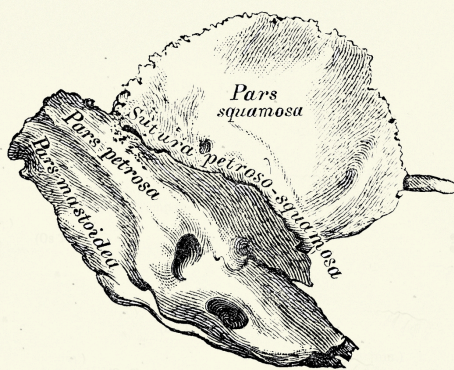
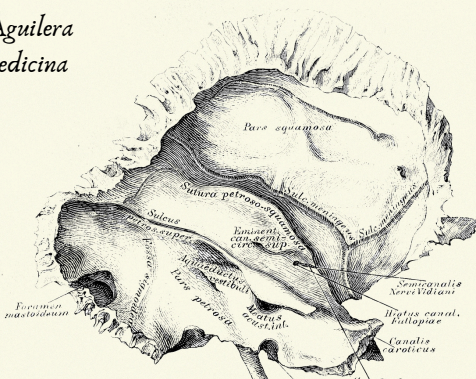




EN

TESIS DOCTORAL *Fontanella mastoid.*



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

FACULTAD DE MEDICINA

Dpto. de Medicina Legal, Toxicología y Antropología Física

Área de Antropología Física

ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN SUBADULTOS. EL DESARROLLO DEL TEMPORAL

Tesis Doctoral

Doctorando: ERIK ADRIÁN BORJA MIRANDA

Directora: DRA. INMACULADA ALEMÁN AGUILERA

Programa de Doctorado en Biomedicina

Línea de investigación:

Evolución Humana. Antropología Física y Forense

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Erik Adrián Borja Miranda
ISBN: 978-84-1195-815-8
URI: <https://hdl.handle.net/10481/104980>

AGRADECIMIENTOS

Se puede decir que es el fin de un ciclo, un fin que realmente es el inicio de uno mejor. Como una persona muy importante en su momento me dijo: “*Erik, se trata de quemar etapas, no de correr*”. Puedo decir finalmente, una menos.

Esta es la parte secreta, esta es la parte que nadie la leerá hasta su presentación, esta es la parte de Erik y solo de Erik, con sus faltas de ortografía, con sus fallos sintácticos y todo. Digo esto por que este trabajo aunque lleve mi nombre, no he sido capaz de hacerlo solo, han participado muchas personas que si no fuese por ellas, esto que os vais a leer (ya lo siento) no hubiese sido posible. Espero no dejarme a nadie en el tintero, y si estas leyendo esto, y no te he nombrado, recuerda que esto lo estoy escribiendo por la noche, y bueno, que es Erik el que lo está haciendo, y ya sabes como es.

En primer lugar, a los cimientos, ese lugar que me ha criado como antropólogo, mi segunda casa; el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada. Noté que era un lugar especial desde el primer día que entre (y no me di con el marco de la puerta) a ese sótano en la antigua Facultad de Medicina, dónde tuve mi primer contacto con la antropología gracias a las practicas de la asignatura de *Antropología Física y Forense*. Ha llovido desde ese momento, mucha gente ha pasado por ahí, pero la buena sigue, al pie del cañón, haciendo de ese lugar uno cada vez mejor, y gracias a todos ellos por transmitirme y llevarme por este camino, un cachito de esto es vuestro.

Inma Alemán, mi directora, mi tutora, mi maestra, mi amiga y espero que algún día mi compañera. Gracias por contestar ese correo y acceder a una tutoría a las cuatro de la tarde (que ya me jodería) con un Erik de 19 años que te escribió perdido por qué no sabía si matricularse o cambiar de carrera, gracias a ti me di cuenta que esto es lo que me gusta y apasiona, y que realmente se puede, solo hay que quemar etapas al fin y al cabo. Gracias por abrirme los ojos, y por enseñarme este mundo. Creo que son y serán pocas las veces que te agradezca el apoyo, la comprensión, la guía y la autonomía que me has dejado a lo largo de todos estos años. Ha sido un placer y un orgullo muy grande haber sido tu alumno y hacer esta tesis contigo, creo que no pude haber elegido una mejor directora. Gracias por enseñarme a ser el antropólogo que quiero ser.

Según los papeles de posgrado, yo tengo una Directora que es Inma, pero creo que hay una segunda persona, Javier Irurita (Javi) que ha sido un codirector de todo esto. Siento muchísimo el marrón que te cayó desde el momento que decidí que el TFM lo iba a hacer de los niños de Mallorca. Tu paciencia es infinita, tu capacidad de explicarme y de dibujar esas malditas gráficas es digna de admirar, la verdad. Gracias por reenviarme los borradores de los artículos en **ROJO**, por darme las primeras nociones de estadística que aún mantengo, y por haberme enseñado a ser un buen investigador y saber cuando descansar, y que si ese descanso se hace un viernes con una *servecita* en la mano, mucho mejor.

A mi Marga, Margarita Alcaraz, la técnica de laboratorio, creo que la persona mas bonita que he tenido la suerte de conocer, y con una buena dosis de paciencia. Esa caja de grillos que es el laboratorio no sería lo mismo sin tu libreta. Gracias por enviarme a Benjamín ese día que un inexperto Erik se enfrento a su primera bolsa de San José, que risas, ahora me río, pero desde

luego es uno de los momentos mas entrañables que tengo del laboratorio, y me alegra mucho que tu estes en el.

A Fernando Navarro:

Gracias. Fdo.: Enrique.

Ahora de verdad, gracias por dejarme trabajar contigo, esos escáneres de Viznar no serían posibles sin ti. Y por supuesto, a la posproducción del laboratorio, que si desayunos, que si callos, que si bares, que si planes.

A las profesoras Sylvia Jiménez, Rosa Maroto y Carmen García, por el buen trato y vuestra disponibilidad para resolver cualquier duda, por vuestros consejos, y por vuestra alegría.

A Miguel Botella, gracias por tus consejos y por también haber accedido a esa tutoría, y especialmente por enviarme con Inma.

Al grupo del laboratorio, que algunos no son solo compañeros, sino amigos, de esos de toda la vida, incluso desde el Máster fijate tú. A Laura Gutiérrez, Lydia Sánchez, José Muñoz, Jesús Úbeda – Portugués, Adriana Martín, Ramón López y a los ya *doctorsitos* Ángel Rubio y Manuel Partido. Con ellos he compartido y me han soportado durante todo este camino, gracias por vuestro apoyo, por esas tardes de Six Colors y Catán, por esa maldita pregunta que nadie debería hacerle nunca a un doctorando, pero que como se dice por ahí, mal de muchos consuelo de, en este caso, *doctorandos*. Quiero hacer una mención especial tanto a Manuel como a Ángel, a ambos gracias por vuestro apoyo, a Manu no solo por leerte esta tesis, darme tu opinión y corregirme, sino por estar ahí siempre, que esto no pare. A Ángel, por tus consejos y por saber desanimar con el tema de las becas, pero al mismo tiempo darte un chute de energía y de ánimos increíble, por los proyectos

futuros. En conjunto, a todos ellos, sois un referente y unos grandes profesionales, creo que la antropología está en buenas manos.

A la Dra. Susana García por permitirme acceder al Museo de Ciencia e Historia Natural de Lisboa, por enseñarme esos lugares únicos de la ciudad y por toda tu comprensión y paciencia en mi estancia. En mi aventura por Portugal, no puedo olvidarme del Dr. Álvaro Monge, por enseñarnos Coímbra, y por trabajar juntos, aunque está costando, se publicará.

A Margarita Fernández Mier y a su equipo de trabajo (LLABOR), entre ellos a Pablo López (Piri) y Santiago Rodríguez, aquel correo que parecía una broma, termino siendo mi primer contacto con la antropología y el mundo laboral. Solo os puedo decir, gracias por enseñarme a picar y palear, por enseñarme como se coje un paletín y a como se barre en la arqueología, y especialmente, gracias por darme la oportunidad de trabajar por y para vosotros, por confiar en las nuevas generaciones, y no menos importante, a saber como se escancia una buena sidra.

Al equipo de Universidad y Memoria, (Pablo Olivo, Juanfri, Francisco de Asis, Aila, Melli, Jose Ángel, Félix y Rafa), pero principalmente a Francisco Carrión (Paco) y a Daniel Quiroga (Dani) por darme la oportunidad de trabajar con vosotros, por haber confiado en un chaval de 21 años recién salido del cascarón y por todos estos años de memoria, de lucha. No sabéis como me habéis ayudado a ser el antropólogo que quiero ser. A todos ellos, se suma el equipo de Córdoba, Nuria e Isa, pero especialmente al *pisito patera*, Pablo Olivo, Rafael Roldán (Rafita) y Juanfri, por cuidarme y soportarme en la recta final.

A Inma López, a Eulalia Díaz y a Lydia Sánchez, creo que si pudiese elegir el equipo perfecto para un laboratorio y un equipo de campo de antropología, vosotras tres serías las más adecuadas. A las tres por transmitirme la pasión, el

amor y el buen hacer en el trabajo y en la vida. Una mención especial a Inma López, mi otra directora, pero del mundo laboral, sin tu guía, todo lo que se hacer en un laboratorio y en una memoria no hubiese sido posible sin tu paciencia. Muchas Gracias.

A mi círculo más íntimo, a esa familia adoptiva que aunque han tratado de convencerme con las mieles del funcionariado, han apoyado esta locura de camino con momentos antiestrés, gracias a Víctor García, David Márquez, Javier Romero y Patricia Fandila. No me quiero olvidar de mis Cristinas, a la Dra. Cristina Domingo y la Inspectora Cristina Muñoz, compañeras de calvario y de buenos momentos. A Kaja, por esas cervezas de desconexión, se acabó por fin.

A Laura Gutiérrez gracias por estar ahí desde el minuto uno, tu más que nadie sabe lo que esta maratón ha significado. Por todo el apoyo y muy especialmente tu comprensión, que ha sido fundamental para empezar y terminar esta tesis. Gracias por escucharme cuando no sabías, ni entendías esas cosas de números más, por darme un espacio de calma mental, y por haber soportado al *orático* Erik. Has sido una luz en el camino. Igualmente, y no menos importante, gracias por enseñarme a excavar, a tu paciencia cuando te tenía la tumba desorganizada, creo que he aprendido más de ti que de nadie, eres una de las mejores antropólogas que conozco y solo espero seguir compartiendo y disfrutando de todos los proyectos y logros que nos hemos propuesto.

A mis padres, Monserrath Miranda y Jorge Borja, un pilar fundamental sin ellos, sin su esfuerzo y especialmente sin su trabajo duro y sacrificio este logro realmente no hubiese sido posible. Gracias por permitirme estudiar y por dejarme hacer lo que realmente me apasiona, siempre apoyándome y dándome todas sus fuerzas para conseguir mis metas. En segundo lugar a mi

abuela, Inés Miranda, su preocupación y apoyo incondicional ha sido fundamental en todo momento. Por último, y no menos importante, a dos personas que se han convertido en familia, a Francisca Osorio, una mujer que ha significado no solo una parte fundamental de mi carrera, si no de mi vida, apoyándonos en todo momento, por lo que estaré eternamente agradecido; y a Francisco Gutiérrez, por ser un guía en los momentos más difíciles y siempre dispuesto a darme una colleja de conciencia.

¡Muchas gracias a todos!

RESUMEN

Introducción: La estimación de la edad en la elaboración del perfil biológico de restos óseos es fundamental no solo para la identificación de los individuos, sino también para comprender las características de las poblaciones del pasado. Esto adquiere una gran relevancia tanto en el ámbito forense como en el bioarqueológico. Este objetivo es particularmente crucial en el estudio de restos infantiles, donde una parte considerable del perfil dependerá, precisamente, de la estimación de la edad. Para ello, se implementará una metodología centrada en el desarrollo métrico y la madurez ósea del hueso temporal de individuos infantiles, abarcando desde los cinco meses de gestación hasta los seis años de edad.

Material: Para la elaboración de este trabajo, se han estudiado los restos óseos de la Colección Osteológica Identificada de individuos no adultos de San José (Granada), depositada en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, así como los individuos de la Colección Osteológica Infantil del Museo de Historia Natural y Ciencias Naturales de Lisboa.

Métodos: En primer lugar, se ha validado la metodología propuesta para el análisis del desarrollo métrico y la madurez ósea del hueso temporal. Posteriormente, se ha evaluado y propuesto la capacidad predictiva de modelos de regresión, eligiendo la exponencial para estimar la edad a partir del desarrollo métrico de las porciones escamosa y petrosa del temporal. En tercer lugar, se ha analizado la madurez ósea del anillo y de la placa timpánica, calculando la edad de inicio y la edad promedio en que ocurre cada fase de desarrollo. Finalmente, ambos métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles han sido validados en una población portuguesa.

Resultados: Los resultados obtenidos han evidenciado diferencias significativas entre la edad cronológica y la edad estimada por la metodología propuesta por diversos autores, invalidando su aplicación una población mediterránea, por lo que resulta necesario desarrollar una metodología específica para esta población. Se ha identificado una clara relación entre la edad cronológica del individuo y el desarrollo métrico del hueso temporal, siendo los valores más óptimos la longitud de la porción petrosa y la altura de la escama. No obstante, estos parámetros solo son aplicables en individuos no adultos de hasta 1,5 años, ya que a partir de esta edad, debido a la sinostosis

craneal, no es posible medir la longitud máxima de la porción petrosa. Se ha propuesto una metodología diferenciada por sexos y de forma combinada, lo que amplía el rango de aplicación de esta técnica. Estas ecuaciones proporcionan un coeficiente de determinación (R^2) superior a 0,80, con un error de estimación (SEE) que varía entre 30 y 61 días en el mejor de los casos. Paralelamente, en cuanto a la madurez y el desarrollo óseo de la placa timpánica, se han propuesto dos métodos distintos basados en el anillo timpánico y su desarrollo posterior. En el primer método sobre el desarrollo y la madurez ósea de la placa timpánica, se ha observado que las primeras fases ocurren en edades muy tempranas, durante el primer año de vida, alcanzando la madurez ósea incluso al cumplir un año, aunque lo más común es que se complete a partir del segundo año de vida. En el segundo método, se han identificado diferencias significativas entre la presencia y la ausencia de un anillo timpánico fusionado a la estructura del temporal, lo que constituye un marcador discriminante entre un estado de gestación y un estado postnatal del individuo. A partir de estas observaciones, también se ha calculado el punto de inflexión entre ambos estadios basándose en las medidas del hueso estudiado. Todos estos marcadores se han establecido con una probabilidad del 95%. Por otro lado, en lo que respecta al desarrollo Finalmente, al aplicar estos resultados en una población portuguesa del siglo XXI, los resultados han sido positivos, sin encontrarse diferencias significativas entre las estimaciones y las edades cronológicas de los individuos estudiados.

Conclusiones: En conjunto, los resultados obtenidos permiten concluir lo siguiente: [1] Los métodos empleados hasta ahora, basados en el desarrollo métrico y la madurez ósea del hueso temporal, tienden a sobrestimar la edad en poblaciones mediterráneas. [2] El potencial para estimar la edad a partir del desarrollo métrico del temporal en individuos no adultos es elevado, presentando un margen de error reducido. [3] En lo que respecta a la madurez ósea de la placa timpánica, existe un desarrollo acelerado durante el primer año de vida, mientras que las fases finales de desarrollo ocurren a partir de los dos años en un periodo de tiempo más amplio. [4] Se ha identificado un factor discriminante en la fusión del anillo timpánico, que permite diferenciar entre individuos en estado de gestación y aquellos en estado postnatal, lo cual se ha extrapolado al desarrollo métrico del temporal. [5] Estos métodos han sido validados en una población portuguesa con resultados positivos, lo que amplía su aplicabilidad a otras poblaciones.

ABSTRACT

Introduction: The estimation of age in biological profiling of skeletal remains is essential not only for the identification of individuals but also for understanding the characteristics of past populations. This becomes particularly significant in both forensic and bioarchaeological fields. The objective is especially crucial in the study of infant remains, where a considerable portion of the profile will depend specifically on age estimation. To achieve this, a methodology focused on the metric development and bone maturity of the temporal bone in infant individuals will be implemented, covering the period from five months of gestation to six years of age.

Materials: For the elaboration of this study, skeletal remains from the Granada Osteological Collection of Identified Infants and Young Children, housed in the Anthropology Laboratory of the University of Granada, were analysed, as well as the individuals from the Infant Osteological Collection of the Museum of Natural History and Science of Lisbon.

Methods: First of all, the proposed methodology for the analysis of the metric development and bone maturity of the temporal bone was validated. Afterwards, the predictive capacity of regression models was evaluated and proposed, with the exponential model being chosen to estimate age based on the metric development of the squamous and petrous portions of the temporal bone. Thirdly, the bone maturity of the tympanic ring and plate was analysed by, calculating the onset age and the average age at which each developmental phase occurs. Finally, both methods for estimating age in infant individuals were validated in a Portuguese population.

Results: The results obtained have shown significant differences between chronological age and the age estimated using the methodologies proposed by various authors, rendering their application invalid for a Mediterranean population. Thus, it is necessary to develop a specific methodology for this population. A clear relationship has been identified between the individual's chronological age and the metric development of the temporal bone, with the most optimal values being the length of the petrous portion and the height of the squamous portion. However, these parameters are only applicable to non-adult individuals up to 1.5 years of age, as after this age, cranial synostosis makes it impossible to measure the maximum length of the petrous portion. A sex-differentiated and combined methodology has been proposed, which

broadens the application range of this technique. These equations provide a coefficient of determination (R^2) greater than 0.80, with a standard error of estimation (SEE) ranging from 30 to 61 days in the best cases. Regarding the maturity and bone development of the tympanic plate, two distinct methods based on the tympanic ring and its subsequent development have been proposed. In the first method, concerning the development and bone maturity of the tympanic plate, it was observed that the early phases occur at very early age, within the first year of life, with bone maturity being reached as early as one year old, although it is more common for it to be completed after the second year. In the second method, significant differences were identified between the presence and absence of a tympanic ring fused to the temporal structure, which serves as a discriminating marker between a gestational and a postnatal state of the individual. From these observations, the inflection point between both stages was also calculated based on the measurements of the studied bone. All these markers were established with a 95% probability.

Moreover, when applying these results to a 21st-century Portuguese population, the outcomes were positive, with no significant differences found between the estimates and the chronological ages of the individuals studied.

Conclusions: Overall, the results allow the following conclusions to be drawn: [1] The methods previously employed, based on the metric development and bone maturity of the temporal bone, tend to overestimate age in Mediterranean populations. [2] The potential for estimating age from the metric development of the temporal bone in non-adult individuals is high, with a reduced margin of error. [3] Regarding the bone maturity of the tympanic plate, accelerated development occurs during the first year of life, while the final phases of development take place from two years onward over a more extended period. [4] A discriminating factor has been identified in the fusion of the tympanic ring, which allows differentiation between individuals in a gestational state and those in a postnatal state, a finding that has been extrapolated to the metric development of the temporal bone. [5] These methods have been validated in a Portuguese population with positive results, extending their applicability to other populations.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	i
Resumen	vii
Abstract	ix
Índice de Imágenes y Tablas	xv
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Una aproximación a la Antropología Física y Forense	3
1.2. El estudio de restos óseos infantiles. Principales diferencias.	12
1.2.1. Diferencias osteológicas.....	14
1.2.2. Diferencias metodológicas	18
1.2.3. Diferencias en la investigación	22
1.3. La Antropología Física y Forense Infantil (AFFI)	25
1.4. La estimación de la edad en la AFFI.....	29
1.4.1. El crecimiento	31
1.4.2. La estimación de la edad	34
1.4.2.1. La mineralización y erupción dental	38
1.4.2.2. La madurez ósea	39
1.4.3. La estimación de la edad en vivos.....	43
Capítulo 2. Anatomía y embriología del hueso temporal.....	47
2.1. Introducción a la osteología	49
2.2. La formación del cráneo.....	53
2.3. Anatomía del hueso temporal.....	59
2.4. Desarrollo y osificación del hueso temporal: <i>pars petrosa</i> , <i>pars squama</i> , <i>pars tympani</i> y proceso estiloides.....	65
Capítulo 3. Objetivos.....	77
Capítulo 4. Material y métodos.....	81
4.1. Material.....	83
4.1.1. La importancia de las colecciones identificadas.....	83

4.1.2. Colección osteológica de individuos no adultos identificados del Cementerio de San José de Granada (España).	86
4.1.3. Colección del Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia (MNHNC) de Lisboa (Portugal).....	90
4.2. Métodos	92
4.2.1. Valoración y selección de las variables de estudio.	92
4.2.2. Valoración de las diferencias entre sexos	97
4.2.3. Diferencias de la lateralidad	98
4.2.4. Tratamiento estadístico	99
4.2.5. Análisis de la precisión de métodos propuestos por otros autores.....	99
4.2.5.1. Análisis de diferencia de medias. Prueba de rangos de signos de Wilcoxon.....	101
4.2.5.2. Análisis del error de la estimación a través de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).....	102
4.2.6. Tratamiento estadístico de las variables continuas o métricas.	103
4.2.6.1. Análisis descriptivo.	103
4.2.6.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.....	104
4.2.6.3. Análisis de comparación de las pendientes de regresión.....	107
4.2.6.4. Análisis del error de estimación.	112
4.2.6.4.1. Análisis de validación cruzada	113
4.2.6.4.2. Error Estándar de Estimación (SEE)	115
4.2.7. Tratamiento estadístico de las variables categóricas o discretas.....	117
4.2.7.1. Análisis descriptivo.	117
4.2.7.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.....	117
4.2.7.3. Análisis de estimación de la fase de inicio. Método de Smith (1991).	119
4.2.7.4. Análisis de modelos logit/probit y regresión logística binaria (BLR).....	120
4.2.7.4.1. Modelos Logit/probit.....	120

4.2.7.4.2. Modelos de Regresión Logística Binaria (BLR)	122
4.2.7.4.3. Análisis de curva ROC	124
4.2.8. Análisis de la precisión del método en la Colección Osteológica Infantil del Museo Natural de Ciencias MNHNC (Lisboa).....	126
CAPÍTULO 5. Resultados	127
5.1. Análisis de la precisión de métodos propuestos por otros autores.....	129
5.1.1. Análisis de la metodología con variables continuas.....	130
5.1.2. Análisis de la metodología con variables categóricas	132
5.2. Tratamiento estadístico de las variables continuas o métricas.....	137
5.2.1. Análisis descriptivo.	137
5.2.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.....	140
5.2.3. Análisis de comparación de las pendientes de regresión.....	146
5.3. Tratamiento estadístico de las variables categóricas o discretas.	154
5.3.1. Análisis descriptivo.	154
5.3.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.....	157
5.3.3. Análisis de fase de inicio	158
5.4. Análisis mixto de variables categóricas y continuas.	160
5.4.1. Análisis descriptivo de las variables.....	160
5.4.2. Curva ROC/AUC.....	161
5.4.3. Análisis <i>probit</i>	163
5.5. Síntesis final	166
5.6. Validación de la metodología en la Colección osteológica MNHNC (Lisboa).....	169
5.6.1. El desarrollo métrico de la porción petrosa y escamosa.....	169
5.6.2. El desarrollo de la placa timpánica.....	174
CAPÍTULO 6. Discusión	177
6.1. La precisión de métodos propuestos por otros autores.....	179
6.1.1. Validación de los resultados de Fazekas y Kósa.	170
6.1.2. Validación de los resultados de Nagaoka.	180

6.1.3. Validación de los resultados de Weaver.	182
6.1.4. Validación de los resultados de Humphrey y Scheuer.....	184
6.1.5. Validación de los resultados de García – Mancuso <i>et al.</i>	185
6.2. Estimación de la edad con las medidas del temporal.	187
6.3. Edad de inicio asociada al desarrollo de la placa timpánica.....	194
6.4. Análisis <i>probit</i> para la estimación de la edad pre/postnatal.....	200
6.5. Comparación entre colecciones	204
6.6. Síntesis final	208
CAPÍTULO 7. Conclusions	211
CAPÍTULO 8. Bibliografía	225

ÍNDICE DE IMÁGENES Y TABLAS

Listado de imágenes

Imagen 1.1: Esqueleto anatómica. Arriba esqueleto adulto de un represaliado de la fosa del Barranco de Víznar (Granada). Abajo esqueleto de individuo infantil. Tomado de: Alemán et al. (2012).....14

Imagen 2.1: Formación del hueso endocondral. A. Las células mesenquimatosas comienzan a condensarse y se diferencian en condrocitos. B. Los condrocitos forman un modelo cartilaginoso del hueso futuro. C, D. Los vasos sanguíneos invaden el centro del modelo cartilaginoso, llevando osteoblastos (células negras) y limitan las células condrocíticas en proliferación a los extremos (epífisis) de los huesos. Los condrocitos de la parte media del hueso (diáfisis) experimentan hipertrofia y apoptosis al mineralizar la matriz circundante. Los osteoblastos se unen a ésta y depositan matrices óseas. Más tarde, a medida que los vasos sanguíneos invaden las epífisis, aparecen los centros de osificación secundarios. La proliferación de los condrocitos en las placas de crecimiento mantiene el crecimiento de los huesos. Tomado de: Sadler, T., (2012).....51

Imagen 2.2: Estructuras óseas de la cabeza y la cara. Derivados del mesénquima de cresta neural (azul), mesodermo paraxial –somitas y somitómeros– (rojo) y placa de mesodermo lateral (amarillo). Tomado de: Sadler, T., (2012)..... 54

Imagen 2.3: Huesos del cráneo en un feto de 3 meses que muestran la expansión de las espículas óseas desde los centros de osificación primarios en los huesos planos del cráneo. Extraído de: Sadler, T., (2012). 56

Imagen 2.4: Vista dorsal del condrocráneo, o base del cráneo, en un adulto que muestra los huesos formados por osificación endocondral. Los huesos que se forman en la parte rostral respecto a la mitad rostral de la silla turca se originan a partir de la cresta neural y constituyen el cráneo precordial (frente a la notocorda) (azul). Los huesos que se forman en la parte posterior de esta marca anatómica se originan en el mesodermo paraxial (condrocráneo cordal) (rojo). Tomado de: Sadler, T., (2012).....57

Imagen 2.5: Vista lateral de la cabeza y de la región del cuello de un feto algo mayor, que muestra los derivados de los cartílagos del arco que participan en la formación de los huesos de la cara. Tomado de: Sadler, T., (2012) 59

Imagen 2.6: Hueso temporal en amarillo claro, porción escamosa; en amarillo porción timpánica y en amarillo más oscuro, la porción petrosa. a) vista lateral. b) vista inferior. Extraído de: Latarjet, M., & Liard, A. R. (2019)....61

Imagen 2.7: Desarrollo osteológico de las tres partes del hueso temporal en vista lateral, de izquierda a derecha: 5 meses de gestación, 8 meses de gestación, nacimiento y seis meses postnatales. Tomado de: Cunningham, et al. (2016).	68
Imagen 2.8: Osificación de la pars petrosa: a) mitad de la vida fetal. b) sobre los 7 meses de gestación. c) a termino de la vida gestacional. Vista medial en el lado izquierdo y vista lateral en el derecho. Tomado de: Cunningham, et al. (2016).	70
Imagen 2.9: Osificación de la pars squama a mitad de vida fetal. A la derecha vista medial y a la izquierda vista lateral. Tomado de: Cunningham, et al. (2016).	72
Imagen 2.10: Osificación de la pars tympani a mitad de vida fetal. A la derecha vista medial y a la izquierda vista lateral. Extraído de: Cunningham, et al. (2016).	74
Imagen 4.1: Mapa de las colecciones identificadas. Abajo a la izquierda, recorte del mapa solo en Europa. Leyenda: En morado, colecciones identificadas modernas; en verde, colecciones identificadas contemporáneas; en naranja, colecciones de estatus temporal incierto. Tomado de: The Map of Identified Osteological Collections. Forensic Anthropology Society of Europe (FASE). https://www.google.com/maps/d/edit?mid=162_EIRDZuDCJfM10jCkPpRSFPSw&ll=31.412645801177902%2C0&z=2 .	85
Imagen 4.2: Localización de las medidas. Anchura de la porción escamosa (WS). Altura de la porción escamosa (HS). Longitud de la porción escamosa (LS). Longitud de la porción petrosa (LP). Anchura de la porción petrosa (WP).	94
Imagen 4.3: Evolución de la fusión del anillo timpánico a las porciones escamosa y petrosa.	96
Imagen 4.4: Fases de desarrollo de la placa timpánica. a) Anillo timpánico como elemento óseo independiente de las porciones petrosa y escamosa (Fase 1); b) Anillo timpánico fusionado a la porción escamosa, pero no a la porción petrosa (Fase 1); c) Anillo timpánico con bordes suaves y fusionado al hueso temporal (Fase 2); d) Presencia de irregularidades en los bordes del anillo (Fase 3); e) El desarrollo de los tubérculos anteriores y posteriores es significativo, aunque sin fusionarse (Fase 4); f) Presencia de formen de Huschke en la placa timpánica (Fase 5); g) Placa timpánica completamente desarrollada (Fase 6).	97
Imagen 4.5: Ejemplo de línea de concordancia casi perfecta (1) y línea de concordancia nula (2). Tomado de: Lin, L. (1989).	106

Imagen 4.6: Representación del ajuste por mínimos cuadrados del modelo de regresión lineal. Extraído de: Lucy, D. (2013).	109
Imagen 4.7: Representación de los modelos de regresión lineal, exponencial neperiana y logarítmica. En azul regresión exponencial, en rojo regresión logarítmica y en verde, regresión lineal.	111
Imagen 4.8: Curvas de frecuencia acumulada de los modelos probit/logit. (a – b) un modelo predictivo positivo de individuos jóvenes, alrededor de los 30 años, y otra para más mayores, alrededor de los 60 años. (c) una combinación de los anteriores. Tomado de: Getz, S. M. (2020).	122
Imagen 4.9: Ejemplo de Curva ROC. Extraído de: Cerda, J., & Cifuentes, L. (2012).	125
Imagen 5.1: Gráficas del análisis de precisión de los métodos de Fazekas y Kósa y Nagaoka en población Mediterránea.	132
Imagen 5.2: Gráficas del análisis de precisión del método de Weaver en población Mediterránea.	135
Imagen 5.3 Gráficas del análisis de precisión del método de Humphrey y Scheuer en población Mediterránea.	136
Imagen 5.4: Gráficas del análisis de precisión del método de García - Mancuso et al. en población Mediterránea.	137
Imagen 5.5: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la anchura de la escama.	141
Imagen 5.6: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la anchura de la escama.	142
Imagen 5.7: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la altura de la escama.	142
Imagen 5.8: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la altura de la escama.	143
Imagen 5.9: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la longitud de la escama.	143
Imagen 5.10: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la longitud de la escama.	144
Imagen 5.11: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la longitud de la petrosa.	144

Imagen 5.12: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la longitud de la petrosa.	145
Imagen 5.13: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la anchura de la petrosa.	145
Imagen 5.14: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la anchura de la petrosa.	146
Imagen 5.15: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la anchura de la escama.	148
Imagen 5.16: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la altura de la escama.	148
Imagen 5.17: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la longitud de la petrosa.	149
Imagen 5.18: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la anchura de la petrosa.	149
Imagen 5.19: Modelo de regresión exponencial aplicado a la anchura de la escama para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.	152
Imagen 5.20: Modelo de regresión exponencial aplicado a la altura de la escama para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.	153
Imagen 5.21: Modelo de regresión exponencial aplicado a la longitud de la petrosa para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.	153
Imagen 5.22: Modelo de regresión exponencial aplicado a la anchura de la petrosa para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.	154
Imagen 5.23: Gráfica de cajas de cada fase de desarrollo del anillo timpánico en la colección de San José de Granada.	156
Imagen 5.24: Análisis de curva ROC de las variables métricas para individuos fetales y postnatales.	162
Imagen 5.25: Análisis de curva ROC de la fusión del anillo timpánico para individuos fetales y postnatales.	163

Imagen 5.26: Curva logística para la discriminación entre individuos en edad gestacional y edad postnatal a partir de la anchura de la escama (WS).	165
Imagen 5.27: Curva logística para la discriminación entre individuos en edad gestacional y edad postnatal a partir de la longitud de la petrosa (LP).	165
Imagen 5.28: Curva logística para la discriminación entre individuos en edad gestacional y edad postnatal a partir de la fusión del anillo timpánico.	166
Imagen 5.29: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada la variable longitud de la petrosa (LP).	170
Imagen 5.30: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada la variable anchura de la escama (WS).	171
Imagen 5.31: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada la variable altura de la escama (HS).	171
Imagen 5.32: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada sobre todas las variables (HS, WS y LP).	172
Imagen 5.33: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada la variable (LP).	172
Imagen 5.34: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada la variable (WS).	173
Imagen 5.35: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada la variable (HS).	173
Imagen 5.36: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada sobre todas las variables (HS, WS y LP).	174
Imagen 5.37: Diagrama de cajas de la validación de las fases de desarrollo de la placa timpánica en una población portuguesa diferenciada por sexos.	175
Imagen 5.38: Diagrama de cajas de la validación de las fases de desarrollo de la placa timpánica en una población portuguesa no diferenciada por sexos. ...	176

Imagen 6.1: Comparación de medias entre la edad estimada con los métodos de Fazekas y Kósa (1978) con la edad cronológica de la población de Granada.....	180
Imagen 6.2: Comparación de medias entre la edad estimada con los métodos de Nagaoka et al. (2012; 2015) con la edad cronológica de la población de Granada.	182
Imagen 6.3: Diferencia entre las medias de las edades estimadas por los estudios de Weaver (1979) en comparación con la edad cronológica de la población de Granada.....	184
Imagen 6.4: Diferencia entre las medias de las edades estimadas por los estudios de Humphrey & Scheuer (2006) en comparación con la edad cronológica de la población de Granada.	185
Imagen 6.5: Diferencia entre las medias de las edades estimadas por los estudios de García – Mancuso et al. (2015) en comparación con la edad cronológica de la población de Granada.	187

Listado de tablas

Tabla 2.1: Osificación de la porción petromastoidea del hueso temporal durante el estado embrionario.....	69
Tabla 2.2: Osificación de la porción escamosa del hueso temporal durante el estado embrionario.....	71
Tabla 2.3: Osificación de la porción timpánica del hueso temporal durante el estado embrionario.....	73
Tabla 4.1: Distribución por edad y sexo de la Colección osteológica de individuos infantiles de San José (Granada).	88
Tabla 4.2: Distribución de la muestra final de estudio sobre la Colección osteológica de individuos infantiles de San José (Granada).	90
Tabla 4.3: Distribución de la muestra de estudio sobre la Colección osteológica de individuos no adultos de la Colección osteológica del MNHNC (Lisboa).....	91
Tabla 4.4: Interpretación del Coeficiente de Correlación de Concordancia de Linn.	107
Tabla 4.5: Interpretación de coeficiente Kappa de Cohen según Ferrante y Cameriere (2009).	118
Tabla 5.1: Prueba de normalidad de las variables de estudio para la validación de metodología.....	129
Tabla 5.2: Análisis de la precisión de as medidas de las porción escamosa y petrosa del temporal.	131
Tabla 5.3: Comparación de la metodología de Weaver en población Mediterránea.	134
Tabla 5.4: Comparación de la metodología de Humphrey & Scheuer en población Mediterránea.....	135
Tabla 5.5: Comparación de la metodología de García - Mancuso et al. en población Mediterránea.....	136
Tabla 5.6: Análisis descriptivo de las variables continuas en función de la edad de la muestra.	138

Tabla 5.7: Significación del test de normalidad y nivel de correlación de las variables continuas.....	139
Tabla 5.8: Nivel de significancia del test de Wilcoxon para analizar las diferencias entre el crecimiento del lado derecho e izquierdo de las medidas del temporal.....	140
Tabla 5.9: Análisis de la correlación de concordancia de Lin del ancho de la escama (WS), altura de la escama (HS), longitud de la escama (LS), longitud de la petrosa (LP) y anchura de la petrosa (WP) para el error intra e interobservador.....	141
Tabla 5.10: Análisis de regresión. Comparativa de modelos.....	147
Tabla 5.11: Estadísticos descriptivos de la muestra de estudio para la estimación de la edad en individuos desde los 5 meses de gestación hasta los 1,5 años.	150
Tabla 5.12: Análisis de regresión exponencial para las medidas de la porción escamosa y petrosa en individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.	151
Tabla 5.13: Análisis descriptivo de las fases de desarrollo del anillo y de la placa timpánica.	155
Tabla 5.14: Nivel de significancia del test de normalidad y grado de correlación de las variables categóricas.	156
Tabla 5.15: Test de Wilcoxon para analizar las diferencias entre el crecimiento del lado derecho e izquierdo del anillo y de la placa timpánica.....	157
Tabla 5.16: Coeficiente kappa ponderada de Cohen (k). Análisis de la reproducibilidad y repetibilidad.	157
Tabla 5.17: Fase de inicio del anillo timpánico en la colección identificada de Granada (España).	158
Tabla 5.18: Análisis descriptivo de la fusión del anillo timpánico al hueso temporal en individuos fetales y postnatales en días.....	161
Tabla 5.19: Análisis descriptivo de las medidas del temporal en milímetros (mm), para individuos en edad gestacional y postnatal.	161
Tabla 5.20: Valores de Curva ROC para las variables de estudio.	162
Tabla 5.21: Valores de la ecuación probit para las variables anchura de la escama, longitud de la petrosa y fusión del anillo timpánico.....	164

Tabla 5.22: Valores de sensibilidad y especificidad de cada punto de corte proporcionado por la ecuación probit para la longitud de la petrosa, anchura de la escama y fusión del anillo timpánico.	164
Tabla 5.23: Resumen de las ecuaciones presentadas y recomendadas para la estimación de la edad a partir del desarrollo métrico de la porción petrosa y escamosa del hueso temporal en una población mediterránea identificada.....	167
Tabla 5.24: Síntesis de la metodología para la estimación de la edad en infantiles a partir de la maduración ósea del anillo y de la placa timpánica del hueso temporal en una población mediterránea identificada.	168
Tabla 5.25: Tabla resumen de la metodología para la discriminación entre individuos prenatales y postnatales a partir del desarrollo métrico y madurez ósea del hueso temporal en una población mediterránea identificada.	168
Tabla 5.26: Test de normalidad de las variables continuas.....	169
Tabla 5.27: Análisis de la precisión de para las medidas de las porción escamosa y petrosa del temporal.....	170
Tabla 5.28: Test de normalidad de las variables continuas.....	174
Tabla 5.29: Análisis de la precisión de para la edad estimada.....	175



CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Una aproximación a la Antropología Física y Forense

La Antropología, según la Real Academia Española (RAE), es aquel conjunto de ciencias que estudian los aspectos biológicos, culturales y sociales del ser humano. Esta disciplina, a partir de la década de 1950, se percató de la significativa variabilidad presente en la especie humana y de la imperiosa necesidad de desarrollar técnicas más refinadas para la determinación biológica individual (Rissech, 2008). En la década siguiente, el libro *The Human Skeleton in Forensic Medicine* (Krogman, 1962) marcó un hito en la evolución de esta disciplina, siendo el primero en estar dedicado exclusivamente a la antropología forense. Este autor proporciona la primera definición de la antropología en el campo de las ciencias forenses como la reconstrucción de la biografía biológica *antemortem* del individuo, lo que implica no solo la determinación de la identidad del individuo, sino también el intento de reconstruir la forma de vida de la víctima hasta el momento de la muerte a través del esqueleto (Krogman, 1962). Este enfoque integral, por lo tanto representa el objetivo general del trabajo del antropólogo/a en este contexto.

Con este objetivo, la presencia de restos óseos plantea la necesidad imperante de su identificación. Esta tarea recae en manos del profesional de la antropología, cuyo cometido principal consiste en discernir la

naturaleza y la identidad de dichos restos. El antropólogo/a se enfrenta a la crucial pregunta de determinar si los fragmentos o grupos de restos esqueletizados corresponden a la especie humana y, en caso necesario, a qué individuo pertenecen. Una vez establecido el grupo de pertenencia, el antropólogo se encuentra ante una serie de interrogantes, siendo las principales las siguientes:

- ¿Quién es el individuo?
- ¿Cuántos individuos hay?
- ¿Cuál es la etiología médico – legal de la muerte? ¿Es natural o violenta?
- ¿Es posible reconstruir los hechos que rodearon la muerte?

