



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS

EL CONOCIMIENTO DE LAS POBLACIONES DEL PASADO
A TRAVÉS DE LOS RESTOS ÓSEOS:
**EL CRECIMIENTO EN ESPESOR DE LA BÓVEDA
CRANEAL. UN ESTUDIO APLICADO A RESTOS
INCOMPLETOS Y FRAGMENTARIOS**

TRABAJO FIN DE GRADO
BIOLOGÍA EVOLUTIVA Y BIODIVERSIDAD

Irene del Olmo Lianes

Junio, 2016



LABORATORIO
DE POBLACIONES
DEL PASADO



ÍNDICE

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1 El proceso de formación de los huesos del cráneo.....	4
2.2 Estudios realizados en torno al espesor craneal.....	5
2.2.1 Estudios evolutivos y poblacionales: factores que influyen sobre el espesor craneal.....	6
2.2.2 El uso del espesor craneal como factor para estimar la edad en los restos óseos.....	8
2.3 El estudio de las poblaciones del pasado: El problema de los restos arqueológicos incompletos y fragmentarios.....	9
2.4 Craniometría. Técnicas clásicas vs. Técnicas modernas.....	10
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS.....	11
4. MATERIAL Y MÉTODOS.....	12
4.1 Muestra.....	12
4.2 Instrumento de medida: calibre magnético de espesores Hacklinger.....	12
4.3 Toma de datos.....	13
4.4 Procesamiento de los datos.....	15
4.4.1 Mapeando el espesor del cráneo.....	16
5. RESULTADOS.....	16
5.1 Determinación y distribución espacial del espesor.....	16
5.2 Análisis estadísticos.....	22
6. DISCUSIÓN.....	22
6.1 Una cuestión de simetría.....	24
6.2 Espesor, encéfalo y termorregulación.....	25
7. CONCLUSIONES.....	26
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27

1. RESUMEN

El espesor de los huesos de la bóveda craneal constituye un rasgo desde siempre muy estudiado sobre todo con el fin de establecer diferencias sexuales, poblacionales y evolutivas.

El avance de las tecnologías ha permitido poseer las herramientas necesarias para el estudio del espesor, entre otras cosas, sin embargo, el uso de tecnologías básicas e innovadoras en el mundo de la antropología puede ser la base de los estudios futuros. Así, estudiando el espesor del cráneo puede verse la distribución que este presenta, lo que tiene numerosas aplicaciones, no solo a nivel evolutivo y arqueológico, sino también a nivel socio-cultural.

Se estudiaron un total de 54 cráneos para los que se relacionaron puntos simétricos, observándose una distribución del espesor previamente hallada por otros investigadores que usaron otras metodologías y se intentó relacionar con otros planteamientos más vanguardistas como la termorregulación en la cabeza.

Palabras clave: cráneo, espesor, distribución espacial, ontogenia.

2. INTRODUCCIÓN

Se denomina cráneo al conjunto de huesos que pertenecen a la cabeza, a excepción de la mandíbula, formando parte del esqueleto axial, el cual está constituido por los elementos óseos del eje central del cuerpo, es decir, cabeza, cuello y tronco (Singh, 2009). Es a su vez la parte más compleja de este esqueleto axial, y también del total del esqueleto, ya que está estrechamente relacionada con el cerebro, los órganos sensoriales y otros sistemas como el digestivo y el respiratorio (White *et al.*, 2012), lo que ha condicionado en gran medida que sea el elemento óseo sobre el que más estudios se realizan, no solo en la especie humana y en otras relacionadas con su línea evolutiva, sino también en varias especies de vertebrados. Se subdivide en dos regiones; el viscerocráneo o esplanocráneo, que comprende principalmente los huesos de la cara; y el neurocráneo, zona donde se aloja el cerebro y que engloba los huesos de la base del cráneo y la bóveda craneal (Fig.1). Los huesos de la bóveda craneal, en los que se centra este trabajo, son el hueso frontal (en realidad dos hemifrontales fusionados tempranamente), los huesos parietales, las partes escamosas de los huesos temporales y del hueso occipital, el hueso etmoides y parte del hueso esfenoides (alas mayores) (Scheuer y Black, 2000; White *et al.*, 2012).

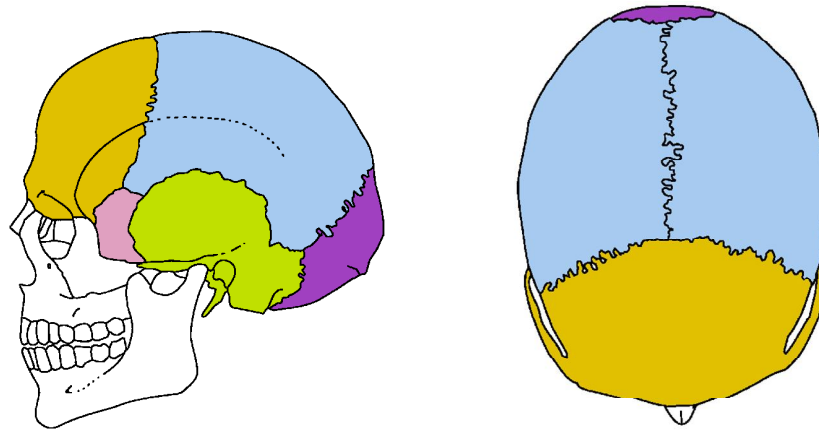


Figura 1. Vistas lateral izquierda y superior de un cráneo. En blanco el esplacnocráneo, a excepción de la mandíbula; a color los huesos de la bóveda craneal: hueso frontal (naranja), huesos parietales (azul), huesos temporales (verde), hueso occipital (morado), hueso esfenoides (rosa). Imágenes modificadas de Buikstra y Ubelaker (1994).

2.1 El proceso de formación de los huesos del cráneo

El proceso de formación del hueso, denominado osteogénesis u osificación, en el caso del cráneo sigue un desarrollo complejo. De manera general podemos hablar de dos tipos de osificación: la osificación intramembranosa y la endocondral (Scheuer y Black, 2000). Aunque esta última tenga lugar de forma indirecta a partir de un molde de tejido cartilaginoso, ambas tienen un origen mesenquimático durante el desarrollo embrionario, bien mesénquima procedente de mesodermo o de la cresta neural, como es el caso del esqueleto facial en su mayoría. En el caso de los huesos de la bóveda craneal, sin embargo, el tejido de procedencia es un tema todavía sujeto a polémica (Opperman, 2000; Morriss-Kay, 2001). En la osificación intramembranosa por otro lado, el hueso se forma directamente a partir de tejido conectivo embrionario, dando lugar a huesos a veces denominados dérmicos como en el caso de los huesos planos del cráneo, que reciben ese nombre debido a que se piensa que su origen filogenético se hallaría en las armaduras óseas de origen dérmico de algunos peces primitivos (Hickman *et al.*, 2009). El cráneo está constituido por huesos tanto intramembranosos como de origen endocondral e incluso mixto. Los elementos óseos de origen endocondral en el cráneo se corresponden con los huesos de la base craneal casi en su totalidad y con parte de la cara. Los huesos intramembranosos, por el contrario, se corresponden con los huesos faciales, una parte de los huesos de la base del cráneo, y a la mayoría de los huesos de la bóveda craneal (Ballabriga, 2000; Scheuer y Black, 2000; White *et al.*, 2012).

Tras el nacimiento, encontramos los huesos de la bóveda craneal separados pero conectados por regiones que aún no están osificadas y que están formadas por tejido conectivo que en algunas zonas da lugar a membranas cartilagosas denominadas fontanelas, las cuales posteriormente se irán osificando y permitiendo el crecimiento de los huesos hasta su completa fusión en las suturas (Opperman, 2000). Muchos de los huesos se osifican a partir de un solo centro de osificación, mientras que otros poseen varios, como el hueso occipital (Scheuer y Black, 2000 y 2004; White *et al.*, 2012).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que el crecimiento coordinado de los distintos elementos que conforman la bóveda craneal repercute en la morfología final de la misma y en el desarrollo cerebral (Morris-Kay, 2001), y que el tejido óseo sufre modificaciones a lo largo de la vida de los individuos (Enlow y Hans, 1996), ya que se dan constantemente procesos de modelado y remodelado sobre él, es decir, procesos de reabsorción y deposición de hueso durante la formación del hueso y sobre tejido óseo preexistente, respectivamente (White *et al.*, 2012). Así, el espesor final del hueso es resultado de numerosos procesos que afectan al mismo, incluyendo otros factores que se mencionan posteriormente como pueden ser en el caso del cráneo la dieta, el clima, etc.

En definitiva, si bien el tejido óseo se trata del segundo componente más duro del cuerpo (después de los dientes; Campillo y Subirà, 2004), ya que es el que va a dar el sustento necesario al mismo, es un elemento flexible que permite el crecimiento del organismo durante su desarrollo, alterándose la composición y el tamaño de los huesos y su morfología a lo largo de la vida del individuo y dando lugar de hecho a notables diferencias entre sexos, sujetos y poblaciones, las cuales se deben tanto a influencias genéticas como ambientales. Es lo que se conoce como variación, a la que no solo está ligada nuestra especie ni el tejido óseo en exclusiva. Es precisamente esta variación la que nos permite determinar con mayor o menor precisión aspectos tan importantes como el sexo o la edad de la muerte de los individuos (Scheuer & Black, 2000; White *et al.*, 2012).

2.2 Estudios realizados en torno al espesor craneal

El espesor craneal se define como la distancia que hay entre la superficie interior (endocráneo) y exterior (ectocráneo) del cráneo (Anzelmo *et al.*, 2015). Es un rasgo que se relaciona con el crecimiento y con otros aspectos como la *robustez* y la forma del cráneo y, por lo tanto, también con aspectos poblacionales y evolutivos.

2.2.1 Estudios evolutivos y poblacionales: factores que influyen sobre el espesor

Desde que se viene estudiando la historia evolutiva del ser humano, el cráneo ha resultado ser el elemento destacado por excelencia a la hora de comparar rasgos entre especies fósiles de homínidos y otras relacionadas, e incluso entre individuos de la misma especie, por ejemplo en el estudio del grado de encefalización. Así, son varias las investigaciones acerca de este elemento, muchas de ellas centradas en el espesor craneal.

