitud del espacio retrofaríngeo en grandes simios, dando una diferenciación con *Homo sapiens*, *Australopithecus africanus* y *Homo heidelbergensis*.

Respecto al ángulo de la base craneal, diversos estudios [Jeffery *et al.* 2002; Jeffrey 2005] explican la existencia de una relación ontogenética con las vías aéreas superiores ($r=0.46$, sig. 0.001). La cavidad orofaríngea crece respecto a la nasofaríngea, la línea media de la base del cráneo se retroflexiona entre el segundo y tercer mes de gestación. Moss y colaboradores [1968] explican esta diferencia, debido a que las vías aéreas superiores son influenciadas por el crecimiento de la lengua y el acomodo de la posición del hioides, los cuales en el periodo embrionario y fetal son determinados por el tránsito del líquido amniótico [García 2018].

Por otra parte, algunas investigaciones [Camargo *et al.* 2017; Quevedo 2017; Sardi 2017] exponen el cambio de las vías aéreas superiores como un efecto de la flexión craneal (ABC); mientras Lieberman [1991] considera que la mandíbula tiene una mayor influencia. Para esta investigación se pudo contrastar una correlación entre el ángulo de la base del cráneo (ABC) y la cavidad oral (LSvh), al obtener correlación pequeña pero significativa ($r=0.456$, $P=0.017$).

De acuerdo con la hipótesis de *spacial-packing*, que implica el crecimiento del cerebro como el factor principal para la modificación de ABC, al crecer el basioccipital y moverse anteroinferiormente el foramen *magnum*, la base se desvía ventralmente y el hueso petroso se reorienta coronalmente, para poder acomodar un cerebro relativamente mayor [Jeffery *et al.* 2002]. Esto implicaría que ABC se relaciona con el ángulo de la porción petrosa (APP) y ambos con el índice de encefalización relativo (IER). En este caso se encuentra una relación positiva entre ABC y APP ($r=0.643$, $P=0.00$), que no muestran correlación con IER, para concluir que el verdadero factor de correlación es el tamaño de la bóveda craneal y no el cerebro directamente

El basioccipital de los humanos tiene una orientación más inclinada relativa a la base craneal anterior, mostrando un grado mayor de flexión, mientras la pirámide petrosa está orientada más coronalmente, como consecuencia muestra una fosa craneal posterior más amplia y profunda en comparación con otros primates. Estos resultados evidencian una disposición menor para la faringe cuando el ángulo es más cerrado.

Respecto a los ángulos faciales se muestra un mayor crecimiento de la mandíbula en el caso de *G. gorilla*, *P. abelii* y *M. mulatta*. Por su parte, *Homo heidelbergensis* está dentro del rango humano, pero *Australopithecus africanus* presentan un ángulo menor. En cuanto al prognatismo maxilar, relacionado con el desarrollo mayor del bulbo olfatorio, existe una agrupación de los grandes simios con macaca y una reducción considerable en el grupo *Homo*.

Las últimas dos estructuras de la base del cráneo analizadas son el foramen yugular y el hipogloso. El área del foramen yugular en humanos modernos, coincide con los reportes de Wysocki [2002] de entre 51 a 59 mm², sin embargo, se ve una diferencia en los macacos de casi el doble de tamaño mayor de la muestra en esta investigación, con el reporte de 7.1 a 7.8 mm².

De manera general, ambos forámenes son mayores en *Homo sapiens*, que supone un desarrollo diferenciado importante, si se recae en su importancia como canales que contienen el par craneal ix, x y xii, para inervar lengua, hioides, paladar, membrana timpánica y el oído medio [Chávez *et al.* 2011; Rodríguez *et al.* 2004; Rivera 2015; Katsuta 1997].

Dicha discrepancia puede deberse a las composiciones morfológicas básicas que presenta el foramen, ya sea dividido o no dividido, cuando se presentan una división el área es más difícil de calcular. En los humanos el porcentaje de división es de 10% en hombres y de 11% en mujeres, con un porcentaje similar presentado en macacos [Wysocki 2002]. En el presente estudio la minoría de los ejemplares presentan un foramen dividido.