La elaboración del perfil biológico del individuo responde a los interrogantes planteados, ya que mediante el análisis de la variabilidad del esqueleto humano y los métodos derivados de esta premisa, el antropólogo/a es capaz de estimar el sexo, la edad, la estatura y la ascendencia, parámetros cruciales para la identificación del individuo. Sin embargo, es importante señalar que la estimación de la ascendencia ha sido objeto de controversia, pues algunos autores, como por ejemplo, Adams y Pilloud (2021) han cuestionado cómo la diferenciación de los rasgos esqueléticos, dentales, genéticos y paleoantropológicos, que a menudo han sido utilizados en la antropología forense para la estimación de la ancestralidad, han sido utilizados para legitimar el concepto de raza biológica, lo cual obliga a los investigadores y profesionales de la antropología forense a cuestionar las implicaciones éticas y legales de sus investigaciones y resultados. Además, la metodología empleada para su estimación sigue generando cierta confusión en cuanto a su propósito e interpretación, como señalan Cunha y Ubelaker (2020).

Por lo tanto, la Antropología Física se erige como una rama de la ciencia antropológica y biológica cuyo propósito radica en reconstruir el perfil biológico del individuo, aprovechando la variabilidad y evolución observada en poblaciones humanas, tanto del pasado como del presente. Así mismo, es crucial subrayar que este conocimiento no solo tiene relevancia teórica, sino que también tiene aplicaciones prácticas en ámbitos judiciales, puesto que a través del minucioso examen de los restos óseos y de la patología asociada, es posible reconstruir los eventos que tuvieron lugar en el momento de la muerte, lo que tiene implicaciones significativas en términos de valoración médico-legal. Por lo tanto, la aplicabilidad forense de la Antropología Física es innegable, pues ofrece herramientas fundamentales para la reconstrucción de hechos y circunstancias en contextos forenses, que se detallarán más adelante.

En un afán de significar lo que implica la antropología forense, el Grupo de Trabajo Científico de Antropología Forense (*Scientific Working Group for Forensic Anthropology* – SWGANTh) definió en 2015 la Antropología Forense como: "*aplicación de métodos y teorías antropológicos [físicos], en particular los relacionados con la recuperación y el análisis de restos humanos, para resolver cuestiones jurídicas*". Además, otras asociaciones, como la *American Board of Forensic Anthropology* (ABFA), la *Sociedad Europea de Antropología Forense* (FASE) y la *Asociación Británica de Antropología Forense* (BAFA) coinciden en la importancia de la aplicación de esta ciencia al proceso legal, definiendo por lo tanto la naturaleza médico – legal de los restos óseos humanos analizados.

La evolución de la metodología antropológica ha estado estrechamente ligada a la disponibilidad de material y muestras adecuadas. Como se ha visto con anterioridad, hasta la década de 1960, no se había consolidado un

libro formal sobre metodología antropológica debido a esta limitación. Sin embargo, en el ámbito específico de la antropología infantil, un hito significativo se alcanzó a finales de la década de 1970 con la publicación de *Forensic Fetal Osteology* por Fazekas y Kósa (1978), el cual abordó de manera exhaustiva el desarrollo y crecimiento de individuos infantiles, utilizando material osteológico específico y datos documentados de origen europeo. Estos investigadores proporcionaron una serie de métodos para estimar la edad en restos óseos fetales, marcando así un avance crucial en este campo.

En las décadas siguientes, los estudios continuaron progresando. Hacia finales de la década de 1990, los académicos Pfau y Sciullu (1994) en América del Norte propusieron fórmulas basadas en el crecimiento longitudinal de la diáfisis de radio, cúbito, tibia y peroné en individuos postnatales. Estas formulaciones ampliaron las posibilidades de estimar la edad en restos óseos, especialmente en individuos no adultos.

Finalmente, a principios del siglo XXI, Scheuer y Black (2000) llevaron a cabo un esfuerzo pionero al publicar *Developmental Juvenile Osteology*, un libro que se dedicaba exclusivamente al análisis de los cambios esqueléticos durante el desarrollo de individuos no adultos, el cual consta ya con una segunda edición (Cunningham et al., 2016) y varias versiones en forma de manual (Scheuer & Black, 2004; Schaefer et al., 2009). Esta primera obra no solo consolidó las investigaciones anteriores, sino que también proporcionó una aplicación práctica en los campos de la antropología física y forense. Este progreso continuo en la metodología antropológica, especialmente en el estudio del desarrollo esquelético en individuos no adultos, ha permitido avances significativos en la identificación de estos individuos en contextos forenses y antropológicos.

Como se ha destacado, la identificación precisa del esqueleto y sus componentes reviste una importancia crítica para su reconocimiento. Precisamente uno de los objetivos centrales en este proceso es estimar la edad de los individuos, ya que esto permite hacer distinciones fundamentales entre adultos y no adultos. Además, facilita la clasificación en categorías más específicas, tales como infantiles o juveniles, e incluso permite discernir entre adultos jóvenes y personas de edad avanzada o seniles.

Históricamente, la obtención de datos precisos sobre indicadores de edad ha sido un desafío en la Antropología Física, no siendo hasta después de la Primera Guerra Mundial la información detallada sobre la edad era limitada (Rissech, 2008). El desarrollo de la sínfisis púbica (Todd, 1920) y la sinostosis de las suturas craneales (Vallois, 1937) han marcado el rumbo de la estimación de la edad en adultos. En paralelo, en el ámbito de los individuos no adultos, durante la década de 1920, los investigadores franceses Balthazard y Dervieux (1921) realizaron un estudio pionero sobre el desarrollo fetal en Francia, mientras que en Estados Unidos, Todd y D'Errico (1928) investigaron la fusión de las epífisis esternales de las clavículas en esqueletos de salas de disección, resultando fundamental para comprender el proceso de crecimiento. Rudolph Kronfeld (1935) realizó estudios sobre la mineralización de la dentición decidua y permanente, a partir de datos histológicos y radiográficos. Aunque no es hasta una década más tarde, cuando Schour y Massler (1941) desarrollaron un atlas de dentición utilizando la colección osteológica infantil de la cripta de Spitalfields en Inglaterra. Esta publicación desarrolla un atlas que se convirtió en una herramienta esencial para estimar la edad en restos no adultos, consolidando conocimientos y permitiendo avances significativos en la Antropología Física. Estos estudios representaron hitos importantes al

proporcionar bases sólidas para la estimación de la edad en restos humanos no adultos, contribuyendo significativamente al desarrollo de esta área de investigación. Mientras tanto, en territorio nacional, han sido fundamentales los trabajos realizados por Carme Rissech (2003, 2008, 2013; Rissech & Black, 2007) centrados en el desarrollo postnatal, y Javier Irurita (Irurita, 2014; Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017), pionero en el desarrollo de metodología tanto en individuos prenatales como postnatales, realizada sobre población mediterránea identificada a través de las medidas de los coxales, base del cráneo, así como en la erupción y mineralización dental.

Considerando los estudios fundamentales en la estimación de la edad a través de restos óseos, se puede concluir que dicha estimación se fundamenta en la evaluación de la madurez ósea, el desarrollo y la erupción dental en individuos no adultos, mientras que en el caso de individuos adultos, el enfoque se orienta hacia los procesos degenerativos de ciertos componentes, especialmente en articulaciones como el pubis. Estos criterios son esenciales en la práctica de la Antropología Física y Forense para estimar la edad de los individuos a partir de sus restos esqueléticos.

Es precisamente debido a la evaluación de la madurez ósea y dental que la estimación de la edad en individuos no adultos se presenta como un procedimiento relativamente más sencillo en comparación con la estimación de la edad en adultos, aunque la precisión disminuye de forma proporcional al aumento de la edad, principalmente debido a la disminución de los cambios físicos.

Además, las diferencias substanciales entre adultos y no adultos con respecto a estos criterios son lo que determina la necesidad de metodologías diferentes y específicas para cada grupo de edad, tanto en su desarrollo

como en su aplicación, aunque para obtener estimaciones precisas de la edad, es recomendable utilizar varios métodos que evalúen distintos indicadores biológicos, tales como la calcificación dental, la maduración esquelética y el ritmo del crecimiento (Rissech et al., 2008). Sin embargo, en ocasiones, los antropólogos emplean publicaciones y datos que no son adecuados para la estimación de la edad en este grupo etario, ya sea debido a problemas de muestreo, parámetros estadísticos inadecuados o incluso por la naturaleza insuficiente de los datos disponibles (Corron et al., 2018).

No obstante, es necesario distinguir entre dos conceptos cruciales en la estimación de la edad: la edad cronológica y la edad biológica. Mientras que la primera se refiere a la edad registrada en la documentación del individuo, es decir, el número de años que ha vivido cada persona, la edad biológica hace alusión al nivel de madurez y envejecimiento fisiológico del individuo, comprendido desde una perspectiva biológica. Es importante señalar que la edad biológica y la edad cronológica no siempre coinciden, ya que en numerosas ocasiones el grado de madurez puede verse influenciado por el entorno en el cual el individuo crece y se desarrolla. Este entorno puede impactar positiva o negativamente en dicho proceso, lo que conlleva a una falta de correspondencia entre la edad biológica y la cronológica. Es por eso que al hablar de calcular la edad de un individuo, se utiliza el término *estimación* en lugar de *determinación* de la edad. Este enfoque se debe a que la estimación se realiza a través de rangos etarios específicos, y cada técnica utilizada tiene sus propios rangos predefinidos, siempre con rangos de error asociados. De esta manera, al emplear diversas metodologías que evalúan diferentes indicadores biológicos como la mineralización y erupción dental y la maduración esquelética, los antropólogos pueden estimar la edad del individuo dentro de los límites de estos rangos, lo que asegura una

aproximación precisa a la edad del individuo en estudio, es decir, a la edad cronológica.

Por lo tanto, es necesario clasificar en grupos o rangos etarios a los individuos. En la actualidad, la terminología utilizada para describir las etapas de la vida varía significativamente, tanto entre países como entre distintas disciplinas como la Pediatría, la Auxología y la Biología evolutiva y esquelética (Cunningham et al., 2016).

A lo largo de la historia se ha establecido distintas formas de categorizar las etapas de la vida humana; Aristóteles, por ejemplo, identificó tres fases principales: crecimiento, perfección y declive, y, Shakespeare, describió siete fases que comprendían la infancia, niñez, pubertad, juventud, madurez, vejez y decrepitud (Cunningham et al., 2016). Es importante recalcar que estas diferencias a grandes rasgos se han mantenido en las clasificaciones propuestas actualmente.

A continuación, se presentan las definiciones aceptadas empleadas por los pediatras para los periodos que abarcan desde el nacimiento hasta los años de la infancia (Cunningham et al., 2016):

Pediátrico

- Prenatal: Individuos hasta el nacimiento, desde la última menstruación hasta los 280 días, 40 semanas, 10 meses lunares, o desde la fertilización serían 266 días o 9,5 meses lunares.
- Embrión: Desde las primeras 8 semanas (2 meses lunares) de vida intrauterina.
- Feto: desde la novena semana hasta el nacimiento.

- Trimestre: espacio temporal de 3 meses de un periodo normal de gestación, entendiéndose como 3 trimestres totales de gestación.
- Pretérmino: Antes de las 37 semanas de gestación o entre los 259 – 293 días.
- A término: Entre las 37 y 42 semanas de gestación o entre los 259 – 293 días.
- Postérmino: Superior a las 42 semanas o 294 días de gestación.
- Mortinato: Se entiende a aquel infante que nace fuera del periodo gestacional de 24 semanas que no muestra signos de vida.
- Perinatal: Tiempo en que el individuo se encuentra alrededor del nacimiento entre las 24 semanas de gestación hasta los 7 días de vida postnatal.
- Neonato: Desde el nacimiento hasta los 28 primeros días de vida.
- Infante: Desde el nacimiento hasta el primer año de vida.
- Niñez/Infancia: Desde el primer año de vida hasta la pubertad o adolescencia.

El tramo etario que más conflicto supone a la hora de realizar las clasificaciones es el de la pubertad, que supone el inicio del segundo cambio sexual, generalmente entre los 10 – 14 años en individuos femeninos y los 12 – 16 años en individuos masculinos. Desde el punto de vista osteológico, este tramo ha sido siempre vinculado a la sinostosis de la sutura esfenobasilar, aunque ciertos estudios describen dicha fusión en periodos más tardíos, por lo que su vinculación quedaría eliminada (Cunningham et al., 2016). La forma más común de diferenciar a los individuos es la proporcionada por Thillaud (1996), que divide a los individuos en los siguiente rangos:

- Prenatal (antes del nacimiento)

- Infantil I (0-6 años)
- Infantil II (7-12 años)
- Juvenil (13-20 años)
- Adulto joven (21-40 años)
- Adulto maduro (41-60 años)
- Adulto senil (+60 años)
- Indeterminada (infantil o adulto)

1.2. El estudio de restos óseos infantiles. Principales diferencias.

Las notables diferencias entre los esqueletos de individuos adultos y no adultos requieren la implementación de metodologías específicas adaptadas a cada grupo de edad. Estas discrepancias se hacen evidentes en cinco áreas fundamentales: el ámbito osteológico, las metodologías empleadas, la naturaleza del tejido óseo, las alteraciones óseas y su interpretación, así como el propósito mismo de la investigación forense (Irurita, 2014). Sin embargo, es crucial destacar que la naturaleza del tejido óseo ejerce una influencia directa sobre las alteraciones, ya sean de origen tafonómico o patológico, lo que justifica su inclusión en el ámbito osteológico. En este sentido, se puede argumentar que estas disparidades pueden agruparse principalmente en tres categorías esenciales: las diferencias osteológicas, las variaciones metodológicas y las particularidades de la investigación.

Al considerar las diferencias osteológicas entre adultos y no adultos, es fundamental reconocer las disparidades en la morfología y estructura ósea que surgen durante el proceso de desarrollo (**Imagen 1.1**). Los huesos de los individuos no adultos presentan características distintivas, como el

crecimiento constante de la estructura ósea y la presencia de suturas y metáfisis no fusionadas. Estas particularidades anatómicas requieren enfoques metodológicos específicos para su correcta identificación y análisis. Por el contrario, en el caso de los adultos, la presencia de suturas obliteradas y epífisis fusionadas es en si una característica propia de los mismos, así como un estado maduro completo, de las piezas óseas, lo que implica un conjunto diferente de características osteológicas. Igualmente, la naturaleza del tejido óseo juega un papel de gran relevancia en las alteraciones que pueden ocurrir, ya sea por procesos tafonómicos, como la erosión y las condiciones del sedimento, o por condiciones patológicas, como enfermedades óseas y lesiones traumáticas. Comprender cómo estas alteraciones afectan el tejido óseo en diferentes etapas del desarrollo es esencial para una interpretación precisa.

En términos de metodología, las técnicas aplicadas en el estudio de esqueletos adultos difieren significativamente de las utilizadas en esqueletos inmaduros. La toma de medidas, la observación microscópica, el análisis radiográfico, etc., difieren en gran medida en esqueletos infantiles con las tomadas en adultos. Sin embargo, la aplicación de estas técnicas debe adaptarse cuidadosamente para tener en cuenta las peculiaridades de los huesos en desarrollo y los cambios morfológicos que se producen con el tiempo.

La investigación forense, por tanto, se ve influenciada no solo por estas variaciones, sino por el objetivo a buscar en el enfoque forense, el cual dependerá muchas veces del aspecto legal tanto del acusado como de la víctima.

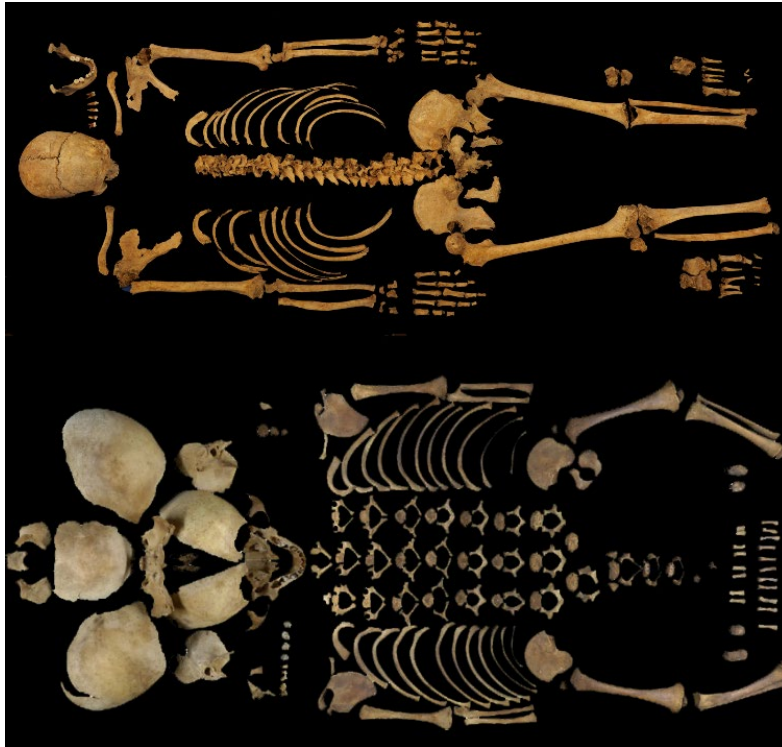


Imagen 1.1: Esqueleto anatómica . Arriba esqueleto adulto de un represaliado de la fosa del Barranco de Víznar (Granada). Abajo esqueleto de individuo infantil. Tomado de: Alemán et al. (2012).

1.2.1. Diferencias osteológicas

Las diferencias osteológicas en los esqueletos inmaduros se manifiestan en varios aspectos fundamentales, incluyendo la morfología, el tamaño, el tejido óseo y el número de huesos. Estas disparidades son el resultado directo de los procesos de crecimiento y madurez esquelética, que distinguen claramente a los esqueletos inmaduros de sus contrapartes adultas.

1.2.1.1. Morfología

En relación con la morfología, los esqueletos inmaduros muestran características específicas vinculadas al proceso de desarrollo, como las

epífisis en crecimiento y las suturas craneales, que aún no han completado su fusión. Estas particularidades anatómicas son señales claras del estado de crecimiento y diferenciación que experimentan los huesos en las primeras etapas de la vida. A medida que los individuos alcanzan la madurez esquelética, estas características morfológicas se transforman, reflejando un estado óseo más maduro o completo, y por lo tanto una morfología estable. Por consiguiente, el factor principal que influye en estos cambios es el proceso de madurez esquelética a partir del desarrollo de los centros de osificación. A grandes rasgos, hecho que se desarrollará en el capítulo correspondiente al apartado de Embriología, el desarrollo osteológico se origina a partir de pequeños centros de osificación, generalmente dos en los extremos y uno central, que evolucionan hasta alcanzar su desarrollo completo de forma progresiva.

En consecuencia, el antropólogo debe tener un conocimiento detallado no solo de la morfología del hueso adulto, sino también de las diversas fases de desarrollo. Esto es crucial no solo para la identificación precisa de los restos, sino también para discriminar entre los cambios normales asociados con el desarrollo típico de un individuo y las posibles alteraciones debidas a procesos tafonómicos o patológicos (Irurita, 2014).

1.2.1.2. Tamaño

En términos de tamaño, los esqueletos inmaduros son intrínsecamente más pequeños que sus contrapartes adultas, ya que se encuentran en pleno proceso de crecimiento y aún no han alcanzado sus dimensiones y proporciones finales. Esta diferencia de tamaño representa un indicador clave para estimar la edad de un individuo.

Resulta evidente que los esqueletos infantiles son considerablemente más pequeños que los esqueletos adultos, fenómeno atribuible a la rápida tasa de

crecimiento experimentada durante la infancia (Lewis, 2007). Esta disparidad dimensional cobra una relevancia especial en el manejo de los restos óseos infantiles, sobre todo en los procedimientos de recuperación, análisis e identificación. En numerosas ocasiones, incluso diferencias milimétricas en tamaño pueden llevar a la pérdida de piezas óseas que resultan fundamentales en estos procesos (Irurita, 2014). Por tanto, es imperativo que los profesionales involucrados en el estudio y tratamiento de restos infantiles sean especialmente cuidadosos y precisos, dada la delicadeza y susceptibilidad de estos restos ante variaciones mínimas en tamaño ya que resulta crucial para asegurar la integridad y la precisión en la interpretación de los estudios relacionados con restos óseos infantiles.

1.2.1.3. Tejido óseo

Es importante destacar las diferencias significativas en la composición entre los esqueletos inmaduros y los esqueletos adultos. Los esqueletos en desarrollo exhiben tejido en formación y remodelación activa, lo que los hace más susceptibles a condiciones y alteraciones específicas. En particular, el tejido óseo que aún no ha alcanzado su madurez se caracteriza por una proporción más alta de tejido conjuntivo en comparación con el tejido óseo adulto, cuya matriz está mayormente mineralizada (Currey & Butler, 1975; Specker et al., 1987). Durante el proceso de crecimiento y maduración ósea, el tejido extracelular y conectivo, que incluye componentes como los condroblastos y las fibras colágenas, desempeña un papel fundamental al proporcionar la estructura y el soporte necesarios para el desarrollo y el crecimiento adecuados. Con el tiempo, este tejido óseo primario evoluciona y experimenta una progresiva mineralización debido a la deposición de minerales como calcio y fósforo. Este proceso de

mineralización conduce a la transformación del tejido óseo en un estado maduro y completamente mineralizado.

Además de estos factores distintivos entre individuos adultos y no adultos, es esencial considerar las diferencias físico – químicas entre los restos óseos. Estas diferencias implican un comportamiento variado frente a factores que pueden alterar el hueso, desde aspectos tafonómicos como la humedad, temperatura y pH del sedimento, hasta las condiciones patológicas propias del individuo. La evolución constante de los restos óseos tiene como resultado una fragilidad notablemente mayor en individuos infantiles en comparación con sus contrapartes adultas. Esto no solo afecta la resistencia del hueso ante las condiciones del entorno, sino que también tiene implicaciones importantes en la preservación y análisis de los restos, especialmente en situaciones donde intervienen factores tafonómicos y patológicos. Por otro lado, los esqueletos adultos exhiben tejido óseo más consolidado y menos propenso a ciertas patologías óseas comunes en las etapas tempranas de la vida, como la brucelosis, cribas orbitarias, raquitismo, etc. (Lewis, 2017).

1.2.1.4. Número

El número de huesos en el esqueleto inmaduro puede variar debido a la presencia de huesos epifisarios y centros de osificación que son claves en la maduración y fusión completa del hueso. Un esqueleto infantil, aunque variará según el grupo de edad, como norma general, consta de aproximadamente 463 huesos diferentes. Esto contrasta significativamente con el esqueleto adulto, cuyo número de huesos se reduce a 206 (**Imagen 1**).

1.2.2. Diferencias metodológicas

Debido a las diferencias osteológicas restos óseos inmaduros y adultos, las diferencias en la elaboración y aplicación de la metodología antropológica son claras. No obstante, estas herramientas mantienen igualmente, la misma intención de identificar los restos óseos, por lo que la elaboración del perfil biológico igualmente resulta fundamental. Los aspectos básicos de la estimación de la edad, el sexo, la estatura y las patologías asociadas variarán en función del grupo de edad.

1.2.2.1. Estimación de la edad

Las metodologías empleadas para individuos no adultos se basan en los cambios ocurridos durante el desarrollo del esqueleto, a diferencia de las utilizadas en adultos, que se centran en los cambios degenerativos. Esta diferencia fundamental influye en la precisión de las estimaciones, siendo las metodologías infantiles considerablemente más precisas que las aplicadas en adultos.

La razón detrás de esta mayor precisión radica en dos factores principales. En primer lugar, la tasa de desarrollo en individuos infantiles es significativamente superior a la tasa de degeneración del esqueleto en adultos, lo cual implica que los cambios en el esqueleto ocurren a un ritmo mucho mayor en los individuos infantiles en un período de tiempo más corto. En segundo lugar, los procesos de desarrollo en los no adultos dependen en gran medida de la regulación genética, mientras que en los adultos, los cambios degenerativos están más influenciados por el entorno y el estilo de vida.

Por lo tanto, la metodología para estimar la edad se basará fundamentalmente en tres aspectos claves: la maduración ósea, la erupción y

mineralización dental y el ritmo de crecimiento. No obstante, para obtener estimaciones más precisas, es vital usar varios métodos que evalúen diferentes indicadores biológicos (Rissech, 2008). Así, por ejemplo, en las etapas de la primera infancia y de la vida intrauterina se priorizará el estudio métrico de los huesos, debido al crecimiento exponencial que se produce en esta fase etaria. En etapas más tardías, alrededor de la adolescencia, el ritmo de crecimiento descende, primando los estudios de fusión epifisiaria en función del grado de fusión y la erupción dental.

1.2.2.2. Estimación del sexo

En el caso de individuos infantiles, la estimación del sexo representa una contraposición a la estimación de la edad. Las diferencias sexuales generalmente se manifiestan después del brote puberal, es decir, a partir de los 12 años, por lo que la estimación del sexo en individuos prepuberales ha sido ampliamente discutida (Corron et al., 2018). Aunque el momento varía entre individuos del mismo sexo (maduradores precoces y tardíos), las chicas, en general, se adelantan unos dos años a los chicos en madurez a la misma edad (Cunningham et al., 2016). No obstante, algunas variables no muestran este dimorfismo sexual hasta la edad adulta o incluso nunca las presentan (Rissech, 2008). Esta falta de diferencias sexuales nos permite analizar el crecimiento de variables sin considerar el sexo de los individuos estudiados y calcular funciones para la estimación de la edad basadas en una serie única, que incluye datos tanto masculinos como femeninos. Esta metodología resulta especialmente adecuada para estimar la edad de restos arqueológicos (Rissech, 2008).

Sin embargo, en el contexto de la Antropología Forense, la identificación del sexo en individuos infantiles plantea desafíos significativos, dado el problema evidente asociado con la identificación de un cadáver. A esto se

suma la variabilidad considerable en las tasas de crecimiento dependientes del sexo, lo que conlleva un aumento en el error asumido al estimar la edad de un esqueleto infantil de sexo desconocido (Irurita, 2014). Como ejemplo, autores destacados en el campo, como Schutkowski (1993) , quien ha sido uno de los pioneros en la estimación del sexo en individuos infantiles, junto con la revisión de Irurita y Alemán (2016), han señalado que, aunque los resultados obtenidos son fiables, los caracteres analizados pueden resultar difíciles de aplicar incluso para un observador experto, siendo recomendable aplicar el uso de funciones a partir de las medidas de los dientes (Viciano, 2013) o por morfometría geométrica de los mismos (López Lázaro, 2016) o del coxal (Luna et al., 2021).

1.2.2.3. Estimación de la estatura

El constante crecimiento y desarrollo del individuo, especialmente durante la fase puberal, dificulta la estimación precisa de la estatura, lo que la convierte en uno de los aspectos menos confiables al elaborar un perfil biológico. Aunque los métodos para estimar la estatura presentan algunas limitaciones, esta estimación se realiza a través de diversas medidas, como la longitud de la diáfisis de los huesos largos, las extremidades superiores y las manos, así como las extremidades inferiores carnosas y los metacarpianos (Willey, 2016). Un desafío adicional en la estimación de la estatura en individuos no adultos es la alometría del crecimiento, que complica aún más la precisión de las estimaciones (Willey, 2016). En casos forenses, la edad de los niños se estima principalmente a través de la longitud de los huesos largos en lugar de la estatura. No obstante, en situaciones de guerra o desastres masivos, la estatura puede ser crucial para identificar individuos no adultos ya que una discrepancia entre la estimación

de la estatura y la edad dental o esquelética puede ser una pista importante para la identificación (Smith, 2007)

No obstante, las estimaciones de estatura en restos óseos no adultos deben ser interpretadas con cautela y teniendo en cuenta siempre la variabilidad individual y poblacional en el crecimiento y desarrollo del individuo.

1.2.2.4. Alteraciones óseas

Uno de los aspectos claves en la identificación de individuos reside en la detección de alteraciones óseas de carácter patológico. En este contexto, el historial médico se presenta como una herramienta invaluable que puede proporcionar una aproximación certera para la identificación del individuo en cuestión.

En el estudio patológico al igual que en el de adultos, además de analizar la estructura ósea, es necesario considerar las patologías que, debido a su epidemiología, afectan de manera significativa a los niños. Asimismo, se debe prestar especial atención a los traumatismos que son exclusivos de la población infantil, como aquellos producidos en la metáfisis o las hemorragias del cráneo, ya que su análisis reviste una importancia fundamental en la identificación de casos de maltrato infantil, como por ejemplo las lesiones endocraneales a causa del *Síndrome del niño agitado o sonajero*, por las hemorragias subdurales, las fracturas de costillas, fracturas helicoidales de huesos largos, etc.

La respuesta osteológica difiere entre los tipos de patología; por ejemplo, en el caso de las patologías de carácter infeccioso, el hueso del niño tenderá, por su morfología y desarrollo, a provocar lesiones características como el desprendimiento del periostio o incluso la fusión de las articulaciones. En el

caso de las patologías traumáticas, la clave está en la elasticidad y porosidad del hueso, lo que provoca una disipación mayor de la fuerza, aunque cuenta con una parte débil en la metáfisis. En cuanto a los procesos de carácter metabólico, en especial aquellos derivados de episodios de malnutrición, las alteraciones en el esqueleto infantil serán mas evidentes que en el de adultos, debido a que el individuo se está desarrollando.

1.2.3. Diferencias en la investigación

La evaluación de unos restos óseos dependerá en gran parte del objetivo que el investigador o investigadora tenga en mente. Como se ha visto en apartados anteriores, al diferenciarse la antropología en ámbitos forenses y arqueológicos, resulta obvio que tanto la finalidad como la metodología empleada variarán significativamente. En el ámbito arqueológico, la evaluación de restos óseos infantiles permitirá conocer el estado de salud, el entorno y el desarrollo sociocultural de la población, así como el estado y la calidad de los cuidados al niño en esa época, lo que permitirá conocer los aspectos paleodemográficos y paleopatológicos de poblaciones antiguas (Ferembach et al., 1979; Lewis, 2007; Hoppa & Vaupel, 2008). Sin embargo, cuando el trabajo del antropólogo se encuentra en un ámbito judicial, es decir, forense, sus resultados se someten a una exhaustiva evaluación en cuanto a la fiabilidad (Lesciotto, 2015). Precisamente esta evaluación rigurosa ha propiciado una evolución positiva en esta rama de la Antropología, mejorando cada vez más la fiabilidad y la aplicabilidad de sus métodos (Ousley & Hollinger, 2012). En consecuencia, la aplicación de estos métodos en contextos forenses adquiere gran relevancia, ya que contribuye a la identificación precisa de individuos, tanto en lo que respecta al reconocimiento del estatus legal de la víctima como del victimario.

Por lo tanto, especialmente en el ámbito forense, uno de los factores clave es la estimación de la edad en individuos no adultos, ya que este resultado determinará el tratamiento jurídico de las personas involucradas en el proceso legal. Desde una perspectiva jurídica, la edad del individuo está delimitada por rangos etarios conocidos como edades de transición, los cuales se utilizan para clasificar las acciones legales tanto en el ámbito civil como en el penal. En el caso de los individuos no adultos, la estimación de la edad se aplica en situaciones como maltrato infantil, pedofilia, pornografía infantil, casos de adopción y otros delitos cometidos tanto contra como por menores. En el ámbito civil, la estimación de la edad es relevante en casos de emancipación, adopción, inmigración y otras circunstancias legales. Aunque la edad varía en función de la jurisdicción de cada país, de manera general la Convención de las Naciones Unidas sobre Derechos del Niño¹, tratado internacionalmente ratificado, estipula en su Artículo 1 que *“se entiende por niño todo ser humano menor de dieciocho años de edad, salvo que, en virtud de la ley que le sea aplicable, haya alcanzado la mayoría de edad”*.

En el caso de España, por ejemplo, el artículo 19 del Código Penal² establece la mayoría de edad penal en los dieciocho años y requiere la regulación explícita de la responsabilidad penal de los menores por debajo de esa edad en una ley independiente. Esta ley, conocida como Ley del Menor³, en su artículo 3 establece la inexistencia de responsabilidad penal para menores de 14 años, remitiéndola únicamente a la responsabilidad civil. Por otro lado, el artículo 1.1 de la misma ley considera imputables

¹ Naciones Unidas (1990) Convención de las Naciones Unidas sobre Derechos del Niño. Oficina del alto Comisionado de Derechos Humanos.

² Ley Orgánica 10/1995, de 23 de noviembre, del Código Penal.

³ Ley Orgánica 5/2000, de 12 de enero, reguladora de la responsabilidad penal de los menores.

legalmente a todos los menores de entre 14 y 18 años. Además, la edad no solo influye en la responsabilidad penal, sino que también es crucial en la determinación de las penas. Por ejemplo, según el artículo 9.3 de la Ley de Responsabilidad Penal del Menor, si el individuo tiene menos de 16 años, la pena no puede exceder los 2 años, mientras que para mayores de 16 años y en casos excepcionales, esta pena puede aumentar en 2 años. Asimismo, la responsabilidad penal no solo depende de si el autor de los hechos es un menor, sino que también se ve principalmente afectada como víctima en ciertos delitos como homicidio, aborto, agresión sexual, pedofilia, pornografía infantil, trata de seres humanos o tráfico de inmigrantes, donde cobra especial relevancia la distinción entre adulto o no adulto, o nacido o no nacido, o si el consentimiento es o no válido, el cual es inválido en menores de 16 años si el delito es de carácter sexual.

En el ámbito civil y administrativo, principalmente regulado por el Código Civil⁴, la mayoría de edad se establece a los 18 años según el artículo 126. No obstante, al igual que en el ámbito penal, existen rangos etarios legales que determinan la capacidad y potestad de los menores en diferentes situaciones. Así, por ejemplo, según el artículo 9.2, a partir de los 12 años se considera que el menor tiene la madurez suficiente para comprender y evaluar ciertos asuntos. El artículo 12 del Código Civil regula las medidas de protección del menor, donde en el caso específico de menores de 3 años, las revisiones de protección no permanente se realizan cada tres meses, mientras que en situaciones de protección permanente, si el menor tiene más de dos años, estas revisiones se llevan a cabo cada doce meses. Además por ejemplo, en el artículo 12.5 de la Ley de Protección del

⁴ Real Decreto de 24 de julio de 1889 por el que se publica el Código Civil.

Menor⁵ rige que las administraciones sanitarias, educativas y servicios sociales garantizaran de forma universal y con carácter integral la atención temprana en menores desde el nacimiento hasta los 6 años.

En resumen, estas disposiciones legales marcan pautas claras en cuanto a la capacidad y protección de los menores, asegurando una atención adecuada y garantizando sus derechos en distintos ámbitos de la sociedad en función de una edad concreta.

Por último, y en forma de síntesis, las diferencias substanciales entre los esqueletos de adultos y no adultos se manifiestan en varios aspectos clave, incluyendo las características osteológicas, las metodologías empleadas y la naturaleza del tejido óseo. Estos aspectos intrínsecos guían la dirección de la investigación forense y subrayan la necesidad de enfoques específicos para cada grupo de edad. Al abordar estas disparidades de manera integral, los estudios osteológicos pueden proporcionar una comprensión más profunda y precisa de la variabilidad en los restos esqueléticos, lo que a su vez contribuye significativamente al campo de la Antropología Forense y la ciencia forense en general.

1.3. La Antropología Física y Forense Infantil (AFFI)

La Antropología Física y Forense Infantil (AFFI) es aquella rama aplicada de la antropología en el estudio de restos óseos inmaduros, con el objetivo de construir el perfil demográfico y el estilo de vida en poblaciones antiguas, así como establecer la identidad del individuo en poblaciones actuales. En la elaboración del perfil biológico, la estimación de la edad es

⁵ Ley Orgánica 8/2021, de 4 de junio, de protección integral a la infancia y la adolescencia frente a la violencia.

quizás el parámetro más fiable y viable en individuos no adultos. Aquellos marcadores biológicos que dependen del desarrollo hormonal, como el sexo o la estatura, en términos de fiabilidad serán proporcionales al grado de madurez del individuo, ya que a un mayor grado de madurez, el dimorfismo sexual del individuo se estabiliza, lo que se traduce en resultados con una mayor sensibilidad y especificidad. Como se ha visto con anterioridad, históricamente las investigaciones sobre el desarrollo y madurez ósea y dental de los individuos infantiles fueron llevadas a cabo únicamente con una finalidad clínica, y no es hasta mediados de los 70 que no se dan los primeros pasos en estudios cuyo objetivo sea la estimación de la edad (Anson et al., 1955; Ars, 1989).

Históricamente, los estudios basados en individuos no adultos han sido siempre muy escasos, lo que puede explicarse por la poca representación de los individuos infantiles tanto en colecciones identificadas como en yacimientos arqueológicos, aunque, actualmente se ha dejado atrás la tendencia de enfocar las investigaciones en población adulta, y ningún investigador cuestiona la importancia del estudio de restos infantiles en la comprensión de las sociedades del pasado (Irurita, 2014). Es innegable que la proporción de colecciones con restos óseos infantiles respecto a las colecciones de individuos adultos sigue siendo inferior (Petaros et al., 2021), lo cual normalmente ha sido un factor limitante en las investigaciones.

Aunque la comunidad científica no ha llegado a un consenso, varios autores atribuyen la escasez de material óseo infantil a factores como la conservación y preservación de los restos óseos. Sin embargo, esto no implica que la recuperación de restos infantiles sea menor que la de la adultos, solo justifica que la presencia de estos se encuentran en un peor

estado de conservación, por lo que justificar esta falta de material óseo en este hecho puede ser incorrecto. Además, autores como Guy et al. (1997), Lewis (2007) o Saunders (2008) asocian este hecho a factores sociales y culturales derivados de la ritualidad del enterramiento infantil. Incluso en la actualidad, en los cementerios, se observa una separación entre las sepulturas infantiles y las adultas, lo que significa que la excavación parcial de un cementerio puede distorsionar la proporción entre individuos infantiles y adultos en esa población. Es innegable que las muestras arqueológicas están intrínsecamente sesgadas y no representan completamente a la población que alguna vez conformaron, debido a la diversidad en las prácticas de enterramiento y la influencia de factores sociales, culturales e incluso religiosos, resultando en una proporción menor de individuos infantiles (Cunningham et al., 2016).

Esta falta de material de estudio es extensiva a los estudios realizados en antropología forense. A menudo, los estudios realizados sobre individuos infantiles fueron realizados sobre muestras arqueológicas, por lo que la aplicabilidad de estos métodos en el campo forense resulta inviable. No obstante, los estudios sobre los índices de desarrollo de los niños se han visto dificultado por la falta de colecciones modernas (Lewis & Flavel, 2006). Además, recientes leyes respecto a la confidencialidad rigen el acceso a radiografías medidas en niños vivos, dificultando aún más estos estudios (Burton, 2022), aunque recientemente la adopción de nuevas muestras identificadas, con datos sobre el perfil biológico del individuo, entre ellos la edad cronológica, ha permitido que los estándares derivados directamente de restos óseos infantiles, como la estimación de la edad de muerte se vea aumentada. Así por ejemplo en los últimos años, varios autores han basado los métodos para estimar la edad en colecciones

identificadas en individuos infantiles a través del desarrollo y erupción dental y la madurez ósea (Cunningham et al., 2016).

Sin embargo, y pese al poco interés de los investigadores del pasado, es cierto que el número de publicaciones en AFFI ha aumentado (González-Martín, 2008), apartándose del aspecto más clínico de esta disciplina, donde prevalecía la investigación acerca del crecimiento y desarrollo óseo y dental para verificar la presencia de anomalías o avances normales en dichos procesos (Anson et al., 1955; Elgenmark, 1946; Hurme, 1949). Aunque, según Corron et al. (2018, 2019), existen numerosos métodos para estimar la edad en individuos no adultos, muchos de estos métodos siguen siendo desconocidos o tienen menor visibilidad en los contextos donde podrían aplicarse, siendo más reconocidos en el ámbito forense. Los mismos autores también señalan la falta de consenso en cuanto a la eficacia y eficiencia de estos métodos, haciendo referencia a criterios específicos que la metodología debería cumplir, especialmente cuando se aplica en contextos forenses.

Es por lo tanto importante que los antropólogos sean capaces de reconocer los componentes óseos del esqueleto no adulto, con la intención de calcular el perfil biológico del individuo, debido a la importancia bioarqueológica y forense que tiene. Según Márquez – Grant et al. (2015), quien elabora un resumen de las actuaciones a las que se enfrenta el especialista en individuos infantiles, se trataría de:

- Búsqueda, localización, identificación y recuperación de restos humanos.
- Asistencia en la identificación del individuo, es decir, elaborar el perfil biológico.

- Toma de muestras para análisis relacionados con la identificación, como la toma de material genético, isotopos, etc.
- Aportar más conocimiento sobre determinación de la manera y causa de muerte.
- Asesoramiento en casos de abuso y negligencia. Este aspecto es de gran importancia cuando se trata de menores vivos o muertos.
- Estimación de la edad en sujetos vivos, a partir del estudio de radiografías u otro tipo de imágenes de segmentos específicos, como puede ser la muñeca, la clavícula o la dentición.