Según Gauld, la variación en espesor de la bóveda craneal de los monos catarrinos se explica por la variación en el tamaño corporal (explicación alométrica), patrón al que se ajusta también *Homo sapiens*, pero no *Homo erectus*, el cual presenta un espesor muy elevado en comparación con su tamaño corporal estimado (Gauld, 1996). Los distintos restos hallados que se relacionan con *Homo erectus*, presentan un amplio rango de espesores en la bóveda craneal, lo que muchos autores consideran como una de las evidencias de que esta especie en realidad son dos, *Homo ergaster* (africanos, menos robustos) y *Homo erectus* (asiáticos, más robustos) (Marsh, 2013). También se ha estudiado el espesor craneal en otras especies atribuidas a distintos géneros pero relacionadas con *Homo* evolutivamente como *Paranthropus boisei*, así como en *Homo neanderthalensis* (Bruner *et al.*, 2003; Balzeau, 2007) y en una especie descubierta hace relativamente poco en la cueva de Liang Bua, en la Isla de Flores (Indonesia): *Homo floresiensis*. Desde que se descubrió, esta especie ha estado sujeta a gran debate dado que de forma general presenta unas dimensiones pequeñas, al igual que su capacidad craneal, pero sin embargo unas características anatómicamente modernas que han hecho que algunos autores la identificasen como *Homo sapiens* con algún tipo de patología. Sin embargo, un reciente estudio basado en el espesor craneal de esta especie, indica que *Homo floresiensis* es una especie en sí misma y que no hay evidencias patológicas de que pertenezca a la nuestra (Balzeau y Charlier, 2016).

Aunque se conoce la variación existente entre especies de nuestro linaje evolutivo y entre poblaciones humanas actuales (Howells, 1973; Marsh, 2013) no está claro si las variaciones en el espesor, que se asocia a veces a la *robustez*, incluso en términos poblacionales, y en otros rasgos craneales relacionados con la forma y el tamaño del cráneo, son debidas a causas genéticas, ambientales, o una mezcla de ambas (Lieberman, 1996; Baab *et al.*, 2010). Estas variaciones se han relacionado a veces por algunos autores sobre todo con el desarrollo del cerebro (Falk, 1990; Zhu *et al.*, 2006; Bruner *et al.*, 2011) y asimismo con la influencia de aspectos como la actividad física

(Lieberman, 1996), el clima y la dieta (Milton, 1993; Endo, 1966; Menegaz et al., 2010; Baab et al., 2010; Gupta, 2016).

Hoy en día parece estar aceptado que en el espesor óseo influyen factores bioquímicos (hormonas) y una serie de respuestas fisiológicas relacionadas con nuestro estilo de vida (Bruner *et al.*, 2016), por ejemplo, en relación a la actividad física, sobre lo cual Lieberman (1996) propuso una posible repercusión en los niveles de hormona del crecimiento causada por un ejercicio elevado que provocaría un incremento en espesor del cráneo, entre otras cosas, y por lo tanto una mayor robustez. En el caso de la dieta, se ha estudiado la influencia que esta tiene sobre el aparato masticador, y este a su vez sobre otras zonas del cráneo como por ejemplo los huesos faciales (Endo, 1966; Kiliaridis, 2006; Menegaz *et al.*, 2010), si bien se sabe que las distintas regiones del cráneo influyen unas sobre otras, como por ejemplo la amplitud máxima de la base del cráneo, que influye en el resto de proporciones del cráneo (Lieberman, 2000). En este caso, sería de esperar que también hubiese modificaciones en el neurocráneo que influyesen sobre el desarrollo del cerebro o viceversa, de hecho, esta evolución conjunta del cráneo y el cerebro se aprecia en la línea evolutiva de mamíferos al igual que en nosotros mismos (Richtsmeier, 2006). El cerebro es un órgano que requiere mucha energía, por lo que se piensa que, ante una mejora de la alimentación, podría haberse dado un proceso de encefalización, lo que a su vez habría permitido mejorar las capacidades cognitivas y con ello seguir mejorando y refinando la dieta, donde la incorporación de la carne resultó fundamental, y así sucesivamente. De hecho, a lo largo de nuestra historia evolutiva se aprecia un notable incremento en la capacidad craneal, lo que indicaría una ventaja que contrarresta el enorme gasto energético (Milton, 1993; Gupta, 2016).

En relación con el desarrollo del cerebro, la denominada “Teoría del Radiador”, ideada por Falk, hace referencia a la evolución del cerebro tras adoptar la postura bípeda, la cual habría dado lugar a una reorientación e incremento gradual de los sistemas vasculares en el género *Homo* que habría permitido una más eficiente termorregulación de la cabeza y, como consecuencia, un mayor desarrollo del cerebro, lo cual podría implicar cambios en el patrón de crecimiento de los huesos de la bóveda craneal, sobre todo a nivel endocraneal (Falk, 1990; Brunner *et al.*, 2011). Por otro lado, cabría la posibilidad de que los procesos de remodelado del hueso durante la vida adulta influyesen a su vez sobre la disipación de calor en la cabeza (García Gil *et al.*, 2016).

Al mismo tiempo, algunos estudios (Howells, 1973; Baab *et al.*, 2010; Noback y Havarti, 2015) tienen en cuenta la geografía y el clima en relación con el espesor y la robustez, lo que igualmente

podría influir en el grado de disipación de calor según la teoría anterior. Sin embargo, la única población actual en la que se considera que existe una relación entre el espesor de la bóveda craneal y su región geográfica es la de los aborígenes australianos, considerados como robustos dentro de las poblaciones actuales, aunque las causas pueden ser varias (Curnoe, 2009; Marsh, 2013).

Excepcionalmente, también se ha usado el espesor craneal para determinar el sexo en restos cremados, debido a la imposibilidad de usar ningún otro método (Gejvall, 1969).

2.2.2 El uso del espesor craneal como factor para estimar la edad en los restos óseos

El estudio de la edad de muerte de las poblaciones del pasado es útil en tanto en cuanto permite conocer en cierta medida las características de una población, como la esperanza de vida y la mortalidad y, por tanto, la estructura de la misma. Si bien se sabe que el crecimiento del organismo está correlacionado con la edad, hay que tener en cuenta que el incremento en tamaño y madurez pueden no ir a la par, y es por eso que se distingue entre una edad biológica y una edad cronológica del organismo (Scheuer y Black, 2000).

Existen varios métodos de estimación de la edad basados en el cráneo completo, como son el desarrollo dentario, atendiendo a la erupción y calcificación de las piezas dentales, descrito por Ubelaker (1978); la obliteración o cierre de las suturas craneales, donde caben destacar los estudios de Broca (1875), de los que derivan todos los posteriores, que en realidad son meras variaciones del original, el cual sigue usándose en la actualidad y en mayor medida; y el desgaste dentario, sobre todo de los molares como describió Brothwell en 1987 (todos ellos citados en Campillo y Subirà, 2004). Inversamente, la estimación de edad en adultos aplicando estos métodos es más bien poco fiable debido a la variabilidad existente entre individuos, lo que da lugar a amplios rangos de edad.

En cuanto a la estimación de la edad en base al espesor craneal, toda la variación presente en y entre individuos también puede constituir un obstáculo a la hora de intentar establecer la edad de los mismos. De hecho, muchos de los estudios del espesor craneal en poblaciones actuales han sido incapaces de determinar una relación significativa entre el espesor y la edad, como mucho algunas tendencias débiles (Roche, 1953; Ross *et al.*, 1998; Lynnerup, 2001), aunque otros han encontrado relaciones en mayor o menor medida entre ambos (Adeloye *et al.*, 1975; Hatipoglu *et al.*, 2008; De Boer *et al.*, 2015). Por ejemplo, en el caso de Adeloye y colaboradores, se observó un rápido crecimiento en espesor en las dos primeras décadas de vida y luego un crecimiento menor pero más o

menos uniforme hasta que se alcanzaba un pico en la quinta o sexta década. Estas contradicciones pueden deberse no solo a las variaciones inter e intrapoblacionales, sino también al tamaño de la muestra y a los métodos empleados (Ross *et al.*, 1998). Otros estudios más recientes establecen patrones de espesor craneal multirregionales en algunos casos relacionados con la edad (Laurent *et al.*, 2011; Marsh, 2013; Anzelmo *et al.*, 2015), mientras que por otro lado se sugieren posibles variaciones histomorfológicas con la edad (García Gil *et al.*, 2016).

2.3 El estudio de las poblaciones del pasado: El problema de los restos arqueológicos incompletos y fragmentarios

El estudio de las poblaciones humanas del pasado y del resto de especies predecesoras de la línea evolutiva de los homínidos es esencial para reconstruir nuestra propia historia evolutiva y comprender las características biológicas que definen a nuestra especie de manera conjunta y no solo de forma individual. Como decía Benedetti: “*Después de todo, la muerte es sólo un síntoma de que hubo vida*”. De esta forma podemos conocer datos tales como la estructura poblacional, su antigüedad, las tasas de mortalidad y natalidad, la esperanza de vida, la dieta, patologías, etc. Sin embargo, los restos arqueológicos, ya sean restos biológicos o de carácter cultural (utensilios, representaciones artísticas, etc.), presentan una serie de características que hay que tener en cuenta a la hora de trabajar con ellos (Campillo y Subirà, 2004).

Tras la muerte, pueden ocurrir muchos cambios que alteren el estado del hueso, y el estudio del conjunto de estos cambios se denomina tafonomía. La tafonomía, definida por Efremov en el año 1940, se considera como la rama de la paleontología que se dedica al estudio de los procesos de fosilización, teniendo en cuenta el cómo y el qué se ha modificado a lo largo del tiempo debido a alteraciones biológicas, físicas y químicas (White y Folkens, 2005). Por lo tanto, los procesos tafonómicos por los que ha pasado el material osteológico pueden suponer a veces un sesgo importante a la hora de trabajar con él. Es el caso por ejemplo de las fracturas, deformaciones, fenómenos de abrasión, transformaciones químicas como la cementación, el cambio en el color y otras alteraciones, tanto físicas como químicas, producidas por organismos como bacterias, plantas y animales, incluyendo al ser humano. Todas estas modificaciones influyen notablemente en la preservación de los restos, ya sea para bien o para mal, pero igualmente pueden aportar muchos datos sobre la población original y su entorno (Buikstra y Ubelaker, 1994; White y Folkens, 2005).