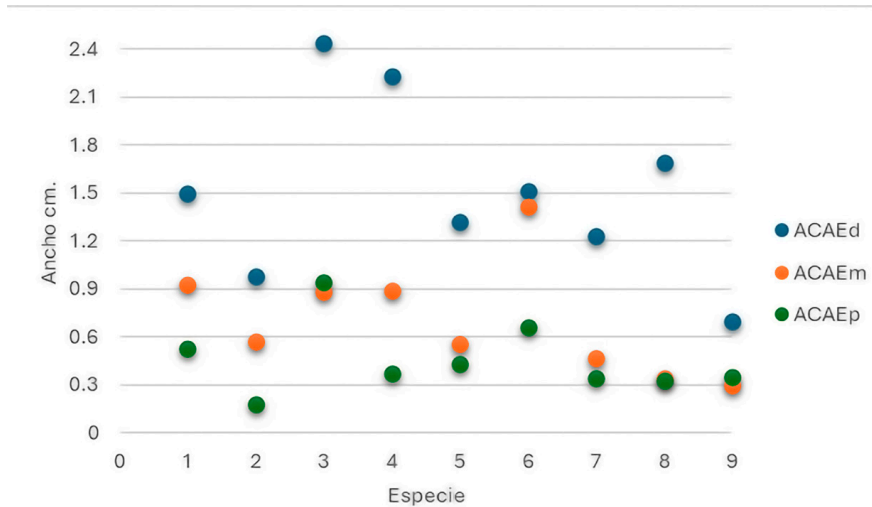
Respecto a la capacidad auditiva, Rosowski [1994] evidencia que el oído externo y medio tienen una gran influencia en la forma del audiograma debido a su función selectiva de frecuencia. Otros parámetros que influyen en las frecuencias percibidas por mamíferos terrestres son: 1) el tamaño corporal, 2) distancia entre las orejas, 3) tamaño de la oreja, 4) rigidez de la oreja y 5) la longitud del CAE.

Los mamíferos más grandes son sensibles a frecuencias por debajo de 10 kHz, mientras los más pequeños perciben sonidos superiores a 10 kHz. Relación inversa con la distancia entre las orejas, pares cercanos perciben frecuencias mayores [Heffner y Masterton 1970]. Respecto a la rigidez, entre mayor composición cartilaginosa tenga el oído medio, que se deforma con los movimientos de masticación y de la cabeza, entonces causa una sen-

sibilidad deficiente en la precepción de sonidos de baja frecuencia; mientras que entre mayor sea al área de la membrana timpánica y los huesecillos, se perciben mejores sonidos de bajas frecuencias [Masterton *et al.* 1969].

En el caso del conducto auditivo externo (CAE), se espera que canales auditivos anchos y cortos tendrán poca audición en frecuencias bajas y los canales angostos captan de mejor manera los sonidos de baja frecuencia [Heffner y Heffner 1990]. Al conjugar ambos factores de longitud y amplitud los CAE (figura 1) se aglomeran en tres grupos, el primero incluye los géneros *Homo* y *Australopithecus africanus*; el segundo con macacos, chimpancés y orangutanes; el tercero con los gorilas.

Figura 1. Gráfica de dispersión del ancho del meato auditivo externo



Las especies están representadas numéricamente en el eje X: 1) *Australopithecus africanus*, 2) *H. steinheimensis*, 3) *H. erectus*, 4) *H. sapiens*, 5) *P. troglodytes*, 6) *G. gorilla*, 7) *P. abelii*, 8) *P. pygmaeus* y 9) *M. mulatta*.

De igual manera, se debe tener en cuenta que existe una variación de las frecuencias audibles, entre los individuos de una misma especie, con una diferenciación sexual. Reportando, por lo general, las mayores variaciones a frecuencias altas [Heffner y Masterton, 1970]. Este dimorfismo es muy marcado en la muestra de orangutanes de esta investigación.