1.4. La estimación de la edad en la Antropología Física y Forense Infantil

Como se ha visto con anterioridad, la estimación de la edad se fundamenta en el grado de desarrollo esquelético y dental, ya que a partir de su grado de madurez y crecimiento estimaremos la edad biológica del individuo. Es importante, subrayar que este tipo de estimaciones resultan útiles no solo en contextos arqueológicos y forenses, sino también, como señalan Cunningham et al. (2016), en la evaluación de la madurez biológica con fines clínicos. Esta aplicación clínica abarca campos como cirugía ortopédica, ortodoncia o el tratamiento con hormonas del crecimiento, los cuales frecuentemente son independientes de la edad cronológica del individuo.

Gran parte de los métodos se basan en el grado de mineralización y erupción dental, así como en la madurez ósea del individuo, con el objetivo

de aproximarnos lo máximo posible a la edad cronológica a través de la edad biológica. Sin embargo, debido a la variabilidad e incertidumbre intrínsecas en este desarrollo, el método de estimación de la edad se aproximará lo máximo posible a la edad cronológica del individuo. En consecuencia, la edad biológica engloba tanto la edad esquelética como la dental, ambas estimadas mediante factores como los tiempos de aparición y fusión de los centros de osificación, el tamaño y morfología de los huesos, y la erupción de los dientes.

Cox (2000) destacó la *obsesión* actual por calcular con exactitud la edad de fallecimiento en poblaciones del pasado, señalando que en periodos históricos anteriores, la precisión en el conocimiento de la edad probablemente no era relevante, y por el contrario sí eventos biológicos y físicos, como el destete, la dependencia de los padres, la pubertad y la llegada a la edad adulta, más la fertilidad femenina y la menopausia, siendo estos atributos independientes de la edad cronológica según biólogos del comportamiento.

Por lo tanto, será fundamental conocer los cambios progresivos en tamaño y morfología ósea durante el desarrollo del individuo, también denominado crecimiento. Asimismo, será crucial identificar las fases de desarrollo del hueso, desde los centros de osificación hasta el momento de su completa osificación, ya que estas etapas son esenciales en los métodos de estimación de la edad en individuos no adultos, al igual que las fases de mineralización y erupción dental. Finalmente, es igualmente esencial comprender los objetivos del método a aplicar en la estimación de la edad, ya que estos variarán según si se trata de hueso seco o de individuos vivos.

1.4.1. El crecimiento

Como se ha mencionado anteriormente, el crecimiento es una variable que describe los cambios progresivos en el tamaño y la morfología del individuo, generalmente con una correlación positiva con la edad. Por ende, calcular la edad de muerte del individuo a partir de estos cambios puede resultar viable y fiable. Al estimar la edad de un individuo en particular, diferenciaremos entre variables con origen continuo, como las medidas esqueléticas, y variables con origen categórico, como el estadio de desarrollo o madurez ósea. Así por ejemplo, para estimar la edad a partir de las medidas esqueléticas, estas se comparan con las curvas o valores obtenidos durante estudios de crecimiento, utilizando funciones inversas para calcular la edad. (Rissech, 2008). No obstante, a menudo desarrollar una escala temporal para la madurez biológica plantea problemas considerables, ya que esta se presenta por hitos evolutivos en lugar de temporales, que son variables e incluso incoherentes (Cameron, 2015).

El crecimiento consta de dos factores principales: el aumento del tamaño y la madurez. Aunque están estrechamente relacionados, no siguen una progresión lineal. Algunos autores han demostrado que el crecimiento sigue una función logarítmica (Irurita, 2014; Tanner et al., 1966). Además, se han documentado picos de desarrollo en edades biológicas a lo largo de diferentes edades cronológicas, como la pubertad y los primeros años de vida. Estas variaciones en el crecimiento son evidentes no solo entre individuos, sino también entre los diferentes segmentos anatómicos del mismo. Por ejemplo, el desarrollo del cerebro y, por ende, de la cabeza, alcanza su tamaño adulto en la niñez temprana, mientras que el sistema linfático lo hace en la niñez tardía. Sin embargo, el crecimiento no está solo determinado por la genética o factores biológicos como el sexo; también se

ve influido por el entorno que rodea al individuo durante su desarrollo. En este contexto, los estudios sobre individuos infantiles no solo proporcionan información sobre la demografía de una población antigua, sino que también revelan la capacidad de cuidado y adaptación al entorno, a través de datos sobre morbilidad y mortalidad infantil (Lewis, 2007).

En cuanto a las diferencias de crecimiento, Cunningham et al. (2016) exploran los términos *nature vs nurture*, donde el primero se refiere a la naturaleza o genética, y el segundo a la crianza, entendida como el entorno en el que se desarrolla el individuo. Así por ejemplo, la herencia genética determinará el dimorfismo sexual visible incluso desde la vida intrauterina, aunque de forma reducida (Choi & Trotter, 1970; Pedersen, 1982), mientras que en un periodo postnatal, las diferencias sexuales son más visibles, y aunque la maduración esquelética se produzca más rápido en niñas que en niños, la densidad y el tamaño óseo es mayor en niños que en niñas (Maresh, 1970; Miller et al., 1991; Pyle & Hoerr, 1955). Aunque algunos autores han cuestionado las diferencias sexuales en la densidad y acumulación de masa ósea durante la pubertad (Baxter-Jones et al., 2003), otros sostienen que existe una hipótesis que respalda la disparidad en la talla entre mujeres y hombres a partir de estos marcadores (Gordon et al., 1991). La bibliografía clásica mantiene que esta discrepancia se atribuye principalmente al rápido aumento de la masa muscular en los hombres, lo cual afecta a la robustez general del esqueleto y contribuye a la diferencia observada (Tanner, 1990). Las niñas, en general, suelen adelantarse aproximadamente dos años en madurez con respecto a sus contrapartes masculinas de la misma edad. Sin embargo, este dimorfismo sexual a nivel osteológico suele surgir después del brote puberal, con algunas variables que no muestran diferencias sexuales hasta la edad adulta o nunca (Rissech, 2008). Precisamente estas diferencias son las que permiten estudiar el

crecimiento de variables sin tener en cuenta el sexo de los individuos analizados. Este enfoque posibilita calcular o estimar la edad a partir de series que incluyan tanto individuos masculinos como femeninos, siendo particularmente útil para la estimación de la edad en restos arqueológicos.

Entre estas diferencias influenciadas significativamente por factores ambientales, destaca especialmente los factores socioeconómicos. Estos últimos pueden subdividirse en efectos nutricionales, patológicos y el propio estatus social, todos los cuales desempeñan un papel crucial en el desarrollo y la madurez de los individuos, que influyen principalmente en la infancia y en la niñez afectando al desarrollo y crecimiento del individuo incluso antes del nacimiento (Cunningham et al., 2016). Tanto el nivel nutricional como el factor patológico han sido aceptados como un desencadenante en los elevados índices de morbilidad y mortalidad infantil en los países con niveles socioeconómicos bajos; según algunos estudios incluso se han reflejado en la osificación postnatal y en la mineralización dental en grupos minoritarios con ingresos inferiores en países con un nivel de vida elevado (Garn et al., 1973). No obstante, estudios posteriores, como los realizados por Maresh (1970) y Pfau y Sciulli (1994) han confirmado que no existen cambios entre los grupos de diferentes niveles socioeconómicos en cuanto al crecimiento longitudinal de los restos óseos de Estados Unidos. Por lo tanto, aunque se ha evidenciado la tendencia secular, es difícil de asociar tan solo a un cambio positivo en la madurez esquelética y el desarrollo socioeconómico y las condiciones de vida de la población en concreto. Precisamente por esta razón, Spake y Cardoso (2018) recomiendan al antropólogo/a, tanto en la elaboración como en la aplicación de metodología antropológica forense que en primer lugar examine la composición antropológica de la población, y en segundo lugar vigile la composición de las muestras de referencia seleccionada en cada método.

En resumen, el crecimiento está influenciado por factores genéticos y ambientales, lo que genera variaciones tanto a nivel individual como poblacional. Asociar la edad al crecimiento resulta difícil debido a la considerable variabilidad, lo que desaconseja considerarlo como un indicador fiable de la edad cronológica del individuo. No obstante, esto no impide utilizar el crecimiento como un marcador social del desarrollo y madurez del individuo.

1.4.2. La estimación de la edad

Gran parte de los métodos se basan en el grado de mineralización y erupción dental, así como en la madurez ósea del individuo, con el objetivo de aproximarlos lo máximo posible a la edad cronológica a través de la edad biológica. Sin embargo, debido a la variabilidad e incertidumbre intrínsecas en este desarrollo, existen diferencias entre la edad cronológica y la edad estimada de los métodos antropológicos, que según algunos autores, y como se ha visto en el apartado anterior, es debido a las variaciones anatómicas individuales, los efectos ambientales, patológicos, cambios seculares e incluso a factores genéticos (Demirjian, 1990; Saunders, 2008). Por lo tanto, hay que tener en cuenta estas diferencias o errores en las estimaciones que los métodos propuestos y futuros tienen sobre la estimación de la edad. En la Antropología, y en especial en el marco forense, es necesario que las metodologías cumplan una serie de criterios para que su eficacia y aplicabilidad sean válidas en este contexto.

En este contexto, las investigaciones llevadas a cabo por Corron et al. (2018, 2019) destacan la diferencia a menudo inadvertida entre un método para estimar la edad y un estudio sobre el crecimiento y desarrollo óseo. Esta distinción, cuando no se considera adecuadamente, puede llevar a la aplicación incorrecta de un método y, por ende, a resultados erróneos,

generando estimaciones pobres o inexactas sobre la edad del individuo, lo que resulta especialmente crítico en contextos forenses. Aunque diversos autores han planteado la necesidad de establecer unos criterios únicos en cuanto a la muestra y a los parámetros estadísticos base para elaborar este tipo de metodología (Coqueugniot et al., 2010; Ferembach et al., 1979; Langley-Shirley & Jantz, 2010; Paterson, 1929), de forma general se han incluido los criterios Daubert para la mejora en los métodos antropológicos (Fradella et al., 2004; Dirkmaat et al., 2008; Ousley & Hollinger, 2012; Lesciotto, 2015). Según Cunha et al., (2009) y Ritz-Timme et al., (2000), un método de estimación de la edad no adulta debe cumplir cuatro condiciones para ser admisible en un contexto forense: (1) El método debe estar presentado en una revista científica revisada por pares. (2) Respetar las condiciones éticas y legales de construcción y aplicación, especialmente en el caso de individuos vivos. (3) Indicar con claridad el error estándar de estimación o SEE (*Standard Error Estimation*). (4) Ser lo suficiente preciso.

Respecto al segundo punto, y dada la importancia de los flujos migratorios actuales, la estimación de la edad en individuos vivos ha tomado especial relevancia, y al igual que en la metodología de estimación de la edad en hueso seco (Solari & Abramovitch, 2002), desde el AGFAD (*Study Group on Forensic Age Diagnostics*) para la estimación de la edad en vivos en procesos penales, presentaron siete recomendaciones para la elaboración de este tipo de métodos: (1) Un *adecuado* tamaño muestral. (2) Edad de los individuos de la muestra comprobada y conocida. (3) Distribución uniforme de la edad. (4) Definición clara de los parámetros elegidos de cara a calcular el error inter e intraobservador. (5) Descripción detallada de los métodos aplicados. (6) Datos sobre la población de estudio en cuanto al origen genético y geográfico, así como situación socioeconómica y estado de salud. (7) Datos sobre el tamaño de la muestra,

los valores medios y el rango de dispersión de cada variable o estado estudiado.

Aunque en conjunto, estas 11 recomendaciones deberían ser suficientes para evaluar de manera objetiva cualquier método. Corron et al. (2018) proponen una síntesis de estos parámetros en 8 puntos que consideran fundamentales en la elaboración de la metodología para estimar la edad en individuos no adultos:

- Ofrecer un error estándar de estimación (SEE)
- La suficiente precisión
- Valores de repetibilidad y reproducibilidad
- Información sobre la precisión y la fiabilidad
- Distribución de la edad de los individuos de la muestra
- Tamaño de la muestra
- Edad de los individuos de la muestra
- Características de la muestra de referencia

A partir de estas recomendaciones, estos autores evaluaron unos 269 métodos para estimar la edad, de los cuales solo 7 (2,6%) respetaban todos los parámetros válidos en cuanto a muestra y estadísticos. Aunque gran parte de los estudios proponen un intervalo de predicción del 95% y una muestra identificada, no respetan los demás parámetros, lo cual cuestiona la validez de las estimaciones de la edad en individuos no adultos, especialmente en contextos forenses, que requieren una interpretación jurídica cuyo resultado sea fiable, exacto y preciso en cuanto a la edad estimada.

Como se ha visto, la elección de entre todos los métodos de estimación de la edad dependerán de la edad biológica del individuo, la cual engloba tanto la edad esquelética como la dental, y como pilar fundamental de la

estimación de la edad en restos óseos no adultos a partir de un elemento óseo, es crucial identificar una de sus tres fases de desarrollo. En primer lugar, se debe determinar el momento en que aparece el centro de osificación. En segundo lugar, se considera el tamaño y la morfología de dicho centro. Por último, se evalúa el momento de fusión entre los centros de osificación. Estos tres aspectos son elementos clave para una estimación precisa de la edad en restos óseos no adultos.

No obstante, el principal problema del análisis de restos óseos infantiles es la falta de efectividad de la estimación del sexo del individuo no adulto (Cunningham et al., 2016). Esto presenta una serie de problemas, ya que varios estudios, como se ha mencionado en el apartado anterior, han corroborado una diferencia entre el crecimiento entre niños y niñas. Así por ejemplo, los estudios realizados sobre la colección osteológica de la Universidad de Granada, corroboran el hecho que la mineralización y erupción dental de infantiles femeninos se produce a una edad más temprana que en masculinos (Irurita et al., 2014). Así mismo la maduración esquelética sigue en el mismo patrón, donde las niñas se desarrollan dos años antes que los niños (Lewis & Flavel, 2006), cuya diferencia es un reflejo producido desde un periodo gestacional, donde se ha evidenciado el mismo patrón, es decir una diferencia positiva en el crecimiento tanto longitudinal como de peso en los fetos femeninos respecto a los masculinos (Lampl & Jeanty, 2003). No obstante, el elevado nivel de variabilidad hace imposible asociar categóricamente una fase concreta de maduración sexual con una edad esquelética determinada (Cameron, 2015). Una forma de resolver este problema es dividir la metodología en tres partes: una específica para individuos de sexo femenino, otra para individuos de sexo masculino y una tercera que considere una combinación de ambos sexos. Sin embargo, el desafío radica en los resultados, ya que existirá una

tendencia a sobreestimar las edades en individuos femeninos y a subestimarlas en individuos masculinos.

1.4.2.1. La mineralización y erupción dental

Según lo anteriormente expuesto, el desarrollo del individuo se ve influenciado por diversos factores, entre ellos ambientales; que en lo que respecta a la mineralización y desarrollo dental es el menos influenciado por este tipo de variaciones. Por ello, la mineralización y erupción dental se considera uno de los métodos más aceptados y aplicados para estimar la edad en niños (Lewis & Flavel, 2006), ya que comúnmente la variabilidad entre la edad cronológica y el desarrollo dental es menor respecto al desarrollo esquelético del individuo (Demirjian, 1990; Lewis & Garn, 1960; Smith, 1991). A forma de resumen, respecto a la dentición permanente, el crecimiento del diente comienza en la cúspide de la corona y se desarrolla en dirección apical. La erupción ocurre aproximadamente cuando se ha formado un tercio de la raíz, saliendo del alveolo óseo, y el desarrollo de la raíz continúa en su interior. En lo que respecta a la dentición decidua o dientes de leche, la descalcificación de la raíz provoca la caída de la corona cuando la pieza permanente está lista para emerger.

Estimar la edad a partir de los dientes tiene varias ventajas sobre el resto de elementos óseos. En primer lugar, es bien sabido que la conservación de las piezas dentales, debido a su mineralización, presenta una elevada resistencia frente a los factores tafonómicos, lo que en contextos forenses, y especialmente en arqueológicos, resulta fundamental. Sin embargo, también supone uno de los factores limitantes de esta metodología, que es tener en cuenta el tamaño reducido de los gérmenes y las piezas dentales infantiles, lo que puede conllevar la pérdida estas piezas, así como considerar factores como caries, malnutrición severa y la caída prematura de los dientes que

pueden retrasar la erupción de la dentición definitiva (Demirjian, 1990; Larsen, 2015). En segundo lugar, el desarrollo dental evoluciona desde un periodo fetal hasta los primeros años de la vida adulta, siendo relevante en contextos forenses, por ejemplo para establecer la mayoría de edad. Precisamente, Bolaños et al., (2000) afirmaron que las estimaciones basadas en las piezas dentales son más precisas en menores de 10 años, especialmente en las piezas incisivas maxilares, el primer molar maxilar y el segundo molar mandibular. Sin embargo, aunque se ha evidenciado que la variabilidad en las estimaciones de la edad dental es menor que la madurez ósea en una población arqueológica identificada (Bowman et al., 1992), otros autores señalan que estos métodos deben aplicarse con cautela en este tipo de muestras, debido a que se ha observado un descenso en la precisión de las estimaciones, tendiendo a infraestimar las edades (Liversidge et al., 2003; Liversidge & Molleson, 1999).

Las metodologías fundamentadas en este enfoque de desarrollo se han tradicionalmente segmentado en estudios de naturaleza cualitativa y cuantitativa con el propósito de estimar la edad en individuos no adultos. La modalidad cualitativa, predominantemente utilizada, se orienta hacia la visualización de la mineralización y la erupción dentaria mediante la creación de un atlas, como el elaborado por AlQahtani et al. (2010) o por Irurita et al. (2014). Por otro lado, la perspectiva cuantitativa, más recurrente en el análisis de sujetos en vida, se emplea para determinar la mayoría de edad en el individuo (Albernaz Neves et al., 2020; De Luca et al., 2016), o en infantiles (Irurita Olivares et al., 2014)

1.4.2.2. La madurez ósea

En lo que respecta a métodos basados en la maduración ósea del esqueleto, la bibliografía clásica se ha centrado en el estudio de la

dimensiones de los huesos largos, con especial énfasis en el fémur, tibia y humero (Cardoso et al., 2013, 2014; Carneiro et al., 2019; López-Costas et al., 2012; Rissech et al., 2008). Aunque se han realizado atlas sobre el desarrollo y sinostosis de los cuerpos vertebrales (Dimeglio et al., 2020) o estudios sobre el desarrollo del cráneo (Cunningham et al., 2016), la proporción de estudios realizados sobre huesos largos es mayor. Esto es debido a que las estimaciones sobre el desarrollo de huesos largos y dientes surten de mejores resultados que los provistos en cráneo por ejemplo (Borja Miranda et al., 2023; Smith et al., 2021). No obstante, la estimación de la edad a partir de huesos largos es más susceptible a factores externos o ambientales, como la contaminación acústica o el tabaquismo, que influyen directamente en el desarrollo desde el feto, resultando en una menor talla con respecto a la edad del individuo (Schell, 1981), además de otros factores como la malnutrición o patologías que influyen en el estrés fisiológico del individuo (Lewis, 2007). Sin embargo, una de las ventajas que tienen los estudios basados en el cráneo, es que al igual que con los dientes, los elementos óseos que conforman el cráneo, y en especial la base del mismo no se ven tan influenciados por los factores ambientales; por ello, los estudios más comunes son los basados en el hueso occipital (Cardoso et al., 2013), hueso temporal (Humphrey, 2000; Weaver, 1979) y la *pars basilaris* (Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017; Scheuer & MacLaughlin-Black, 1994).

La estimación de la edad a partir de la maduración esquelética tiene en cuenta la aparición, morfología y la fusión de los diferentes centros de osificación así como el crecimiento diafisario de cada elemento óseo. Cada metodología se adaptará por tanto al número de centros de osificación que el elemento óseo tenga, siendo lo normal encontrar tres, dos secundario en los extremos epifisarios y otro central o primario conformando la diáfisis. Estos

centros de osificación se irán fusionándose a lo largo de los primeros años de vida, especialmente a lo largo de la etapa puberal, es decir entre los 13 y 20 años, y de forma paralela al crecimiento del individuo.

Centros de osificación

Los centros de osificación se desarrollan a lo largo del proceso de formación del esqueleto, desde la vida intrauterina hasta la completa madurez esquelética. En sus fases más tempranas, estos centros no son distinguibles entre sí, siendo identificados únicamente por su posición anatómica en lugar de su morfología. El estudio de los centros de osificación presenta limitaciones, principalmente relacionadas con su tamaño reducido, equiparable al desafío que implica la investigación de piezas dentales, ya que la pérdida de estos centros constituye un obstáculo significativo en la obtención de datos para análisis.

En consecuencia, la utilidad de los centros de osificación en la estimación de la edad en individuos no adultos se ve especialmente restringida, encontrando su aplicación más relevante en contextos forenses, especialmente cuando el tejido conectivo se encuentra parcial o totalmente presente. Asimismo, el estudio de estos centros puede resultar de interés en la práctica clínica, por ejemplo, en el ámbito de terapias hormonales, ya que este enfoque permitiría evaluar el estado de desarrollo del individuo y lograr una determinación más precisa de su etapa de madurez estándar (Cunningham et al., 2016).

Morfología y tamaño de los centros

Durante el desarrollo intrauterino y en la edad adulta, los centros de osificación adoptan una morfología única que permite su identificación de manera independiente, sin depender de la presencia de tejido blando o

conectivo para su reconocimiento. Esta característica es fundamental en los modelos de estimación de la edad, aplicadas especialmente sobre articulaciones como el codo, la muñeca, la rodilla y el tobillo, siendo relevante su análisis tanto mediante técnicas de imagen como en hueso seco.

La utilidad de estos estudios abarca tanto el ámbito clínico como el antropológico, tanto en el contexto forense como en el arqueológico. Desde la perspectiva clínica, permite evaluar la madurez del individuo, siendo especialmente relevante, por ejemplo, en la evaluación del feto para controlar su correcto desarrollo. En la rama forense, los atlas del desarrollo de articulaciones como la muñeca o la rodilla se aplican con frecuencia en la estimación de la edad en personas vivas, especialmente en casos judiciales, y en concreto en casos relacionados con flujos migratorios.

Fusión de los centros

El cese de la actividad en el cartílago de crecimiento provoca la fusión de los centros de osificación, un proceso que abarca desde la vida fetal hasta la tercera década de vida. Cuando se pretende realizar estimaciones de la edad en individuos no adultos de una edad más avanzada, estos métodos se centran en la aparición y fusión de los centros de osificación secundarios o epífisis, con las diáfisis (Lewis & Flavel, 2006), donde el investigador debe puntuar si el cartílago está abierto, parcialmente fusionado o fusionado, cuyas observaciones dependerán de si se realizan en vivo o en hueso seco (Buikstra & Ubelaker, 1996; Ubelaker, 1987). Por ejemplo, se destaca el desarrollo temprano del sistema nervioso central, ya que las estructuras óseas protectoras, como el cráneo y la columna vertebral, alcanzan su madurez en la primera infancia (Cunningham et al., 2016). A diferencia, los huesos largos alcanzan su pleno desarrollo en etapas más tardías, influenciados en parte por el desarrollo muscular, así por ejemplo la

clavícula, siendo el primer hueso largo en mostrar signos de osificación, fusiona su extremo esternal por último, alrededor de los 30 años (Langley-Shirley & Jantz, 2010).

Su aplicabilidad, al igual que en el apartado anterior, dependerá del campo de actuación, en la clínica por ejemplo su estudio puede ser relevante para detectar un crecimiento anómalo del individuo, o incluso alteraciones de carácter patológico. Ya en contextos tanto arqueológico como forenses, su potencial para estimar la edad es indudable aunque los rangos de estimación dependerán de si el sexo es o no conocido.

1.4.3. La estimación de la edad en vivos

En el ámbito de la estimación de la edad en personas vivas, muchos métodos se originaron en auxología a lo largo del S. XX para evaluar la madurez infantil (Ashizawa et al., 2005; Freitas et al., 2004; Garn, 1981; Marshall, 1974). Estas investigaciones se enfocaron en estudios longitudinales del crecimiento, utilizando radiografías, que proporcionaron datos para evaluar la madurez esquelética en niños de edad conocida (Tanner, 1981, 1990; Tanner et al., 1966; Todd, 1937); a través del registro antropométrico y la recopilación de radiografías (Black & Maat, 2010).

Los estudios más destacados se centran en el desarrollo y osificación de los huesos de algunas articulaciones, especialmente la muñeca y mano debido, no solo a su gran número de elementos óseos, permitiendo un mayor margen de desarrollo y osificación hasta aproximadamente los 17 años, sino también a la facilidad y poca invasividad de esta técnica. En este sentido, los atlas elaborados por Greulich y Pyle (Greulich & Pyle, 1959) y Tanner y Whitehouse II (Tanner et al., 1975), han sido y son referentes en este tipo de técnicas, incluso actualmente validados con pequeñas variaciones

poblacionales, manteniendo su precisión y repetibilidad (De Sanctis et al., 2014; Hackman & Black, 2013; Kim et al., 2015; Koc et al., 2001; Zabet et al., 2015).

Dado el aumento de los flujos migratorios entre comunidades desplazadas, víctimas de tráfico o trata de personas, desde el Grupo de Estudio sobre el Diagnostico Forense de la Edad (*Study Group on Forensic Age Diagnostic* – SGFAD) concluyó que el enfoque más preciso para la estimación de la edad en personas vivas era una combinación de datos de desarrollo dental y esquelético, tomando en cuenta el entorno socioeconómico del individuo (Schmeling et al., 2007, 2008). Por lo tanto, las investigaciones se han centrado en dos aspectos clave: la precisión metodológica de la población de estudio y el uso de la maduración esquelética y dental de una edad definida que sea relevante en el ámbito judicial, ya sea criminal o civil.

En respuesta a esto, se ha observado un aumento en el uso de técnicas modernas de diagnóstico por imagen, como resonancia magnética y ecografía (Krämer et al., 2014, 2014; Laor & Jaramillo, 2009; Mentzel et al., 2005; Saint-Martin et al., 2013; Schulz et al., 2005), manteniendo el enfoque en áreas esqueléticas similares a las consideradas en los atlas radiográficos, sin descartar este tipo de técnica (Albernaz Neves et al., 2020; De Luca et al., 2016; De Sanctis et al., 2014; Galić et al., 2016). Igualmente, se han desarrollado métodos alternativos para evaluar la edad a partir de otras zonas del cuerpo, aunque a menudo se utilizan en situaciones específicas y para rangos de edad muy concretos, como los aplicados en la cresta iliaca (Wittschieber et al., 2013), en el codo (Canavese et al., 2008; Diméglio et al., 2005) o en las vértebras cervicales (Cameriere et al., 2015).

Aunque el objetivo principal de este tipo de estudios es el de estimar la edad en vivos, se ha estudiado su aplicabilidad en hueso seco, varios autores han señalado discrepancias entre las medidas y las observaciones realizadas en hueso seco y fresco; por ejemplo, De Oliveira et al., (2015) no recomiendan su aplicación en hueso seco debido a posibles errores en los resultados. Sin embargo, se ha intentado validar la metodología radiológica en hueso seco a través de la validación de sus resultados, incluso cuando se aplica en fetos, con resultados positivos (Piercecchi-Marti et al., 2002; Warren, 1999). Por lo tanto, una metodología radiológica en hueso seco no debería aplicarse a menos que, como en los casos anteriores, dicha metodología haya sido validada previamente en la población de estudio.



CAPÍTULO 2
ANATOMÍA Y EMBRIOLOGÍA
DEL HUESO TEMPORAL

CAPÍTULO 2

ANATOMÍA Y EMBRIOLOGÍA DEL HUESO TEMPORAL

2.1. Introducción a la osteología

El desarrollo embrionario del individuo se lleva a cabo a partir de tres capas germinales: el ectodermo, el mesodermo y el endodermo, a partir de las cuales se originan todas las estructuras del cuerpo humano (Lewis, 2017). El ectodermo, que constituye la capa más externa, es responsable del desarrollo de la piel, el pelo y las uñas. La capa interna, conocida como endodermo, desempeña un papel crucial en la formación del aparato digestivo y del sistema respiratorio. Por último, el mesodermo, una capa que se condensa con el tiempo, forma el mesénquima o tejido conjuntivo embrionario. Aproximadamente durante la tercera semana de gestación, este mesénquima da lugar al desarrollo del sistema esquelético, muscular y circulatorio del individuo (Humphries, 2011). El periodo embrionario de entre las 2 y 8 semanas es cuando se produce el mayor desarrollo de todos los sistemas (Lewis, 2017).

El sistema esquelético se encuentra formado por huesos y cartílagos que proporcionan el soporte y protección de otros órganos (Latarjet & Ruiz Liard, 2019). Este es un sistema osteo-cartilaginoso que se forma en LA etapa fetal y que poco a poco se va sustituyendo por un tejido óseo compuesto principalmente por fosfato de calcio inorgánico y fibras de colágeno de tipo I, en el cual se encuentran inmersas las células óseas (Waschke et al., 2018). El

esqueleto se puede dividir en dos grandes grupos, esqueleto axial y esqueleto apendicular; el primero está compuesto por aquellos huesos que cubren el sistema nervioso central, es decir, la caja torácica (columna vertebral, esternón y costillas) y el cráneo, mientras que el esqueleto apendicular conforma el resto de los componentes óseos de los miembros superiores e inferiores (Latarjet & Ruiz Liard, 2019; Waschke et al., 2018). El hueso adulto está compuesto por dos partes distintas: una capa de hueso compacto y otra de hueso esponjoso o trabecular. El hueso compacto forma una capa periférica y continua, mientras que el segundo está constituido por una serie de laminillas o trabéculas que delimitan espacios comunicantes entre sí, ocupados por la médula ósea. El tejido compacto actúa como un estuche de contención para el hueso esponjoso (Latarjet & Ruiz Liard, 2019).

La formación del hueso, también conocida como osteogénesis, puede ocurrir de dos maneras principales: mediante osteogénesis intramembranosa, que ocurre directamente a partir de un tejido conjuntivo precursor embrionario/fetal llamado mesénquima, o más comúnmente a través de la formación de una matriz de cartílago hialino que eventualmente es reemplazada por hueso; este proceso se conoce como osteogénesis peri-/endocondral. En la osteogénesis intramembranosa, los huesos como el cráneo y la clavícula se forman directamente a partir de tejido conectivo sin pasar por la etapa de cartílago. En cambio, muchos huesos largos se desarrollan a través de la osteogénesis peri-/endocondral, donde inicialmente se forma un cartílago que posteriormente es reemplazado por hueso (Waschke et al., 2018).

En la formación del hueso maduro, un aspecto clave es la presencia de los centros primarios de osificación (Cunningham et al., 2016). Estos centros son puntos iniciales desde los cuales el hueso comenzará a formarse y a

desarrollarse. Representan las primeras zonas dentro del esqueleto embrionario donde las células óseas precursoras se agrupan y comienzan a crear la estructura ósea. A medida que el proceso de osificación avanza desde estos centros primarios, el hueso se extiende y se desarrolla para formar las diversas partes del esqueleto del cuerpo humano. Estos centros primarios de osificación son esenciales para el crecimiento y la formación adecuada de los huesos durante el desarrollo fetal y en los primeros años de vida (**Imagen 2.1**).

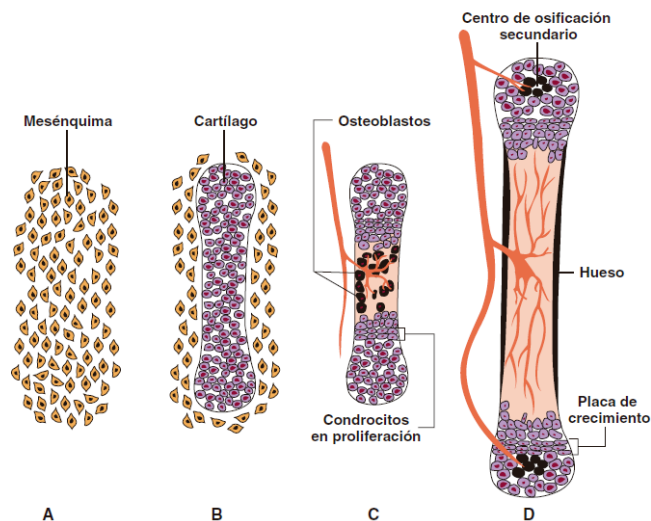


Imagen 2.1: Formación del hueso endocondral. **A.** Las células mesenquimatosas comienzan a condensarse y se diferencian en condrocitos. **B.** Los condrocitos forman un modelo cartilaginoso del hueso futuro. **C, D.** Los vasos sanguíneos invaden el centro del modelo cartilaginoso, llevando osteoblastos (células negras) y limitan las células condrocíticas en proliferación a los extremos (epífisis) de los huesos. Los condrocitos de la parte media del hueso (diáfisis) experimentan hipertrofia y apoptosis al mineralizar la matriz circundante. Los osteoblastos se unen a ésta y depositan matrices óseas. Más tarde, a medida que los vasos sanguíneos invaden las epífisis, aparecen los centros de osificación secundarios. La proliferación de los condrocitos en las placas de crecimiento mantiene el crecimiento de los huesos. Tomado de: *Sadler, T., (2012)*.

Cunningham et al. (2016) distinguen entre centros primarios y centros secundarios de osificación. Los centros primarios de osificación son los puntos iniciales de formación ósea en un elemento esquelético. Estos centros

pueden desarrollar el hueso completo o la mayoría del hueso adulto. Posteriormente, se fusionan con pequeños centros adicionales de osificación llamados secundarios. Todos estos centros son creados a través de un proceso de osificación intramembranosa dermal. Mientras que los centros secundarios de osificación se distinguen de los primeros en como su nombre indica, ser secundarios; se pueden diferenciar de tres tipos:

- En primer lugar, aquellos centros secundarios de osificación que se encuentran en los extremos de los huesos largos, cubriendo las áreas articulares y siguiendo un modelo de osificación endocondral.
- En segundo lugar, aquellos visibles en ciertas superficies articulares que se desarrollan a partir de pequeñas regiones de hueso cortical en lugar de grandes masas trabeculares. Estos pequeños centros de osificación, presentes en articulaciones como la esternoclavicular del manubrio y la condroesternal, o en la cabeza y tubérculo articular de las costillas, solo aparecen en el eje axial y en las cinturas escapular y pélvica, no en el esqueleto apendicular.

Por último, aquellos que pueden formarse en inserciones musculares o ligamentosas en respuesta al estrés, siguiendo un modelo más pericondral. Como por ejemplo el desarrollo de las crestas ilíacas o las apófisis transversas de las vértebras.

En las etapas tempranas del desarrollo, los centros primarios y secundarios de osificación se hallan divididos por una matriz cartilaginosa de crecimiento rápido. La unión entre estos centros ocurre cuando la tasa de deposición de sales minerales, y por ende, la formación ósea, supera el crecimiento cartilaginoso de esta matriz.

2.2. La formación del cráneo

El cráneo se desarrolla a partir del segundo o tercer mes de gestación, con puntos de osificación que se extienden rápidamente fusionándose con otros (Lewis, 2017). El mesénquima que conforma la cabeza y el cuello tiene su origen en diferentes capas embrionarias, las cuales provienen del mesodermo de la placa lateral y paraxial, así como de la cresta neural y de las áreas engrosadas del ectodermo (Sadler, 2015). A nivel osteológico, el más importante es el mesodermo paraxial ya que de este parten gran parte de los componentes membranosos y cartilaginosos del neurocráneo, es decir el cráneo en sí mismo. Así mismo, se encarga de desarrollar otras estructuras como músculos craneofaciales, meninges, etc. En cuanto al mesodermo lateral, este se encarga de desarrollar los cartílagos laríngeos, cricoides y demás tejidos conectivos de esta zona. Otro rasgo notorio en el desarrollo y evolución del cráneo es la presencia de los arcos faríngeos, los cuales dan la forma o aspecto típico del embrión. Estos arcos son estructuras transitorias que se forman en las paredes laterales y el suelo de la faringe de todos los embriones de mamíferos, que en el humano, se desarrollan entre los 22 y 29 días de gestación siendo un total de seis arcos faríngeos (Cunningham et al., 2016). Los arcos más relevantes en el desarrollo óseo del cráneo son los dos primeros, ya que conforman gran parte de los huesos de la cara, los osículos, y una parte pequeña del hueso temporal (Sadler, 2015). En el desarrollo embrionario del cráneo, se observa una simetría bilateral, lo que significa que los elementos óseos se forman en pares y se sitúan longitudinalmente a lo largo del cuerpo (Latarjet & Ruiz Liard, 2019). Esta simetría bilateral permite la diferenciación entre el lado derecho y el lado izquierdo del cráneo, que permanecen separados durante el proceso de desarrollo. La formación en

pares y la subsiguiente fusión adecuada de estos elementos son cruciales para garantizar la estructura y la función adecuadas del cráneo humano.

Al nacer, el cráneo humano está conformado por 45 elementos óseos, cuyo crecimiento se produce de forma más rápida entre el primer y segundo mes de vida, y se ralentiza a partir de los 7 años de vida hasta el estirón puberal, y hasta alcanzar el tamaño en proporciones adultas en torno a los 20 años (Lewis, 2017). Esto es debido a que el crecimiento del cráneo en una etapa postnatal es menos drástico respecto al del cuerpo, ya que la cabeza es un 60% de la longitud del cuerpo de un perinatal, mientras que en un adulto es un 28% de la esperada (Dahm et al., 1993).

En cuanto a la estructura del cráneo, este se encuentra dividido en dos partes distintas: el neurocráneo y el viscerocráneo o esplacnocráneo. El neurocráneo actúa como una caja protectora alrededor del encéfalo, mientras que el viscerocráneo comprende los elementos óseos que forman la estructura facial (Sadler, 2015) (**Imagen 2.2**).

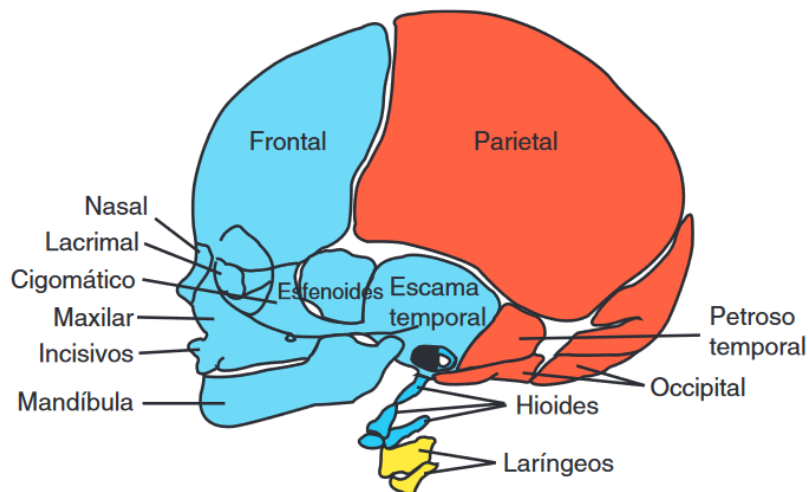


Imagen 2.2: Estructuras óseas de la cabeza y la cara. Derivados del mesénquima de cresta neural (azul), mesodermo paraxial –somitas y somítomos– (rojo) y placa de mesodermo lateral (amarillo). Tomado de: *Sadler, T., (2012)*.

Neurocráneo

La división del neurocráneo, a su vez, influye en su proceso de osificación. Una porción del neurocráneo es de naturaleza membranosa y consiste en huesos planos que se originan a partir de una lámina membranosa. Por otro lado, una parte cartilaginosa, o condrocráneo es responsable de la formación de los huesos que constituyen la base del cráneo.

El neurocráneo membranoso se origina a partir de las células de la cresta neural y del mesodermo paraxial. En este proceso, el mesénquima que rodea el encéfalo experimenta una osificación que involucra la formación de espículas óseas en forma de agujas, las cuales se fusionan formando los huesos planos del cráneo mediante un proceso conocido como osificación membranosa (Sadler, 2015) (**Imagen 2.3**). En el proceso de desarrollo tanto prenatal como postnatal, estos huesos membranosos aumentan de tamaño por

la superposición de capas en la superficie externa y por la reabsorción osteoclástica simultánea en la parte interna (Sadler, 2015).

Es importante comprender el patrón y momento de desarrollo de la bóveda craneal ya que es esencial para investigar o considerar la presencia de lesiones endocraneales en hueso seco en niños (Lewis, 2017).