El caso de los restos incompletos y fragmentarios es un problema al que la mayoría de los investigadores se tienen que enfrentar. De todas las alteraciones tafonómicas, esta es una de las más

comunes, pero no hay que desestimar el valor de estos restos, pues pueden aportar una gran cantidad de información. Bien es cierto que no es posible trabajar con ellos siempre de una forma convencional, pues los sistemas de medida en antropología se basan en un conjunto de puntos de referencia anatómicos, como veremos posteriormente. No obstante, se ha de intentar sacar de ellos el máximo partido posible ya que, a la hora de trabajar con restos arqueológicos, los restos incompletos y fragmentarios representan una buena parte de estos.

2. 4 Craniometría. Técnicas clásicas vs. Técnicas modernas

En la craniometría, es decir, el estudio cuantitativo del cráneo basado en la toma de medidas del mismo (Enlow y Hans, 1996), las técnicas clásicas usadas utilizan escasos instrumentos muy sencillos como son los calibres, la cinta métrica y compases de ramas curvas con puntas agudas como los compases de espesor (Campillo y Subirà, 2004).

En la actualidad, la medida del espesor craneal está cobrando mayor importancia en las investigaciones científicas, tanto por su importancia a nivel biológico como debido al desarrollo de nuevas tecnologías que permiten la medición del espesor de cráneos completos, para lo que anteriormente no existía ninguna técnica no destructiva. Estas nuevas tecnologías están basadas, en muchos de los trabajos científicos, en la tecnología 3D (morfología virtual). Son por ejemplo la tomografía computarizada (CT y CT), basada en los rayos X como herramienta para obtener imágenes por secciones, tanto a nivel superficial como interno, del objeto a medir que luego conforman una imagen global (Brenner *et al.*, 2007); y la morfometría geométrica, basada en el uso de escáneres de superficie y una serie de puntos determinados y geoméricamente homólogos entre muestras denominados landmarks que permiten abstraer la forma de un objeto y estudiar los componentes que pueden influir en ella por separado (Toro Ibacache *et al.*, 2010). Estas técnicas, que ya tenían sus predecesoras en las radiografías y en la morfometría tradicional, permiten la manipulación del material óseo sin dañarlo y, en el caso de la CT, ver más allá de la superficie, es por eso que se usa con mucha frecuencia en aplicaciones no solo osteológicas, sino sobre todo clínicas. Por otra parte, también existen técnicas innovadoras en áreas como la Física basadas, por ejemplo, en los ultrasonidos y el magnetismo. En el caso de los ultrasonidos, estos se han usado sobre todo con fines clínicos como por ejemplo en ecografías. La técnica se caracteriza por la emisión de ondas sonoras de alta frecuencia que se transmiten a través del material orgánico, en el caso del hueso a unos 3600 m/s, o se reflejan produciendo un eco que se recoge en forma de imagen. Pocos son los estudios, sin embargo, que usen los ultrasonidos con materiales como el hueso y, en

general, están más bien enfocados a poblaciones vivas (Hakimetal, 1997; Elahi *et al.*, 1997). Por otro lado, el uso de nuevas técnicas fundamentadas en el magnetismo puede presentar varias ventajas. La principal es que el material óseo no resulta dañado de ninguna forma, y a esto le acompaña el coste económico, que es bastante inferior al de otras técnicas como la tomografía computerizada. Además, el manejo de este tipo de metodología puede resultar bastante sencillo (Bieber, 2008). Este es un campo hasta ahora bastante inexplorado en el estudio antropométrico, no obstante, su gran utilidad a la hora de medir secciones de restos óseos por lo general inaccesibles, como es el caso de la medida del espesor en cráneos completos, sumado a la innovación del método con todas sus ventajas, es lo que ha hecho del magnetismo una herramienta perfecta para el desarrollo del presente trabajo.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

La variación espacial topográfica en el espesor de los huesos de la bóveda craneal está relacionada con la dinámica de crecimiento establecida a partir de el/los puntos de osificación de cada uno de los huesos que la componen. En base a esta hipótesis general de trabajo, se establece el objetivo general de analizar los distintos espesores craneales de los diferentes huesos del la bóveda del cráneo. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- 1.** Conseguir una muestra lo más amplia posible de cráneos completos para poder llevar a cabo la correspondiente toma de medidas craneométricas.
- 2.** Realizar medidas del espesor craneal con objeto de determinar, para cada hueso de la bóveda craneal, el patrón de espesor que lo define.
- 3.** Establecer un nuevo protocolo de medida de restos óseos, enfocado principalmente hacia los cráneos completos, además de los huesos que los componen por separado, y basado en el magnetismo mediante el uso de un calibre de espesores Hacklinger.
- 4.** Efectuar comparaciones entre individuos y entre distintos huesos de la bóveda craneal a partir de los datos de espesor obtenidos para poder comprender la variabilidad anatómica existente y contrastar los planteamientos actuales

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Muestra

Se tomaron medidas de un total de 54 cráneos, 17 de ellos totalmente completos y el resto incompletos en mayor o menor medida, de tres colecciones osteoarqueológicas distintas que se encuentran en depósito de investigación en el Laboratorio de Poblaciones del Pasado, departamento de Biología, de la facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Madrid:

- 1 cráneo de la colección medieval de Valduno (Asturias).
- 31 cráneos (incluidos un individuo infantil y otro juvenil) de la colección de Almansa (Albacete) pertenecientes al osario de la iglesia de Santa María de la Soledad, datado entre los siglos XIII y XVIII.
- 22 cráneos de la colección procedente de la *Maqbara* hispanomusulmana excavada en San Nicolás (Murcia), siglos XI a XIII.

4.2 Instrumento de medida: Calibre magnético de espesores Hacklinger

La toma de medidas se llevó a cabo con un calibre de espesores Hacklinger, el cual normalmente se usa para medir el espesor de la caja de resonancia en instrumentos de cuerda como puede ser un violín. Su funcionamiento está basado en un principio muy simple, que es que la fuerza necesaria para separar dos imanes es inversamente proporcional a la distancia que hay entre ellos. El modelo más básico consta de un imán pequeño y móvil, que se desplazaría en el interior del objeto a medir, y el cual se captura desde fuera con otro imán asociado a un soporte calibrado que consta de una palanca con una cuerda adjunta al imán externo (Fig.2). De esta forma, se ejerce una fuerza progresiva sobre la palanca que llegados a un punto superará la fuerza de atracción de los imanes, rompiendo el equilibrio magnético. El punto en el que pare la palanca marcará la medida del espesor existente entre ambos imanes (Bieber, 2008). A partir de este modelo inicial se crearon nuevos instrumentos mejorados, tanto manuales como electrónicos. Para el presente trabajo se ha utilizado el dispositivo electrónico MAG-ic Probe V5 (Fig.2), el cual va asociado al software MAG-ic Probe PRO, aunque en este trabajo se usó la versión Lite gratuita. El funcionamiento de este calibre electrónico es básicamente el mismo, pero la medición se hace directamente. El aparato consta de dos imanes de distinto tamaño, el mayor de ellos en forma de esfera tiene un rango máximo de medida de 15.24mm, mientras que en el caso del imán pequeño el rango es de 10.6mm. Para la toma

de medidas se usó la esfera debido a su mayor rango de medida, precisión y facilidad de trabajo por su forma. Por último, cada vez que el aparato se conectaba al ordenador había que calibrarlo, siguiendo las instrucciones de la pantalla. Era conveniente calibrarlo varias veces si el tiempo de medición se prolongaba.

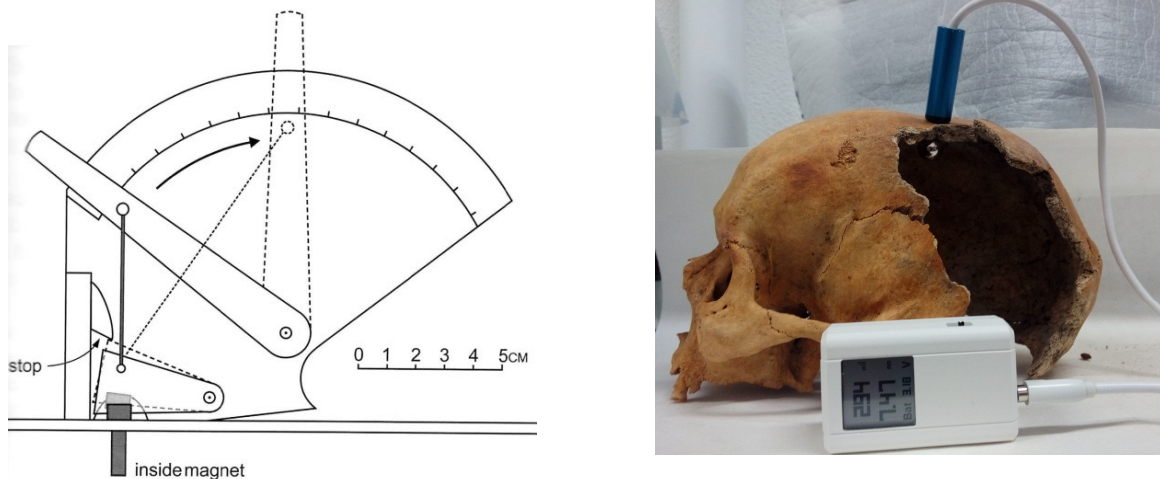


Figura 2. A la izquierda, esquema del modelo inicial de un calibre de espesores magnético (imagen tomada de Bieber, 2008). A la derecha, funcionamiento del calibre MAG-ic Probe V5.