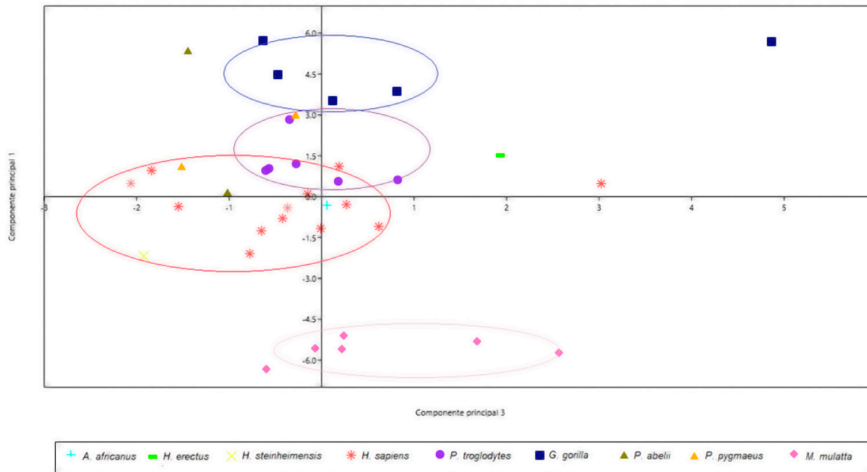
En cuanto a los ángulos de la membrana timpánica y del ancho distal no se encontró con una referencia previa, pero muestran un ángulo más amplio en la membrana de *Homo sapiens*, al distinguirlo de los demás grupos. El ángulo del ancho distal muestra en valores más pequeños en *Homo sapiens* y *Homo steinheimensis*, seguidos de un grupo de los grandes simios, donde destaca el mismo rango en macacos, por último, los valores más amplios los tiene *Australopithecus africanus*.

El último rasgo analizado del oído es el índice volumétrico ótico que muestra la cavidad auditiva como una matriz funcional integrada en un módulo relacionado con el crecimiento facial y el craneal.

Respecto al ángulo distal del meato auditivo, *Australopithecus africanus* está en el rango de los chimpancés, humanos y otros mamíferos [Bromage 1992], que evidencia un rasgo primitivo. Esta variación puede deberse a factores como la altura facial posterior, que indican un cambio temporal tal vez relacionado con la posición de la laringe y faringe en *Homininos* tempranos, los cuales se encuentran en el rango superior de los chimpancés, posteriormente la condición primitiva de mamíferos reapareció en *H. sapiens*.

Por último, se realizó una correlación simple de *Spearman* entre los primeros dos componentes principales del conjunto de medidas relacionadas con el aparato fonador, la audición y el cráneo; dichas correlaciones se expresan por un número real que va de -1 a 1, al existir una correlación fuerte y directa si la covarianza es positiva, los cuales determinan la dependencia que existen entre variables del oído y los módulos del cráneo correspondientes, para obtener correlaciones significativas y positivas entre el CP1 de fonación (LBT) con CP1 del oído (LCAEM); mientras que el CP2 de fonación (ABC) tiene una correlación negativa con la longitud media del CAE y el ancho distal del CAE.

Figura 2. Análisis general de componentes principales: componente 1 y 2



CONCLUSIÓN

Un análisis de componentes principales, al combinar los rasgos anatómicos analizados, mostró la separación en tres grupos: 1) macacos, 2) grandes simios y 3) el género *Homo* con *Australopithecus africanus* (figura 2), confirmando la existencia de una correlación de manera general entre el oído, la base del cráneo y la cavidad bucal; son rasgos adaptativos que, en conjunto, podrían formar un templete que dio paso al desarrollo del lenguaje articulado, también pueden deberse a múltiples factores como el cambio de postura o alimentación, entre otros.