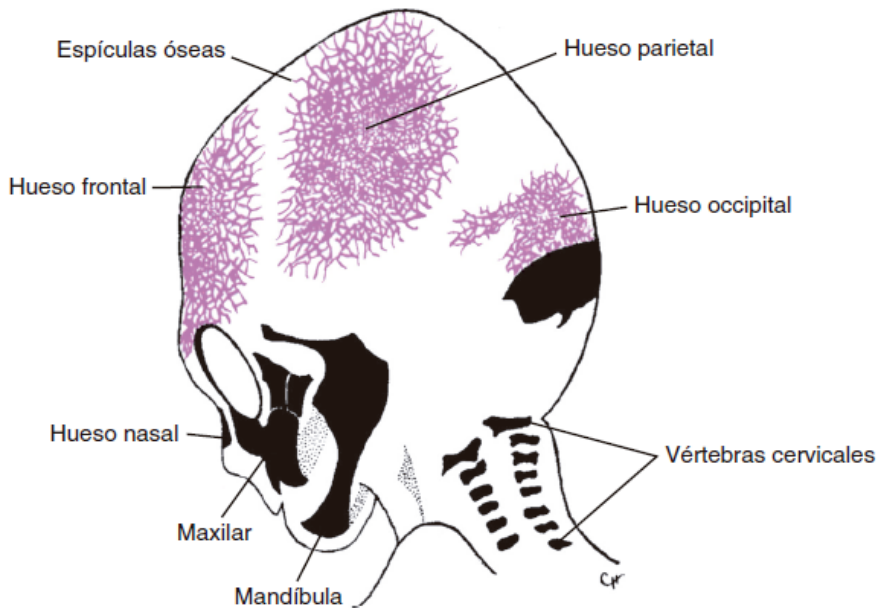


Imagen 2.3: Huesos del cráneo en un feto de 3 meses que muestran la expansión de las espículas óseas desde los centros de osificación primarios en los huesos planos del cráneo. Extraído de: *Sadler, T., (2012).*

El neurocráneo cartilaginoso, también llamado condrocráneo, se compone de dos cartílagos individuales durante el desarrollo embrionario. Uno de estos cartílagos se origina a partir de la cresta neural, dando lugar al condrocráneo precordial. El segundo cartílago se forma a partir de los escleromas occipitales derivados del mesodermo paraxial, constituyendo así el condrocráneo cordal (Sadler, 2015) (**Imagen 2.4**). El punto intermedio que diferencia entre el condrocráneo precordial y cordal es el centro de la silla turca.

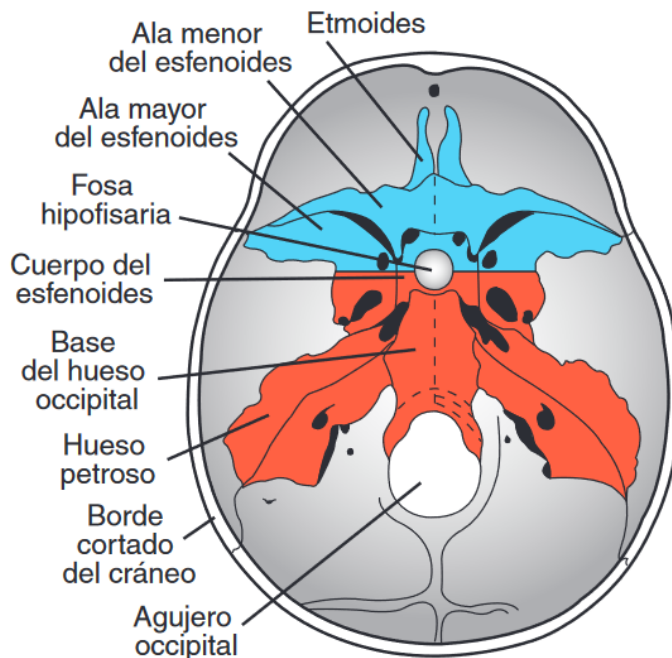


Imagen 2.4: Vista dorsal del condrocráneo, o base del cráneo, en un adulto que muestra los huesos formados por osificación endocondral. Los huesos que se forman en la parte rostral respecto a la mitad rostral de la silla turca se originan a partir de la cresta neural y constituyen el cráneo precordial (frente a la notocorda) (azul). Los huesos que se forman en la parte posterior de esta marca anatómica se originan en el mesodermo paraxial (condrocráneo cordal) (rojo). Tomado de: *Sadler, T., (2012).*

Viscerocráneo

Como se ha mencionado previamente, el viscerocráneo comprende los huesos de la cara, los cuales se desarrollan a partir de los dos primeros arcos faríngeos (Sadler, 2015) (**Imagen 2.5**). El primer arco contribuye a la formación de la parte dorsal, dando origen al maxilar, al hueso cigomático y a la apófisis cigomática del temporal. Por otro lado, la parte ventral del primer arco contiene un cartílago, llamado cartílago de Meckel, que posteriormente

da lugar a la mandíbula y se preserva como vestigio en el cartílago esfenomandibular, a excepción de dos partes que persisten para constituir el martillo y el yunque.

En cuanto al segundo arco faríngeo, este se encarga de originar el estribo y la apófisis estiloides del hueso temporal. Estos osículos son los primeros elementos óseos en completar su osificación; un proceso que se lleva a cabo por completo durante el cuarto mes de gestación. Este desarrollo detallado de los arcos faríngeos y sus derivados óseos es esencial para la formación adecuada de las estructuras faciales y auditivas en el embrión humano.

En estado embrionario, las proporciones de la cara en relación con el neurocráneo son menores en los seres humanos debido principalmente a la ausencia inicial de los senos paranasales y la dentición. Con el desarrollo gradual de estas estructuras faciales, la cara pierde progresivamente sus rasgos infantiles, adquiriendo una apariencia más madura y definida.

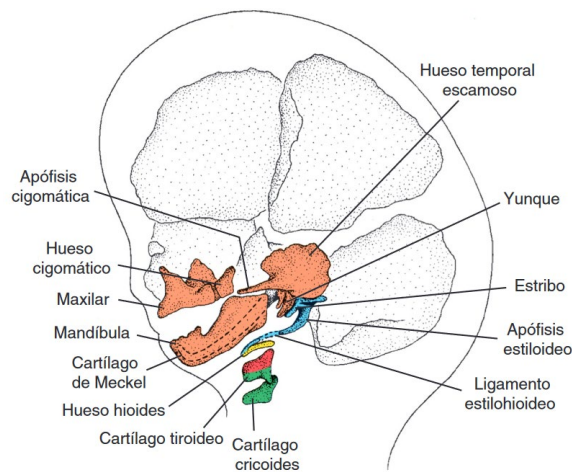


Imagen 2.5: Vista lateral de la cabeza y de la región del cuello de un feto algo mayor, que muestra los derivados de los cartílagos del arco que participan en la formación de los huesos de la cara. Tomado de: *Sadler, T., (2012)*

En resumen (Cunningham et al., 2016):

- Tanto el neurocráneo como el viscerocráneo presentan componentes cartilaginosos y membranosos en su desarrollo.
- La base del cráneo y la mayor parte de la nariz se preforman en cartílago e incluyen diversas estructuras como las partes basales y laterales del hueso occipital, las porciones petromastoideas de los temporales, así como las partes corporales, las alas menores y las regiones mediales de las alas mayores del esfenoides, junto con el etmoides.
- Los huesos que forman la bóveda craneal, que incluyen el frontal, los parietales, las alas mayores del esfenoides, las partes escamosas de los temporales y la escama superior del occipital se desarrollan directamente en tejido membranoso.
- La mayoría de los demás huesos del cráneo que constituyen la estructura facial como son los maxilares, los palatinos, los nasales, los lagrimales, los cigomáticos y el vómer, se desarrollan directamente en membrana.
- Los derivados de los arcos faríngeos contribuyen a la formación de estructuras como el maxilar, la mandíbula, los osículos, la apófisis estiloides del temporal, el hueso hioides y el esqueleto de la laringe.

2.3. Anatomía del hueso temporal

En este apartado las descripciones anatómicas se realizan a través de los manuales de anatomía (Sadler, 2015; Latarjet & Ruiz Liard, 2019), así como a través de los manuales de osteología infantil de referencia para la

antropología física y forense (Scheuer & Black, 2000; Cunningham et al., 2016).

El hueso temporal, un elemento par, ocupa una posición destacada en el cráneo, específicamente en su región lateral, media e inferior, constituyendo así la base y las paredes laterales de la bóveda craneal. En un individuo adulto, este hueso se distingue por su división en tres partes o porciones: la porción escamosa, la porción petrosa y la timpánica (**Imagen 2.6**). La primera de estas partes se presenta como una lámina delgada y semicircular, ubicada por arriba y lateralmente. La segunda se encuentra situada bajo la porción escamosa y forma un semicanal que se extiende hacia arriba, mientras que la última, la porción petrosa, se halla en la parte posterior, inferior y medial de las otras dos secciones. Esta última se desarrolla hacia adelante y hacia el plano medial en forma de pirámide, orientándose hacia el centro de la base del cráneo.

El hueso temporal, caracterizado por su tejido óseo altamente resistente y compacto, presenta variaciones en su estructura. Mientras que las porciones escamosa y timpánica son extremadamente delgadas, la porción petrosa se compone mayoritariamente de tejido óseo esponjoso, especialmente la apófisis mastoides, que rodea el órgano vestibulococlear, la cual se extiende hacia la mitad del vértice de la porción petrosa (Latarjet & Ruiz Liard, 2019).

Desde un punto de vista anatómico superficial, la apófisis mastoides es palpable justo detrás del pabellón auricular, mientras que la apófisis cigomática se encuentra perceptible bajo la piel, marcando los límites entre las regiones temporal y maseterina. Por otro lado, el conducto o meato auditivo externo puede palparse a través del pabellón auricular (Latarjet & Ruiz Liard, 2019). Desde un punto de vista anatómico, el hueso temporal adquiere una relevancia significativa, ya que alberga el órgano

vestibulococlear, con particular atención a los osículos. Además, sirve como pasaje para dos pares de nervios importantes: el nervio facial (sexto) y el nervio vestibulococlear (séptimo), y por último la arteria carótida (Cunningham et al., 2016). No obstante, el desarrollo óseo de este elemento se inicia en cuatro partes bien diferenciadas, petromastoidea, escamosa, timpánica y proceso estiloides.

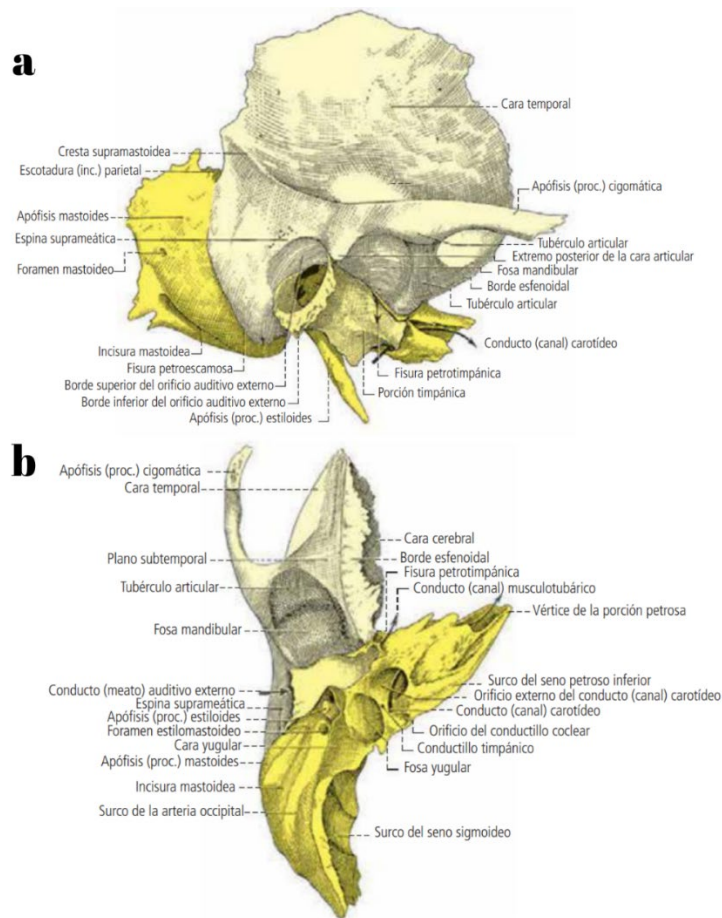


Imagen 2.6: Hueso temporal en amarillo claro, porción escamosa; en amarillo porción timpánica y en amarillo más oscuro, la porción petrosa. a) vista lateral. b) vista inferior. Extraído de: *Latarjet, M., & Liard, A. R. (2019).*

La **parte petromastoidea** del hueso temporal constituye una estructura anatómica fundamental en la base del cráneo, formando la pared posterior de la fosa craneal media y la pared anterior de la fosa posterior. Esta región se presenta como una pirámide de tres lados, con su base fusionada a la porción mastoidea en la superficie craneal, mientras que el ápice limita con el foramen lacerado. En su superficie anterior, orientada hacia la fosa media, se encuentra la impresión del trigémino, que aloja el ganglio sensorial del V nervio craneal. En la porción posterior de la pirámide petrosa, que da hacia la fosa craneal posterior, se encuentra el meato acústico interno, por donde transcurren los nervios facial y vestibulococlear, junto con los vasos auditivos internos. Además, presenta aberturas variables, como la fosa subarcuata y el acueducto vestibular. En la superficie inferior del área petrosa se encuentran estructuras clave como el canal carotídeo y el foramen yugular, así como un área destinada al ganglio inferior del IX nervio craneal y el conducto coclear.

Por otro lado, la sección mastoidea del hueso temporal se ubica en la parte posterior del meato auditivo, articulando con los huesos occipital y parietal. Este se proyecta hacia abajo y es la inserción para varios músculos, como el esternocleidomastoideo, esplenio y digástrico, fundamentales en la función de rotación de la cabeza. En su superficie interna, presenta un surco para el seno venoso sigmoideo, a menudo con una abertura para una vena mastoidea. Se han documentado evidencias del dimorfismo sexual entre el tamaño del proceso mastoideo (Buikstra & Ubelaker, 1996), incluso aplicando funciones discriminantes con un poder de clasificación inferior al 75% (Galdames et al., 2008; Kemkes & Göbel, 2006). La neumatización de la mastoides es variable, y algunos estudios basados en su estructura y separación de las células de aire son útiles en la identificación de patologías crónicas como la mastoiditis, meningitis u osteomielitis crónica (Buikstra, 2019) o en identificación forense (Rhine & Sperry, 1991).

La **parte escamosa** del hueso temporal consiste en una placa plana y vertical que forma parte de la fosa temporal y la pared lateral de la cavidad craneal, y el proceso cigomático que se proyecta hacia adelante. La superficie es lisa y está cubierta por el músculo temporal, que inserta en la cresta supramastoidea; en algunas ocasiones la arteria temporal surca desde la raíz de la apófisis cigomática verticalmente. Internamente, forma la pared de la fosa craneal media y presenta surcos y giros del lóbulo temporal, junto con ramas de los vasos menígeos medios. La parte superior de la escama forma una curva semicircular biselada internamente y se articula con el hueso parietal en la sutura escamosa, pudiendo también articularse con el ala mayor del esfenoides y ocasionalmente con el hueso frontal. Además, pueden aparecer huesos epiptéricos en esta región, afectando la identificación del pterion y teniendo implicaciones para procedimientos neuroquirúrgicos. En el ámbito de la metodología antropológica, la cresta supramastoidea exhibe un marcado dimorfismo sexual que se manifiesta de manera notable en individuos del sexo masculino, donde la cresta se extiende de manera significativamente posterior en comparación con los individuos del sexo femenino (WEA, 1980).

La **parte timpánica** del hueso temporal es una placa cuadrangular situada debajo de la parte escamosa y anterior al proceso mastoideo. Su superficie posterior se extiende en una estructura en espiral que forma las paredes anterior, inferior y la mayoría de las paredes posteriores del meato auditivo externo óseo. Está fusionada con la parte escamosa en su parte anterior, y con la región mastoidea en la posterior. El extremo medial del conducto está marcado por el surco timpánico para la membrana timpánica, mientras que el extremo lateral se une a la parte cartilaginosa del conducto. Esta área puede perforarse por el foramen de Huschke, una característica considerada normal durante el desarrollo pero que puede persistir en la edad adulta (Anderson,

1960; Humphrey & Scheuer, 2006; Reinhard & Rösing, 1985; Schutkowski, 1989). La orientación de la placa timpánica es anteroinferior y forma la parte posterior no articular de la articulación temporomandibular. El borde inferior es afilado e invaginado, encerrando la apófisis estiloides. Se han documentado exostosis auriculares, como crecimientos óseos en el canal auditivo, las cuales han sido asociadas comúnmente con la actividad acuática, aunque su origen exacto sigue siendo incierto ya que no siempre están vinculadas a estas actividades en regiones tropicales y subtropicales (Okumura et al., 2007). No obstante, Berry y Berry (1967) lo han asociado como un rasgo no métrico, al igual que otras muchas exostosis.

En cuanto al **proceso estiloides**, situado entre la parte petrosa y la placa timpánica del hueso temporal, este se proyecta hacia abajo y adelante, conectándose al cuerno superior del hueso hioides mediante el ligamento estilohioideo. Estudios detallados han revelado notables variaciones en la longitud del proceso estiloides, que van desde su ausencia bilateral hasta una longitud promedio de 29 mm, según evaluaciones radiográficas, aunque cabe mencionar que no se ha establecido una correlación aparente entre estas variaciones y factores como la edad o el sexo del individuo.

En algunos casos, los procesos estiloides de longitud reducida pueden no ser detectados en radiografías debido a su ocultación por el denominado proceso vaginal. Sin embargo, en el ámbito clínico, existe una condición conocida como síndrome de Eagle, caracterizada por la osificación anormal del ligamento estilohioideo (Eagle, 1949). Esta condición afecta aproximadamente al 4% de los pacientes, siendo una rareza en individuos menores de 30 años y sin presentar diferencias significativas entre los sexos. Este síndrome puede ser asintomático en algunos casos, pero también puede provocar síntomas como dificultad para tragar y dolor en el oído, la garganta

o la articulación temporomandibular. Se postula que esta condición tiene una base genética y podría estar relacionada con las estructuras derivadas del segundo arco neural durante el desarrollo embrionario humano (Steinmann, 1970).

2.4. Desarrollo y osificación del hueso temporal: *pars petrosa, pars squama, pars tympani* y proceso estiloides.

Este apartado recurrirá esencialmente al manual de referencia de osteología infantil de Cunningham et al. (2016)

El hueso temporal es uno de los huesos del cráneo con un desarrollo complejo, ya que el desarrollo del oído y del propio hueso es un proceso que envuelve diferentes tejidos embrionarios. En una fase embrionaria temprana, el laberinto membranoso se origina a partir de células de la cresta neural. Mientras tanto, la cápsula ótica, que constituye gran parte de la porción petromastoidea del hueso, se desarrolla endocondralmente a partir del mesodermo paraxial con mesénquima derivado también de la cresta neural. Este mesénquima da lugar, a través de la osificación intramembranosa, a las porciones escamosa y timpánica. Finalmente, la porción estiloides se desarrolla endocondralmente a partir del tejido del segundo arco faríngeo, al igual que los espacios medio y externo del oído. Las complicaciones clínicas resultantes de malformaciones congénitas afectan selectivamente a una parte específica del oído, dejando otras áreas indemnes. Estas malformaciones suelen comprometer el oído medio o externo y exhiben una mayor prevalencia en individuos de sexo masculino en comparación con sus contrapartes femeninas. Además, se observa una mayor incidencia en el lado derecho en comparación con el izquierdo. Este patrón de afectación

asimétrica y su preferencia por ciertas estructuras del oído suelen atribuirse a la complejidad del desarrollo embrionario (Cunningham et al., 2016).

Las primeras etapas del desarrollo del oído tienen lugar durante la tercera semana de la vida embrionaria, marcando el inicio de la formación de la membrana del laberinto, la cual se completa aproximadamente en la semana veinticinco del desarrollo embrionario. Entre la cuarta y quinta semana, se empiezan a manifestar los primeros indicios de la cavidad timpánica y del tubo auditivo, estructuras que posteriormente constituirán el meato auditivo externo. Alrededor de la quinta semana, también aparecen las primeras señales de los osículos cartilagosos, los cuales evolucionan hasta alcanzar su tamaño y morfología adulta entre la novena y decimoquinta semana.

Durante la octava o novena semana, el mesénquima circundante a la cápsula ótica se condensa para formar un cartílago, fusionándose con la cápsula ótica y representando así una etapa inicial del condrocráneo. Simultáneamente, el anclaje de la apófisis estiloides se proyecta hacia abajo y hacia el centro desde la base del condrocráneo. Hacia la décima semana, el anillo timpánico se hace visible como un pequeño nódulo, rodeado por una matriz ósea, ubicado entre el martillo y el cartílago de Meckel.

Osificación

La osificación del hueso temporal presenta características únicas en dos aspectos importantes. En primer lugar, tanto el laberinto óseo como los osículos y el anillo timpánico alcanzan sus proporciones adultas completas en la mitad de la gestación fetal, lo que implica que no se produce un aumento de tamaño posteriormente. En segundo lugar, a diferencia de otros huesos, se sostiene que la parte capsular de la porción petrosa del hueso temporal no experimenta remodelación, y se afirma que el primer hueso endocondral formado se mantiene inalterado a lo largo de toda la vida. Así por ejemplo, el

laberinto prenatal tiene un tamaño equivalente al de un individuo adulto entre la semana 17 y 19 (Jeffery & Spoor, 2004), mientras que, a diferencia de la cápsula ótica, las partes mastoidea, escamosa y timpánica del hueso cambian mucho de forma y proporción durante la vida postnatal. A mitad de la vida fetal, el hueso temporal adquiere una morfología similar y reconocible, habiendo alcanzado proporciones similares a las del adulto, mientras que al termino de la misma es una estructura no fusionada (Bowden, 1977).

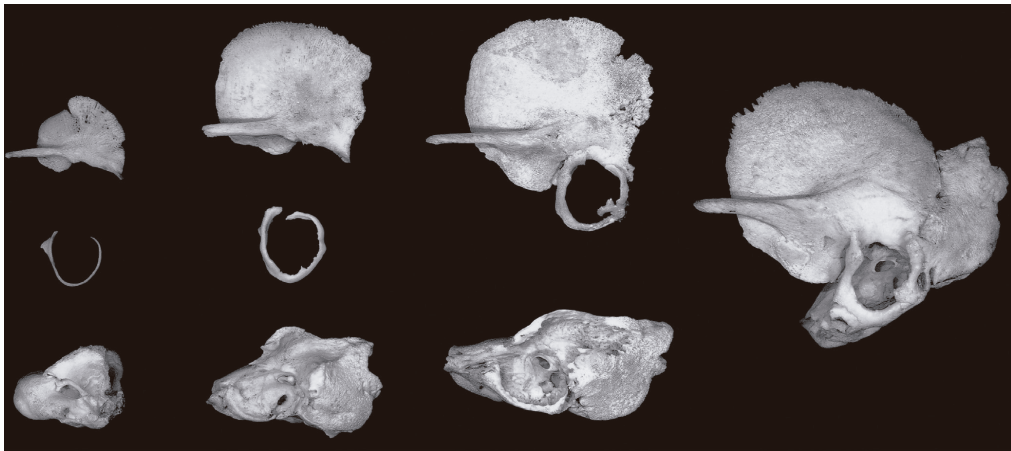


Imagen 2.7: Desarrollo osteológico de las tres partes del hueso temporal en vista lateral, de izquierda a derecha: 5 meses de gestación, 8 meses de gestación, nacimiento y seis meses postnatales. Tomado de: *Cunningham, et al. (2016)*.

La osificación de la *pars petrosa* (Tabla 2.1), es decir, la parte petrosa del hueso temporal, ocurre en una serie de etapas (**Imagen 2.8**). En primer lugar, se origina a través de la formación del laberinto óseo, que envuelve inmediatamente la cápsula ótica, siendo el primera estructura ósea reconocible (Nemzek et al., 1996). Posteriormente, se desarrollan prolongaciones de esta estructura que contribuyen a la parte extracapsular del hueso. La osificación de la cápsula ótica sigue un proceso endocondral, con excepción de ciertas regiones como el modiolos y la lámina espiral de la

cóclea, el *ostium* externo del acueducto vestibular y parte de la pared timpánica del canal semicircular lateral, las cuales se forman en membrana.

Es importante destacar que el proceso de osificación solo comienza cuando la cápsula cartilaginosa, junto con su laberinto membranoso contenido, ha alcanzado dimensiones propias del adulto, es decir, aproximadamente alrededor de la semana veinticinco de gestación. En esta fase, el hueso endocondral inicial no es reemplazado por tejido óseo de Havers, sino que conserva su estructura primitiva y es relativamente avascular en comparación con las etapas posteriores de desarrollo.

El hueso petroso se hace visible en fetos a partir de la segunda mitad del ciclo gestacional. Aunque no hay un consenso respecto a los centros de osificación que lo componen, se ha estimado un total de 14 centros, siendo el primero de ellos visible en la primera vuelta de la cóclea (Bast, 1930). Este hallazgo confirma que el proceso de osificación se inicia en esta sección anatómica específica. Aunque el orden de aparición de estos centros de osificación es incierto, se cuenta con información sobre su estructura trilaminar, la cual consiste en tres capas distintas: una capa externa perióstica, una capa intermedia formada por islas de cartílago osificado y una capa interna que rodea los espacios laberínticos. La osificación de los espacios entre estos centros ocurre de manera rápida y sin la formación de una línea de sutura, comenzando desde la parte coclear del laberinto membranoso y extendiéndose hasta la zona canicular, siendo este proceso más lento en esta área específica, la cual se extiende hacia la futura parte mastoidea del hueso.

A finales de la segunda mitad de la vida intrauterina, gran parte de las zonas extracapsulares se osifican a partir de la capa perióstica de los centros de osificación, a partir de la cual se forma una curva inferiormente desde la parte anterior del saliente semilunar para formar la apertura del canal

carotideo y la fosa yugular y que se expande hasta la parte mastoidea del hueso.

Tabla 2.1: Osificación de la porción petromastoidea del hueso temporal durante el estado embrionario.

Semana de gestación	Estadio
Semana 16	Aparece el primer centro de osificación en la cápsula coclear.
Semana 17 – 19	El laberinto membranoso alcanza su estadio definitivo, aunque pueden aparecer ciertos cambios en su morfología hasta su osificación completa.
Semana 23	Gran parte de la cápsula ótica se ha osificado alrededor del laberinto membranoso. El <i>tegmen tympani</i> se osifica formando el techo del oído medio, el antro y la pared de la trompa auditiva.
Semana 24	Deja de observarse cambios en el tamaño del laberinto óseo. Entre semana y la semana 29 de gestación aparece un saliente óseo que conformará la placa yugular y empezará a formarse el suelo del oído medio.
Semana 26	Aparece un surco óseo en la zona canicular que protege al nervio facial, músculo estapedio y los vasos sanguíneos. Aparece un borde inferior sobre el que se apoyara la parte inferior del anillo timpánico. El promontorio es visible como una protuberancia entre las ventanas oval y redonda.
Semana 30	La cavidad timpánica está completa
Semana 35	Empieza la neumatización de las partes extracapsulares, las cuales no se acelerarán hasta después del nacimiento, cuando el líquido amniótico es sustituido por aire.

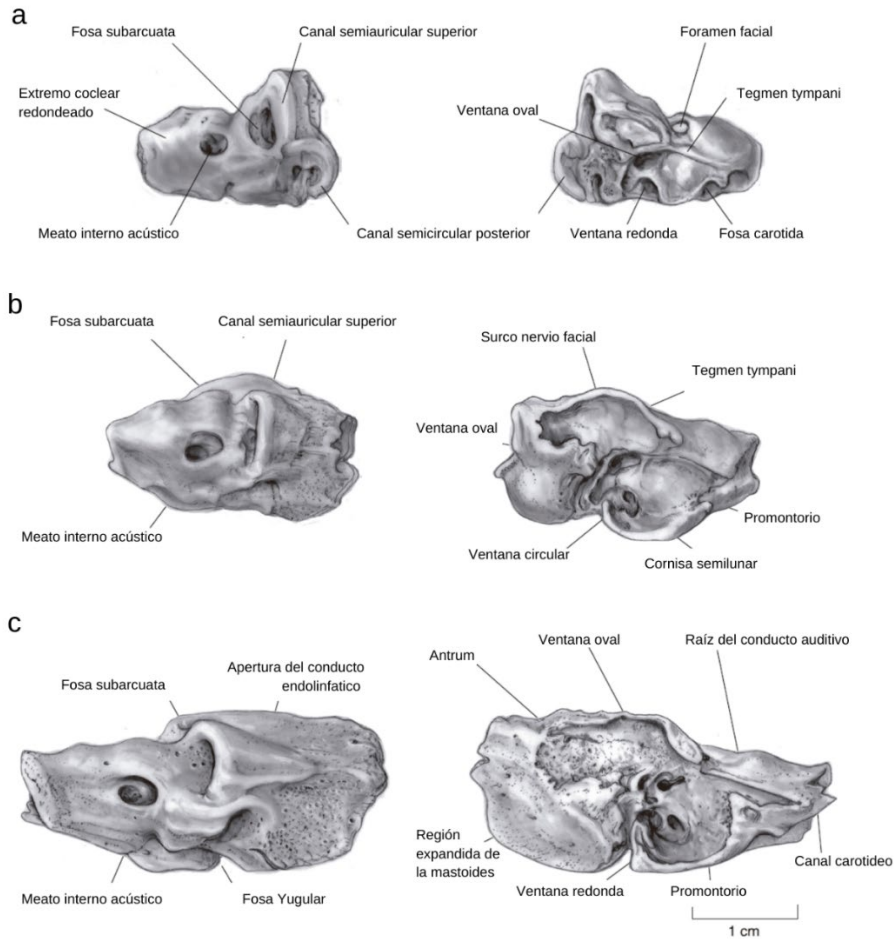


Imagen 2.8: Osificación de la *pars petrosa*: a) mitad de la vida fetal. b) sobre los 7 meses de gestación. c) a término de la vida gestacional. Vista medial en el lado izquierdo y vista lateral en el derecho. Tomado de: Cunningham, et al. (2016).

En cuanto a la osificación de la *pars squama* o porción escamosa (Tabla 2.2), se realiza por membrana entre la séptima y octava semana de gestación (Anson et al., 1955). Radiológicamente es visible a partir de la novena o decima semana (Bach-Petersen & Kjaer, 1993) (Imagen 2.9). Aunque algunos autores han descrito un único centro de osificación (Bowden, 1977), Augier (1931) describió un total de dos centros, uno en la zona cigomática y un segundo en la zona escamomastoideo. Sin embargo, Fazekas y Kósa

(1978) describen de manera definitiva un total de tres centros independientes, el primero en la base del proceso cigomático, un segundo en la zona principal de la escama, y finalmente un tercero en la zona posterior de la escama. Según estos autores, a finales del tercer mes lunar estos tres centros de osificación se fusionan con una fisura profunda entre los dos centros de la escama, visible hasta el octavo mes.

Cunningham et al. (2016) describe la escama del temporal como una delicada placa semicircular casi plana con bordes finamente dentados, con un proceso cigomático se proyecta hacia adelante desde una raíz engrosada aproximadamente a un tercio a lo largo del borde inferior, debajo de la cual se encuentra una pequeña placa curva que se convertirá en la fosa mandibular. Posterior e inferior a la raíz del proceso cigomático se encuentra el *escutum*, una extensión triangular con un ángulo inferior afilado, que posteriormente se neumatiza. En la superficie medial, el *escutum* está delimitado superiormente por una prominencia ósea que se fusiona con el tegmen timpánico posnatalmente.

Tabla 2.2: Osificación de la porción escamosa del hueso temporal durante el estado embrionario.

Semana de gestación	Estadio
Semana 7 – 8	Se observan los centros de osificación de la porción escamosa.
Semana 9	Se observa una placa delgada y estrecha en la parte lateral del martillo y yunque Entre esta semana y la décima ya se observa radiológicamente.
Semana 21	Fusión de los centros de osificación de la escama

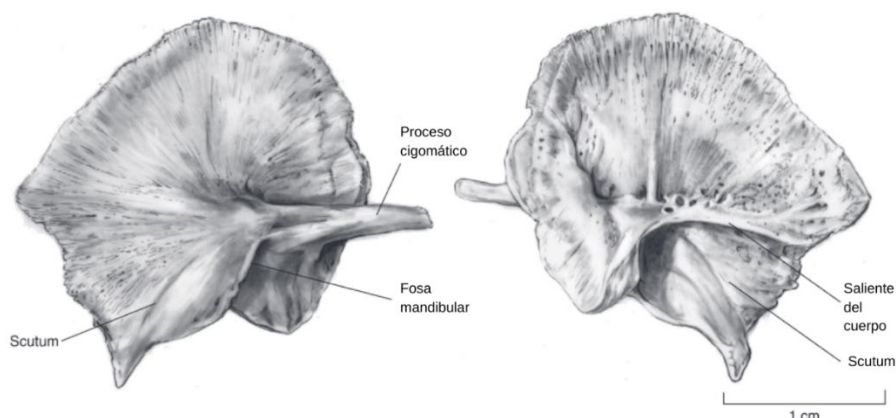


Imagen 2.9: Osificación de la *pars squama* a mitad de vida fetal. A la derecha vista medial y a la izquierda vista lateral. Tomado de: *Cunningham, et al. (2016)*.

La placa timpánica, o *pars tympani* (Tabla 2.3) por su importancia en el órgano vestibulococlear ha sido descrita y analizada en más profundidad (Anson et al., 1955; Ars, 1989; Bowden, 1977; Krmpotić-Nemanić et al., 1999; Nemzek et al., 1996) (Imagen 2.10). En la octava semana el anillo timpánico es tejido mesenquimatoso condensado cerca del cartílago de Meckel (Anson et al., 1955). Los centros de osificación que constituyen el anillo timpánico se desarrollan en al menos seis etapas. El primero aparece alrededor de la novena semana, ubicado entre el primer y segundo arco faríngeo y anterior al cartilaginoso yunque en forma de nódulo preóseo. En la décima semana, surge el segundo centro de osificación, formando el cuerno anterior que se fusionará con al menos otros cuatro centros para configurar una forma de “C” mediante tejido mesenquimatoso. Alrededor de la duodécima semana, el anillo aumenta de tamaño, formando un anillo incompleto adyacente al martillo.

Hacia la semana doce o trece, el anillo se hace visible radiológicamente (Bach-Petersen & Kjaer, 1993), y en la semana diecinueve, su diámetro se

incrementa 3,5 veces, creando un surco para la membrana timpánica. Mientras tanto, en la semana veintidós el anillo es una estructura independiente a la cápsula ótica mientras que los osículos se encuentran completamente osificados (Anson et al., 1955). El anillo timpánico es identificable de forma independiente desde la segunda mitad de la vida fetal. Presenta una deficiencia en la incisura timpánica superior, delimitada por los cuernos anterior y posterior. Bajo el cuerno anterior se halla la región mallear, que alberga el proceso anterior del martillo. Limitada por la cresta *spinarum*, esta región contiene las espinas timpánicas anterior y posterior. Internamente, sobresale el tubérculo timpánico anterior, mientras que el tubérculo timpánico posterior se encuentra en la mitad del anillo. Internamente, se observa un surco, el *sulcus tympanicus*, donde se aloja la membrana timpánica.

Antes del término de la edad gestacional, el anillo timpánico ha alcanzado su tamaño adulto. La unión del anillo timpánico a la cápsula ótica ocurre en dos etapas, con una diferencia de hasta cuatro semanas entre ellas, ya que se produce una fusión localizada en la parte posterior de la escama (Anson et al., 1955). Al nacer, el anillo timpánico presenta una estructura más robusta, fusionándose típicamente en la parte posterior con la escama y en la parte anterior con el extremo puntiagudo del *scutum*. En esta fase, la observación en hueso seco permite identificar los osículos, así como las ventanas oval y redonda.

Tabla 2.3: Osificación de la porción timpánica del hueso temporal durante el estado embrionario.

Semana de gestación	Estadio
Semana 9	Se observa el primer centro de osificación.
Semana 10	Se unen los centros de osificación formando una estructura mesenquimatosa en forma de C
Semana 12	Los centros de osificación se fusionan formando un anillo incompleto aumentando su tamaño en el doble.

Semana de gestación	Estadio
Semana 19	El tamaño del anillo es 3,5 veces mayor, con la presencia de un surco sin la membrana timpánica aún alojada
Semana 35	El anillo ha alcanzado el tamaño adulto, con una fusión del tubérculo anterior a la porción escamosa.
A termino	El anillo presenta una robustez ósea mayor, con una proyección afilada en la fisura petrotimpánica ya que la cuerda del tímpano abandona la cavidad del oído medio.

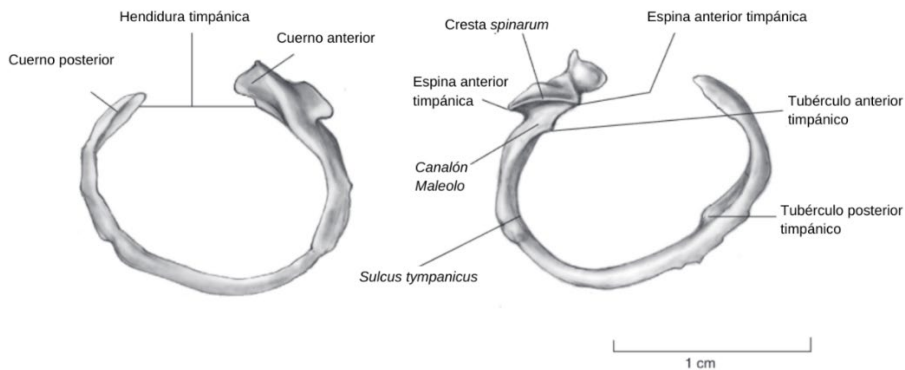


Imagen 2.10: Osificación de la *pars tympani* a mitad de vida fetal. A la derecha vista medial y a la izquierda vista lateral. Extraído de: *Cunningham, et al. (2016)*.

En cuanto al **proceso estiloides**, su osificación es endocondral a partir del segundo arco faríngeo en un período perinatal (Augier, 1931).

Crecimiento y Fusión Postnatal

En el período perinatal, el hueso escamoso se fusiona con el *tegmen tympani*, formando la sutura petroescamosa interna, mientras se forma la sutura petroescamosa externa entre la parte escamosa y la parte mastoidea. Durante este tiempo, el *scutum* se neumatiza y se convierte en la pared lateral del receso epitímpano del oído medio. Las celdas de aire de ambas partes pueden estar divididas por un tabique óseo llamado tabique de Korner. El anillo timpánico se fusiona con la cresta semilunar, y los tubérculos

timpánicos anterior y posterior crecen y se fusionan para formar el foramen de Huschke durante el primer año de vida.

El crecimiento continúa en la infancia temprana. El meato óseo se expande lateralmente, convirtiendo gradualmente el anillo en el meato auditivo externo óseo (Anderson, 1960). La membrana timpánica adquiere su posición vertical típica alrededor de los 4-5 años de edad (Ars, 1989; Eby & Nadol, 1986). Además, el proceso estiloides se encierra en su vaina vaginal, y una lengüeta de hueso envuelve el borde anterior del conducto carotídeo, fusionándose eventualmente con la base petrosa. El tegmen timpánico se proyecta entre la placa timpánica en crecimiento y la fosa glenoidea, dividiendo la fisura escamotimpánica en partes petrotimpánica y petroescamosa. Al nacer, la membrana es casi horizontal, pero hacia los 4-5 años de edad, adquiere su posición vertical más típica de adulto (Ars, 1989; Eby & Nadol, 1986).

El crecimiento óseo varía según las regiones y las estructuras. En la implantación coclear, las medidas precisas del crecimiento después del nacimiento son esenciales. Estudios han revelado aumentos en el ancho de la cavidad timpánica y en la profundidad del proceso mastoideo en los primeros meses de vida (Dahm et al., 1993; Eby & Nadol, 1986). La longitud del mastoides muestra períodos de crecimiento, siendo más prominente antes de los 7 años y nuevamente entre los 9-15 años en mujeres y 11-19 años en hombres.

La fusión de las partes del proceso estiloides es variable. Normalmente, aparecen varios centros durante el tercer y cuarto año de vida, que se fusionan en la pubertad tardía o la adultez temprana, pero existen variaciones, como la no fusión a lo largo de la vida o la fusión con otros elementos óseos como el hueso hioides.

En resumen, **al nacer**, la parte petrosa del hueso está bien osificada. El extremo anterior puntiagudo aún tiene un canal carotídeo incompleto. En el lado medial, el meato acústico interno y la fosa subarcuata tienen aproximadamente el mismo tamaño y el conducto del vestíbulo suele ser algo más pequeño. Desde la superficie superior, el tegmen timpánico se proyecta lateralmente sobre la pared abierta de la cavidad del oído medio, que está delimitada inferiormente por la cresta semilunar. Las estructuras de la pared medial del oído medio, incluyendo las ventanas oval y redonda, son evidentes. Posteriormente, hay una pequeña porción mastoidea del hueso. La sección escamotimpánica del hueso consiste en una delicada escama, separada por una cresta ósea del *scutum* parcialmente neumatizado. El anillo timpánico se une por debajo de la raíz del proceso cigomático mediante sus extremos anterior y posterior. En periodo postnatal hasta el primer año de vida los centros petromastoides y escamotimpánico se fusionan formando la sutura petroescamosa, mientras que en la placa timpánica el crecimiento progresivo de los tubérculos anteriores y posteriores del anillo timpánico crecen hasta formar el foramen de Huschke. La morfología del hueso temporal crece de forma rápida hasta los cuatro años al mismo tiempo que se alcanza un desarrollo prácticamente completo de la placa timpánica y del proceso mastoideo, aunque este último en una edad más tardía. Por otra parte, el proceso de osificación del proceso estiloides da su inicio en una edad perinatal, no obstante su desarrollo completo llega a una edad más adulta.