4.3 Toma de datos

Con objeto de llevar a cabo la toma de los datos, se creó en primer lugar un diagrama (Fig.3) basado en el esquema de las suturas craneales de Audije Gil (2012) donde se representa la norma superior de un cráneo en dos dimensiones. Este esquema se llevó a cabo en base a varios puntos craneométricos a partir de los cuales se midió con una cinta métrica la longitud de las siguientes cuerdas y arcos: Pterion-Asterion izquierda y derecha (PTI-ASI, PTD-ASD), Nasion-Bregma (N-B), Bregma-Pterion Izquierdo (B-PTI), Bregma-Pterion Derecho (B-PTD), Bregma-Lambda (B-L), Lambda-Asterion Izquierdo (L-ASI), Lambda-Asterion Derecho (L-ASD), Lambda-Inion (L-I) y Lambda-Basion (L-Ba). En todas estas medidas se tomaron los puntos medios y cuartos, excepto en N-B, L-I y L-Ba, donde se tomaron los puntos tercios debido a la presencia de relieves endocraneales como son la cresta frontal y la protuberancia del Occipital. A partir de algunos de los puntos medios y cuartos se trazaron líneas adicionales que a su vez se subdividieron en puntos medios y cuartos, excepto las líneas del hueso occipital, que se dividieron en tercios. Así, en total se obtuvieron 71 puntos a medir, todos ellos equivalentes, en el caso de los cráneos completos. En los cráneos

incompletos y/o fragmentados, sin embargo, se marcaron solamente los puntos presentes en cada uno, a veces con ayuda de materiales como pegamento o cinta de adhesiva para facilitar la

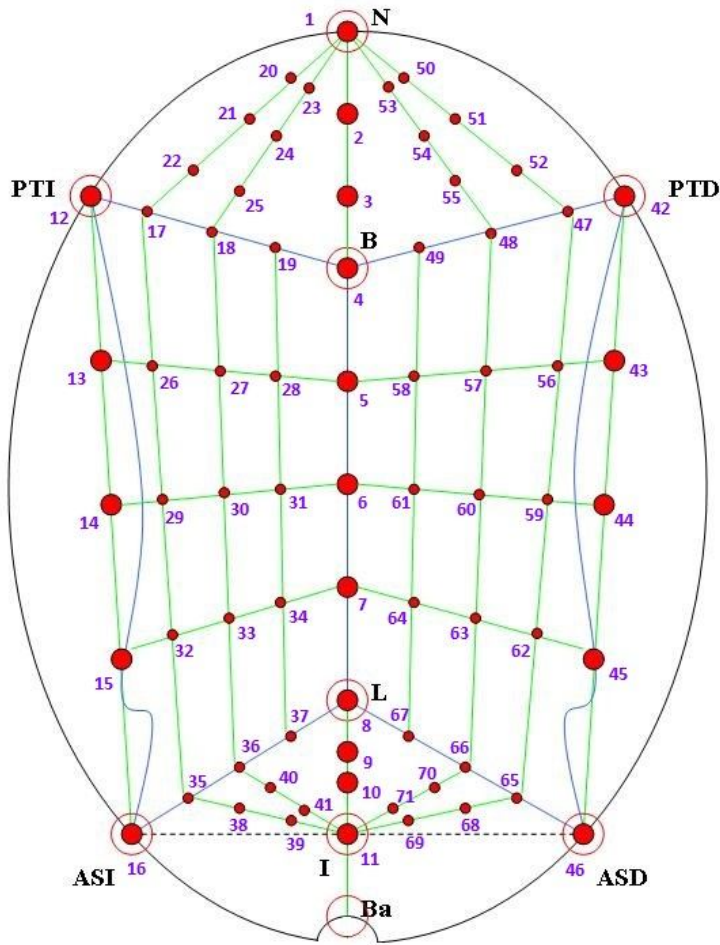


Figura 3. Diagrama de la norma superior de un cráneo en dos dimensiones. En azul, las suturas craneales; en rojo los puntos a medir y remarcados con un círculo y con las siglas en negro los puntos craneométricos de referencia; en verde, las líneas marcadas a partir de los algunos puntos a medir; en morado, el número del punto craneométrico según el orden de medida y correspondiente al figurante en la Tabla 1.

reconstrucción y marcaje de los puntos, y eventualmente por aproximación por simetría bilateral. En el software, cada punto se marcó previamente a su medida, siguiendo siempre el mismo orden para todos los puntos sobre el diagrama previo. Cada punto se midió tres veces antes de marcar un valor medio. Los puntos cuyo espesor sobrepasaba el límite del calibre, al igual que aquellos no presentes, se marcaron con un 0, anotando en cada caso lo correspondiente. Los datos obtenidos se recogieron en un fichero Excel con un total de 71 variables para cada cráneo, correspondientes al espesor en los 71 puntos medidos. Cada una de ellas se denominó según la sección del cráneo a la que perteneciese, bien a un hueso o a uno de los arcos o cuerdas usados. Por ejemplo, si en el hueso frontal hay 12 puntos, sin contar los relativos al arco Nasion-Bregma, los distintos puntos se denominaron F1, F2...F12, siguiendo la numeración de arriba hacia abajo según el diagrama y en dirección distal-proximal, es decir, desde los puntos más externos hacia los más cercanos al eje central o plano sagital (Tabla 1).

reconstrucción y marcaje de los puntos, y eventualmente por aproximación por simetría bilateral. En el software, cada punto se marcó previamente a su medida, siguiendo siempre el mismo orden para todos los puntos sobre el diagrama previo. Cada punto se midió tres veces antes de marcar un valor medio. Los puntos cuyo espesor sobrepasaba el límite del calibre, al igual que aquellos no presentes, se marcaron con un 0, anotando en cada caso lo correspondiente. Los datos obtenidos se recogieron en un fichero Excel con un total de 71 variables para cada cráneo, correspondientes al espesor en los 71 puntos medidos. Cada una de ellas se denominó según la sección del cráneo a la que perteneciese, bien a un hueso o a uno de los arcos o cuerdas usados. Por ejemplo, si en el hueso frontal hay 12 puntos, sin contar los relativos al arco Nasion-Bregma, los distintos puntos se denominaron F1, F2...F12, siguiendo la numeración de arriba hacia abajo

1. N	Nasion
2. N-B1, 3. N-B2	1er y 2º punto del arco Nasion-Bregma
4. B	Bregma
5. B-L1, 6. B-L2, 7. B-L3	1er, 2º y 3er punto del arco Bregma-Lambda
8. L	Lambda
9. L-I	Punto tercio del arco Lambda-Inion
10. L-Ba	Punto tercio del arco Lambda-Basion
11. I	Inion
12. PTI	Pterion izquierdo
13. PT-ASI1, 14. PT-ASI2, 15. PT-ASI3	1er, 2º y 3er punto de la cuerda Pterion-Asterion izqda.
16. ASI	Asterion izquierdo
17. CI1, 18. CI2, 19. CI3	1er, 2º y 3er punto de la sutura Coronal izqda.
20. F1, 21. F2, 22. F3, 23. F4, 24. F5 y 25. F6	1er, 2º, 3er, 4º, 5º y 6º punto del Frontal, lado izqdo.
26. PI1, 27. PI2, 28. PI3, 29. PI4, 30. PI5, 31. PI6, 32. PI7, 33. PI8, 34. PI9	1er, 2º, 3er, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º y 9º punto del Parietal izqdo.
35. P-OI1, 36. P-OI2, 37. P-OI3	1er, 2º y 3er punto de la sutura Parieto-Occipital izqda.
38. O1, 39. O2, 40. O3, 41. O4	1er, 2º, 3er y 4º punto del Occipital, lado izqdo.
42. PTD	Pterion derecho
43. PT-ASD1, 44. PT-ASD2, 45. PT-ASD3	1er, 2º y 3er punto de la cuerda Pterion-Asterion dcha.
46. ASD	Asterion derecho
47. CD1, 48. CD2, 49. CD3	1er, 2º y 3er punto de la sutura Coronal dcha.
50. F7, 51. F8, 52. F9, 53. F10, 54. F11, 55. F12	7º, 8º, 9º, 10º, 11º y 12º punto del Frontal, lado dcho.
56. PD1, 57. PD2, 58. PD3, 59. PD4, 60. PD5, 61. PD6, 62. PD7, 63. PD8, 64. PD9	1er, 2º, 3er, 4º, 5º, 6º, 7º, 8º y 9º punto del Parietal dcho.
65. P-OD1, 66. P-OD2, 67. P-OD3	1er, 2º y 3er punto de la sutura Parieto-Occipital dcha.
68. O5, 69. O6, 70. O7, 71. O8	5º, 6º, 7º y 8º punto del Occipital, lado dcho.

Tabla 1. Descripción de los puntos medidos en la bóveda craneal. A la izquierda, en morado al igual que en el Diagrama, el número de cada punto según su orden de medida y sus siglas. A la derecha, descripción del punto medido.

4.4 Procesamiento de los datos

A partir de los datos obtenidos en el fichero Excel, se realizaron los cálculos de la media, la mediana, la desviación estándar, la varianza, y los máximos y mínimos del espesor en cada punto para todos los individuos que lo presentasen. En primer lugar, se llevó a cabo a un estudio previo de la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk, debido al trabajo con restos óseos incompletos,

que en la mayoría de los casos supuso un número de mediciones por punto menor a 50, siendo el total de los cráneos de 54. A continuación, se procedió a comparar las variables y las medias relativas a los puntos pares, es decir, los puntos simétricos del cráneo, por lo cual se excluyeron los once puntos primeros correspondientes a la línea media. Esto se llevó a cabo mediante un análisis de correlación y una prueba t de Student para muestras relacionadas en el software SPSS Statistics versión 19. Para aquellas variables que resultaron no ser normales, se aplicó el test de Wilcoxon (no paramétrico) para ver si había diferencias entre sus medias.

4.4.1 Mapeando el espesor del cráneo

Con el fin de visualizar los resultados, se crearon una serie de mapas de distribución espacial del espesor con ayuda del software Surfer®13 a partir de los cálculos previamente realizados. Así, se marcaron las coordenadas espaciales X e Y sobre el diagrama bidimensional del cráneo y se introdujeron los datos de la media, la mediana, la varianza, los máximos y los mínimos del espesor en cada punto para las coordenadas Z, obteniendo los mapas correspondientes.

5. RESULTADOS

5.1 Determinación y distribución espacial del espesor

Observando cada hueso de la bóveda craneal de forma aislada, en primer lugar hay que hacer referencia a los valores medios de espesor de cada uno de ellos. En el caso de los huesos Parietales, el valor medio de espesor resultó ser de 5,9mm para el Parietal izquierdo y 6,05mm para el derecho, mientras que en el hueso Frontal y el Occipital este valor medio aumentó hasta 8,3mm de espesor para el hueso Frontal y 8,4mm en el caso del Occipital. A su vez, los valores de la mediana de cada hueso se correspondieron prácticamente con los valores medios hallados.