Australopithecus africanus y *Homo erectus* se agrupan entre chimpancés y humanos o en los rangos de mayor variabilidad del grupo *Homo*, por lo cual sus rasgos en conjunto permiten inferir que no tenían todas las adaptaciones relacionadas con el lenguaje hablado, por tanto, se infiere que carecieron de él, cuando evidencia el caso contrario con *Homo heidelbergensis*, que se agrupa en los rangos inferiores de los humanos modernos con estructuras anatómicas relacionadas con la fonación y la audición, dando la posibilidad del lenguaje doble articulado.

La separación entre grandes simios y macacos evidencia la anatomía diferencial que limita la producción del habla humana, pero sigue mostrando que en sus determinados géneros existe esta correlación entre el oído y el aparato fonador. Respecto a este grupo, los orangutanes muestran algunas excepciones y cercanía al género *Homo*, como con los chimpancés, posible-

mente debido a una ontogenia convergente de manera evolutiva, respecto a la retención de rasgos juveniles (neotenia) [Caponi 2007; Contreras 2016].

De igual manera, se debe considerar el impacto de las primeras experiencias, por medio de los estímulos sensoriales y la complejidad de los estímulos sociales; por ejemplo, el lazo entre madre y cría [Contreras 2016]; ya que los orangutanes tienen un periodo de crianza de siete años aproximadamente, además de su estructura social de fusión-fisión, requiere una compleja cognición para poder comunicarse [Galdikas 1983]. Por lo cual, ampliar los análisis etológicos de la comunicación en primates se hace necesario para entender las relaciones aquí planteadas.

REFERENCIAS

Aguilera, Bernardo

2007 *Origen y evolución de la facultad del lenguaje desde una perspectiva dinámica*, tesis de maestría. Centro de estudios Cognitivos de la Facultad de filosofía y humanidades-Universidad de Chile. Santiago.

Benítez, Antonio

2006 Caracterización neuroatómica y neurofisiológica del lenguaje humano, *Revista española de lingüística*, 35 (2): 461-494. <<http://revista.sel.edu.es/index.php/revista/article/view/1896>>. Consultado el 8 de diciembre de 2021 [PDF].

Bromage, Timothy

1992 The ontogeny of Pan troglodytes craniofacial architectural relationship and implicatons for early hominids. *Journal of human evolution*, 23 (3): 235-251.

Cakir, Sahin y Omer Noyan

2002 Middle eastern origin model for Homo sapienes (Moderns & Neanderthales), language and modern behaviour. *International journal of anthropology*, 17 (2): 201-208.

Camargo-Prada, Danwill, Edna Oloya Gamboa, Ethman Torres Murillo

2017 Teoría del crecimiento craneofacial: una revisión de literatura. *UstaSalud*: 78-88.

Caponi, Gustavo

2007 The return of ontogeny: conflicting ideasl of natural order in recent evolutionary biology. *Scitiae studia*, 5 (1): 9-34.

Castro, Laureano y Miguel Toro

2002 La evolución del lenguaje. *Diálogos filosóficos* (53): 275-290.

Chávez-Barba, Óscar, Lidieth Martínez-Martínez, José Luis Cazares-Arellano et al.
2011 Anatomía de los nervios craneales con resonancia magnética de 3.0 Tesla: una revisión práctica para clínicos. *Gaceta Médica de México*, 147: 526-537.

Contreras, Ignacio

2016 Neotenia y epigenética: la generación Z en la universidad. *Boletín del Centro de Investigación de la Creatividad UCAL* (1): 3-8.

Del Rio Lugo, Norma

1989 *El desarrollo del lenguaje en la interacción social*, tesis de maestría. UAM. México.

Galdikas, Birute

1983 The orangutan long call and snag crashing at Tanjung Puting Reserve. *Primates*, 24 (3): 371-384.

García Pastor, Carol

2018 *Postura craneocervicomandibular en pacientes respiradores bucales y respiradores nasales*, tesis de especialidad. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima.

Heffner, Rickye, Gimseong Koay y Henry Heffner

2001 Audiograms of five species of rodents: implications for the evolution of hearing and the perception of pitch. *Hearing research*, 157: 138-152.