Las fusiones y cambios en las estructuras óseas son fundamentales para la comprensión de la anatomía del oído medio y son crucial en procedimientos quirúrgicos como la implantación coclear. El estudio detallado de estos procesos es esencial para la práctica médica y la investigación en Otología y gracias a su desarrollo diferenciado es viable como método para estimar la edad en individuos prenatales e infantiles.



CAPÍTULO 3

OBJETIVOS

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesis doctoral es establecer una metodología para la estimación de la edad en individuos infantiles y prenatales a partir del desarrollo métrico y la madurez ósea del hueso temporal.

Los objetivos específicos son:

- 1.** Validar las metodologías aplicadas sobre el desarrollo métrico del hueso temporal y la madurez ósea de la placa timpánica para estimar la edad en individuos gestantes e infantiles.
- 2.** Estudiar el crecimiento métrico de las porciones escamosa y petrosa del hueso temporal, así como la madurez ósea de la placa timpánica en relación con la edad en infantiles de origen mediterráneo.
- 3.** Desarrollar una nueva fórmula para estimar la edad en individuos infantiles a través del desarrollo métrico de la porción escamosa y petrosa.
- 4.** Desarrollar un estándar específico para cada fase de desarrollo en la madurez ósea de la placa timpánica.
- 5.** Comparar el grado de desarrollo y madurez ósea del hueso temporal en una población diferente para comprobar la aplicabilidad de las fórmulas propuestas entre ambas poblaciones.



CAPÍTULO 4

MATERIAL Y MÉTODOS

CAPÍTULO 4

MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Material

4.1.1. La importancia de las colecciones identificadas

Las colecciones óseas humanas son la piedra angular de la Antropología Física y Forense (Santos, 2020), ya que suponen una herramienta indispensable tanto para la enseñanza como la práctica, y, especialmente, en el desarrollo y validación de metodologías, si se trata de colecciones identificadas (Tobias, 1991). Diferenciamos dos tipos de colecciones osteológicas: en primer lugar, hay que mencionar las colecciones osteológicas identificadas, aquellas de las que se posee documentación sobre el perfil biológico de los individuos que la componen (sexo, edad, estatura, ancestralidad, etc.) (Petaros et al., 2021). Por el contrario, entendemos como colecciones no identificadas a aquellas de cuyos individuos se desconozcan datos sobre su perfil biológico.

Aunque a mitad del siglo XX las colecciones osteológicas identificadas fueron mayormente usadas para realizar comparaciones anatómicas (Santos, 2020). Históricamente, estas colecciones han servido como base para el desarrollo de métodos aplicados en la Antropología Forense para reconstruir el perfil biológico de restos óseos no identificados; no obstante, a partir de los últimos años, la línea que ha seguido la investigación en Antropología Forense, es que ni todos los

métodos, ni todas las colecciones osteológicas son apropiadas para el uso forense (Petaros et al., 2021; Santos, 2020). Esto es debido a una serie de factores que subyacen de la elaboración y aplicación de métodos basados en colecciones no contemporáneas, en colecciones de población diversa e incluso en colecciones no identificadas (Petaros et al., 2021), por lo que no es solo importante elaborar métodos basados en poblaciones identificadas, sino también conocer el estado y el lugar dónde se encuentran depositadas dichas colecciones.

La importancia de ofrecer una lista actualizada de las colecciones de restos óseos identificados existentes ha sido reconocida por la Sociedad de Antropología Forense de Europa (FASE – *Forensic Anthropology Society of Europe*) creando un mapa en 2017 disponible en: <http://forensicanthropology.eu/osteological-collections> (Imagen 4.1). Además, también son de suma importancia las recopilaciones de colecciones identificadas realizadas por Alves y Henderson (2018), Franklin y Blau (2020), Santos (2020), y Petaros *et al.* (2021).

Según el mapa diseñado por la FASE existen 153 colecciones identificadas, de las cuales el 55% se encuentran en Europa, y tan solo el 13% tiene representación de individuos no adultos, siendo un común denominador su ausencia en las colecciones identificadas, al igual que la sobrerrepresentación de individuos ancianos (Petaros et al., 2021). Además, tan solo existen seis colecciones compuestas en su totalidad por individuos no adultos, un 6% del total de las colecciones identificadas.

Estas colecciones se encuentran depositadas mayoritariamente en Europa como la colección osteológica de Granada (España), la colección del Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia (MNHNC) de Lisboa, la colección de individuos juveniles de Scheuer (Reino Unido), la

colección osteológica de Strasburgo (Francia) y la colección Portal depositada en el Museo L'Homme de Paris (Francia); mientras que en Estados Unidos encontramos dos colecciones, la colección Johns Hopkins (Cleveland) y la colección de Trotter (St. Louis).



Imagen 4.1: Mapa de las colecciones identificadas. Abajo a la izquierda, recorte del mapa solo en Europa. Leyenda: En morado, colecciones identificadas modernas; en verde, colecciones identificadas contemporáneas; en naranja, colecciones de estatus temporal incierto. Tomado de: *The Map of Identified Osteological Collections. Forensic Anthropology Society of Europe (FASE)*. https://www.google.com/maps/d/edit?mid=162_EIRDZuDCJfM10jCkPpRSFPSw&ll=31.412645801177902%2C0&z=2

Diversos autores afirman la necesidad de estudiar colecciones identificadas para desarrollar métodos forenses más eficaces (Alemán et al., 2012). Precisamente, y con la intención de desarrollar métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles, tanto en el ámbito forense como arqueológico, es sumamente importante la elaboración de

metodología antropológica en colecciones identificadas de restos no adultos.

4.1.2. Colección osteológica de individuos no adultos identificados del Cementerio de San José de Granada (España).

El material de estudio de la presente tesis procede de la Colección Osteológica Identificada del Cementerio de San José de Granada, actualmente depositada en las instalaciones del Área de Antropología Física de la Universidad de Granada (Facultad de Medicina). De dicho cementerio, a partir del año 1991, se han exhumado un total de 542 individuos, de los cuales 242 son individuos no adultos.

El cementerio municipal de San José de la ciudad de Granada se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad, con una superficie de 120.000m² distribuidos en 19 patios (Aleman et al., 2012). A inicios del S. XIX, el cementerio fue trasladado a las afueras de la ciudad, cuya ocupación puede ser estudiada a través de las fases históricas y arquitectónicas de los tres últimos siglos (López & Muñoz, 2006; Sánchez & Martín, 2006).

A mediados del siglo XIX se produjo una elevada mortalidad en la ciudad de Granada a causa de enfermedades infecciosas, epidemias y condiciones de insalubridad generalizada. No obstante, gracias a la progresiva mejora de las condiciones de vida de la población, se produjo un cambio en el patrón de mortalidad en la población española (Alcaide, 1999; Sanz & Ramiro, 2002; Viciano, 2013).

Así pues, esta colección osteológica data de época contemporánea (S. XIX - XXI), de la que, además, se poseen datos sobre el perfil biológico de los individuos. El registro de los datos antemortem ha sido cruzado con las actas de defunción del Registro Civil y con el Libro del Cementerio, siendo los restos además anonimizados, con el consiguiente compromiso de confidencialidad (Alemán et al., 2012). Así por ejemplo, las fechas de nacimiento constan en acta desde 1871 hasta 2000, mientras que las fechas de defunción datan desde 1876 hasta 2001 (Alemán et al., 2012).

Alrededor del 90% de los esqueletos de la colección se encuentra en un estado excelente de conservación debido a factores ambientales y a las prácticas funerarias del cementerio, donde el cadáver es inhumado en un ataúd de madera en nicho sellado y aislado del exterior (Alemán et al., 2012). Una excelente conservación de los restos, así como la abundante cantidad de datos que se poseen sobre los individuos hace que esta colección osteológica identificada sea referente tanto a nivel nacional como internacional.

La colección está compuesta por individuos tanto adultos como no adultos. Del total de los individuos adultos, 125 son masculinos y 104 femeninos, mientras que, en el caso de los individuos no adultos, 133 son masculinos, 95 son femeninos y 14 de sexo desconocido (**Tabla 4.1**). La edad de muerte de los individuos no adultos se encuentra comprendida entre los 5 meses de gestación y los 8 años, siendo solo 36 de los individuos sin edad identificada (**Tabla 4.1**).

Tabla 4.1: Distribución por edad y sexo de la Colección osteológica de individuos infantiles de San José (Granada).

Grupo etario	Sexo no identificado	Masculinos	Femeninos	Total
Fetos (desde los 5 meses de gestación hasta los 9 meses de gestación)	8	25	9	42
Menor a 6 meses	1	63	38	102
Desde 6 meses hasta menor a 1 año	0	13	7	20
Desde 1 año hasta menor a 2 años	0	11	5	16
Desde 2 años hasta menor a 3 años	0	2	6	8
Desde 3 años hasta menor a 4 años	0	4	2	6
Desde 4 años hasta menor a 5 años	0	1	2	3
Desde 5 años hasta menor a 6 años	0	2	3	5
Desde 6 años hasta menor a 7 años	0	1	1	2
Desde 7 años hasta menor a 8 años	0	2	0	2
No identificado	5	9	22	36
Total	14	133	95	242

Puesto que el objetivo general de esta tesis es desarrollar y validar una metodología para la estimación de la edad en individuos no adultos a partir de un elemento del cráneo, el estudio se centró en los 242 individuos infantiles de la colección. No obstante, este número se vio reducido en función de los análisis que se llevaron a cabo y de otros factores limitantes.

Se observaron tres factores limitantes al momento de estudiar los restos. El primero de ellos es el relativo a la edad del individuo, ya sea por la falta de datos sobre la edad de muerte, o debido a que la madurez esquelética no coincida con la edad biológica que consta en el registro.

El segundo se refiere a toda aquella patología que afecte bien de manera directa o indirecta al desarrollo y maduración ósea del individuo, o bien aquella cuya patogenia curse en anomalía o malformación ósea del esqueleto. De esta forma encontramos patologías como por ejemplo: microcefalia y anencefalia (Irurita et al., 2015), hidrocefalia, enfermedad de Wagner, etc., que afectan de forma directa al desarrollo del esqueleto. De igual manera, se descartó todo individuo en el que, aunque no se observen signos en los restos óseos, se documentaran patologías en la base de datos, tales como la debilidad congénita, que se considera que puede afectar de manera indirecta al crecimiento y desarrollo óseo del individuo. Así mismo, se han eliminado del estudio a todos aquellos individuos con edad conocida o desconocida, pero que en el registro conste como *prematuro*. La exclusión de estos individuos es debido principalmente a que gran parte de la mineralización ósea se produce en el tercer trimestre, que es cuando la madre pasa activamente fósforo y calcio al feto para el crecimiento óseo rápido, por lo que el crecimiento en los individuos prematuros puede verse afectado (Galvis-Blanco et al., 2022).

En tercer y último lugar, y aunque el estado de conservación de los restos es excelente, se eliminaron del estudio a aquellos individuos cuya afectación tafonómica impedía la toma de datos de manera correcta, como aquellos restos momificados o cuyo cráneo se encontraba dañado.

De esta manera, la muestra final de estudio consta de 142 individuos infantiles con una edad comprendida entre los 5 meses de gestación y los 7 años de edad postnatal. De ellos, 88 son masculinos y 54 femeninos. La distribución de la muestra final por edad y sexo se recoge en la **Tabla 4.2**.

Tabla 4.2: Distribución de la muestra final de estudio sobre la Colección osteológica de individuos infantiles de San José (Granada).

Grupo etario	Masculino	Femenino	Total
Fetos (desde los 5 meses de gestación hasta los 9 meses de gestación)	7	2	9
Menor a 6 meses	54	27	81
Desde 6 meses hasta menor a 1 año	8	8	16
Desde 1 año hasta menor a 2 años	9	5	14
Desde 2 años hasta menor a 3 años	2	6	8
Desde 3 años hasta menor a 4 años	4	0	4
Desde 4 años hasta menor a 5 años	1	2	3
Desde 5 años hasta menor a 6 años	1	3	4
Desde 6 años hasta 7 años	2	1	3
Total	88	54	142

4.1.3. Colección del Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia (MNHNC) de Lisboa (Portugal).

La colección sobre la cual se han validado los resultados estadísticos obtenidos es la depositada en el Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia (MNHNC) de Lisboa (Portugal), la cual consta de 1692 esqueletos de época contemporánea (S. XX). Aunque el tamaño de la colección osteológica identificada de Lisboa es considerable, el número de individuos no adultos disponibles para su estudio es de 135, de los cuales solo 110 son menores de 13 años (Cardoso et al., 2014), si bien para el estudio se ha contado con solo 69 individuos de los 135 disponibles para su estudio (**Tabla 4.3**).

La colección proviene de tres cementerios de la ciudad de Lisboa, Alto de S. Joao, Prazeres y Benfica. Los restos óseos fueron trasladados al Museo Bocage, ahora Museo Nacional de Historia Natural y Ciencia

(MNHNC) de Lisboa, a iniciativa del por aquel entonces técnico del museo, Luis Lopes, a partir de 1981 (Cardoso, 2006).

Por parte del entonces Museo Bocage, se solicitó al Ayuntamiento de Lisboa la cesión de los restos óseos de aquellas tumbas que fueron abandonadas y cuyos restos óseos fuesen destinados a fosas comunes, con la intención de adquirir dichos restos para la investigación científica (Cardoso, 2006). Gracias a esto, se dispone no solo de la información *antemortem* proveniente de la lápida, sino también de la información obtenida a través de documentos oficiales como actas de defunción (Cardoso, 2006; Irurita, 2014). No obstante, desde las instituciones portuguesas se decidió no presentar la muestra hasta recabar la suficiente información, o que la misma se encontrase procesada; de hecho a fecha de 2006 solo se encontraban disponibles para su estudio un total de 699 individuos (Cardoso, 2006).

Esta colección comparte similitudes con la de Granada por diferentes motivos: (1) se trata de una colección identificada; (2) comparten época; (3) en gran parte de la muestra la conservación de los restos óseos es entre buena y excelente.

Tabla 4.3: Distribución de la muestra de estudio sobre la Colección osteológica de individuos no adultos de la Colección osteológica del MNHNC (Lisboa).

Grupo etario	Femenino	Masculino	Total
Desde el nacimiento hasta 0,99 años	2	1	3
Desde 1 año hasta 1,99 años	3	7	10
Desde 2 años hasta 2,99 años	1	3	4
Desde 3 años hasta 3,99 años	2	0	2
Desde 4 años hasta 4,99 años	3	3	6

Grupo etario	Femenino	Masculino	Total
Desde 5 años hasta 5,99 años	2	1	3
Desde 6 años hasta 6,99 años	1	1	2
Desde 7 años hasta 7,99 años	0	1	1
Desde 8 años hasta 8,99 años	1	0	1
Desde 9 años hasta 9,99 años	1	1	2
Desde 10 años hasta 10,99 años	2	1	3
Desde 11 años hasta 11,99 años	3	2	5
Desde 12 años hasta 12,99 años	1	1	2
Desde 13 años hasta 13,99 años	1	1	2
Desde 14 años hasta 14,99 años	1	2	3
Desde 15 años hasta 15,99 años	3	1	4
Desde 16 años hasta 16,99 años	2	5	7
Desde 17 años hasta 17,99 años	1	3	4
Desde 18 años hasta 18,99 años	4	1	5
Total	34	35	69

4.2.Métodos

4.2.1. Valoración y selección de las variables de estudio.

Como paso previo al análisis del hueso temporal se procedió a la revisión de los restos esqueléticos de cada población evaluando el crecimiento y madurez esquelética de las tres partes del hueso temporal: *pars petrosa* (porción petrosa), *pars squamosa* (porción escamosa) y *pars tympanica* (porción o placa timpánica).

En el estudio se contemplan dos tipos de variables, (1) cinco variables continuas o métricas, con las que se evaluó el desarrollo del hueso temporal a través de las medidas de la porción escamosa y petrosa; (2) seis fases de desarrollo de la placa timpánica, siendo estas variables discontinuas o categóricas que evalúan el desarrollo de la zona, desde la aparición del anillo timpánico hasta la formación del meato auditivo.

La toma de medidas del hueso temporal se llevó a cabo con un calibre digital con una precisión de 0,01mm, siguiendo el método propuesto por Fazekas y Kósa (1978) (**Imagen 4.2**). Se tomaron las siguientes medidas:

- Longitud de la porción petrosa (LP): distancia máxima anteroposterior a través de la porción petrosa.
- Anchura de la porción petrosa (WP): distancia máxima en ángulo recto de la longitud a través de la eminencia arqueada.
- Altura de la porción escamosa (HS): distancia máxima desde el centro de la cresta timpánica hasta el borde superior del hueso.
- Anchura de la porción escamosa (WS): distancia desde el arco posterior de la sutura escamomastoidea hasta el borde anterior de la parte escamosa.
- Longitud de la porción escamosa (LS): distancia máxima desde el borde óseo del proceso timpánico o *scutum* hasta el extremo anterior de la apófisis cigomática.

El análisis de las fases de desarrollo de la placa timpánica se divide en dos fases distintas completamente diferenciadas. En la primera fase, se observa el hueso temporal separado en tres partes: anillo timpánico, porción petrosa y porción escamosa. En la segunda fase, encontramos las tres partes del hueso temporal totalmente fusionadas, siendo la sinostosis

del anillo timpánico, tanto a la porción escamosa como a la porción petrosa, el eje de esta diferencia entre fases (Curran & Weaver, 1982; García-Mancuso et al., 2016; Humphrey & Scheuer, 2006).

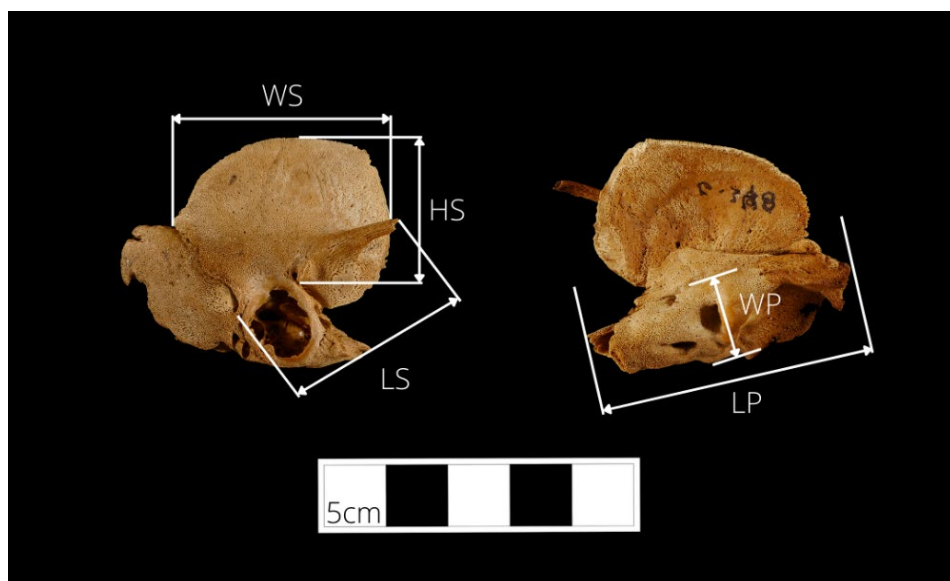


Imagen 4.2: Localización de las medidas. Anchura de la porción escamosa (WS). Altura de la porción escamosa (HS). Longitud de la porción escamosa (LS). Longitud de la porción petrosa (LP). Anchura de la porción petrosa (WP).

Para las fases de desarrollo de la placa timpánica se ha seguido el método propuesto por Humphrey & Scheuer (2006), pero añadiendo un estadio. Debido a las características de la colección, y la abundante presencia de individuos en edad gestacional, se ha añadido la fase de no fusión del anillo timpánico con la intención de documentar la edad a la que dicho elemento se fusiona al hueso temporal.

Como se ha detallado en el capítulo de embriología, diversos autores señalan que dicho anillo timpánico se fusiona al resto de los elementos que componen el hueso temporal al término de la edad gestacional, relacionándolo con el nacimiento del individuo (Anson et al., 1955;

Curran & Weaver, 1982; Dahm et al., 1993; Krmpotić-Nemanić et al., 1999; Humphrey & Scheuer, 2006).

Por lo tanto, el estudio de las variables cualitativas se diferencia en dos partes en función del objeto de estudio:

1. El análisis de la fusión del anillo timpánico (**Imagen 4.3**):
 - a. Fusión anillo – porción escamosa (RS): el anillo timpánico se fusiona a la porción escamosa del hueso temporal.
 - b. Fusión anillo – porción petrosa (RP): el anillo timpánico se fusiona a la porción petrosa del hueso temporal.
2. El análisis del desarrollo de la placa timpánica (**Imagen 4.4**):
 - a. Fase 1: El anillo timpánico se encuentra totalmente separado de la porción escamosa y petrosa del temporal.
 - b. Fase 2: El anillo timpánico se encuentra fusionado tanto a la porción escamosa como a la porción petrosa del temporal, presentando un borde suave y homogéneo (Humphrey & Scheuer, 2006).
 - c. Fase 3: El anillo timpánico presenta bordes heterogéneos; además, por el depósito de hueso en el interior de la placa, esta va reduciendo su tamaño (Humphrey & Scheuer, 2006).
 - d. Fase 4: Los tubérculos anteriores y posteriores empiezan a acercarse, relleniéndose el interior de la placa timpánica, sin llegar a unirse (Humphrey & Scheuer, 2006).
 - e. Fase 5: El espacio resultante entre el tubérculo anterior y posterior ha cerrado formando un puente entre los dos

con una dehiscencia en su interior (foramen de Huschke)
(Humphrey & Scheuer, 2006).

- f. Fase 6: El foramen de Huschke ha cerrado. La placa timpánica está completamente formada y cerrada (Humphrey & Scheuer, 2006).



Imagen 4.3: Evolución de la fusión del anillo timpánico a las porciones escamosa y petrosa.



Imagen 4.4: Fases de desarrollo de la placa timpánica. a) Anillo timpánico como elemento óseo independiente de las porciones petrosa y escamosa (Fase 1); b) Anillo timpánico fusionado a la porción escamosa, pero no a la porción petrosa (Fase 1); c) Anillo timpánico con bordes suaves y fusionado al hueso temporal (Fase 2); d) Presencia de irregularidades en los bordes del anillo (Fase 3); e) El desarrollo de los tubérculos anteriores y posteriores es significativo, aunque sin fusionarse (Fase 4); f) Presencia de forma de Huschke en la placa timpánica (Fase 5); g) Placa timpánica completamente desarrollada (Fase 6).

4.2.2. Valoración de las diferencias entre sexos

Las diferencias entre el desarrollo de los individuos según su sexo ha sido ampliamente estudiada (Lewis & Flavel, 2006; Lewis & Rutty, 2003; Tanner et al., 1966), por lo que es recomendable presentar los

resultados de las investigaciones en Antropología Forense de forma que se apliquen en individuos masculinos o femeninos.

No obstante, dadas las dificultades que presenta la estimación del sexo en individuos infantiles (Luna et al., 2021), es igualmente necesario presentar los resultados de manera conjunta.

Además, en los trabajos de Irurita *et al.* (2014), ya se constatan diferencias significativas en el crecimiento de los niños y niñas de la colección osteológica de Granada, por lo que se presentan los resultados de esta tesis de tres formas distintas: aplicados para individuos masculinos, femeninos y en aquellos individuos cuyo sexo es desconocido, siguiendo la tendencia de otros métodos realizados para estimar la edad de individuos no adultos basados en esta colección (Irurita Olivares et al., 2014; Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017; Pérez et al., 2017; Figueiro et al., 2022).

4.2.3. Diferencias de la lateralidad

Es necesario comparar las diferencias existentes en el ritmo de crecimiento entre el lado derecho y el izquierdo de cada pieza ósea para desarrollar nuevas metodologías de estimación de edad en Antropología Forense. Para ello, se utilizó el test de Wilcoxon para calcular las diferencias significativas entre el crecimiento del lado derecho e izquierdo del hueso temporal.

Según los resultados de la prueba mencionada anteriormente, no se encontraron diferencias significativas en el crecimiento entre los lados derecho e izquierdo. Por lo tanto, se tomaron las medidas del lado izquierdo, aunque para mantener el valor muestral de cada variable, se

utilizaron los datos del lado derecho en caso de que el primero no estuviera disponible (Cardoso et al., 2014).

4.2.4. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos fue realizado con distintos programas en función de las necesidades:

- Para la toma de datos y realización de gráficas: Microsoft Excel (2019) para Windows 10.
- Para la realización de los estudios descriptivos y estadística paramétrica: SPSS 25 para Windows 10 (versión española; SPSS, Inc., Chicago, IL, EE.UU.).
- Para la realización de las ecuaciones de regresión y los modelos *logit/probit*: WEKA Workbench 3.6.15 (Universidad de Waikato) (Witten et al., 2005).

4.2.5. Análisis de la precisión de métodos propuestos por otros autores.

La intención de evaluar la precisión de métodos propuestos por otros autores es la de validar dicha metodología en la población de estudio.

La importancia de los estudios de validación de métodos tiene dos vertientes: la primera es justificar la aplicabilidad de dicho método y su resultado como una evidencia, es decir, que su uso sea el correcto para aportar el resultado como medio de prueba (Christensen & Crowder, 2009). La segunda es evaluar la efectividad y la aplicabilidad del método, con la intención de elegir el método más adecuado (Valsecchi et al., 2019). No obstante, como previamente se ha expuesto, Corron (2019) evaluó un total de 269 publicaciones científicas cuyo objetivo era la estimación de la edad en individuos no adultos a través del desarrollo y/o

maduración esquelética. En su investigación concluyó que aproximadamente el 50% de las publicaciones se encontraban validadas, ya sea en otra muestra, o con alguna técnica estadística. Sin embargo, la forma en la que se *validan* los resultados de otros autores por gran parte de los investigadores en Antropología Forense, muchas veces es inadecuada, debido a la falta de comprobación de datos no observados y a elegir el método menos adecuado para su comparación (Valsecchi et al., 2019). Además, también se produce una mala interpretación de los resultados, ya que es común encontrar diferencias significativas entre las observaciones, es decir, entre la edad estimada y la edad documentada, las cuales normalmente, se han asociado como diferencias entre poblaciones o alguna deficiencia del método propuesto (Konigsberg et al., 2008; Liversidge & Molleson, 2004). No obstante, estas diferencias quizás sean consecuencia de otros factores, como la variabilidad normal anatómica, o las diferencias entre las distintas muestras de estudio (Valsecchi et al., 2019).

En cuanto a metodologías propuestas por otros autores sobre el hueso temporal, encontramos dos vertientes, aquellas metodologías basadas en el desarrollo métrico y aquellas basadas en el desarrollo de la placa timpánica.

En cuanto al desarrollo métrico, encontramos el método propuesto por Fazekas y Kósa cuyo estudio se basa en una población identificada de individuos en edad gestacional de origen húngaro (Fazekas & Kósa, 1978), y los métodos propuestos por Nagaoka *et al.* basados en población nipona, igualmente de edad gestacional (Nagaoka et al., 2012; Nagaoka & Kawakubo, 2015).

La descripción del desarrollo y crecimiento óseo de la placa timpánica fue descrita en los años 50, con el objetivo de describir los cambios anatómicos del órgano auditivo (Anson et al., 1955). No obstante, como método de estimación de la edad, no es hasta la década de los 80 cuando se documentan seis fases de desarrollo de la placa timpánica en población americana a partir de una colección arqueológica (Grasshopper Pueblo) (Weaver, 1979). Estos resultados fueron validados posteriormente sobre la colección identificada del Instituto Smithsonian (*Forensic Foetal Osteology Collection del Smithsonian Institution*) (Curran & Weaver, 1982). Posteriormente, con el objetivo de documentar el cierre y las variaciones del foramen de Huschke, Humphrey y Scheuer (2006) estudiaron dos poblaciones británicas identificadas (las colecciones de Spitalfields y Abingdon), donde establecen las 5 fases de desarrollo de la placa timpánica usadas en este estudio. Por otra parte, García – Mancuso *et al* (2016), estudiaron la colección identificada del Prof. Dr. Rómulo Lambre (Argentina), donde se evidencia la fusión del anillo timpánico como valor discriminante entre individuos fetales y postnatales.

4.2.5.1. Análisis de diferencia de medias. Prueba de rangos de signos de Wilcoxon.

Con la finalidad de observar las diferencias entre la edad documentada de la colección objeto de estudio con las estimaciones que cada método ofrece (Fazekas & Kósa, 1978; Weaver, 1979; Humphrey & Scheuer, 2006; Nagaoka et al., 2012; Nagaoka & Kawakubo, 2015; García-Mancuso et al., 2016), la prueba estadística adecuada es el test de Wilcoxon para variables no paramétricas para muestras relacionadas (Demšar, 2006).

La prueba de rangos con signos de Wilcoxon es una prueba no paramétrica cuyo objetivo es evaluar dos clasificadores para cada conjunto de datos, comparando los rangos e ignorando los signos (Wilcoxon, 1992). Básicamente, se trata de comparar dos muestras a través de la agrupación o intercalación de las observaciones.

Aunque se verificó la normalidad de las distribuciones de la edad estimada y la edad documentada con el test de Kolmogorov – Smirnov (Berger & Zhou, 2014), la aplicación del test de Wilcoxon sigue siendo recomendable (Demšar, 2006; Valsecchi et al., 2019), ya que además esta prueba sigue siendo válida para muestras con distribución que asuma la hipótesis de normalidad (Obertová et al., 2020).

4.2.5.2. Análisis del error de la estimación a través de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE).

El error en las observaciones puede explicarse por diferentes factores, como la variabilidad biológica, errores en la toma de datos o que simplemente el modelo matemático usado para diseñar la metodología no sea el adecuado (Valsecchi et al., 2019). Por tanto, la intención de calcular el error en las estimaciones es también visualizar cómo se ajusta el modelo matemático a nuestras predicciones.

Así, con la intención de evaluar los modelos de predicción, habitualmente se emplea el estudio del error, tanto del Error Medio Absoluto (MAE - *Mean Absolute Error*), como de la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE - *Root Mean Square Error*) (Chai & Draxler, 2014). Para evaluar el rendimiento medio de un modelo predictivo de forma habitual, se ha usado el MAE en favor del RMSE debido a que este último puede no ser un buen indicador (Willmott & Matsuura, 2005). No obstante, otros autores sostienen que el uso de ambos indicadores

resulta beneficioso y para nada contrapuestos en el estudio del rendimiento predictivo (Chai & Draxler, 2014).

De hecho, el uso del RMSE tiene ciertos aspectos favorables respecto al MAE como: (1) el RMSE es más sensible respecto a los valores atípicos de estimación, aportando un error más representativo (Ronchetti & Huber, 2009); (2) la escala de valores en la que se representa el RMSE es más intuitiva, ya que es la misma a la de los valores observados, por lo que es más fácil interpretar y comprender qué modelo se ajusta más. Por el contrario, una de las ventajas que el MAE tiene respecto al RMSE es que al ser menos sensible a los valores atípicos, muestra además cómo de sesgado se encuentra el modelo predictivo (Chai & Draxler, 2014; Willmott & Matsuura, 2005).

Así, como el objetivo es comparar los métodos de estimación de la edad propuestos por otros autores, se ha escogido el RMSE como medio para comparar cuál es el error de las estimaciones sobre la población mediterránea.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y')^2}{n}} \qquad MAE = \frac{\sum|Y - Y'|}{n}$$

Y: Edad estimada; Y': Edad documentada; n: Observaciones

4.2.6 Tratamiento estadístico de las variables continuas o métricas.

4.2.6.1. Análisis descriptivo.

Con la intención de caracterizar la población de estudio, y observar si existen errores en la recogida y elaboración de la base de datos, se realizó un estudio de análisis descriptivo en función de la edad y el sexo de las

medidas, el cual incluye datos sobre la media, la desviación estándar (*SD*), y los valores de máximos y mínimos.

De manera conjunta a los análisis descriptivos, se calculó una serie de pruebas estadísticas necesarias para continuar con la consecución de los modelos de regresión, como son:

- Análisis de la normalidad de la muestra con el test de Kolmogorov – Smirnov (Berger & Zhou, 2014).
- Análisis de la correlación de las variables en función de la edad con el test de correlación de Spearman o Pearson (Chan, 2003).
- Análisis de las diferencias de la lateralidad de los restos óseos con el test de Wilcoxon (Wilcoxon, 1992).

4.2.6.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.

Para analizar la reproducibilidad y la repetibilidad de las medidas se usó el Coeficiente de Correlación de Concordancia (CCC) de Lin (Lin, 1989). El objetivo de realizar este tipo de análisis es esclarecer cómo de fiables son nuestras medidas, es decir la precisión de las mismas (Ferrante & Cameriere, 2009). Para ello fue necesario realizar los análisis del error intra – interobservador en un subconjunto de datos, el cual fue seleccionado al azar, en un 25% del total de los individuos pertenecientes a la muestra de estudio, es decir, un total de 30 individuos.

Para evitar una sobrestimación del error intraobservador, el investigador debe realizar la segunda toma de muestras con un intervalo de tiempo lo suficientemente largo, para que las medidas no se vean influidas por el aprendizaje adquirido en la toma de medidas (Argimon & Jiménez, 2004). Para ello, en la toma de datos de los individuos de San

José (Granada), los datos fueron recopilados con un intervalo de tiempo de dos semanas. En el caso de los individuos de la Colección del MNUHC de Lisboa, se consideró actuar de forma similar a la recogida de datos en Granada.

La toma de datos para el error interobservador fue realizada, en los individuos de la colección de Granada por el Prof. Dr. Javier Irurita y por el Dr. Manuel Partido Navadijo, a quienes se les entregó un listado de los individuos pertenecientes a la submuestra con la ficha de toma de datos (**Anexo 1**). La toma de datos de los individuos de la Colección de Lisboa fue realizada por Laura Gutiérrez Mesa, siguiendo el mismo protocolo de toma de muestras para el error interobservador de la colección de Granada.

Como se ha especificado anteriormente, este coeficiente evalúa el grado de acuerdo entre dos medidas, lo que matemáticamente significa que evalúa el grado en el que dos observaciones caen sobre una línea o pendiente, llamada bisectriz o línea de concordancia, que es igual a 1, por lo que, cuanto más cerca de 1 sea el valor, más óptimas son las observaciones (Ferrante et al., 2015) (**Imagen 4.3**).

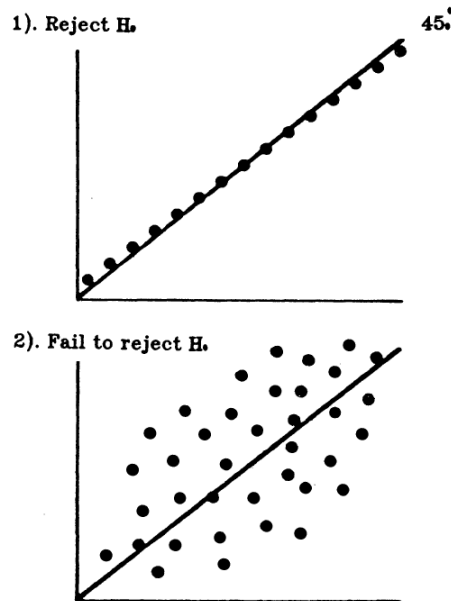


Imagen 4.5: Ejemplo de línea de concordancia casi perfecta (1) y línea de concordancia nula (2). Tomado de: Lin, L. (1989).

La fórmula con la que se halla dicho coeficiente es la siguiente (Lin, 1989):

$$CCC = \frac{2\sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\mu_1 - \mu_2)^2}$$

Donde:

- σ_{12} : es la covarianza del *Observador 1* y el *Observador 2*.
- σ_1^2 : es la desviación estándar del *Observador 1*.
- σ_2^2 : es la desviación estándar del *Observador 2*.
- μ_1 : es el promedio de las mediciones del *Observador 1*.
- μ_2 : es el promedio de las mediciones del *Observador 2*.

La interpretación del Coeficiente de Linn (CCC) para dos variables cualitativas se realizó según los criterios de McBride (2005) (**Tabla 4.4**):

Tabla 4.4: Interpretación del Coeficiente de Correlación de Concordancia de Linn.

Valor de Lin (CCC)	Interpretación
> 0,99	Casi perfecta
0,95 hasta 0,99	Substancial
0,90 hasta 0,95	Moderada
< 0,90	Pobre

4.2.6.3. Análisis de comparación de las pendientes de regresión.

El análisis de las variables cuantitativas o continuas se realizó mediante modelos de regresión. Estos modelos evalúan la relación existente entre dos covariables, una covariable que es medible, y otra que no lo es, pero que puede ser estimada a partir del valor de la primera. Dicho proceso se denomina calibración, y el establecimiento de la relación a partir de la cual es posible calibrar, se denomina modelización (Lucy, 2013). En definitiva, de lo que se trata es de expresar la relación existente entre las covariables que se supone están relacionadas a través de una función matemática (Aykroyd et al., 1997).

Para llevar a cabo estos análisis se debe tener en cuenta dos aspectos principales en la interpretación previa de las variables, ya que los modelos de regresión están basados en una variable dependiente y otra independiente. La primera sería la variable respuesta y la segunda la variable que usaremos para realizar las predicciones. La forma más

simple de expresar la relación entre estas variables es la función lineal (regresión lineal simple) expresada de la siguiente forma:

$$y = a + bx + \varepsilon$$

En este caso, la variable dependiente (y) es el resultado esperado a partir de los cambios observados en la variable independiente (x). De esta forma se construye un modelo de predicción basado en nuevas observaciones. Además, en la fórmula observamos tres aspectos básicos de los modelos de regresión:

- a : es el intercepto de la línea con el axis (y), es decir el valor que toma y cuando x es igual a 0.
- b : es el gradiente, es decir la pendiente de la ecuación.
- ε : es el error aleatorio de y .

El ajuste del modelo de regresión se realiza mediante *mínimos cuadrados* (MacKenzie, 1981), cuya expresión matemática fue desarrollada por Sir Francis Galton en una investigación sobre herencia genética, y cuyo uso ha sido extendido por otras ramas de la ciencia (Aykroyd et al., 1997; MacKenzie, 1981). Esta técnica se basa en ajustar la línea de regresión a la distancia mínima de la suma de cuadrados de las distancias verticales, es decir, se trata de minimizar la suma de las diferencias cuadradas entre los valores observados y los valores predichos (Lucy, 2013) (**Imagen 4.4**).

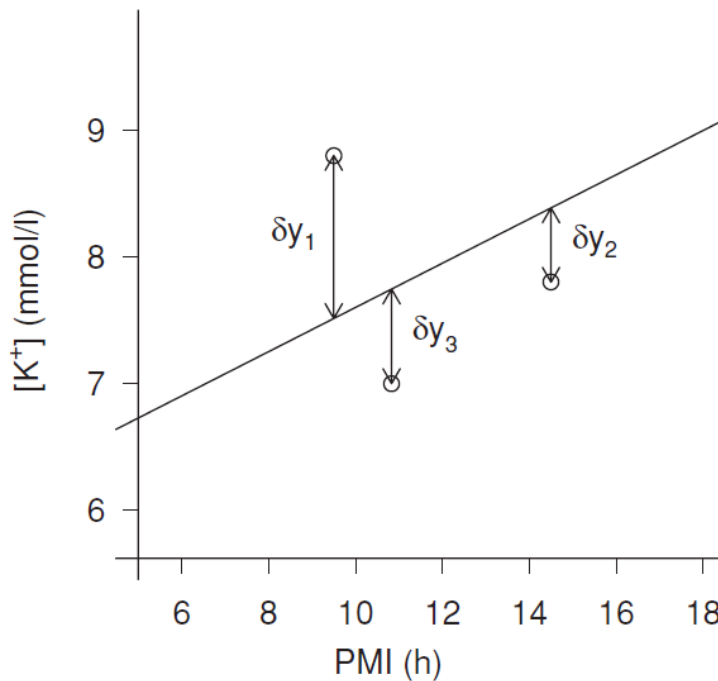


Imagen 4.6: Representación del ajuste por mínimos cuadrados del modelo de regresión lineal. Extraído de: *Lucy, D. (2013)*.