Por otro lado, tras analizar los valores máximos y mínimos en cada hueso, se vio que, tanto para el hueso Frontal como para el Occipital, el valor máximo de espesor era de 15,3mm, valor que se estableció en aquellos puntos que superaron en límite de medida del calibre (15,24mm). Este valor máximo en el hueso Frontal se corresponde con el Nasion (punto más anterior del hueso Frontal, en la intersección con el esqueleto facial) en mayor medida, pero también con el punto F1 (parte del Torus supraorbital). Por su parte, el hueso Occipital presenta el valor máximo en el Inion (punto más posterior del hueso Occipital, correspondiente a la protuberancia externa), pero también en el punto

L-Ba (punto tercio del arco Lambda-Basion). Por otro lado, el valor máximo encontrado en los huesos Parietales fue 10,36mm en el Parietal izquierdo y 11,46mm en el Parietal derecho, correspondientes a los puntos PI6 y PD9, respectivamente, más próximos a la sutura sagital.

Los valores mínimos de espesor en el hueso frontal se corresponden con dos puntos del lado derecho del mismo, F8 (1,3mm) y F10 (1,98mm) (puntos inmediatamente después y al lado del Torus supraorbital, respectivamente), cuyas parejas simétricas, F2 y F4, presentan los valores mínimos del lado izquierdo con 2,21mm ambas. El valor mínimo del hueso Occipital se sitúa en el punto O3 (lado izquierdo) con 2,16mm, mientras que, en los huesos Parietales, los valores mínimos se corresponden con el punto PI7 (lado izquierdo) con 2,36mm y con PD7 (lado derecho), con 1,93mm, los cuales están situados en la región media del hueso, próximos a la sutura parieto-temporal.

En los huesos Temporales, dado que se tomaron medidas de pocos puntos en comparación con el resto de huesos, y ya que el punto PT-AS3 en ambos lados del cráneo no entraba siempre dentro de los límites del hueso, los valores mínimos se hallaron en los puntos PT-ASD1 y PT-ASI2 con cifras tales como 1,12mm y 1,07mm para los lados derecho e izquierdo, respectivamente. Los valores máximos hallados a su vez se corresponden con el punto PT-AS1 derecho e izquierdo, con valores de 5,41mm y 6,88mm, respectivamente.

Si pasamos a una perspectiva global para el total de la bóveda craneal, los valores medios de espesor (Fig.4) más elevados se corresponden con el Nasion y el Inion y sus inmediaciones, mientras que los valores medios más pequeños se observan en el hueso temporal y en los cuatro puntos aislados en el mapa en color azul pertenecientes al hueso frontal y a las suturas parieto-occipital derecha e izquierda.

En el caso de la mediana (Fig.5), al ser tan similar por lo general a la media, sus valores más y menos elevados se corresponden con los mismos puntos que los mencionados anteriormente para la media. Este hecho además es un buen indicador de normalidad de la muestra.

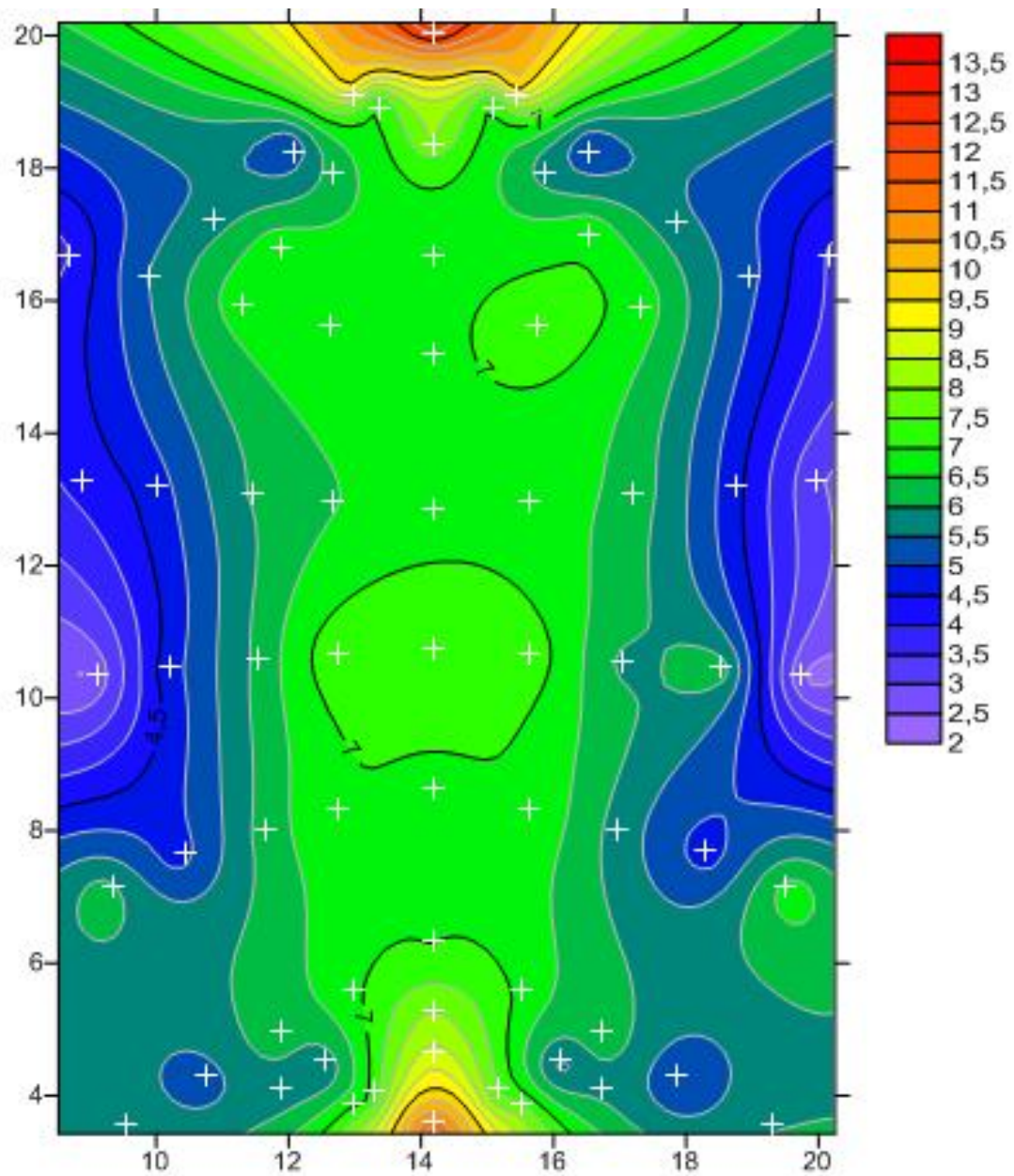


Figura 4. Mapas de distribución espacial del **espesor medio** en los puntos de medida en la bóveda craneal (señalados con cruces blancas). En el eje Y y en el eje X se representan las coordenadas en el espacio de cada punto a medir; el espesor medio de cada punto se ve reflejado en la escala cromática que refleja los milímetros de espesor del hueso, siendo el rojo el máximo espesor.

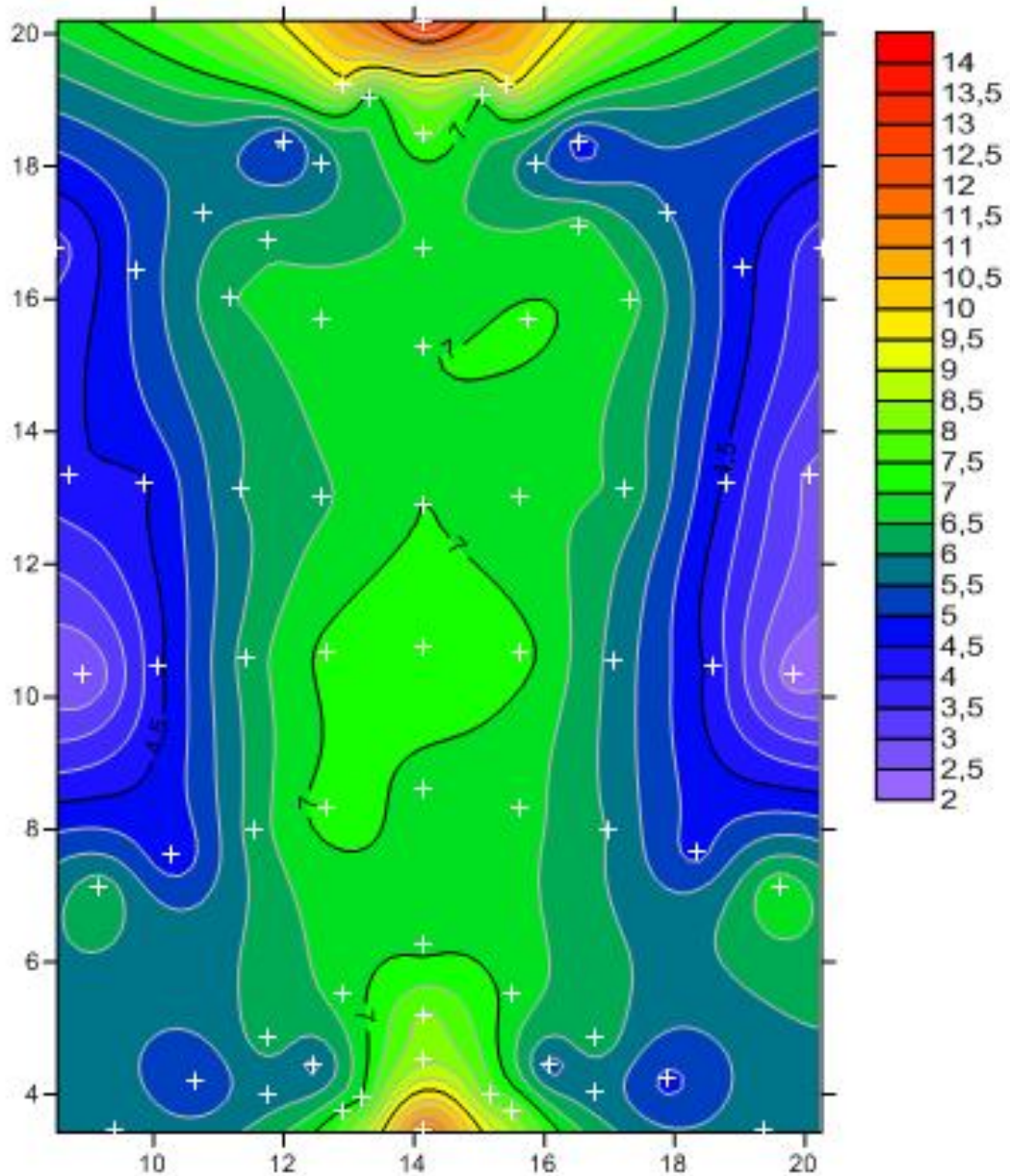


Figura 5. Mapas de distribución espacial de la **mediana del espesor** en los puntos de medida en la bóveda craneal (señalados con cruces blancas). En el eje Y y en el eje X se representan las coordenadas en el espacio de cada punto a medir; el valor mediano del espesor de cada punto se ve reflejado en la escala cromática que refleja los milímetros de espesor del hueso, siendo el rojo el máximo espesor.