Heffner, Henry y Bruce Masterton

2001 Hearing in primitive primates: slow loris (*nycticebus coucang*) an potto (*perodicticus potto*). *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 71(2): 175-182.

Heffner, Rickye y Henry Heffner

1990 Vestigial hearing in a fossorial mammal, the pocket gopher (*Geomys bursarius*). *Hearing research*, 46(3): 239-252.

Igoa, José Manuel

2010 Lenguaje humano y comunicación animal, en *Cognición comparada*, Ricardo Pellón (ed.). UNED. Madrid: 1-39.

Jackson, Laura, Rickye Heffner y Henry Henry

1999 Free-field audiogram of the Japanese macaque (*Macaca fuscata*). *Acoustical Society of America*, 106 (5): 3017-3023.

Jeffery, Nathan

2005 Cranial base angulation and growth of the human fetal pharynx. *The anatomical record part A*, (284): 491-499.

Jeffery, Nathan y Fred Spoor

2002 Brain size and the human cranial base: a prenatal perspective. *American Journal of Physical Anthropology*, 118: 324-340.

Katsuta, Toshiro, Albert Rhoton y Toshio Matsushima

1997 The jugular foramen: microsurgical anatomy and operative approaches. *Neurosurgery*, 41 (1): 149-202.

Klingenberg, Christian

- 2008 Morphological integration and developmental modularity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* (39): 115-132.

Kojima, Shozo

- 1990 Comparison of auditory functions in the chimpanzee and human. *Folia Primatologica*, 55(2):62-72.

Laitman, Jeffrey

- 1985 El origen del lenguaje articulado. *Mundo Científico*, 6 (6): 1182-1191.

Lieberman, Daniel

- 2011 *The evolution of the human head*. Berknap Harvard. Londres, Inglaterra.

Lieberman, Philip

- 1991 *Uniquely human: the evolution of speech, thought, and selfless behavior*. Cambridge: Harvard University Press.

Lieberman, Philip

- 2007 The evolution of human speech its anatomical and neural bases. *Current Anthropology*, 48 (1): 39-66.

Lieberman, Philip y Edmunt Crelin

- 1971 On the speech of Neanderthal man. *Linguistic inquiry*, 2 (2): 203-222.

Martínez, Ignacio

- 2004 Sonidos en el viento. *Ars Medica. Revista de Humanidades* (2). 299-301.

Martínez, Ignacio y José Luis Arsuaga

- 2009 El origen del lenguaje: la evidencia paleontológica. *MUNIBE Antropología-Arkeologia* (60): 5-16.

Martínez, Ignacio, Manuel Rosa, José Luis Arsuaga et.al.

- 2004 Auditory capacities in Middle Pleistocene humans from the Sierra de Atapuerca in Spain. *PNAS*, 101 (27): 9976-9981.

Martínez, Ignacio, Manuel Rosa, Rolf Quamb et.al.

- 2013 Communicative capacities in Middle Pleistocene humans from the Sierra de Atapuerca in Spain. *Quaternary International*: 94-101.

Masterton, Bruce, Henry Heffner y Richard Ravizza

- 1969 The evolution of human hearing. *Journal of the Acustical Society of America*, 45: 966-985.

Moggi Cecchi, Jacopo y Mark Collard

- 2002 A fossil stapes from Sterkfontein, South Africa, and the hearing capabilities of early hominids. *Journal of Human Evolution*: 259-265.

Moss, Melvin, Bertram Bromberg, In Song y Gilbert Eisenman

- 1968 The passive role of nasal septal cartilage in mid-facial growth. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 41 (6): 536-542.

Navarro, Macarena

- 2003 Adquisición del lenguaje. El principio de la comunicación. *Revista de filología y su didáctica* (26): 321-347.

Neux, Dimitri

- 2016 Morphological integration of the cranium in *Homo*, *Pan*, and *Hylobates* and the evolution of hominoid facial structures. *American Journal of Physical Anthropology*: 1-15.