A lo largo de los años, son numerosos los autores que han empleado modelos de regresión lineal para elaborar métodos de estimación de la edad en individuos no adultos, a través, por ejemplo, del desarrollo métrico de los huesos largos (López-Costas et al., 2012; Rissech et al., 2013; Cardoso et al., 2014; Carneiro et al., 2019), de los huesos del cráneo (Nagaoka et al., 2012; Nagaoka & Kawakubo, 2015; Smith et al., 2021) y de la dentición (Liversidge & Molleson, 2004), así como de la cintura escapular y pélvica (Cardoso et al., 2017; Rissech & Black, 2007).

No obstante, hay que tomar en cuenta varias consideraciones respecto al uso de los modelos de regresión lineal para la estimación de la edad en

individuos no adultos. La primera es que la relación existente entre el crecimiento del individuo, y por tanto de los restos óseos, no crecen de manera no lineal (Tanner et al., 1966), es decir sigue una función curvilínea. En segundo lugar, cuando el individuo alcanza la madurez ósea, la función matemática deja de ser útil, por lo que dicha relación se verá afectada tanto por la edad del individuo, como por el propio crecimiento de los restos óseos, de manera que el método debe ser presentado con la edad máxima de estimación.

Uno de los objetivos de este estudio es, precisamente, documentar y evaluar el mejor ajuste de modelo matemático para el crecimiento y desarrollo del hueso temporal, tanto su porción escamosa como su porción petrosa. Con tal finalidad, se evaluaron diferentes modelos para la estimación de la edad, tanto lineales como curvilíneos. Estos últimos son más acordes a la realidad biológica del individuo, ya que el crecimiento que se produce no es constante respecto a la edad, sino que varían a lo largo de los diferentes rangos etarios (edad gestacional, infantil I, infantil II y juvenil) hasta la edad adulta (Irurita, 2014).

Los modelos más comunes para expresar la edad en función de variables cualitativas son los modelos de regresión exponencial (MRE), y los modelos de regresión logarítmica (MRL) (**Imagen 4.7**), expresados por las siguientes ecuaciones matemáticas:

$$(MRE) y = ae^{xb} + \varepsilon \qquad (MRL) y = a \ln x + b + \varepsilon$$

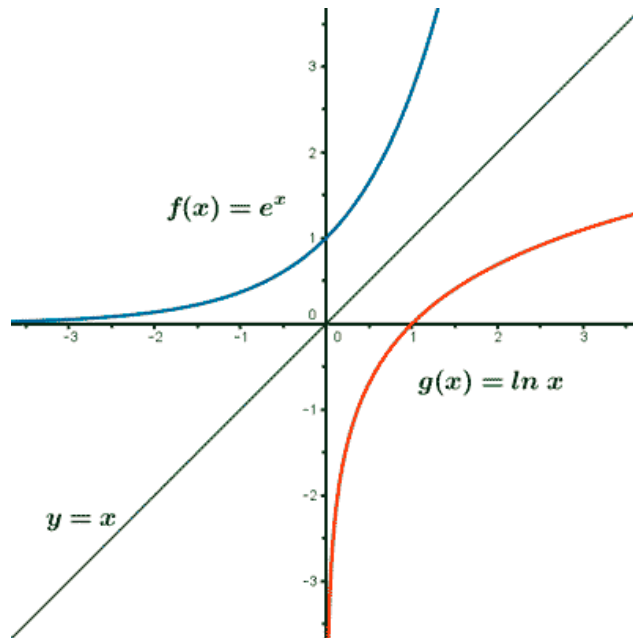


Imagen 4.7: Representación de los modelos de regresión lineal, exponencial neperiana y logarítmica. En azul regresión exponencial, en rojo regresión logarítmica y en verde, regresión lineal.

Dichas ecuaciones han sido empleadas por otros autores para establecer métodos de estimación de la edad en individuos no adultos a partir de huesos del cráneo (Figueiro et al., 2022; Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017), de la dentición (Irurita Olivares et al., 2014) y de la cintura pélvica (Pérez et al., 2017).

Para evaluar qué modelo de regresión se ajusta más a nuestros datos se usó el coeficiente de correlación (R^2), ya que en los modelos de regresión proporciona información acerca de cómo el modelo se ajusta a los datos, en función de la varianza (Kutner et al., 2005). Este coeficiente varía entre 0 y 1, siendo óptimo cuanto más cerca de uno se encuentre. No obstante, este coeficiente por sí solo no es suficiente para evaluar la

precisión y la eficacia del modelo predictivo (Kutner et al., 2005), siendo necesario realizar estudios sobre el error de estimación.

4.2.6.4. Análisis del error de estimación.

Las investigación realizada por Corron et al., (2018) documentó que cerca del 75% de los métodos propuestos para estimar la edad en individuos no adultos, aportan un cálculo del error de las estimaciones. Aunque estos resultados son positivos, hay que analizar cuál fue el método y la muestra usada en los que se apoyaron dichos cálculos del error de estimación.

Para calcular el error de las estimaciones de forma correcta hay que diferenciar entre la muestra de entrenamiento, que es aquella sobre la que se elabora el modelo predictivo, y la muestra de prueba, que es aquella sobre la que se calcula la precisión del modelo, es decir, calcular el error de estimación.

Sin embargo, hay que tener en cuenta las dificultades que los investigadores en Antropología Física y Forense tienen para adquirir nuevos datos, lo que implica ampliar el número de individuos de la muestra (Valsecchi et al., 2019). Por lo tanto, una solución factible es la de dividir la muestra de estudio en dos partes, una de entrenamiento y otra de prueba. No obstante, esto plantea un problema al investigador. ¿Cuál es el porcentaje óptimo para dividir la muestra? Responder a esta pregunta no resulta sencillo ya que un conjunto de datos de entrenamiento elevado, hace que el modelo sea mejor, pero probablemente el sobreajuste del modelo implique un error más sesgado; por el contrario, un conjunto de datos de prueba alto hace que nuestro modelo predictivo sea más fiable, pero su ajuste sea menor (Valsecchi et al., 2019).

Para calcular la precisión de la estimación de nuestros modelos predictivos se emplearon técnicas como la *validación cruzada* y el cálculo del error estándar de estimación o *Standard Error of Estimate (SEE)*.

4.2.6.4.1. Análisis de validación cruzada

Una de las soluciones para evitar segmentar la muestra en dos submuestras, una para el entrenamiento y otra para la prueba de la eficacia del modelo predictivo, es recurrir a la técnica de la validación cruzada (*CV – cross - validation*) (Kohavi, 1995). Esta técnica consiste en evaluar el modelo predictivo utilizando un remuestreo iterativo de la muestra (James et al., 2015), es decir, el conjunto de la muestra se mezcla de forma aleatoria y se divide en k partes del mismo tamaño, llamado *folds* (k), dejando una parte (k) para la validación del modelo, y el resto ($k - 1$), como conjunto de datos de entrenamiento (Obertová et al., 2020). Este proceso se repite k veces usando un conjunto de datos de entrenamiento y los datos restantes como conjunto de validación del modelo, hasta que las combinaciones se agoten para obtener el error de predicción (Fushiki, 2011; Obertová et al., 2020).

La ecuación a partir de la cual se plantea la CV es la siguiente (Arlot & Celisse, 2010):

$$\hat{\mathcal{L}}^{CV} \left(\mathcal{A}; \mathcal{D}_n; \left(\mathcal{J}_j^{(t)} \right)_{1 \leq j \leq B} \right) := \frac{1}{B} \sum_{j=1}^B \hat{\mathcal{L}}^{HO} \left(\mathcal{A}; \mathcal{D}_n; \mathcal{J}_j^{(t)} \right)$$

Donde, $\mathcal{A}; \mathcal{D}_n$ es el riesgo del estimador de la CV, con la muestra de entrenamiento $\left(\mathcal{J}_j^{(t)} \right)_{1 \leq j \leq B}$; por lo tanto, el protocolo de CV es una estrategia consistente en evaluar el promedio de varios estimadores de

retención de riesgo (HO) correspondientes a distintas divisiones de datos $D_n; I(t)$ (Geisser, 1975)(Arlot & Celisse, 2010).

De la ecuación planteada anteriormente, se deriva una más sencilla que resume de igual forma la CV como una herramienta de estimación de la precisión del modelo predictivo basado en el número total de clasificaciones correctas dividido por el número de casos del conjunto de datos (Kohavi, 1995):

$$\text{acc}_h = \frac{1}{h} \sum_{\langle v_i, y_i \rangle \in \mathcal{D}_h} \delta(\mathcal{I}(\mathcal{D}_t, v_i), y_i)$$

Donde acc_h es la precisión del modelo predictivo; $\mathcal{D}_h$, es el conjunto de entrenamiento, el cual es un subconjunto de datos de tamaño h , y $\mathcal{D}_t$, es la muestra de test siendo el resultado de $\mathcal{D} \setminus \mathcal{D}_h$ (Kohavi, 1995).

Aunque existen diferentes formas de llevar a cabo la validación cruzada, como la validación cruzada por bloques, o validación cruzada por repetición, hay dos formas de uso de CV que son las más habituales:

- *K-folds*: en este tipo de validación cruzada, el número de *folds* es el número de capas de igual tamaño por las que el modelo es dividido, y por tanto entrenado y comprobado. Es común usar $k = 10$ o 5 .
- *Leave-one-out*: este tipo de validación resulta más compleja, pero es la más habitual ya que consiste en dividir la muestra en $k = n$, donde n es el tamaño de la muestra, siguiendo el mismo esquema de *k-folds*.

Como hemos visto, el uso de la validación cruzada es una herramienta crucial para calcular la precisión de un modelo predictivo. No obstante, para elegir uno u otro protocolo, debemos tener en cuenta el tamaño de la

muestra. Por lo tanto, y siguiendo las recomendaciones de Valsecchi *et al.* (2019) se aplicó el método de *leave-one-out-cross-validation* (LOOCV) para este estudio, debido a que es el más adecuado en aquellos casos donde los modelos predictivos son calculados sobre muestras de tamaño reducido.

4.2.6.4.2. Error Estándar de Estimación (SEE)

El error estándar de estimación o SEE (*Standard Error of Estimate*) es una medida de precisión de las predicciones que refleja la variabilidad de la línea de regresión (Obertová et al., 2020).

La ecuación en la que nos basamos para calcular el SEE es la propuesta por Lucy (2013):

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 2}}$$

Donde:

- y : es el valor estimado.
- $\hat{y}$: es el valor real
- n : es el número de observaciones.

Debemos tener en cuenta que esta ecuación tiene una gran similitud con el RMSE (raíz del error cuadrático medio). No obstante, difieren en el denominador, pues mientras que el RMSE es la raíz de la media de la suma de los errores al cuadrado, el SEE es la suma de los errores residuales al cuadrado por los grados de libertad ($n - 2$) (Lucy, 2013). Como hemos visto en el apartado correspondiente, el RMSE evalúa el error de predicción del modelo. Por el contrario, el SEE evalúa la

capacidad de ajuste del modelo predictivo, es decir, la precisión del modelo (Corron et al., 2018).

Siguiendo las recomendaciones de Corron *et al.* (2018), para conseguir un intervalo de confianza de las predicciones al 95% I.C., el resultado de la ecuación del SEE debe ser multiplicado por 1,96. De tal forma, que si se pretende obtener el tamaño de este intervalo de predicción, posteriormente se debe multiplicar por 2. Así por ejemplo, si el SEE al 95% es de ± 90 días, el intervalo de error es de 180 días.

Por lo tanto, el SEE al 95% I.C., debe ser plasmado en la ecuación como el error de la estimación de la siguiente forma:

$$y = a + bx \pm \varepsilon$$

$$\varepsilon = 1,96 \times SEE$$

A continuación, se plantea un ejemplo práctico: encontramos una porción petrosa a la que logramos medir su longitud, dando como resultado una longitud de 25,7mm. Al aplicar nuestra supuesta fórmula cuyo SEE es de 43,4 días, el resultado de la estimación de la edad con esta variable es de 400 días. Para finalizar nuestra estimación debemos calcular el 95% del I.C. del error, que en este caso será de 85,06 días ($1,96 \times 43,4$). Por tanto, el resultado final de nuestra predicción para un individuo no adulto con una longitud de 25,7cm de la porción petrosa es de: $400 \pm 85,06$ días.

No obstante, hay que extremar la precaución con la interpretación de este resultado, ya que este valor no indica la existencia de una probabilidad al 95% que un individuo no adulto con una longitud de la *pars petrosa* de 25,7cm tenga entre 319,94 y 485,06 días (Lucy, 2013). Lo que realmente mide el intervalo de confianza es la incertidumbre de la

estimación, por lo que lo adecuado sería interpretar el resultado como la confianza al 95% de que dicho individuo tiene entre 319,94 y 485,06 días (Lucy, 2013).

4.2.7. Tratamiento estadístico de las variables categóricas o discretas.

4.2.7.1. Análisis descriptivo.

Al igual que para las variables continuas, de manera previa se realizó un estudio de las variables categóricas, con la finalidad de caracterizar la población de estudio y observar si existen errores en la recogida y elaboración de la base de datos. Para esto se llevó a cabo un estudio descriptivo de las fases de desarrollo del anillo timpánico en función de la edad y el sexo de la muestra calculando la media, la desviación estándar (*SD*), y los valores máximos y mínimos.

De igual forma, se calculó una serie de pruebas estadísticas necesarias para continuar con la consecución de los modelos de regresión, como son:

- Análisis de la normalidad de la muestra con el test de Kolmogorov – Smirnov (Berger & Zhou, 2014).
- Análisis de las diferencias de la lateralidad de los restos óseos con el test de Wilcoxon (Wilcoxon, 1992).

4.2.7.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.

Ya que las variables categóricas fueron tomadas en el mismo espacio temporal que las variables continuas en ambas colecciones, se siguieron las mismas pautas ya descritas en los análisis del error intra – interobservador de las variables continuas. No obstante, y debido a la naturaleza de las variables categóricas, la prueba estadística difiere,

optándose por el coeficiente o índice de Kappa de Cohen (k) (Cohen, 1960), en su variante de Kappa ponderada como recomienda Obertová *et al.* (2020). Con este coeficiente evaluamos la fiabilidad entre dos pares de observaciones de una variable nominal u ordinal, en función de la cantidad de acuerdo que cabría esperar debido únicamente al azar (Ferrante & Cameriere, 2009; Obertová *et al.*, 2020).

El valor de Kappa está definido por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{a + d - (p_1p_2 + q_1q_2)}{1 - (p_1p_2 + q_1q_2)}$$

Donde en el numerador encontramos la discrepancia entre la probabilidad observada de acuerdo entre los observadores y la probabilidad de acuerdo entre ellos, mientras que en el denominador encontramos el máximo del numerador (Ferrante & Cameriere, 2009).

Los valores de Kappa varían entre 0 y 1, siendo 1 el valor de acuerdo perfecto entre los observadores; igualmente, podemos encontrar valores de Kappa en negativo, lo cual indica que el grado de acuerdo entre los observadores es menor al esperado (Ferrante & Cameriere, 2009). La interpretación de los valores de Kappa de Cohen la encontramos en la **Tabla 4.5**.

Tabla 4.5: Interpretación de coeficiente Kappa de Cohen según Ferrante y Cameriere (2009).

Valor de Kappa de Cohen (k)	Interpretación
$k < 0,40$	Poca concordancia
$0,40 \leq k < 0,60$	Moderada concordancia
$0,60 \leq k < 0,80$	Buena concordancia
$0,80 \leq k < 1$	Muy buena concordancia

4.2.7.3. Análisis de estimación de la fase de inicio. Método de Smith (1991).

La metodología más adecuada para calcular la edad estimada a partir de variables categóricas es el de análisis de transición con ajuste bayesiano (Boldsen et al., 2002; Konigsberg, 2015; Konigsberg et al., 2008). No obstante, la aplicación de esta metodología requiere, no solo un amplio manejo de conceptos estadísticos sino también de aquellos programas específicos que permiten desarrollar dichos análisis.

El reducido número de casos en alguna de las fases impidió calcular la edad de inicio de cada fase mediante un análisis de regresión logít y/o probit (Boldsen et al., 2002; Getz, 2020). Por lo tanto, y siguiendo los criterios de Smith (Smith, 1991a), los cuales ya han sido aplicados en población mediterránea para la estimación de edad a partir del desarrollo dental (Irurita et al., 2014), se ha calculado la edad de inicio de cada fase. Este parámetro, fue calculado como la edad media del grupo de individuos entre el primer sujeto con la fase o estadio alcanzado, y el sujeto de mayor edad de la fase o estadio de desarrollo previo (Smith, 1991b), consiguiendo de esta forma un inicio para cada fase y un rango de edad asociado a cada fase.

Este sistema, no obstante plantea una serie de cuestiones referente a la edad proporcionada ya que es altamente sensible a la distribución de la muestra, y por lo tanto realizar comparaciones entre muestras puede llevar a conclusiones erróneas si no se toma en cuenta la distribución de la muestra (Irurita, 2014).

A modo de ejemplo, esta metodología se ha aplicado en algunos estudios como el de la fusión epifisiaria de la clavícula (Schulz et al.,

2005), el desarrollo del tercer molar (Prieto et al., 2005) o una adaptación del método de Demirjian (Feijóo García, 2010).

Además, como complemento a la edad de inicio se ha calculado los parámetros del desarrollo de la placa timpánica que han sido expresados con los siguientes parámetros estadísticos: media, desviación estándar, y cuartiles superiores e inferiores al 95% de las edades de todos los individuos que presentaron cada una de las fases.

4.2.7.4. Análisis de modelos logit/probit y regresión logística binaria (BLR)

4.2.7.4.1. Modelos Logit/probit

Uno de los inconvenientes que plantea este tipo de análisis es la muestra, ya que debe ser relativamente grande y representativa de todas las edades de estudio (Getz, 2020). Esto es debido a que el modelo estadístico estima a través de modelos lineales la probabilidad del indicador de la edad en un individuo de cada edad, en lugar de basarse en la distribución que tiene dicho indicador en la población (Boldsen et al., 2002), por lo que es sumamente importante un tamaño de muestra grande y que se encuentre bien representado.

No obstante, la base de los análisis de transición se apoyan en los modelos *logit/probit* (Boldsen et al., 2002; Getz, 2020), cuyos resultados, además, son similares al de otros modelos lineales (Konigsberg, 2015). Por lo tanto, estos modelos pueden ser aplicables a esta colección.

Los modelos de regresión logística calculan la probabilidad de que un evento ocurra en los valores de una variable independiente (Getz, 2020), en este caso la edad, y la variable dependiente, en este caso las fases de desarrollo del anillo y de la placa timpánica.

La fórmula por la que se rigen los modelos *logit/probit* es la siguiente (Getz, 2020):

$$\text{logit}(p) = \ln(\text{odds}) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 + \varepsilon$$

Puesto que estos modelos se basan en la probabilidad de un evento, en este caso la probabilidad de un marcador óseo como la placa timpánica, se calcula el logaritmo natural de los *odds* (la probabilidad de que un evento ocurra (p) dividido por la probabilidad de que no ocurra ($1 - p$)). Además, como se trata de un modelo lineal, las constantes, tanto las del modelo (β_0), como las de la edad (β_1) se calculan a través de los valores de máxima verosimilitud (Getz, 2020), por parte del programa estadístico.

Aunque en la práctica existen pequeñas diferencias entre los modelos *logit* o *probit*, la principal diferencia entre estos modelos, era la elección de un modelo debido a la complejidad de los programas estadísticos (Konigsberg, 2015; Konigsberg et al., 2019), lo cual, en la actualidad, no es justificativo para diferenciar el uso entre dichos modelos (Obertová et al., 2020).

Para el estudio de la placa timpánica se usó el modelo *probit* ya que es el más fácil de implementar, puesto que la ejecución del modelo resulta más intuitiva de aplicar (Myers et al., 2012) visto en (Obertová et al., 2020).

Como paso previo a los análisis, la variable independiente, o variable de respuesta, en este caso la edad, debe ser pasada a un escala exponencial o logarítmica (Konigsberg et al., 2008); puesto que se escoge el modelo *probit*, se pasó la variable edad a escala exponencial.

El resultado que aporta este tipo de análisis es el estado equivalente al 50% de los individuos que han alcanzado el estado observado (Irurita, 2014), tomando esta edad como la probabilidad de que ya haya alcanzado la fase observada (**Imagen 4.6**).

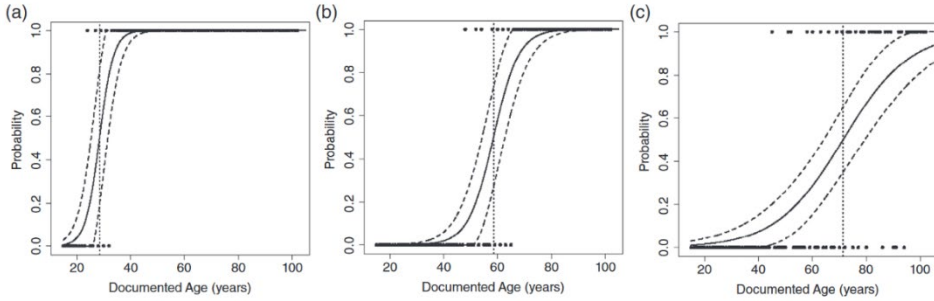


Imagen 4.8: Curvas de frecuencia acumulada de los modelos *probit/logit*. (a – b) un modelo predictivo positivo de individuos jóvenes, alrededor de los 30 años, y otra para más mayores, alrededor de los 60 años. (c) una combinación de los anteriores. Tomado de: Getz, S. M. (2020).

4.2.7.4.2. Modelos de Regresión Logística Binaria (BLR)

Los modelos de regresión logística binaria (BLR) habitualmente han sido usados como modelos discriminadores del dimorfismo sexual de los individuos (Nikita & Nikitas, 2020). Al igual que los modelos *logit/probit* se basan en el logaritmo de los *odds*, es decir, en la probabilidad de que un evento (p) se produzca dividido por la probabilidad de que el mismo no ocurra ($1 - p$). Los *odds* están definidos por la siguiente ecuación:

$$\text{odds} = \frac{p}{1 - p}$$

Los modelos de BLR son útiles cuando lo que se busca es estimar la probabilidad de un suceso cuya respuesta sea dicotómica. Por lo tanto,

este mismo modelo clasificador puede ser usado para estimar la edad en individuos no adultos, siempre y cuando nuestra intención sea la de valorar entre dos eventos. Puesto que uno de los objetivos es el de estimar el periodo perinatal de los individuos en función de si el individuo se encuentra en un periodo gestacional o en periodo postnatal, se planteó un estudio basado en un modelo clasificador de BLR para calcular si el individuo infantil era un individuo gestante (feto) o postnatal (no feto).

Partiendo de esta base, la probabilidad de que los restos esqueléticos pertenezcan a un individuo gestante $P(feto = 1)$ y la probabilidad del efecto contrario, es decir, que el individuo se clasifique como postnatal, es $P(feto = 0) = 1 - P(feto = 1)$; basado en la siguiente ecuación (Nikita & Nikitas, 2020; Obertová et al., 2020):

$$\ln \frac{P(feto = 1)}{1 - P(feto = 1)} = c_0 + c_1X_1 + c_nX_n$$

Los valores de c_0, c_1, c_n equivalen a los parámetros para determinar el máximo de verosimilitud de las estimaciones dadas por la muestra de entrenamiento con la edad documentada, vs $X_1X_2X_n$ son los datos disponibles, por lo que si calculamos c_0, c_1, c_n , la ecuación anterior calcula $P(feto = 1)$. Por lo tanto, $y = P(feto = 1)$; dejando la siguiente ecuación definitiva de BLR (Nikita & Nikitas, 2020; Obertová et al., 2020):

$$P(feto = 1) = \frac{1}{1 + e^{-y}}$$

Por lo que, si $P(feto = 1)$ es $> 0,5$; el individuo es clasificado como individuo gestante, es decir, feto ($feto = 1$). Así mismo, cuando $P(feto = 0)$ es $< 0,5$; el resto óseo puede ser clasificado como individuo postnatal,

es decir, no feto ($feto = 0$) (Nikita & Nikitas, 2020; Obertová et al., 2020).

El modelo de BLR se fue ajustando a partir de dos vías, mediante el análisis de la curva de las características operativas del receptor (ROC - *Receiver Operating Characteristic*) y -2 logit de verosimilitud (-2LL) (Amores-Ampuero & Viciano, 2022).

El -2LL es una medida de ajuste del modelo BLR, donde mide la bondad de ajuste, la cual es útil para comparar entre los distintos modelos de BLR. Cuanto menor sea el valor de este estadístico, mejor ajustado será el modelo predictivo.

4.2.7.4.3. Análisis de curva ROC

El análisis de la curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*), es una representación gráfica del rendimiento de un modelo de clasificación binario, es decir, el poder discriminatorio de un modelo de regresión logística. La representación de la curva ROC es la tasa de verdaderos positivos (sensibilidad) de la clasificación, frente a la tasa de 1 – especificidad (falso positivo) (Obertová et al., 2020) (**Imagen 4.7**).

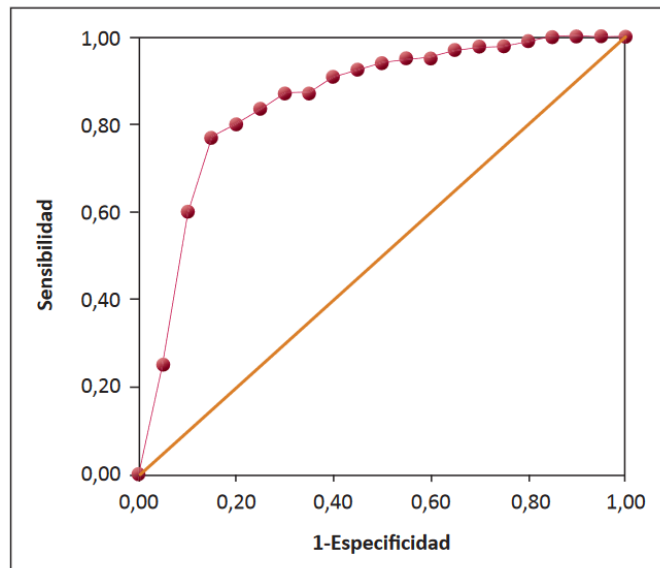


Imagen 4.9: Ejemplo de Curva ROC. Extraído de: Cerda, J., & Cifuentes, L. (2012).

Los resultados permiten comparar diferentes variables a través de la comparación del área bajo la curva (AUC – *Area Under the Curve*), donde un valor alto de AUC implica un mejor rendimiento de poder discriminatorio del modelo predictivo (Larose, 2015), en este caso para evaluar las distintas ecuaciones de BLR. El valor de AUC está comprendido en 0 y 1.

Como podemos observar, la curva ROC ilustra la sensibilidad y la especificidad de cada una de las observaciones, siempre y cuando sean continuas. De esta forma podemos establecer un punto de corte común para aquellos valores que representen los puntos más altos de sensibilidad y especificidad. A este valor lo conocemos como el índice de Youden, y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Índice Youden} = \text{Sensibilidad} + \text{Especificidad} - 1$$

Por lo tanto, se empleó este estadístico para evaluar tanto el valor discriminatorio de los modelos de BLR, como la sensibilidad y especificidad del resultado propuesto por el mismo modelo.

4.2.8. Análisis de la precisión del método en la Colección osteológica infantil del Museo Natural de Ciencias MNHNC (Lisboa).

Los métodos estadísticos se han utilizado tanto para la elaboración de los métodos en la colección de San José de Granada, como en la validación posterior en la colección portuguesa. Así por ejemplo, se ha aplicado los mismos parámetros estadísticos para el análisis de la precisión de otros métodos, es decir, el test de Wilcoxon y el calculo de la raíz del error cuadrático medio (RMSE). De esta forma se ha analizado si los métodos proporcionados en este estudio son aplicables en población portuguesa, y, por lo tanto, validos.



CAPÍTULO 5

RESULTADOS

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

5.1. Análisis de la precisión de métodos propuestos por otros autores

Con el propósito de validar la precisión de las metodologías propuestas por Fazekas y Kósa (1978), Nagaoka *et al.* (2012), Nagaoka y Kawakubo (2015) Weaver (1979), Humphrey y Scheuer (2006), y García – Mancuso *et al.* (2016) en población mediterránea, se aplicó la prueba de rangos con signos de Wilcoxon. Al tratarse de pruebas no paramétricas, es necesario realizar previamente una prueba de normalidad con la prueba de Kolmogorov – Smirnov ($p < 0,05$) (**Tabla 5.1**). Además, también se calculó el RMSE con el objetivo de estimar el valor del error de estimación.

Tabla 5.1: Prueba de normalidad de las variables de estudio para la validación de metodología.

Variable	Test de Kolmogorov – Smirnov*
HS	0,01
WS	0,00
LP	0,01
WP	0,02
ANILLO	0,03

* Resultado de p valor ($<0,05$)

5.1.1. Análisis de la metodología con variables continuas.

Se han comparado mediante el test de Wilcoxon las metodologías propuestas por Fazekas y Kósa (1978), y Nagaoka (2012; 2015) en individuos prenatales a través de las medidas de la escama y de la porción petrosa del temporal (**Tabla 5.2; Imagen 5.1**).

Los métodos de estimación de la edad con la porción petrosa y escamosa del temporal muestran diferencias significativas entre la edad estimada y la edad cronológica de los individuos de la colección de estudio. Además los valores de RMSE en algunos estimadores son superiores a los 6 meses, siendo un error no asumible para la estimación de la edad en individuos en edad de gestación. No obstante, la medida de la altura de la escama es el único estimador cuyos resultados se ajustan más a la población de Granada, con un error ligeramente superior al mes, siendo asumible y por lo tanto, pudiendo ser aplicable como método para estimar la edad de los individuos en edad de gestación.

Bien es cierto que existe una tendencia de las fórmulas de Fazekas & Kósa a sobrestimar la edad de los individuos, siendo estos valores significativos en la anchura de la escama y la longitud de la porción petrosa, y por el contrario, es la anchura de la porción petrosa la única variable cuyos resultados infraestiman la edad de los individuos

Tabla 5.2: Análisis de la precisión de las medidas de la porción escamosa y petrosa del temporal.

Método	Medida	n	Sig.	Edad estimada	Edad media en la Colección de Granada	RMSE
Fazekas y Kósa (1978)	Longitud de la <i>pars petrosa</i>	7	0,016	521,37	208,29	±163
	Anchura de la <i>pars petrosa</i>	7	0,031	103,14	206,50	±184
	Altura de la porción escamosa	7	0,078	234,76	208,29	±42
	Anchura de la porción escamosa	7	0,016	462,50	208,29	±281
Nagaoka (2012)	Anchura de la <i>pars petrosa</i>	7	0,031	200,18	158	±101
Nagaoka (2015)	Longitud de la <i>pars petrosa</i>	7	0,016	250,82	208,29	±50

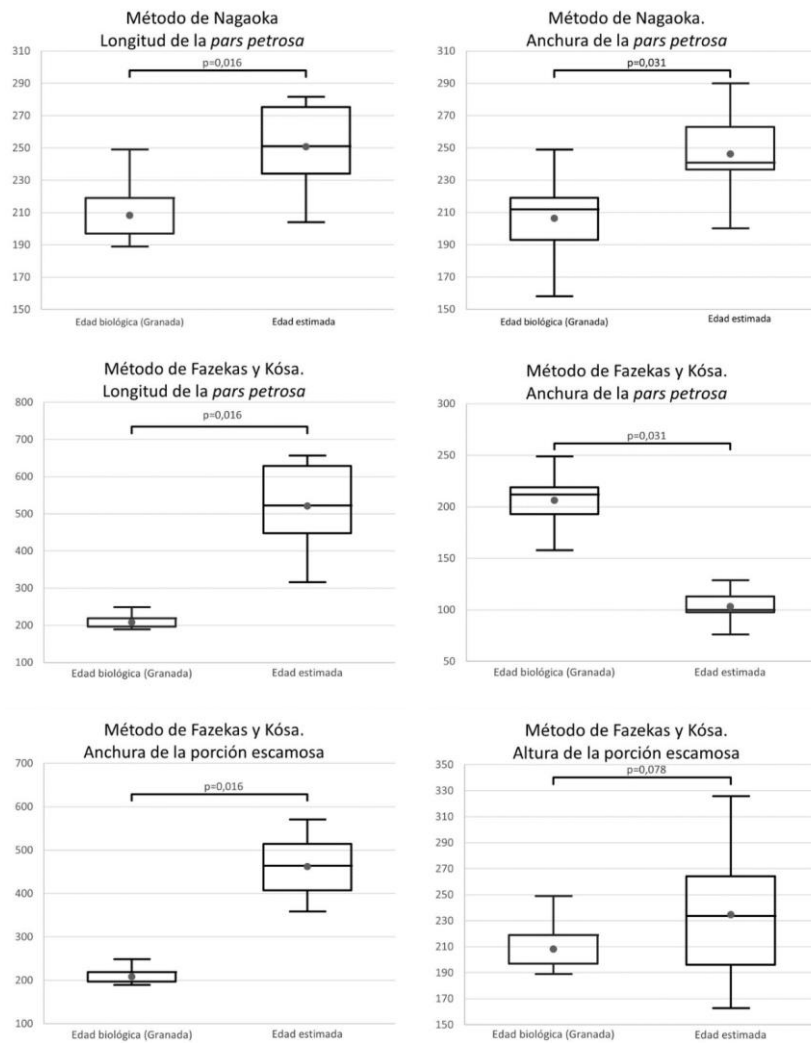


Imagen 5.1: Gráficas del análisis de precisión de los métodos de Fazekas y Kósa y Nagaoka en población Mediterránea.

5.1.2. Análisis de la metodología con variables categóricas

Se ha comparado la precisión de las metodologías propuestas por Weaver (1979) (**Tabla 5.3** **Tabla 5.2**; **Imagen 5.2**), Humphrey y Scheuer

(2006) (**Tabla 5.4; Imagen 5.3**), y García – Mancuso *et al.* (2016) (**Tabla 5.5; Imagen 5.4**) con el test de Wilcoxon en individuos infantiles y prenatales a través del desarrollo de la placa timpánica.

Entre estos tres autores, el último se ajusta mejor a la población mediterránea, ya que presenta los valores más bajos de RMSE en comparación con los demás. Esta tendencia puede explicarse por el hecho de que la muestra de estudio abarca un rango de edad no superior a un año de vida. Mientras tanto, el método de Weaver (1979) resulta ser el menos recomendable para su empleo debido a que no solo tiende a sobrestimar la edad de los individuos, sino que también es el que posee los valores más altos de RMSE, siendo 240 días (fase 4) o 440 días (fase 3), lo que implica errores de estimación de entre 0,6 y 1,2 años.

En cuanto a la fusión del anillo timpánico, no se han observado diferencias significativas entre las metodologías de Weaver (1979) y García-Mancuso (2016), lo que sugiere que ambas pueden aplicarse en la población mediterránea. No obstante, a medida que las fases de desarrollo aumentan, se incrementa proporcionalmente el error en las estimaciones. Entre las tres metodologías presentadas, las estimaciones de Weaver resultan ser las menos adecuadas, ya que las proporcionadas por Humphrey y Scheuer se ajustan algo más a la población de estudio. Además, estas últimas son las únicas que ofrecen estimaciones de la edad en las dos últimas fases de desarrollo de la placa timpánica. Sin embargo, es cierto que, a tenor de los resultados, las primeras fases de desarrollo de la placa timpánica (Fase 2–4) se ajustan bastante a la población granadina, con errores de RSME asumibles para individuos infantiles, alrededor de los 3 meses; por el contrario, son las dos últimas fases (fases 5 y 6) las que poseen los valores más altos de RMSE, llegando incluso a

los 2 años de error en las estimaciones, mientras que en las estimaciones obtenidas mediante la aplicación del método de García-Mancuso *et al.* (2016), las primeras fases se ajustan mucho más a la población granadina que el resto de los autores. Sin embargo, en la última fase, el error calculado es de 8 meses, lo cual resulta inasumible en el rango etario en el que se aplicaría el método.

Tabla 5.3: Comparación de la metodología de Weaver en población Mediterránea.

	Weaver			Granada
	Estimación	RMSE	<i>p</i>	Media
Fase 1	234	36,69	0,86	230
Fase 2	491	183,34	0,00	312
Fase 3	828	446,20	0,00	385
Fase 4	828	241,23	0,00	626
Fase 5	-	-	-	-
Fase 6	-	-	-	-

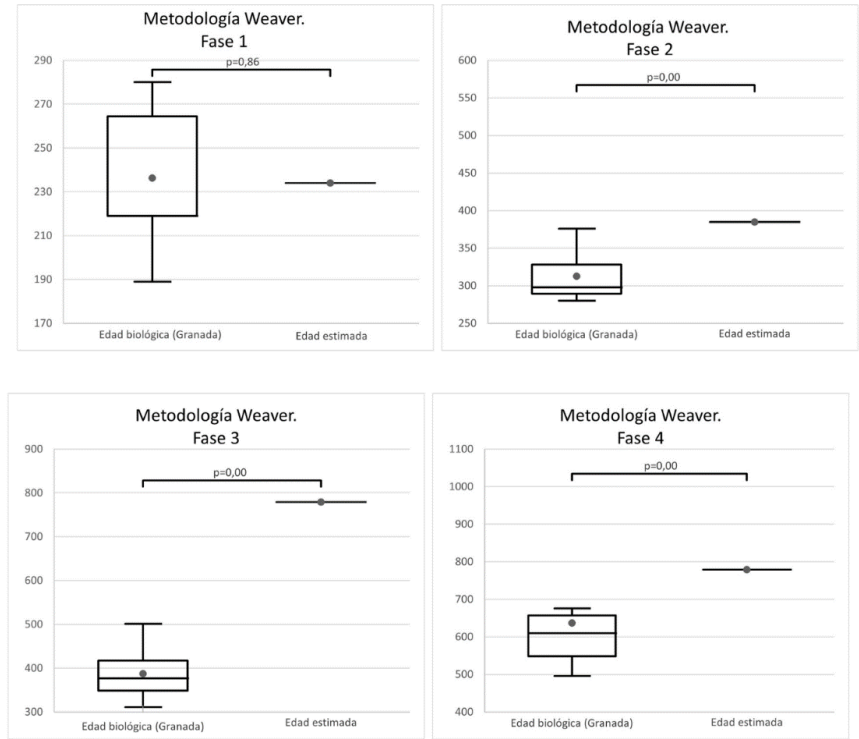


Imagen 5.2: Gráficas del análisis de precisión del método de Weaver en población Mediterránea.

Tabla 5.4: Comparación de la metodología de Humphrey & Scheuer en población Mediterránea.

	Humphrey & Scheuer			Granada
	Estimación	RMSE	<i>p</i>	Mean
Fase 1	-	-	-	-
Fase 2	355	58,85	0,00	312
Fase 3	355	57,18	0,00	385
Fase 4	520	110,78	0,00	626
Fase 5	580	755,94	0,00	1078
Fase 6	1180	683,77	0,02	1520

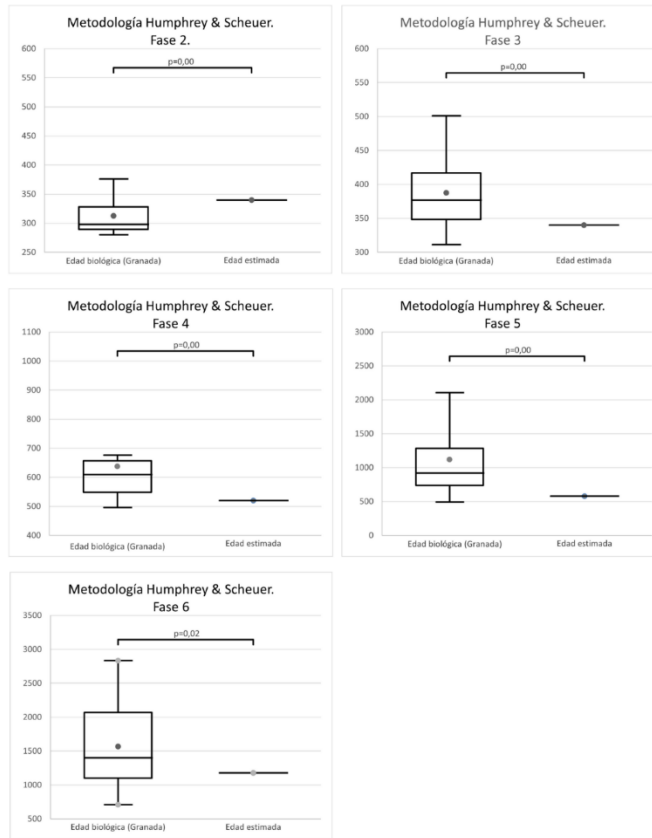


Imagen 5.3 Gráficas del análisis de precisión del método de Humphrey y Scheuer en población Mediterránea.

Tabla 5.5: Comparación de la metodología de García - Mancuso *et al.* en población Mediterránea.