En el caso de la representación de la varianza (Fig.6), los valores obviamente varían con respecto a los dos casos anteriores. Los valores más altos de la varianza se sitúan en el hueso frontal y parte del occipital, lo que indica una dispersión mayor de los datos en estos puntos con respecto a

la media. Los valores mínimos, por el contrario, se sitúan en los huesos Temporales y parte de los huesos Parietales.

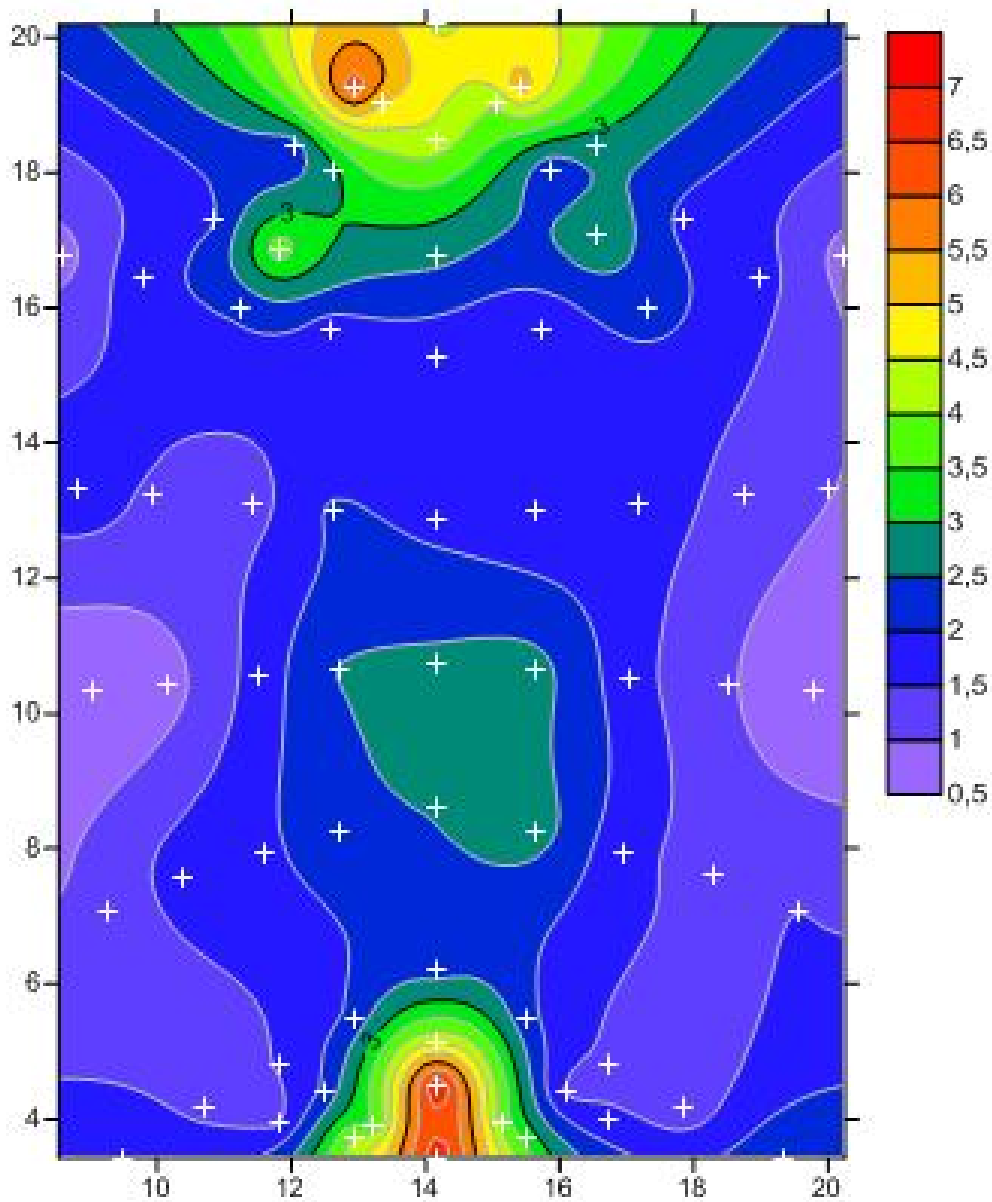


Figura 6. Mapas de distribución espacial de los valores de la **varianza** en los puntos de medida en la bóveda craneal (señalados con cruces blancas). En el eje Y y en el eje X se representan las coordenadas en el espacio de cada punto a medir; la variación en el espesor en referencia a las medidas tomadas de cada punto se ve reflejada en la escala cromática que refleja los milímetros de espesor del hueso, representado el rojo la máxima variación en espesor.

En base a los resultados previos, a la hora de analizar a la distribución espacial del espesor, los mapas obtenidos apoyaron la existencia de simetría en el espesor craneal entre puntos equivalentes a cada lado de la bóveda craneal. En el caso de los valores medios de espesor (Fig. 4), la distribución del mismo sigue un patrón claramente creciente en grosor desde las zonas más distales hacia el plano sagital, al igual que ocurre con la mediana (Fig.5). La varianza (Fig.6), aunque sigue una distribución más homogénea en su mayoría, también presenta una clara simetría.

No se reflejan los mapas referentes a los máximos y mínimos de cada punto debido a que, como ya se veía al comienzo de este apartado con cada hueso por separado, así como para el total de la bóveda craneal (Fig. 7), la distribución resulta ser muy similar a la de los mapas de la media y la mediana. Lo interesante de la representación de los valores máximos y mínimos en cada punto es que, en general, los puntos que presentan los valores mínimos más pequeños, también presentan los valores máximos menos elevados (Fig. 7). Sin embargo, para algunos puntos el rango de valores es bastante grande.

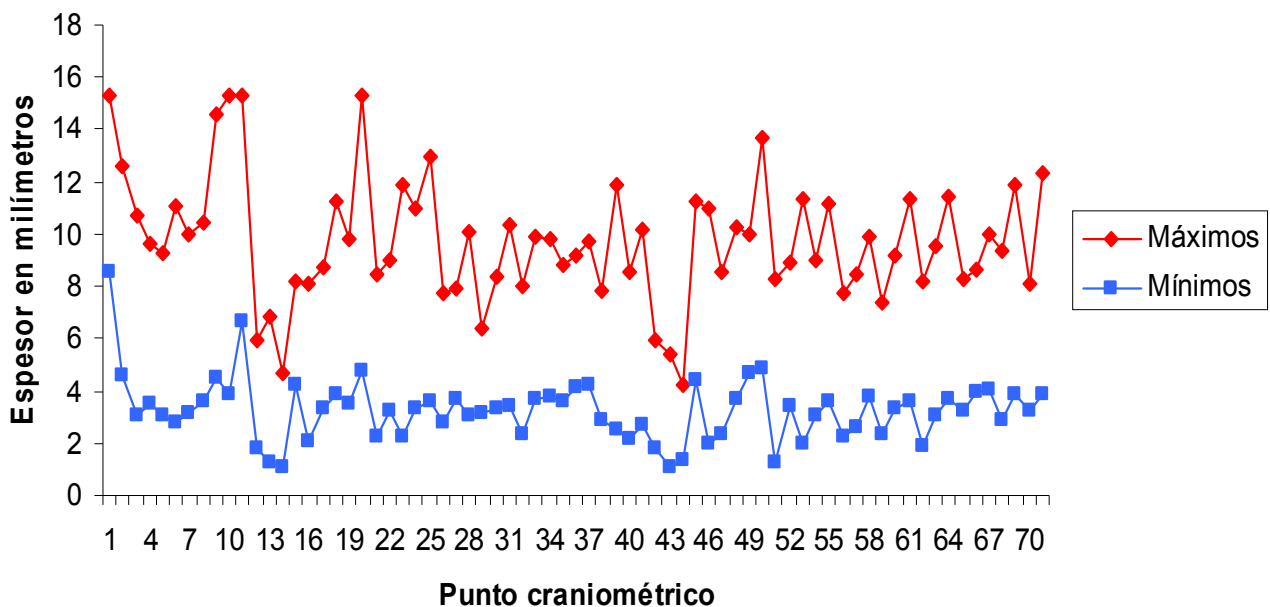


Figura 7. Gráfico de **valores máximos y mínimos** medidos en cada punto de la bóveda craneal. En el eje Y se refleja el espesor en milímetros y en el eje X cada uno los 71 puntos craneométricos medidos.

5.2 Análisis estadísticos

A la vista del volumen de datos obtenidos, es interesante plantear un análisis estadístico que nos permita comprobar si las variaciones topográficas mencionadas anteriormente entre los puntos analizados de cada hueso, y en general de la bóveda del cráneo, mantienen algún tipo de correlación entre ellas.

Para poder establecer el tipo de análisis a realizar, previamente se llevó a cabo una prueba de normalidad sobre los datos de espesor obtenidos. Los resultados de esta prueba reflejaron una distribución normal para todas las variables salvo F5, PI7, P-OI1, PT-ASD2 y PT-ASD3. Por otro lado, los análisis de correlación mostraron una correlación positiva y significativa para las todas las parejas de variables simétricas, con excepción de la pareja PT-ASI3/PTASD3 (tercer punto de las cuerdas Pterion-Asterion derecha e izquierda), donde la correlación no fue significativa.