Neux, Dimitri, Gabriele Sansalone, Justin Ledogar, Sarah Heins, Theodora Luk y Stephen Wroe

- 2018 Basicranium and face: assessing the impact of morphological integration on primate evolution. *Journal of Human Evolution*, (118): 43-55.

Püschel, Thomas

- 2014 Modularidad e integración morfológica en cráneos humanos: un enfoque morfométrico geométrico. *International Journal of Morphology*, 32(1): 299-304.

Quam, Rolf, Ignacio Martínez, Carlos Lorenzo et.al.

- 2012 Studying audition in fossil hominins: a new approach to the evolution of language?, en *Psychology of language*, Mark Jakson (ed.). Nova Science Publisher. Nueva York.

Quam, Rolf, Darriel De Ruiter, Melchior Masali et.al.

- 2013 Early hominin auditory ossicles from South Africa. *PNAS*, 110 (22): 8847-8851.

Quam, Rolf, Ignacio Martínez y José Luis Arsuaga

- 2013 Reassessment of the La Ferrassie 3 Neandertal ossicular chain. *Journal of Human Evolution*, 64 (4): 250-262.

Quam, Rolf, Ignacio Martínez, Manuel Rosa y José Luis Arsuaga

- 2017 Evolution of hearing and language in fossil Hominins, en *Primates hearing and communication*, Rolf Quam, Marissa Ramsier, Richard Fay y Arthur Popper (eds.). Springer International Publishing. Nueva York.

Quam, Rolf, Marissa A. Ramsier, Richard R. Fay y Arthur N. Popper

- 2017 *Primate hearing and communication*. Switzerland: Springer.

Quevedo Peña, Maira, Andara Hernández, Elba Zambrano y Vanda Domingos

- 2017 Evaluación de las vías aéreas superiores a través de trazados cefalométricos. *Revista de odontología da Universidade Cidade de Sao Paulo*, 29 (3): 276-288.

Rivera, Guillermo

- 2015 Consideraciones anatómicas y clínicas del nervio hipogloso: revisión de la literatura. *Univ. Méd.*, 56 (3): 323-340.

Rodríguez-García, Pedro, Luis Rodríguez-Pupo y Dámaris Rodríguez-García

- 2004 Técnicas clínicas para el examen físico neurológico. Organización general, nervios craneales y nervios raquídeos periféricos. *Revista de neurología*, 39 (8): 757-766.

Rosowski, John

- 1994 Outer and middle ears, en *Comparative hearing: mammals. Springer Handbook of auditory research*, R. Fay Richard y Arthur N. Popper (eds.). Springer. Nueva York.

Rosset, Antoine, Luca Spandola y Osman Ratib

- 2004 OsiriX: an open-source software for navigating in multidimensional DICOM images. *Journal of Digital Imaging*, 17: 205-216.

Sardi, Marian

- 2017 El método craneofuncional, en *De como cruzar fronteras en la ciencia. Homenaje a Héctor M. Pucciarelli*, Carolina Paschetta, Rolando, González y José Luis Lanata (eds.). CONICET. San Carlos Briloche, Argentina.

Soto, Enrique, Rosario Vega, Hortencia Chavéz y Aída Ortega

- 2003 *Fisiología de la audición: la cóclea*. Instituto de Fisiología, Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. <<http://www.fisio.buap.mx/online/-CO-CLEA%202003%20Formateado%20b.htm>>. Consultado en diciembre de 2021 [PDF].

Wagner, Gunter

- 1990 A comparative study of morphological integration in *Apis mellifera* (Insecta Hymenoptera). *Zeitschrift für Zoologische Systematik und Evolutionsforschung*, (28): 48-61.

Wysocki, Jaroslaw

- 2002 Morphology of the temporal canal ad postglenoid foramen with reference to the size of the jugular foramen in man and selected species of animals. *Folia Morphology*, 61 (4): 199-208.