	García – Mancuso <i>et al.</i>			Granada
	Estimación	RMSE	<i>p</i>	Mean
Fase 1	225	36,75	0,42	230
Fase 2	238	84,42	0,00	312
Fase 3	300	97,67	0,00	385
Fase 4	420	244,14	0,00	626
Fase 5	-	-	-	-
Fase 6	-	-	-	-

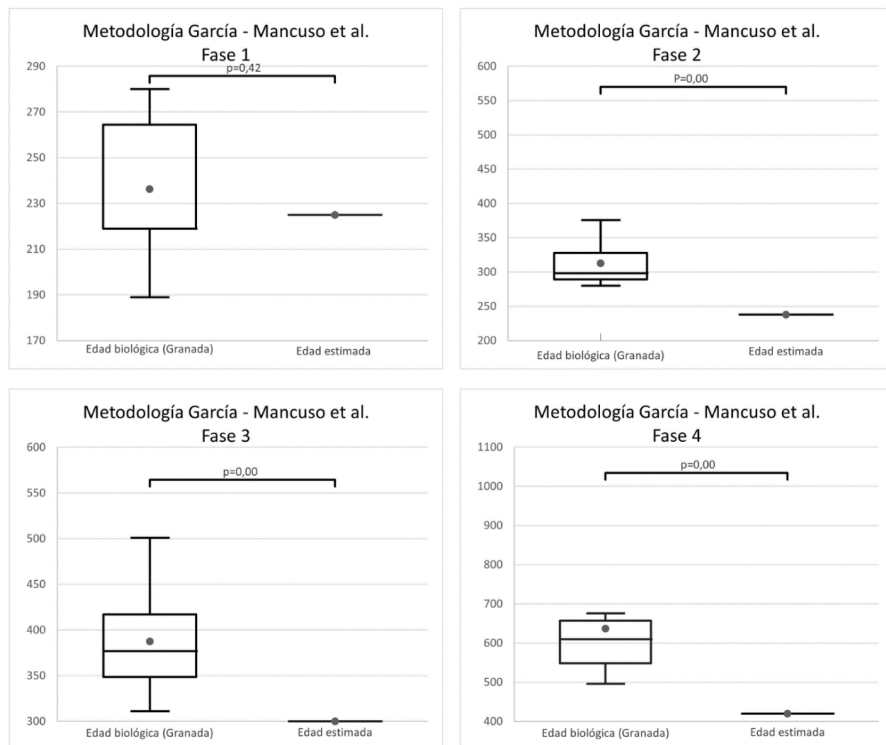


Imagen 5.4: Gráficas del análisis de precisión del método de García - Mancuso *et al.* en población Mediterránea.

5.2. Tratamiento estadístico de las variables continuas o métricas.

5.2.1. Análisis descriptivo.

Como paso previo a cualquier investigación, es necesario conocer las características de la muestra de estudio, lo cual se traduce en documentar el número de observaciones, la media, la mediana, la desviación estándar (SD) y los valores máximos y mínimos de cada una de las variables.

En la **Tabla 5.6**, se muestran los valores de las medidas tomadas en el hueso temporal, tanto en la porción escamosa como porción petrosa.

Tabla 5.6: Análisis descriptivo de las variables continuas en función de la edad de la muestra.

Edad	Variable	n	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo
Fetos (desde 5 meses hasta 9 meses de gestación)	WS	16	28,4	27,1	5,0	20,5	39,0
	HS	16	22,3	27,1	4,0	15,8	29,2
	LS	16	26,9	26,3	4,1	21,2	32,7
	LP	16	32,7	29,0	5,9	20,4	41,7
	WP	16	15,4	33,9	2,5	11,7	18,7
Neonato (0 – 28 días)	WS	29	31,2	31,6	2,3	27,1	35,1
	HS	29	22,6	23,3	3,9	10,5	27,4
	LS	29	31,8	32,2	2,9	27,5	34,5
	LP	29	37,3	37,7	2,8	30,7	43,4
	WP	29	17,7	17,4	1,2	15,8	19,5
29 – 180 días	WS	45	36,2	35,9	4,8	17,6	44,6
	HS	45	26,3	26,6	4,2	12,6	33,9
	LS	45	31,2	31,8	2,8	27,5	33,5
	LP	45	44,2	44,2	4,6	32,6	52,8
	WP	45	18,9	19,0	1,3	16,8	22,6
181 – 364 días	WS	16	42,3	41,4	3,2	38,8	50,9
	HS	16	33,7	33,6	4,4	27,8	42,2
	LS	16	34,2	34,2	-	34,2	34,2
	LP	16	-	-	-	-	-
	WP	16	20,8	20,8	1,3	18,9	22,6
1 – 1,9 años	WS	14	46,5	47,5	7,5	22,8	54,7
	HS	14	37,5	36,5	3,5	33,2	44,8
	LS	14	-	-	-	-	-
	LP	14	60,6	60,3	4,0	52,8	69,2
	WP	14	22,2	21,4	1,7	19,5	24,3
2 – 2,9 años	WS	8	49,6	50,0	4,9	41,9	55,1
	HS	8	38,1	38,3	3,6	32,3	43,9
	LS	8	-	-	-	-	-
	LP	8	58,9	58,9	3,4	64,6	64,6
	WP	8	23,6	23,6	-	23,6	23,6
3 – 3,9 años	WS	4	51,3	52,6	6,1	42,8	57,2
	HS	4	39,2	39,6	4,5	34,1	43,4
	LS	4	-	-	-	-	-
	LP	4	59,4	59,4	-	59,4	59,4
	WP	4	-	-	-	-	-
4 – 4,9 años	WS	3	52,0	53,2	2,6	49,1	53,9

Edad	Variable	n	Media	Mediana	SD	Mínimo	Máximo
5 – 5,9 años	HS	3	41,2	41,2	3,0	39,1	43,3
	LS	3	-	-	-	-	-
	LP	3	63,4	63,4	0,4	63,1	63,7
	WP	3	-	-	-	-	-
	WS	4	53,2	54,1	5,8	45,5	59,0
6 – 6,9 años	HS	4	42,2	42,8	5,6	35,0	48,2
	LS	4	.	-	-	-	-
	LP	4	63,7	63,7	5,0	60,1	67,2
	WP	4	-	-	-	-	-
	WS	2	54,3	54,3	1,8	53,1	55,6
7 – 7,9 años	HS	2	43,2	43,2	0,3	43,0	43,5
	LS	2	-	-	-	-	-
	LP	2	63,5	63,5	-	63,5	63,5
	WP	2	-	-	-	-	-
	WS	1	-	-	-	-	-
8 – 8,9 años	HS	1	-	-	-	-	-
	LS	1	-	-	-	-	-
	LP	1	66,1	66,1	-	66,1	66,1
	WP	1	-	-	-	-	-
	WS	1	-	-	-	-	-

Para continuar con los análisis estadísticos, además, se llevaron a cabo dos tipos de análisis: el análisis de normalidad con la prueba de Kolmogorov – Smirnov y el test de correlación de Pearson (**Tabla 5.7**).

Tabla 5.7: Significación del test de normalidad y nivel de correlación de las variables continuas.

	WS	HS	LS	LP	WP
Test normalidad	0,014	0,004	0,003	0,019	0,200
Test correlación	0,884	0,875	0,696	0,929	0,763

Considerando que la muestra no sigue una distribución normal, según lo expuesto en la tabla anterior, y con la finalidad de elaborar las ecuaciones de estimación de la edad, se comparó el crecimiento entre los lados derecho e izquierdo con el test de Wilcoxon (**Tabla 5.8**).

Tabla 5.8: Nivel de significancia del test de Wilcoxon para analizar las diferencias entre el crecimiento del lado derecho e izquierdo de las medidas del temporal.

	WS	HS	LS	LP	WP
Diferencias entre lado derecho e izquierdo	0,061	0,198	0,670	0,484	0,428

Dado que los resultados de la prueba de Wilcoxon arrojan la no existencia de diferencias significativas entre ambos lados ($p > 0,05$), se puede tomar uno solo de los lados para los sucesivos análisis. Por lo tanto, el lado izquierdo fue usado para calcular las ecuaciones de estimación de la edad (Cardoso *et al.*, 2014).

5.2.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.

Los resultados del coeficiente de correlación de concordancia de Lin (CCC) para analizar el error interobservador e intraobservador se hallan en la **Tabla 5.9**. Los resultados son positivos, lo cual implica que las observaciones tienen la capacidad de ser repetibles y reproducibles, salvo para la variable WP, cuyas diferencias entre las mediciones del ancho de la porción petrosa muestran valores de concordancia menores. En las **Imágenes 5.5 – 5.14**, se representan gráficamente los resultados de la prueba, donde la línea continua representa la regresión de mejor ajuste para los datos, y la línea discontinua representa la dispersión y el ajuste de nuestros datos.

Los valores de reproducibilidad y repetibilidad se presentan de forma independiente para cada medida, y para el lado derecho e izquierdo, con la interpretación del coeficiente según McBride (2005).

Tabla 5.9: Análisis de la correlación de concordancia de Lin del ancho de la escama (WS), altura de la escama (HS), longitud de la escama (LS), longitud de la petrosa (LP) y anchura de la petrosa (WP) para el error intra e interobservador.

Medida	Lateralidad	Error interobservador		Error intraobservador	
		CCC	Interpretación	CCC	Interpretación
Anchura de la escama (WS)	Derecho	0,962	Substancial	0,997	Casi perfecta
	Izquierdo	0,967	Substancial	0,988	Substancial
Altura de la escama (HS)	Derecho	0,988	Substancial	0,993	Casi perfecta
	Izquierdo	0,997	Casi perfecta	0,977	Substancial
Longitud de la escama (LS)	Derecho	0,865	Pobre	0,817	Pobre
	Izquierdo	0,788	Pobre	0,877	Pobre
Longitud de la petrosa (LP)	Derecho	0,942	Moderada	0,998	Casi perfecta
	Izquierdo	0,951	Substancial	0,994	Casi perfecta
Anchura de la petrosa (WP)	Derecho	0,876	Pobre	0,900	Moderada
	Izquierdo	0,897	Moderada	0,930	Moderada

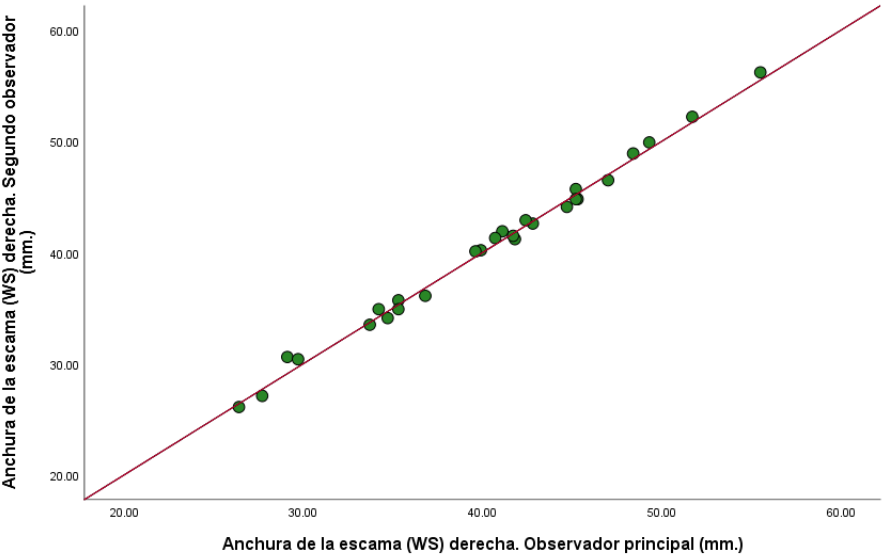


Imagen 5.5: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la anchura de la escama.

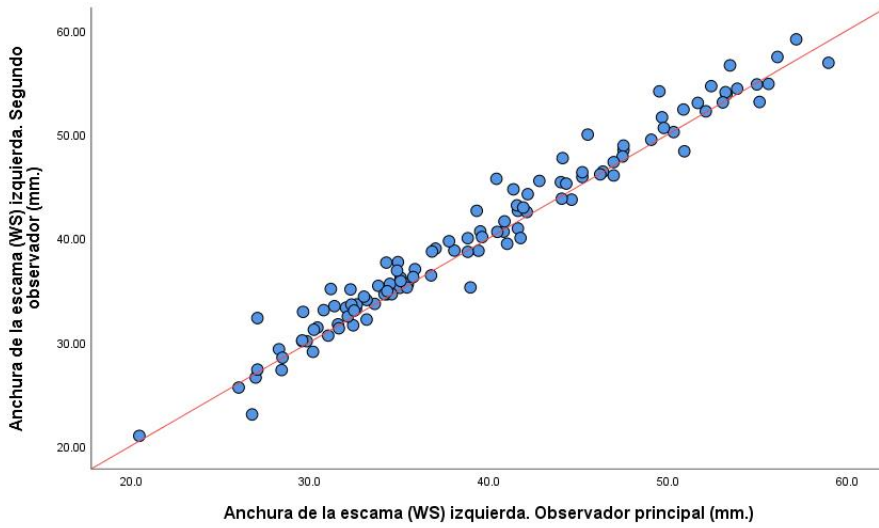


Imagen 5.6: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la anchura de la escama.

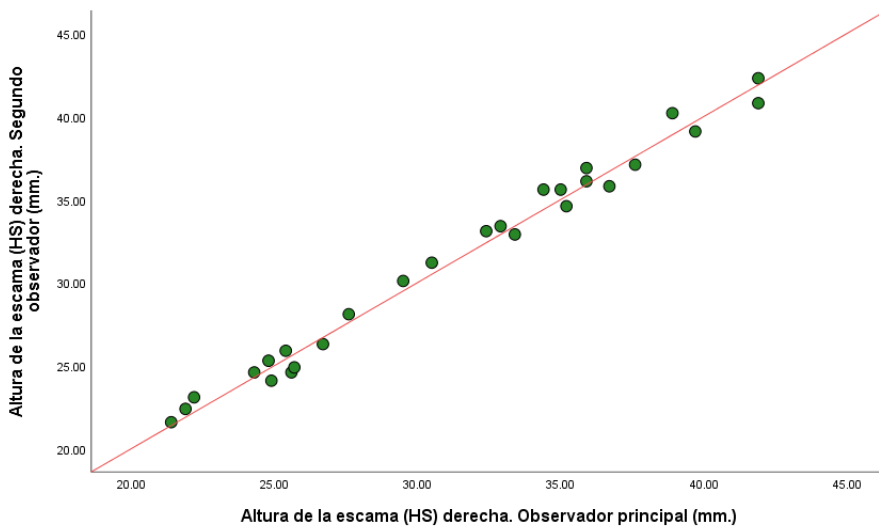


Imagen 5.7: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la altura de la escama.

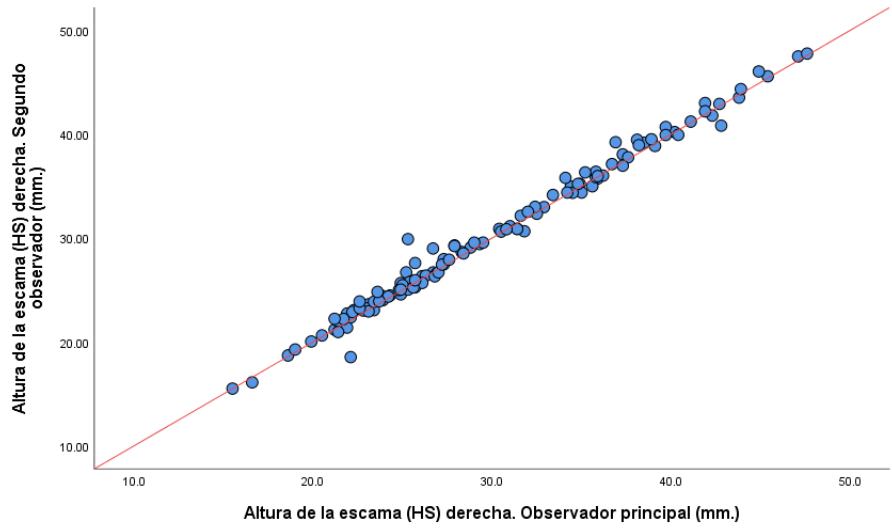


Imagen 5.8: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la altura de la escama.

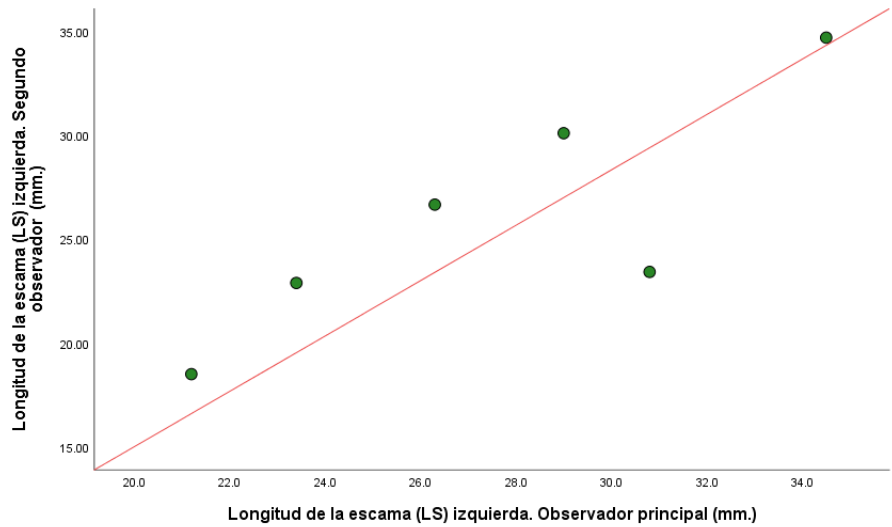


Imagen 5.9: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la longitud de la escama.

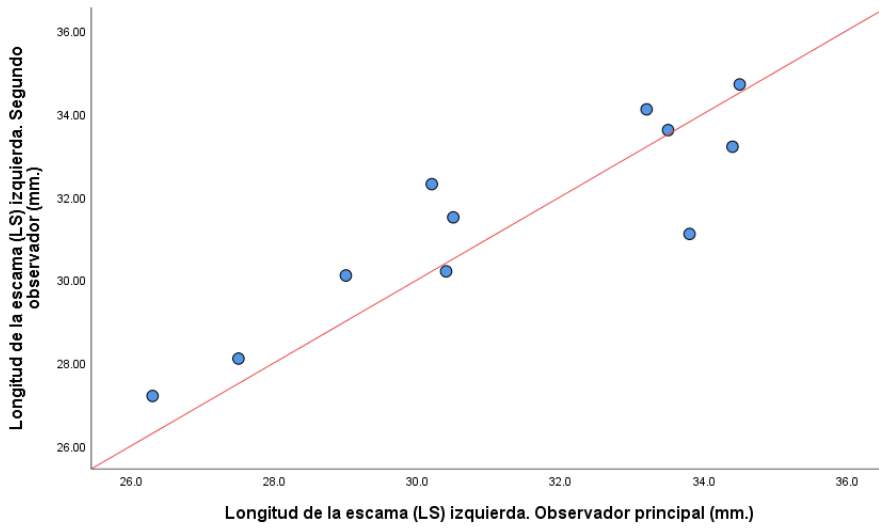


Imagen 5.10: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la longitud de la escama.

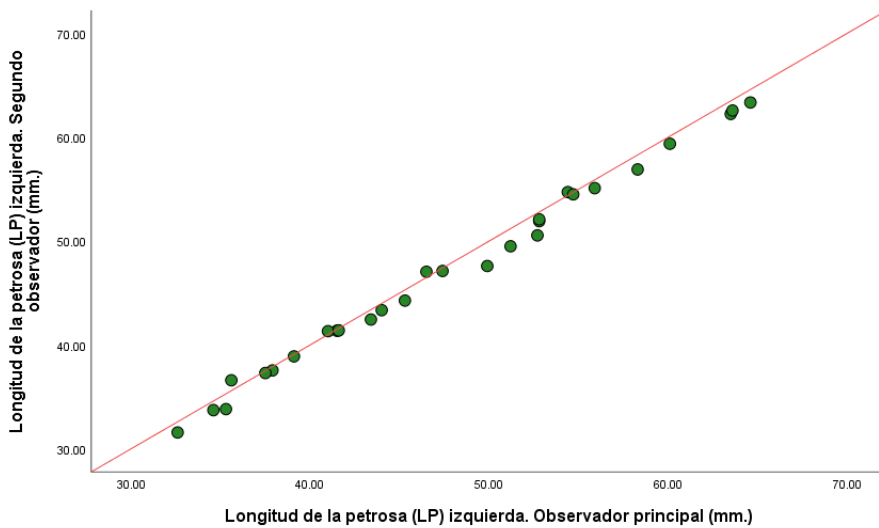


Imagen 5.11: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la longitud de la petrosa.

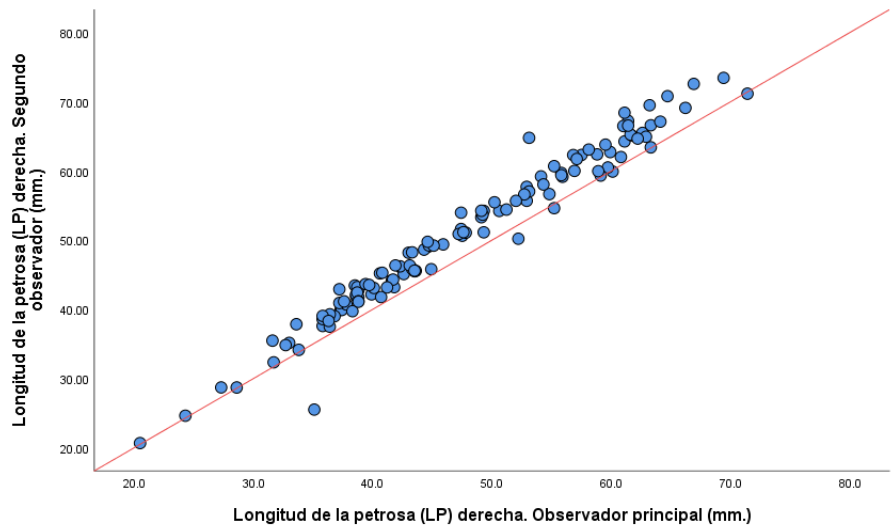


Imagen 5.12: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la longitud de la petrosa.

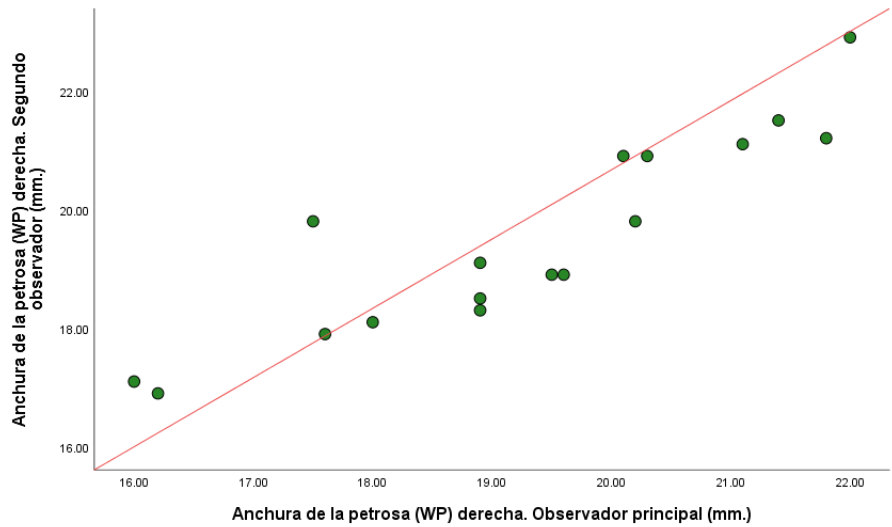


Imagen 5.13: Coeficiente de correlación de Lin. Error intraobservador de la anchura de la petrosa.

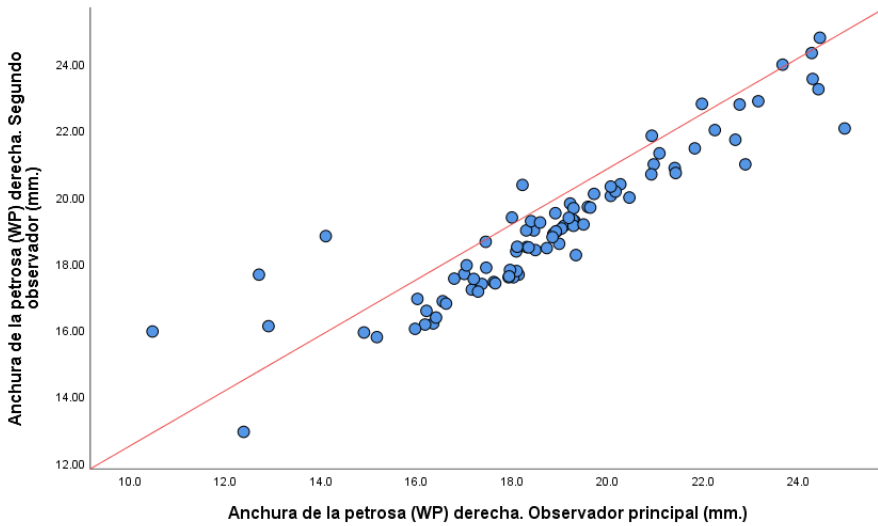


Imagen 5.14: Coeficiente de correlación de Lin. Error interobservador de la anchura de la petrosa.

5.2.3. Análisis de comparación de las pendientes de regresión.

Con la intención de estimar la edad en individuos desde los 5 meses de gestación hasta los 7 años, se plantearon diversas fórmulas de regresión, eligiendo aquella con un coeficiente de correlación (R^2) mayor (**Tabla 5.10; Imagen 5.15 – 5.18**)

La regresión de estimación se realizó bajo los parámetros de la calibración clásica, usando LOOCV para la validación del modelo, y hallando el 95% de intervalo de confianza para el error estándar de estimación (SEE).

Como ya se ha analizado en la **Tabla 5.6**, la variable de estudio longitud de la escama (LS) se descarta de las ecuaciones debido a su baja presencia, y además, también debido al pésimo resultado del error intra e interobservador.

Las ecuaciones obtenidas se presentan de tres formas distintas: una diferenciada por sexos, otra con el sexo de forma combinada, y una última con las medidas de forma combinada.

Tabla 5.10: Análisis de regresión. Comparativa de modelos.

Variable	n	Modelo	R ²	β_0^*	β_1^{**}
Anchura de la escama (WS)	134	Lineal	0,590	-1094,956	43,856
		Logarítmico	0,504	8,506	7,332
		Exponencial	0,750	44,132	0,062
Altura de la escama (HS)	133	Lineal	0,574	-830,411	48,609
		Logarítmico	0,461	8,135	7,089
		Exponencial	0,735	62,817	0,069
Longitud de la porción petrosa (LP)	126	Lineal	0,518	-910,608	31,298
		Logarítmico	0,447	7,172	8,394
		Exponencial	0,779	47,581	0,048
Anchura de la porción petrosa (WP)	83	Lineal	0,582	-617,401	54,167
		Logarítmico	0,521	7,730	6,819
		Exponencial	0,706	35,280	0,125

* β_0 : Constante que representa la ordenada en el origen.

** β_1 : Constante que representa la pendiente de la línea de regresión.

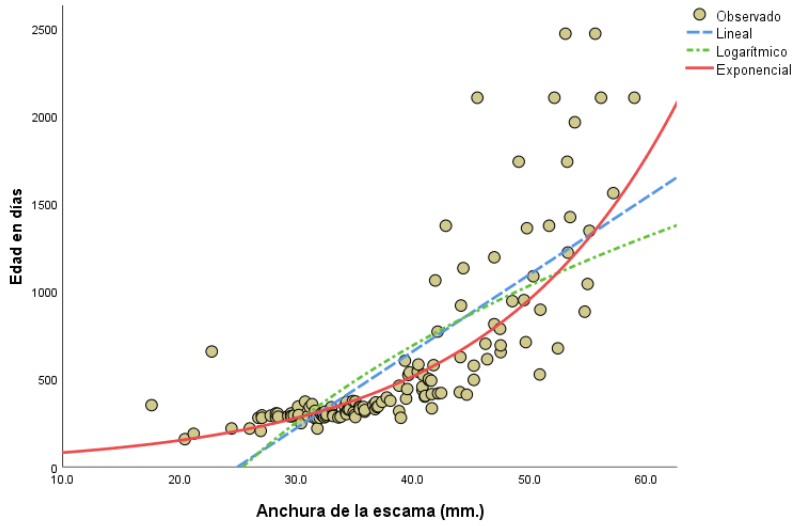


Imagen 5.15: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la anchura de la escama.

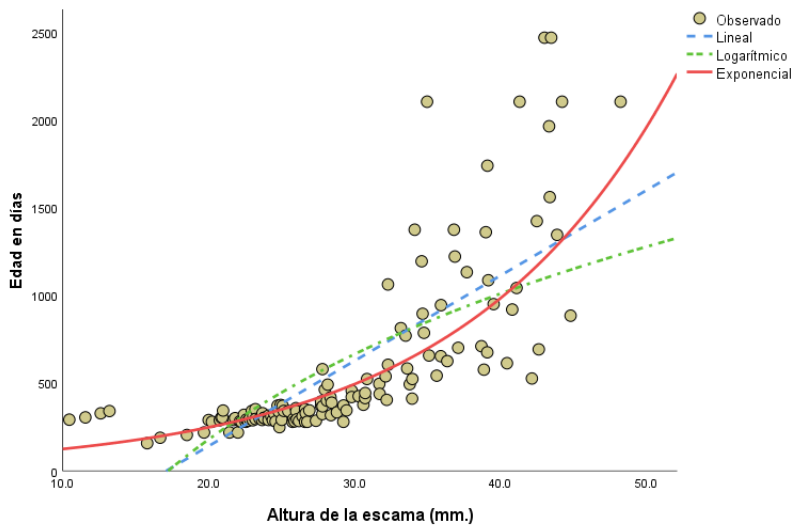


Imagen 5.16: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la altura de la escama.

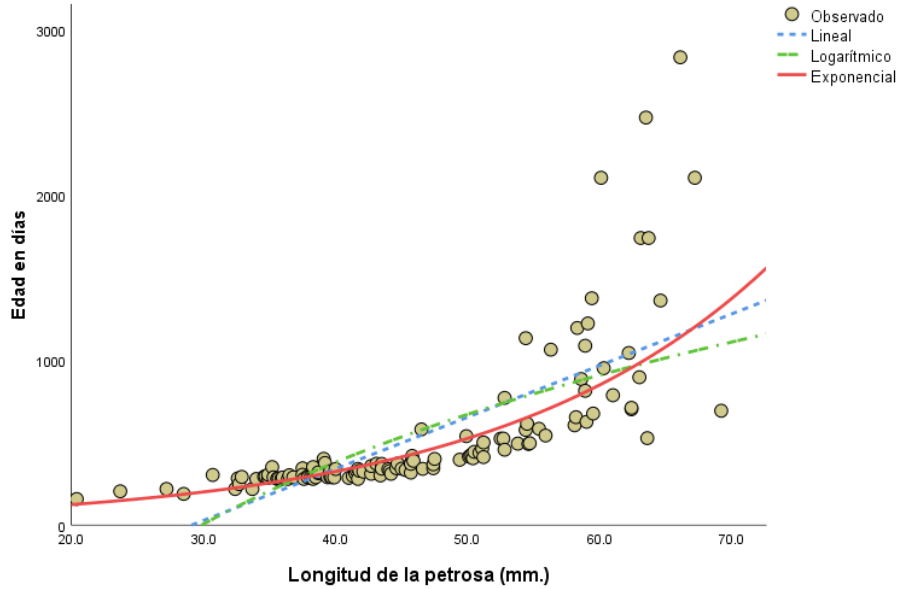


Imagen 5.17: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la longitud de la petrosa.

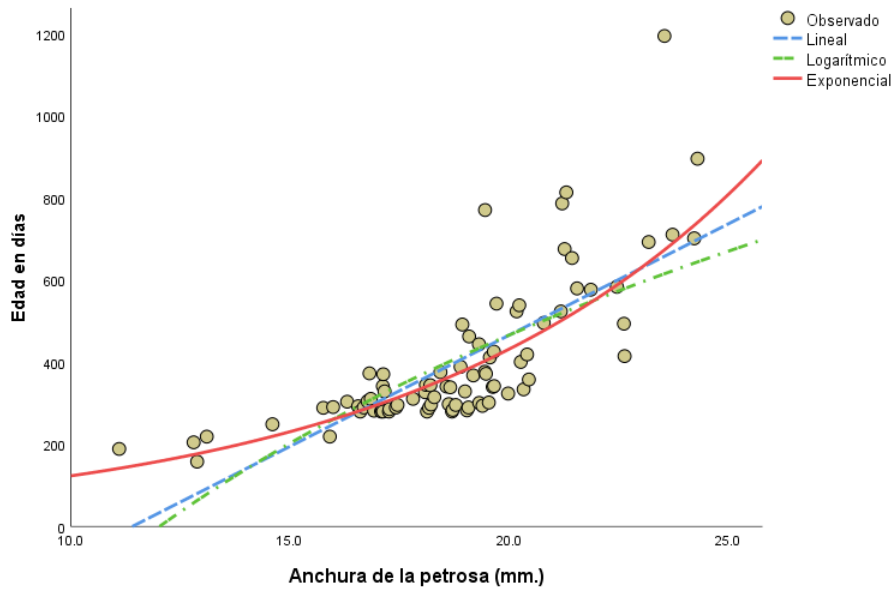


Imagen 5.18: Comparativa de modelos de regresión aplicados para la anchura de la petrosa.

Dado que los resultados para toda la muestra son inferiores a los resultados esperados, y observando las **Imágenes 5.15 – 5.18**, los datos más adecuados para las ecuaciones de estimación de la edad son aquellos correspondientes a menores de 2 años usando el modelo de regresión exponencial.

Por lo tanto, se reformuló la ecuación en una muestra total de 109 individuos, de los cuales, solo 85 son medibles en cuanto al ancho de la porción petrosa, tal y como lo vemos en la **Tabla 5.11**. De esta forma, las ecuaciones más óptimas se presentan para individuos gestacionales desde los 5 meses hasta los 1,5 años de vida (Borja Miranda *et al.*, 2023) (**Tabla 5.12**).

Tabla 5.11: Estadísticos descriptivos de la muestra de estudio para la estimación de la edad en individuos desde los 5 meses de gestación hasta los 1,5 años.

Edad	Variable	n	Media	Desv. Est.	Error Media	Correlación
Feto (desde los 5 hasta los 9 meses de gestación)	LP	7	28,614	5,0008	1,8901	-
	WP	6	12,908	1,5268	0,6233	-
	HS	7	19,857	3,3719	1,2744	-
	WS	7	25,886	4,5459	1,7182	-
0-0,5 years	LP	78	41,197	5,0490	0,5717	-
	WP	60	18,523	1,7353	0,2240	-
	HS	78	25,381	3,1500	0,3567	-
	WS	78	34,222	4,3661	0,4944	-
0,6 – 0,99 years	LP	16	54,263	4,0718	1,0180	-
	WP	11	21,101	1,7843	0,5380	-
	HS	16	33,988	4,2066	1,0517	-
	WS	16	42,337	3,5728	0,8932	-
1–1,5 years	LP	8	59,163	4,0718	1,0180	-
	WP	8	21,624	1,7843	0,5380	-
	HS	8	36,988	4,2066	1,0517	-

Edad	Variable	n	Media	Desv. Est.	Error Media	Correlación
	WS	8	47,300	3,5728	0,8932	-
Total	LP	109	43,626	8,7231	0,8355	0,944
	WP	85	18,752	2,6672	0,2893	0,802
	HS	109	27,141	5,5254	0,5292	0,823
	WS	109	35,838	6,4356	0,6164	0,852

Tabla 5.12: Análisis de regresión exponencial para las medidas de la porción escamosa y petrosa en individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.

Medida*	n	R ²	Ecuación	SEE	95% I.C
Longitud de la porción petrosa (LP)					
Combinada	109	0,853	$Edad = 89,954 \times e^{LP \times 0,031}$	60,82	±119,22
♂	72	0,848	$Edad = 91,762 \times e^{LP \times 0,031}$	30,25	±59,28
♀	37	0,853	$Edad = 81,174 \times e^{LP \times 0,034}$	44,89	±87,99
Altura de la porción escamosa (HS)					
Combinada	109	0,643	$Edad = 97,077 \times e^{HS \times 0,048}$	79,53	±155,89
♂	72	0,615	$Edad = 104,721 \times e^{HS \times 0,045}$	61,09	±119,74
♀	37	0,805	$Edad = 74,829 \times e^{HS \times 0,056}$	60,13	±117,86
Anchura de la porción escamosa (WS)					
Combinada	109	0,683	$Edad = 103,762 \times e^{WS \times 0,034}$	86,12	±168,79
♂	72	0,681	$Edad = 97,174 \times e^{WS \times 0,036}$	66,44	±130,22
♀	37	0,690	$Edad = 124,015 \times e^{WS \times 0,028}$	110,77	±217,11

Medida*	n	R ²	Ecuación	SEE	95% I.C
Anchura de la porción petrosa (WP)					
Combinada	85	0,6351	$Edad = 64,703 \times e^{WP \times 0,089}$	104,63	±205,08
♂	53	0,6966	$Edad = 42,153 \times e^{WP \times 0,114}$	83,96	±164,57
♀	32	0,5561	$Edad = 96,505 \times e^{WP \times 0,064}$	132,29	±259,29
LP+WS+HS					
Combinada	109	0,8331	$Edad = 93,916 \times (e^{LP \times 0,033} - e^{HS \times 0,002} - e^{WS \times 0,002})$	67,43	±132,16
♂	72	0,8101	$Edad = 80,769 \times (e^{LP \times 0,026} + e^{HS \times 0,016} - e^{WS \times 0,003})$	42,81	±83,90
♀	37	0,8721	$Edad = 89,822 \times (e^{LP \times 0,035} + e^{HS \times 0,008} - e^{WS \times 0,011})$	47,36	±92,83

* La medida máxima en la que se puede aplicar la metodología propuesta para LP es de 67mm y para WP es de 25mm.

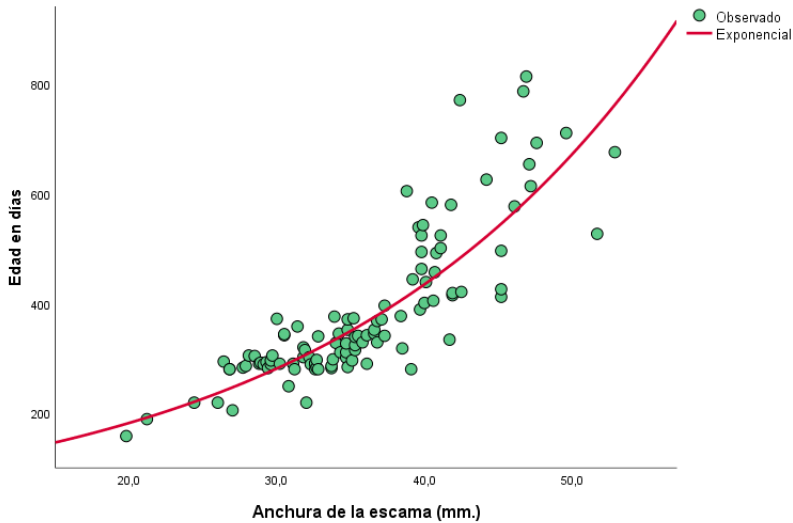


Imagen 5.19: Modelo de regresión exponencial aplicado a la anchura de la escama para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.

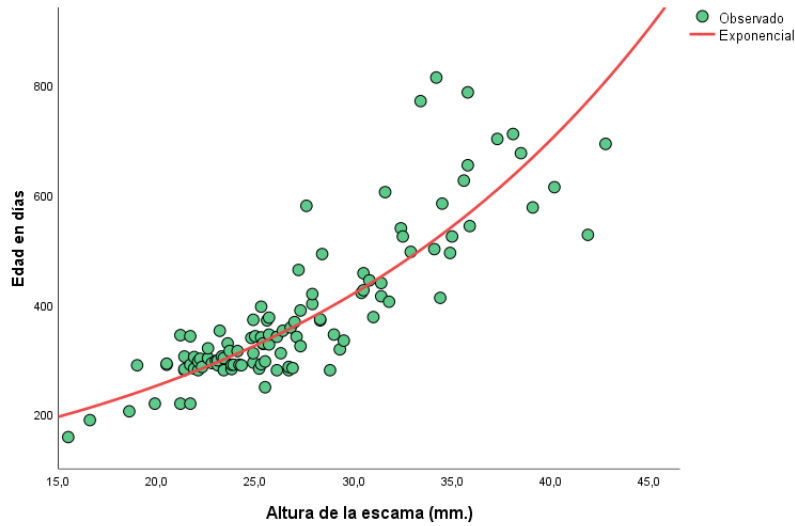


Imagen 5.20: Modelo de regresión exponencial aplicado a la altura de la escama para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.