Asimismo, para la prueba t de comparación de medias entre muestras relacionadas se observaron 12 parejas cuyas medias presentaban diferencias significativas (F2-F8, F9-F3, CI1-CD1, CI3-CD3, PI2-PD2, PD3-PI3, PD5-PI5, PD8-PI8, PTASI1-PTASD1, O1-O7, O8-O2, O10-O4) y 13 con medias significativamente iguales. Para las 5 variables que no seguían una distribución normal, emparejadas con sus respectivas parejas para comparar sus medias, se observó que en todas las parejas, excepto en el par F5-F11, no había diferencias significativas entre las medias. En total, 17 parejas de variables de un máximo de 30 no presentaban diferencias significativas entre sus medias.

6. DISCUSIÓN

En vista a los resultados obtenidos, el hueso con mayor espesor medio de la bóveda craneal es el hueso occipital, lo cual era esperable de acuerdo a la mayoría de estudios previos en torno al espesor, al menos en referencia a individuos adultos. El hecho de que el espesor medio del hueso Frontal siga de cerca al del Occipital, puede deberse a que se incluyeron puntos de medición tales como el Nasion (Roche, 1953) y otros relacionados con el Torus supraorbital, que de por sí es una zona prominente, sobre todo en individuos masculinos, ya que es uno de los rasgos craneales que presentan dimorfismo sexual (Scheuer y Black, 2000). Asimismo, aparte de ser los huesos con mayor espesor, también son huesos donde las formas del relieve exo y endocraneal suponen una mayor disparidad en los valores medidos (García Gil *et al.*, 2016), como se apreciaba en el mapa de la varianza.

Algunos estudios clásicos se han centrado sobre todo en medir el espesor en determinados puntos destacables y bien visibles como son las eminencias (puntos más sobresalientes del hueso) frontales y parietales, sobre todo en relación con la edad y el sexo (Todd, 1924; Roche, 1953; entre otros), las cuales se identifican en algunos casos con los centros de osificación de cada hueso. A partir de esto, tendría sentido pensar que el espesor variase durante la ontogenia a raíz del centro de osificación de forma centrípeta o centrífuga hacia el resto del hueso, sin embargo, los resultados obtenidos ponen de manifiesto una clara tendencia de aumento del espesor hacia el plano sagital, según algunos autores desde bien temprano en el desarrollo (Anzelmo *et al.*, 2015), no coincidiendo las eminencias con los puntos máximos o mínimos de espesor, en definitiva “puntos de partida”, de cada hueso, como se planteaba en la hipótesis de trabajo.

Desde un punto de vista ontogenético, por el contrario, aunque en el presente trabajo no se ha incluido la variable edad por razones relacionadas con la naturaleza de la muestra, dada la gran cantidad de trabajos que intentan asociarla con el espesor de la bóveda craneal, en el futuro podría resultar interesante incorporar esta variable con un número de individuos mayor, e incluso comparando individuos de distintas edades. De hecho, en el presente trabajo, aunque no sea significativo al solo tener un individuo infantil y otro juvenil, se observaron valores de espesor mucho menores para todo el conjunto de la bóveda craneal en el caso del individuo infantil, mientras que para el juvenil, los valores eran más próximos a los de un individuo adulto, aún así en ocasiones todavía menores. En relación a este tema, existen varios estudios que ponen de manifiesto que en las etapas finales de la infancia, en torno a los 6 años, ya se ha alcanzado prácticamente la totalidad del tamaño final del cráneo (Scheuer y Black, 2000; Anzelmo *et al.*, 2015), a partir de lo cual puede seguir el crecimiento en espesor, aunque a menor ritmo que en los primeros años de vida (Roche, 1953; Anzelmo *et al.*, 2015). El estudio de la histomorfología de los huesos de la bóveda craneal llevado a cabo por García Gil *et al.*, (2016), muestra claras diferencias del espesor en cada hueso y en tres individuos de distintas edades (infantil, juvenil, y adulto joven), y este espesor además presenta una compartimentalización, es decir, una distribución de áreas dentro del hueso como las áreas vascularizadas o mineralizadas, distinta, dándose la máxima proporción de componente mineralizado en el individuo juvenil, mientras que en el adulto joven predomina el área vascularizada. Por otro lado, en el estudio de formación del hueso, se sugiere un sentido antero-posterior preferentemente desde el hueso Occipital, por lo cual tendría sentido que este fuera el hueso de mayor espesor, ya que sería el primero en empezar a formarse. De hecho, el nombre del hueso Occipital viene del latín *occipio*, que significa “comenzar” (Scheuer y Black, 2000). Esto tendría una correspondencia directa con los resultados de este trabajo, si no fuera por los elevados valores de

espesor presentes en el hueso frontal, que a su vez estarían relacionados con el seno frontal, por lo que se piensa que si estos valores se eliminasen de los datos obtenidos, el sentido de crecimiento de los huesos de la bóveda craneal sería el mismo.

En relación a los estudios histomorfológicos, otros autores sugieren el estudio del espesor por capas de hueso, es decir, si los huesos denominados planos de la bóveda craneal poseen tres capas, a denominarse tabla externa, tabla interna y diploe (entre ambas), se propone el análisis de cada una de ellas y conocer cómo contribuyen al total del espesor de la bóveda craneal, ya que de esta forma podrían variar bastante los resultados (Lynnerup *et al.*, 2005).

En cuanto a la distribución espacial del espesor, como se apreciaba previamente, los huesos de forma aislada no aportan una información distinta a la visión global de la bóveda craneal. El patrón de disposición del espesor observado, donde la región lateral de la bóveda craneal es la más fina y el espesor va incrementando hacia el plano sagital, fue también descrito por otros autores como Anzelmo *et al.*, (2015). La tendencia de aumento del espesor hacia los puntos situados en el plano sagital es más que evidente, y eso hace destacar una región importante situada en esta zona que es la sutura sagital. Justamente la sutura es el lugar por donde terminan de unirse ambos lados del cráneo. Bien es cierto que las suturas de por sí son zonas interesantes de formación rápida de tejido óseo, a la par que crece el cerebro, y de convergencia de placas óseas (Morriss-Kay y Wilkie, 2005). De hecho, el cierre temprano de las suturas conlleva malformaciones (Campillo, 1994) y, por otro lado, estas están sujetas a fuerzas mecánicas, ya sean movimientos de huesos o, por ejemplo, de inserciones musculares como es el caso de la sutura coronal (Herring y Teng (2000), mencionados en Audije Gil, 2012), que modifican el dibujo de la sutura (el cual varía según el sector) (Audije Gil, 2012), lo cual atenúa la tensión que soporta el cráneo y, por esto mismo, podrían estar relacionadas con el espesor que este presenta en sus distintas zonas.

6.1 Una cuestión de simetría

El ser humano es un animal que presenta simetría bilateral, por lo que es esperable que en el caso del cráneo también la haya. No obstante, la simetría perfecta es un rasgo casi inexistente en la naturaleza.

Tras observar los resultados, se podría decir que el patrón de espesor sigue una disposición simétrica en un porcentaje algo superior al 50%, dadas las parejas de variables en las cuales la media

del espesor era significativamente igual. Sin embargo, el análisis de correlación por parejas y los resultados arrojados por los mapas de calor no dejan lugar a dudas acerca del patrón simétrico del espesor a ambos lados del cráneo. El por qué de la no significación de casi la mitad de las parejas puede deberse a motivos de variabilidad biológica, al sesgo tafonómico palpable en la muestra incompleta y al grado de precisión del instrumento de medida, entre otros factores que no hay que dejar de tener en cuenta como que se ha trabajado con una serie de poblaciones no actuales y que la antigüedad y el estado de preservación de la muestra, sumados a la variabilidad individual, poblacional e interpoblacional, también pueden ser factores que estén afectando a los datos tomados.

Sin embargo y dado que el presente trabajo hace referencia a los restos incompletos y fragmentarios, en este caso la existencia de simetría que arrojan los resultados podría aplicarse como una metodología predictiva del espesor en aquellos puntos simétricamente equivalentes y ausentes. Igualmente, tendría implicaciones a la hora de realizar estudios histomorfológicos del cráneo, pues en principio daría igual escoger un lado que otro. Por último, tendría cabida en aplicaciones clínicas.

6.2 Espesor, encéfalo y termorregulación

Aunque se habla de la influencia de varios factores de carácter ambiental sobre el espesor de la bóveda craneal como la dieta y el clima, varios autores sostienen que también intervienen en gran medida el desarrollo del cerebro (Richtsmeier, 2006) y los músculos y sistemas vasculares asociados. Como se apuntaba al principio de este apartado, según el estudio de García Gil *et al.*, (2016), el grado de compartimentalización del hueso podría estar relacionado con la edad, incrementándose la proporción de vascularización en el hueso a medida que este va creciendo, lo que puede querer decir que, a diferencia de lo que lógicamente podríamos pensar (que el crecimiento en espesor del hueso es sinónimo de un hueso más compacto y mineralizado), el crecimiento en espesor del hueso no lo es tanto en composición mineral, sino más bien en área vascularizada, lo que podría indicar una relación del espesor craneal con la termorregulación del cerebro a medida que este también va creciendo, ya que su desarrollo va a la par que el de los huesos del cráneo (Enlow y Hans, 1996).

Durante la evolución ha ido cambiando la distribución de los sistemas vasculares de la cabeza, lo cual se puede apreciar por las improntas que dejan los vasos en el hueso. Así, a medida que el cerebro aumentó en tamaño, la necesidad de disipar calor se hizo más grande (Falk, 1990). En el ser humano, llama la atención el desarrollo del sistema vascular endocraneal, sobre todo el que ocupa los huesos parietales, los denominados vasos menígeos medios, que son mucho más complejos que en

otros antepasados homínidos (Bruner *et al.*, 2011). De esta forma, si el relieve endocraneal se ve afectado por la expansión e interacción del cerebro con su armazón óseo (Neubauer, 2009), el espesor final también estará influido por esto mismo. Si a todo esto le sumamos otros factores tales como el ejercicio, la dieta, el clima, etc., nos encontramos con una amplia variedad de factores que pueden estar influyendo en el espesor final del cráneo.

Adoptando una perspectiva de futuro, se opina que, con respecto a la metodología empleada, es decir, el calibre de espesor magnético, sería conveniente aumentar la muestra de trabajo con el fin de poder establecer un error de medida del dispositivo, tras lo cual se plantearía la posibilidad de realizar otros trabajos involucrando variables como la edad y el sexo de los individuos en relación al espesor de la bóveda craneal.

7. CONCLUSIONES

- En vista de los datos obtenidos, podemos concluir que la distribución del espesor de los huesos de la bóveda craneal varía simétricamente en ambos lados del cráneo.
- Se ha observado un patrón de espesor que sigue una tendencia creciente desde los laterales de la bóveda craneal hacia el plano sagital.
- Los puntos de máximo espesor en la bóveda craneal son el Nasion y el Inion y, el de menor espesor, el punto PT-AS2, en la escama del hueso temporal.
- El espesor de cada hueso por separado varía con la misma distribución que el conjunto de la bóveda craneal.
- Se comprobó que los huesos más complicados de medir con el calibre son el hueso Occipital y el Frontal según los puntos establecidos debido a la existencia de relieves endocraneales que dificultan el paso del imán móvil.
- Dado que los puntos máximos de espesor coinciden con zonas de senos venosos, se podría decir que esto tiene una relación con la termorregulación de la cabeza.
- El establecimiento de relaciones entre el espesor y variables como el sexo o la edad pasa indefectiblemente por el aumento de la muestra de estudio.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeloye A, Kattan K R, Silverman F N. 1975. Thickness of the normal skull in the American blacks and whites. *Am J Phys Anthropol* 43 N°1: 23-30.
- Anzelmo M, Ventrice F, Barbeito-Andrés J, Pucciarelli H M, Sardi M L. 2015. Ontogenetic changes in cranial vault thickness in a modern sample of *Homo sapiens*. *Am J Hum Biol* 27: 475-485.
- Audije Gil J. 2012. El conocimiento de las poblaciones del pasado a través de los restos óseos: Estudio de suturas craneales y huesos wormianos en colecciones osteoarqueológicas. [Proyecto fin de carrera]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid.
- Baab K L, Freidline S E, Wang S L, Hanson T. 2010. Relationship of cranial robusticity to cranial form, geography and climate in *Homo sapiens*. *Am J Phys Anthropol* 147: 97-115.
- Ballabriga A. 2000. Morphological and physiological changes during growth: an update. *Eur J Clin Nutr* 54 N°3 Supplement 1: 1-6.
- Balzeau A. 2007. Variation and characteristics of the cranial vault thickness in the Kaprina and Western European Neandertals. *Period Biol* 109 N°4: 369-377.
- Balzeau A, Charlier P. 2016. What do cranial bones of LB1 tell us about *Homo floresiensis*? *J Hum Evol* 93: 12-24.
- Bieber A. 2008. A Homemade Magnetic Thickness Gauge. *Guild of American luthiers* 96: 49.
- Brenner D J, Hall E J. Computed tomography, an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 357 N°22: 2277-2284.
- Bruner E, Manzi G, Arsuaga J L. 2003. Encephalization and allometric trajectories in the genus *Homo*: evidence from the Neandertal and modern lineages. *Pnas* 100 N°26: 15335-15340.
- Bruner E, Mantini S, Musso F, de la Cuétara J M, Ripani M, Sherkat S. 2011. *Am J Hum Biol* 23: 35-43.
- Bruner E, Pišová H, Martín-Francés L, Martínón-Torres M, Arsuaga J L, Carbonell E, Bermúdez de Castro J M. 2016. A human parietal fragment from the Late Early Pleistocene Gran Dolina-TD6, Sierra de Atapuerca, Spain. *C R Palevol* 928: 1-11.
- Buikstra J E, Ubelaker D H. Standards for data collection from human skeletal remains. *Arkansas Archaeological Survey Research Series*; 1994.
- Campillo D. 1994. Los límites entre la variabilidad esquelética y la patología. *Malaltia i Cultura*: 37-51.
- Campillo D, Subirà M E. 2004. Antropología Física para Arqueólogos. *Ariel Prehistoria*: 272.

- Curnoe D. 2009. Possible causes and significance of cranial robusticity among Pleistocene-Early Holocene australians. *J Archaeol Sci* 36, 980-990.
- Elahi M M, Lessard M L, Hakim S, Watkin K, Sampalis J. 1997. Ultrasound in the assessment of cranial bone thickness. *J Craniofac Surg* 8 N°3: 213-21.
- Endo B. 1966. A biomechanical study of the human facial skeleton by means of strain-sensitive lacquer. *Okajimas Folia Anat Jpn* 42 N°4: 205-217.
- Enlow D H, Hans M G. 1996. *Essentials of Facial Growth*. W. B. Saunders Company: 305.
- Falk D. 1990. Brain evolution in *Homo*: The “radiator” theory. *Behav Brain Sci* 13: 333-381.
- García Gil O, Cambra-Moo O, Audije Gil J, Nacarino-Meneses C, Rodríguez Barbero M A, Rascón Pérez J, González Martín A. 2016. Investigating histomorphological variation in human cranial bones through ontogeny. *C R Palevol* 854: 1-9.
- Gould S C. 1996. Allometric patterns of cranial bone thickness in fossil hominids. *Am J Phys Anthropol* 100: 411-426.
- Gejvall N G. 1969. Cremations. *Science in archaeology*. 468-79.
- Gupta S. 2016. Brain food: clever eating. *Nature* 531 N° 7592: 12-13.
- Hakim S, Watkin K L, Elahi M M, Lessard L. 1997. Measurement of cranial bone thickness using A-mode ultrasound. In *Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the 19th Annual International Conference of the IEEE 1997* (2: 613-616).
- Hatipoglu H G, Ozcan H N, Hatipoglu U S, Yuksel E. 2008. Age, sex and body mass index in relation to calvarial diploe thickness and craniometric data on MRI. *Forensic Sci Int* 182 N°1: 46-51.
- Hickman C P, Roberts L S, Keen S L , Larson A, L’Anson H, Eisenhour D J. 2009. *Integrated Principles of Zoology*. 14th edition. McGraw-Hill: 883.
- Howells W W. 1973. *Cranial Variation in Man*. Peabody Museum Paper 67: 1-259.
- Kiliaridis S. 2006. The importance of masticatory muscle function in dentofacial growth. *Semin Orthod* 12 N°2: 110-119.
- Laurent C P, Jolivet E, Hodel J, Decq P, Skalli W. 2011. New method for 3D reconstruction of the human cranial vault from CT-scan data. *Med Eng Phys* 33 N°10: 1270-1275.
- Lieberman D E. 1996. How and why humans grow thin skulls: experimental evidence for systemic cortical robusticity. *Am J Phys Anthropol* 101: 217-236.
- Lieberman D E, Pearson O M, Mowbray K M. 2000. Basicranial influence on overall cranial shape. *J Hum Evol* 38: 291-315.
- Lynnerup N. 2001. Cranial thickness in relation to age, sex and general body build in a Danish forensic sample. *Forensic Sci Int* 117 N°1: 45-51.

- Lynnerup N, Astrup J G, Sejrsen B. 2005. Thickness of the human cranial diploe in relation to age, sex and general body build. *Head Face Med* 1 N°1: 1.
- Marsh H E. 2013. *Beyond thick versus thin: mapping cranial vault thickness patterns in recent Homo sapiens*. Iowa Research Online, University of Iowa. [Tesis doctoral].
- Menegaz R A, Sublett S V, Figueroa S D, Hoffman T J, Ravosa M J, Aldridge K. 2010. Evidence for the influence of diet on cranial form and robusticity. *Anat Rec* 293: 630-641.
- Milton K. 1993. Dieta y evolución de los primates. *Investig Cienc* 205: 56-63.
- Morriss-Kay G M. 2001. Derivation of the mammalian skull vault. *J Anat* 199: 143-151.
- Morriss-Kay G M, Wilkie A O. 2005. Growth of the normal skull vault and its alteration in craniosynostosis: insights from human genetics and experimental studies. *J Anat* 207 N°5: 637-653.
- Neubauer S, Gunz P, Hublin J J. 2009. The pattern of endocranial ontogenetic shape changes in humans. *J Anat* 215 N°3: 240-55.
- Noback M L, Havarti K. 2015. The contribution of subsistence to global human cranial variation. *J Hum Evol* 80: 34-50.
- Opperman L A. 2000. Cranial sutures as intermembranous bone growth sites. *Dev Dyn* 219: 472-485. 360-378.
- Opperman L A, Gakunga P T, Carlson D S. 2005. Genetic factors influencing morphogenesis and growth of sutures and synchondroses in the craniofacial complex. *Semin Orthod* 11: 199-208.
- Richtsmeier J T, Aldridge K, DeLeon V B, Panchal J, Kane A A, Marsh J L, Yan P, Cole III, T. M. 2006. Phenotypic integration of neurocranium and brain. *J Exp Zool*, 306 B: 360-378.
- Roche A F. 1953. Increase in cranial thickness during growth. *Hum Biol* 25 N°2, 81p.
- Ross A H, Jantz R L, McCormick W F. 1998. Cranial thickness in American females and males. *J Forensic Sci.* 43 N°2: 267-72.
- Scheuer L, Black S. 2000. *Developmental Juvenile Osteology*. Elsevier Academic Press: 599.
- Scheuer, L, Black, S. 2004. *The Juvenile Skeleton*. Elsevier Academic Press 494.
- Singh I. 2009. *Human Osteology*, 3rd edition. Jaypee Brothers Medical Publishers: 350.
- Todd T W. Thickness of the male white cranium. 1924. *Anat Rec* 27 N°5: 245-56.
- Toro Ibacache M V, Manriquez Soto G, Suazo Galdames I. 2010. Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *Int J Morphol* 28 N°4: 977-90
- White T D, Black M T, Folkens P. A. 2012. *Human Osteology*, 3rd edition. Academic Press, Elsevier, 689.
- White T D, Folkens P A. 2005. *The human bone manual*. Academic Press. 485.

Zhu M, Ackerman J J H, Sukstanskii A L, Yablonskiy D A. 2006. How the body controls brain temperature: the temperature shielding effect of cerebral blood flow. *J Appl Physiol* 101 N°5: 1481-1488.