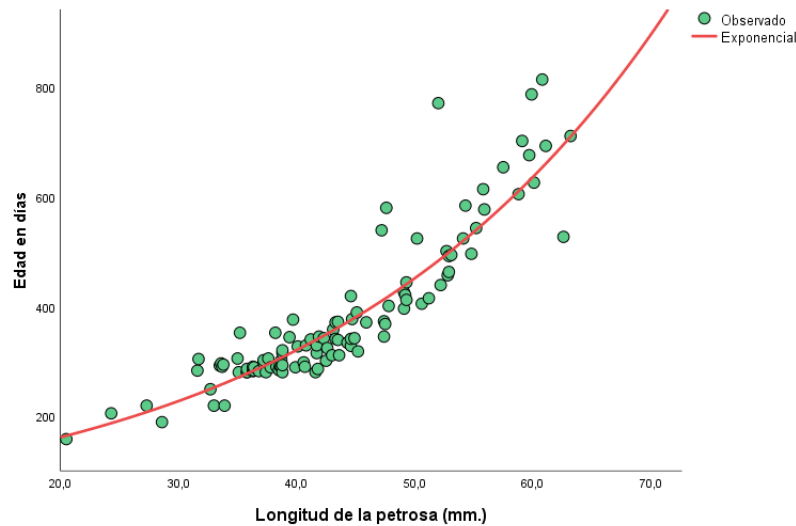


Imagen 5.21: Modelo de regresión exponencial aplicado a la longitud de la petrosa para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.

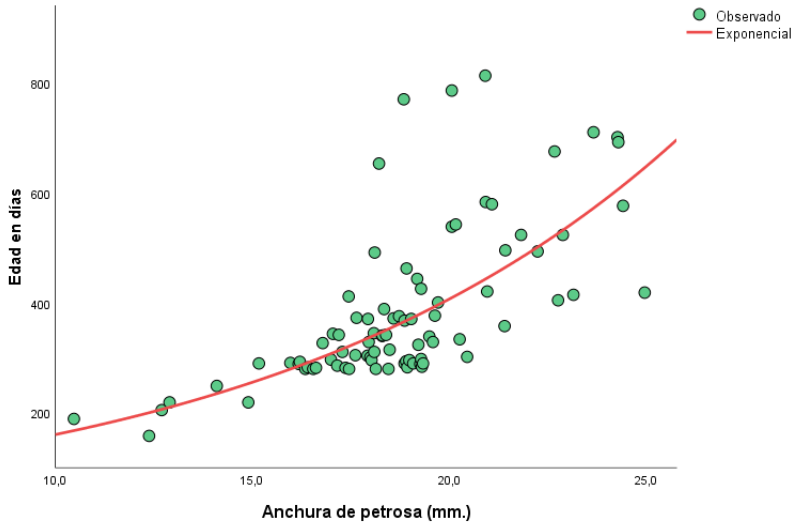


Imagen 5.22: Modelo de regresión exponencial aplicado a la anchura de la petrosa para individuos desde los 5 meses de gestación hasta el 1,5 año de vida.

5.3. Tratamiento estadístico de las variables categóricas o discretas.

5.3.1. Análisis descriptivo.

Al igual que con las variables cuantitativas, es necesario conocer las características de la muestra de estudio a través del cálculo de los estadísticos descriptivos, (media, mediana, desviación estándar (SD) y valores máximos y mínimos) de cada una de las variables, en este caso, de cada una de las fases de desarrollo de la placa timpánica (**Tabla 5.13, Imagen 5.23**).

Tabla 5.13: Análisis descriptivo de las fases de desarrollo del anillo y de la placa timpánica.

Fase de desarrollo	Sexo	n	Media + SD*	Mediana	Mínimo	Máximo
1	♂	9	230 ± 38	219	158	280
	♀	3	229 ± 46	219	189	280
	Combinado	12	230 ± 38	219	158	280
2	♂	30	314 ± 46	298	280	524
	♀	22	310 ± 32	299	280	402
	Combinado	52	312 ± 41	298	280	524
3	♂	23	387 ± 47	389	301	501
	♀	5	373 ± 68	341	324	492
	Combinado	28	385 ± 50	375	301	501
4	♂	9	634 ± 113	614	524	896
	♀	6	613 ± 177	572	463	951
	Combinado	15	626 ± 136	605	463	951
5	♂	6	1064 ± 766	794	457	2470
	♀	10	1087 ± 499	1004	543	2105
	Combinado	16	1078 ± 587	903	457	2470
6	♂	11	1472 ± 646	1375	693	2835
	♀	8	1587 ± 592	1481	945	2470
	Combinado	19	1520 ± 609	1375	693	2835

*Debido a que el periodo de gestación es de 280 días, a todos los valores iguales o superiores a 280 días se les debe restar dicha cantidad.

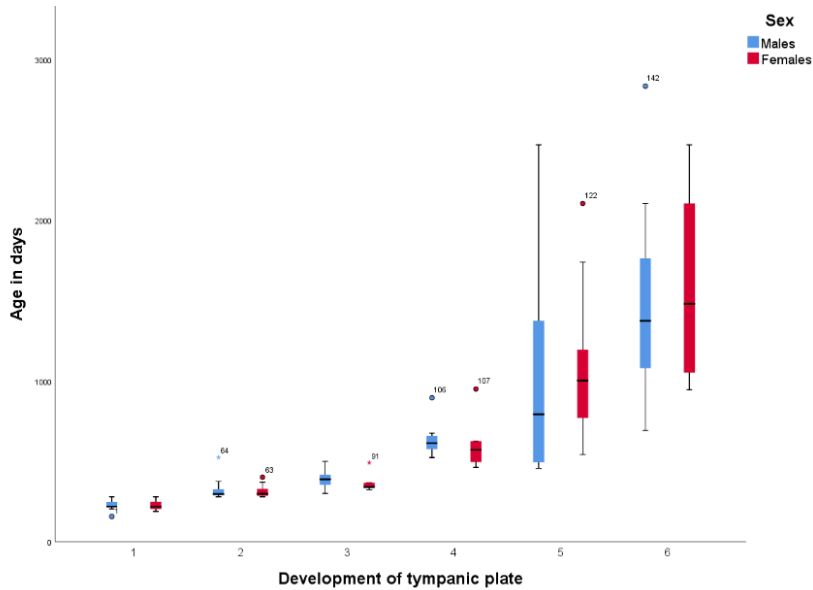


Imagen 5.23: Gráfica de cajas de cada fase de desarrollo del anillo timpánico en la colección de San José de Granada.

Para continuar con los análisis estadísticos, se llevan a cabo dos tipos de análisis: el de normalidad mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov y el test de correlación de Pearson (**Tabla 5.14**).

Tabla 5.14: Nivel de significancia del test de normalidad y grado de correlación de las variables categóricas.

Desarrollo del anillo y la placa timpánica	
Test normalidad	0,000
Test correlación	0,912

De nuevo, al no seguir las variables una distribución normal, y con la finalidad de elaborar ecuaciones de estimación de la edad, se comprobó la existencia de diferencias significativas en el crecimiento entre los lados derecho e izquierdo con el test de Wilcoxon (**Tabla 5.15**).

Tabla 5.15: Test de Wilcoxon para analizar las diferencias entre el crecimiento del lado derecho e izquierdo del anillo y de la placa timpánica.

Desarrollo del anillo y la placa timpánica	
Diferencias entre lado derecho e izquierdo	0,152

Los resultados del test de Wilcoxon arrojan la no existencia de diferencias significativas ($p > 0,05$), por lo que se puede tomar uno solo de los lados, el izquierdo en concreto, para los sucesivos análisis (Cardoso *et al.*, 2014).

5.3.2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.

Los resultados del coeficiente kappa ponderada de Cohen (k) para analizar el error interobservador e intraobservador se hallan en la **Tabla 5.16**. Los resultados, al igual que el de las variables cuantitativas, son repetibles y reproducibles.

Los valores de reproducibilidad y repetibilidad se presentan de forma independiente para cada medida, y para el lado derecho e izquierdo, con la interpretación del coeficiente según Ferrante y Cameriere (2009).

Tabla 5.16: Coeficiente kappa ponderada de Cohen (k). Análisis de la reproducibilidad y repetibilidad.

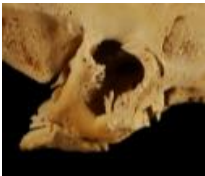
Observación	Lateralidad	Error interobservador		Error intraobservador	
		CCC	Interpretación	CCC	Interpretación
Fase anillo timpánico	Derecho	0,834	Muy bueno	0,980	Muy bueno
	Izquierdo	0,867	Muy bueno	0,830	Muy bueno

5.3.3. Análisis de fase de inicio

El análisis de la fase de inicio del anillo timpánico se realiza siguiendo los criterios de Smith (1991). Según estos criterios, la edad de inicio de cada fase fue calculada como la edad media del grupo de individuos entre el primer sujeto con la fase o estadio alcanzado, y el sujeto de mayor edad de la fase o estadio de desarrollo previo (**Tabla 5.17**). De esta forma hallamos la fase de inicio de cada fase, salvo para la última fase, en la que se ha tomado el primer individuo observado.

Tabla 5.17: Fase de inicio del anillo timpánico en la colección identificada de Granada (España).

Fase	Sexo	N	Media + SD*	Edad de inicio**	LQ (95%)*	UQ (95%)*	Foto
0	♂	4	168 ± 58	193.00	76	260	
	♀	3	246 ± 50	247.60	122	370	
	Combinada	7	202 ± 65	196.67	142	262	
1	♂	7	263 ± 29	258.14	245	292	
	♀	5	282 ± 2.5	281.00	234	305	
	Combinada	12	269 ± 25	265.18	253	285	
2	♂	28	311 ± 25	299.12	301	320	
	♀	19	316 ± 32	304.65	301	332	
	Combinada	47	313 ± 28	292.33	305	321	
3	♂	20	391 ± 45	374.13	369	412	
	♀	4	385 ± 72	371.38	270	500	
	Combinada	24	390 ± 49	367.90	369	410	

Fase	Sexo	N	Media + SD*	Edad de inicio**	LQ (95%)***	UQ (95%)***	Foto
4	♂	11	605 ± 122	558.24	523	687	
	♀	5	546 ± 69	506.60	460	632	
	Combinada	16	587 ± 109	441.50	528	645	
5	♂	6	1054 ± 766	697.50	1038	1906	
	♀	12	1087 ± 455	722.63	797	1376	
	Combinada	18	1079 ± 554	563.19	804	1354	
6	♂	11	1472 ± 646	693.00	1038	1906	
	♀	7	1639 ± 620	945.00	1066	2212	
	Combinada	18	1537 ± 623	693.00	1227	1846	

*SD: Desviación estándar (*Standard Deviation*)

**Debido a que el periodo de gestación es de 280 días, a todos los valores iguales o superiores a 280 días se les debe restar dicha cantidad.

***LP: Cuartil inferior; UQ: Cuartil superior.

Según los resultados de desarrollo del anillo y placa timpánica, la fusión del anillo a las porciones petrosa y escamosa del temporal (Fase 2) se produce a una edad postnatal, alrededor de las primeras semanas de vida. No obstante, la presencia de un anillo timpánico completamente separado (Fase 0) es propio de individuos fetales de alrededor de 6 meses de gestación, mientras que la presencia de un anillo parcial o totalmente fusionado a la porción escamosa (Fase 1) la encontramos en individuos cercanos a estadios finales de la edad de gestación hasta una etapa perinatal.

Las fases 3 y 4 tienen un inicio en los 3 meses y los 5,4 meses de vida del individuo respectivamente, aunque es común encontrar la fase 4 de la

placa timpánica en el último trimestre del primer año de vida, es decir, sobre los 10 meses.

Con respecto a las dos últimas fases al ser estadios finales del desarrollo de la placa timpánica, lo lógico es encontrarlas en edades más maduras, y es en estas fases donde las discrepancias entre la edad de inicio y la edad media de cada fase se han encontrado.

Así, por ejemplo, una placa timpánica con un foramen de Huschke (fase 5) se ha reportado, como edad más temprana de aparición, a finales del primer año de vida, sobre los 9 meses, siendo lo común encontrar esta fase alrededor de los 2,2 años de vida.

De igual manera, en cuanto a la última fase (fase 6), se ha observado un anillo timpánico completamente desarrollado alrededor de los 1,1 años mientras que lo común es encontrarlo más bien alrededor de los 3,4 años.

5.4. Análisis mixto de variables categóricas y continuas.

5.4.1. Análisis descriptivo de las variables

Al igual que con el resto de estudios, es necesario aportar una visión descriptiva de la muestra y sus características, a través de la media, la mediana, la desviación estándar (SD) y los valores máximos y mínimos de cada una de las variables. En este caso, las variables categóricas correspondientes a la no fusión del anillo timpánico (R1) y la fusión del anillo timpánico (R2) al temporal se han estudiado en función de la edad

cronológica de los individuos en días (**Tabla 5.18**). Por último, las variables continuas, como son la longitud de la petrosa (LP) y anchura de la petrosa (WP) en la porción petrosa, y la altura de la escama (HS) y anchura de la escama (WS) en la porción escamosa se clasificaron respecto a su pertenencia o no al rango etario fetal (**Tabla 5.19**).

Tabla 5.18: Análisis descriptivo de la fusión del anillo timpánico al hueso temporal en individuos fetales y postnatales en días.

Variable	n	Media $\pm$ SD	Mediana	Mínimo	Máximo
A1	32	237 $\pm$ 48	244	150	289
A2	68	339 $\pm$ 48	329	280	457

Tabla 5.19: Análisis descriptivo de las medidas del temporal en milímetros (mm), para individuos en edad gestacional y postnatal.

Variable	Feto	n	Media $\pm$ SD	Mediana	Mínimo	Máximo
WS	Sí	72	26.4 $\pm$ 5.2	26.4	17.0	39.1
	No	28	34.4 $\pm$ 4.6	34.3	17.6	44.6
HS	Sí	72	20.6 $\pm$ 3.9	20.8	13.1	28.8
	No	28	25.6 $\pm$ 3.7	25.2	13.2	35.7
LP	Sí	72	29.9 $\pm$ 6.6	31.7	17.1	41.6
	No	28	41.7 $\pm$ 5.1	41.5	31.6	52.8
WP	Sí	72	13.2 $\pm$ 1.6	12.9	10.3	17.6
	No	28	16.3 $\pm$ 3.8	14.9	12.2	37.9

5.4.2. Curva ROC/AUC

Los valores correspondientes del análisis de curva ROC se plasman en la **Tabla 5.20** (**Imagen 5.24**; **Imagen 5.25**). Además, el análisis de curva ROC nos proporciona un carácter discriminador de las variables de

estudio; de esta forma se eligieron las variables con un AUC superior a 0,85, como son WS, LP y Anillo (Tabla 5.20).

Los valores de LR+ más altos implican una mejor discriminación del modelo, siendo notable si dicho valor es superior a 10, mientras que para LR- es inversamente proporcional al anterior.

Tabla 5.20: Valores de Curva ROC para las variables de estudio.

Variable	AUC	Sensibilidad	Especificidad	FP ratio	FN ratio	LR+	LR-
WS	0,883	0.769	0.957	13.64%	11.84%	17.88	0.241
HS	0,814	0.571	0.949	15.79%	17.65%	13.28	0.451
LP	0,925	0.714	0.944	16.67%	12.81%	12.75	0.303
WP	0,833	0.678	0.898	24.00%	14.51%	6.65	0.359
Anillo	0.973	0.930	0.929	16.13%	2.94%	13.09	0.075

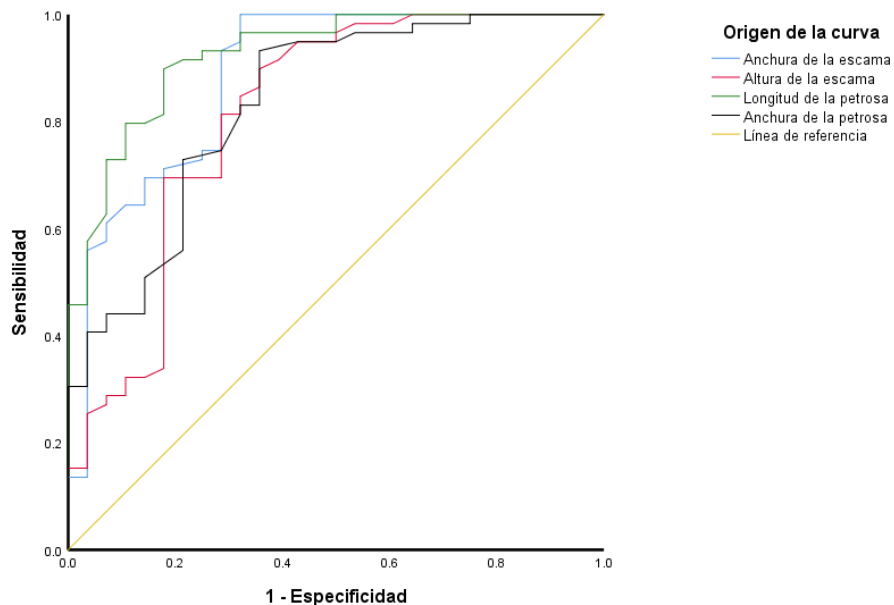


Imagen 5.24: Análisis de curva ROC de las variables métricas para individuos fetales y postnatales.

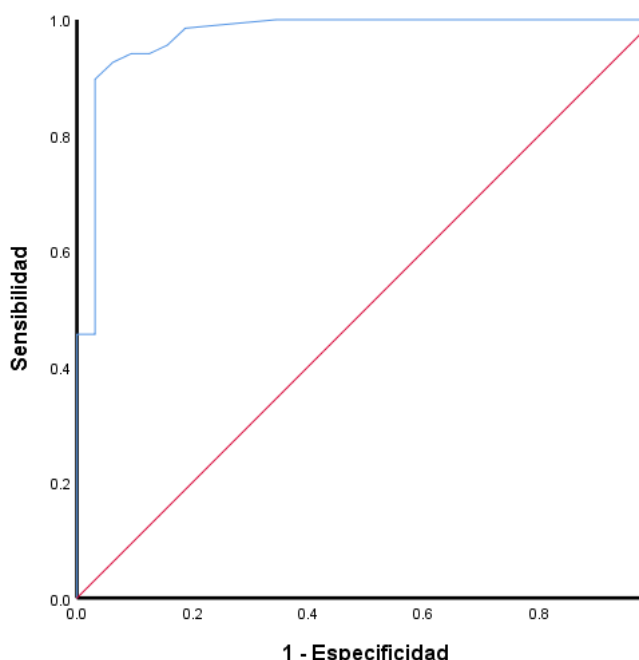


Imagen 5.25: Análisis de curva ROC de la fusión del anillo timpánico para individuos fetales y postnatales.

5.4.3. Análisis *probit*

Aunque los valores de AUC de altura de escama y anchura de la porción petrosa se pueden considerar positivos (0,80 – 0,85), según el modelo de regresión *probit* los valores de la ecuación no son significativos, por lo que estas variables no tienen un valor discriminante válido (Tabla 5.20).

Los valores correspondientes del análisis *probit* se plasman en la Tabla 5.21; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (¡**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Imagen 5.24 – Imagen 5.28). Mientras que en la Tabla 5.22; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los valores de sensibilidad y

especificidad de las variables de anchura de la escama, longitud de la porción petrosa y fusión del anillo timpánico.

Tabla 5.21: Valores de la ecuación *probit* para las variables anchura de la escama, longitud de la petrosa y fusión del anillo timpánico.

		Anchura de la escama*	Longitud de la petrosa*	Fusión del anillo**
n		100	100	100
β_0		-37.078	8.966	-121.743
β_1		9.077	-32.282	21.518
50% probabilidad	Estimado	30.69	36.62	285,52
	95 I.C.%	28.78 – 31.98	33.88 – 38.21	275,00 – 293,22
95% probabilidad	Estimado	36.78	43.99	309.28
	95 I.C.%	34.97 – 40.64	41.84 – 49.02	299.45 – 364.29

*medida en mm.

** edad estimada en días.

Tabla 5.22: Valores de sensibilidad y especificidad de cada punto de corte proporcionado por la ecuación *probit* para la longitud de la petrosa, anchura de la escama y fusión del anillo timpánico.

Variable	Probabilidad	Punto de corte	Sensibilidad	Especificidad
WS	50%	30.69	0.797	0.714
	95%	36.78	0.186	0.964
LP	50%	36.62	0.831	0.821
	95%	43.99	0.237	1.000
Anillo	50%	285.52	0.941	0.906
	95%	309.28	0.632	0.969

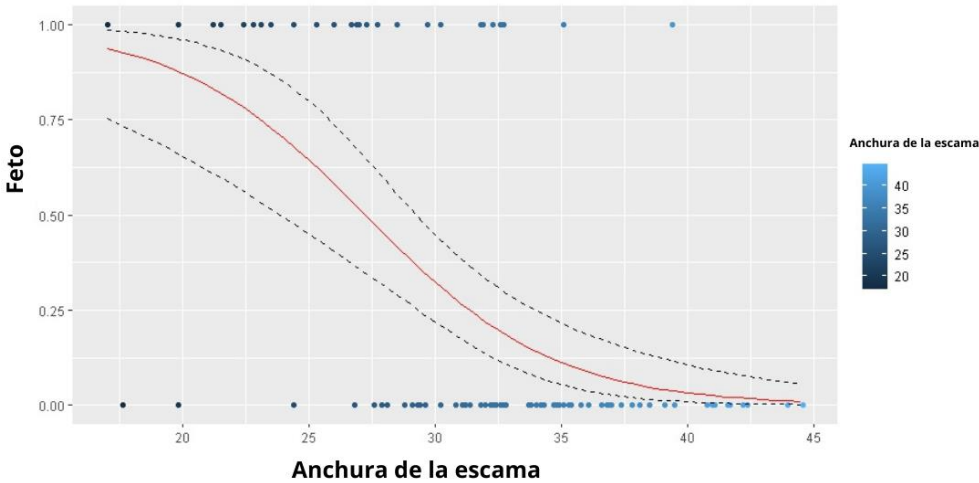


Imagen 5.26: Curva logística para la discriminación entre individuos en edad gestacional y edad postnatal a partir de la anchura de la escama (WS).

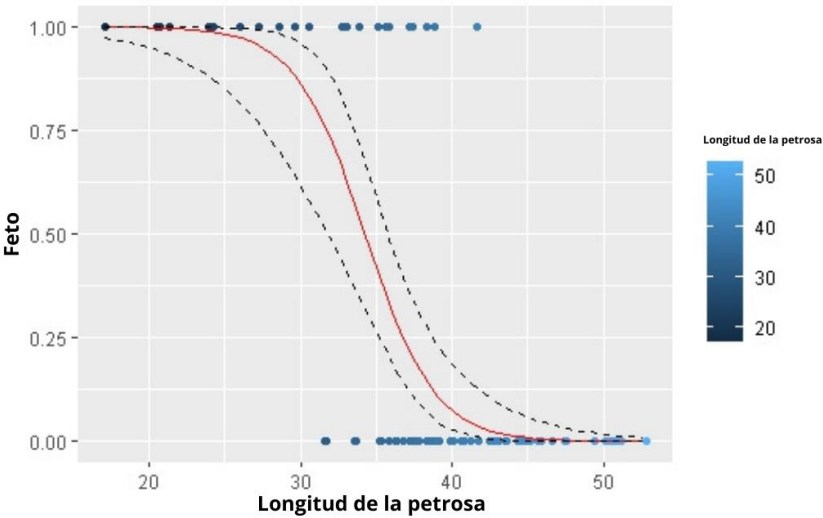


Imagen 5.27: Curva logística para la discriminación entre individuos en edad gestacional y edad postnatal a partir de la longitud de la petrosa (LP).

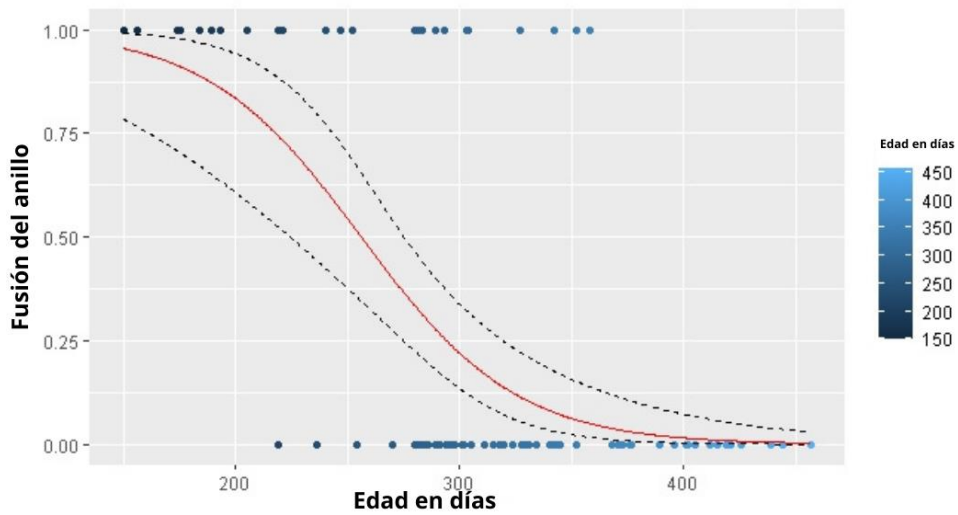


Imagen 5.28: Curva logística para la discriminación entre individuos en edad gestacional y edad postnatal a partir de la fusión del anillo timpánico.

5.5. Síntesis final

De tal forma que la metodología resulte más accesible, se plantea este subapartado como una recomendación de uso de los resultados presentados.

En cuanto a la metodología aplicada a partir de la longitud y anchura del hueso temporal se sugiere el uso solo de aquellas fórmulas cuyo coeficiente de determinación sea superior a 0,80. Siendo, la longitud de la petrosa y las fórmulas combinadas de la longitud de la petrosa y la anchura y altura de la escama del temporal las más recomendadas. Estas ecuaciones además presentan un error de estimación asumible, de entre los 30 y los 61 días en el mejor de los escenarios para una muestra Mediterránea (**Tabla 5.23**).

Tabla 5.23: Resumen de las ecuaciones presentadas y recomendadas para la estimación de la edad a partir del desarrollo métrico de la porción petrosa y escamosa del hueso temporal en una población mediterránea identificada.

Medida	Diferenciación por sexos	R ²	SEE	95% I.C
Longitud de la porción petrosa (LP)	Combinada	0,8538	60,82	±119,22
	♂	0,8481	30,25	±59,28
	♀	0,8538	44,89	±87,99
LP + WS + HS	Combinada	0,8332	67,43	±132,16
	♂	0,8100	42,81	±83,90
	♀	0,8727	47,36	±92,83

En cuanto al desarrollo y la madurez ósea de la placa timpánica en sus 7 fases de desarrollo se ha estimado la edad de inicio y la edad media de cada una de ellas. Aunque algunos grupos de edad no se encuentran representados de forma homogénea, las estimaciones se consideran positivas debido al número de muestra y al rango de edad sobre el que se realiza el estudio (**Tabla 5.24**).

Finalmente, se ha establecido un modelo de estimación para discriminar entre individuos que se encuentren entre una edad gestacional y los que no. Para lo cual se recomienda el uso de la anchura de la porción escamosa, la longitud de la porción petrosa y la fusión del anillo timpánico (**Tabla 5.25**).

Tabla 5.24: Síntesis de la metodología para la estimación de la edad en infantiles a partir de la maduración ósea del anillo y de la placa timpánica del hueso temporal en una población mediterránea identificada.

Diferencias por sexos														
	Edad de inicio	Media	Edad de inicio	Media	Edad de inicio	Media	Edad de inicio	Media	Edad de inicio	Media	Edad de inicio	Media	Edad de inicio	Media
♂	193	168	258	263	299	311	374	391	558	605	698	1054	693	1472
♀	247	246	281	282	305	316	371	385	506	546	723	1087	945	1639
Combinado	197	202	264	269	292	313	368	390	442	587	563	1079	693	1537

Tabla 5.25: Tabla resumen de la metodología para la discriminación entre individuos prenatales y postnatales a partir del desarrollo métrico y madurez ósea del hueso temporal en una población mediterránea identificada.

		Anchura de la porción escamosa*	Longitud de la porción petrosa*	Fusión del anillo**
50% probabilidad	Estimado	30,69	36,62	285,52
	95 I.C. %	28,78 – 31,98	33,88 – 38,21	275,00 – 293,22
95% probabilidad	Estimado	36,78	43,99	309,28
	95 I.C. %	34,97 – 40,64	41,84 – 49,02	299,45 – 364,29

*medida en mm.
** Edad estimada en días.

5.6. Validación de la metodología en la Colección osteológica MNHNC (Lisboa).

5.6.1. El desarrollo métrico de la porción petrosa y escamosa

Se ha aplicado las fórmulas de estimación de la edad a partir de las variables anchura de la escama (WS), altura de la escama (HS) y longitud de la petrosa (LP) en individuos infantiles menores de 1,5 años en población portuguesa, tanto en su versión combinada, como separadas por sexos.

Según la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$) la muestra sigue una distribución normal (**Tabla 5.26**). No obstante, según los criterios estadísticos recomendados sería aplicar un test paramétrico como la *t* de Student, aunque se ha seguido las recomendaciones de Valsecchi *et al* (2019) y en consecuencia se ha comparado la edad estimada con el método y la edad cronológica de los individuos de la colección de Lisboa con el test de Wilcoxon. Además, también se ha calculado la raíz del error cuadrático media (RMSE) (**Tabla 5.27 / Imagen 5.29 Imagen 5.36**).

Tabla 5.26: Test de normalidad de las variables continuas.

	WS	HS	LP
Test normalidad	0,073	0,200	0,200

Tabla 5.27: Análisis de la precisión de para las medidas de las porción escamosa y petrosa del temporal.

Ecuación	Medida	n	Sig.	Estimación de la media	Edad media en la Colección de Lisboa	RMSE
Combinada por sexo	LP	8	0,116	565,57	634,42	±117,79
	WS	11	0,311	623,11	662,57	±245,65
	HS	13	0,328	622,57	634,27	±201,19
	Combinada	5	0,043	437,46	632,29	±405,74
Masculina	LP	8	0,043	583,55	681,21	±127,21
	WS	11	0,110	573,71	633,08	±253,93
	HS	13	0,128	536,13	629,67	±167,10
	Combinada	5	0,068	468,98	633,07	±237,67
Femenina	LP	8	0,655	520,61	690,63	±303,96
	WS	11	0,989	734,24	728,95	±288,39
	HS	13	0,715	773,85	728,95	±276,66
	Combinada	5	0,180	402,68	728,95	±349,92

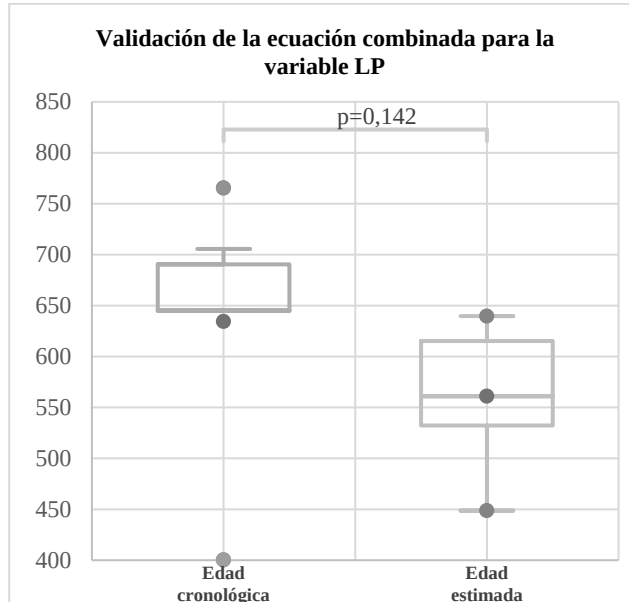


Imagen 5.29: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada la variable longitud de la petrosa (LP).

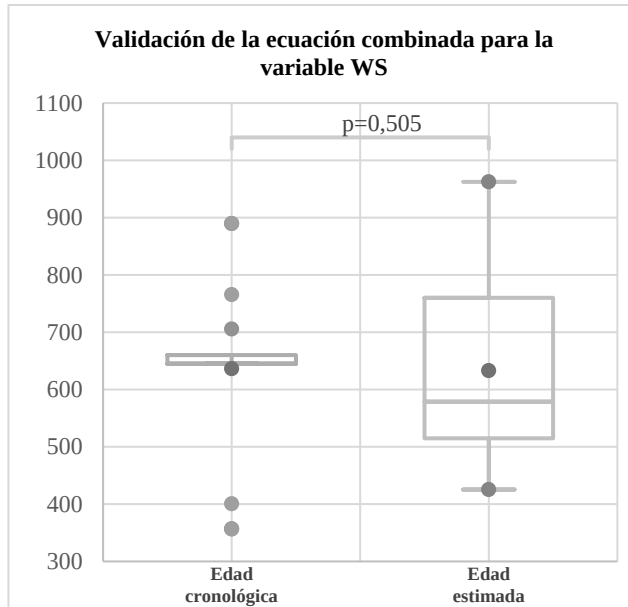


Imagen 5.30: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada la variable anchura de la escama (WS).

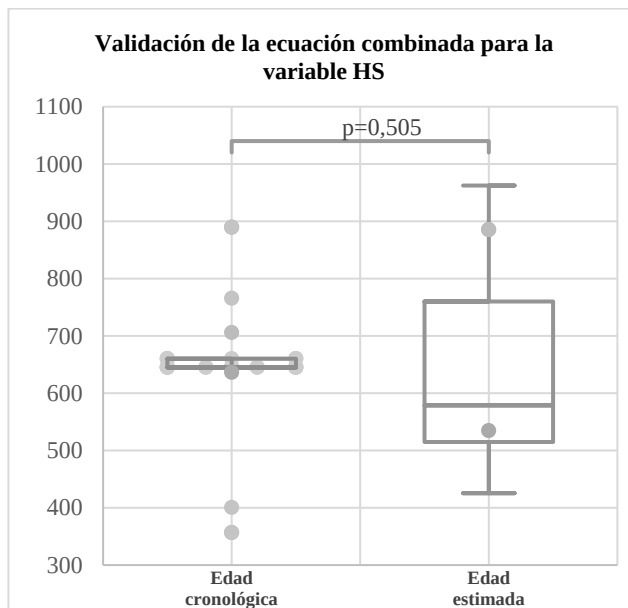


Imagen 5.31: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada la variable altura de la escama (HS).

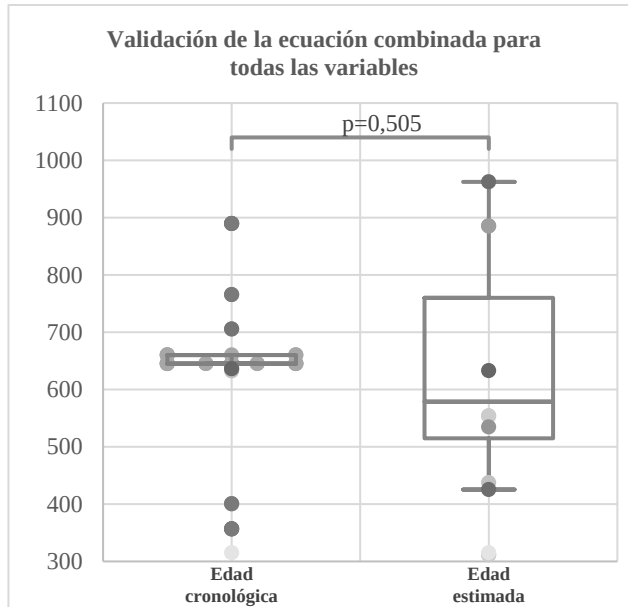


Imagen 5.32: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa. Aplicada sobre todas las variables (HS, WS y LP).

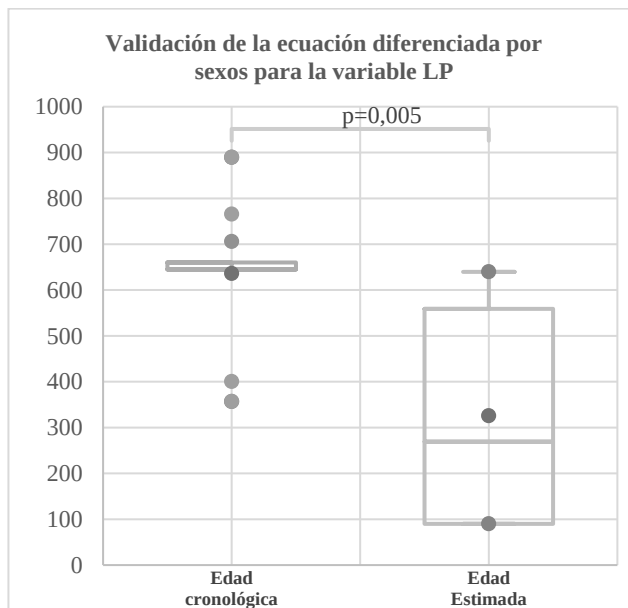


Imagen 5.33: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada la variable (LP).

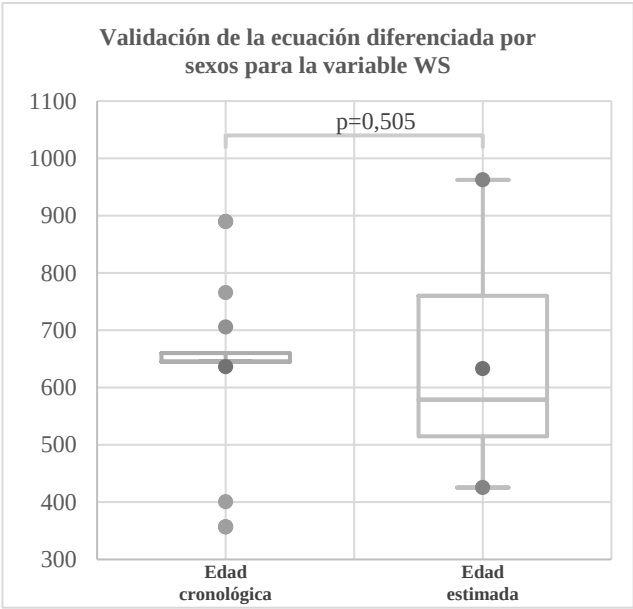


Imagen 5.34: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada la variable (WS).

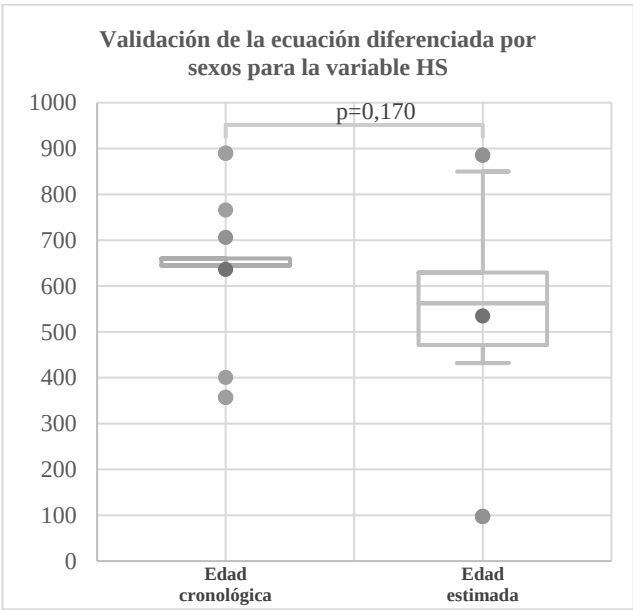


Imagen 5.35: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada la variable (HS).

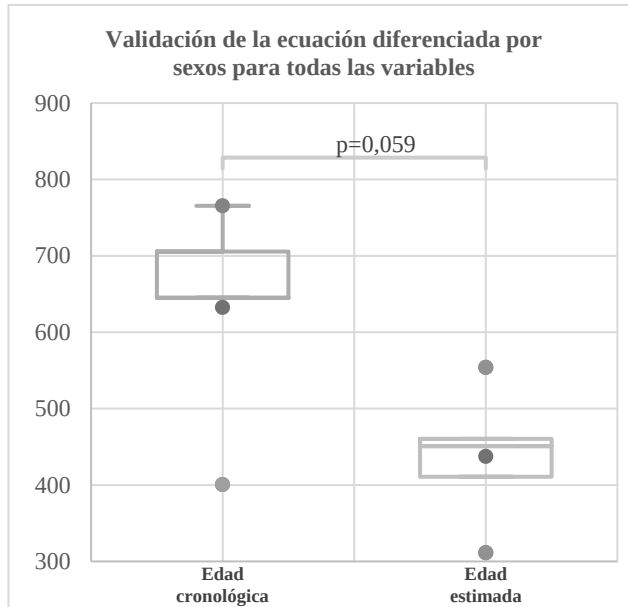


Imagen 5.36: Diagrama de cajas de la validación de las formulas de estimación de la edad en una población portuguesa diferenciada por sexos. Aplicada sobre todas las variables (HS, WS y LP).

5.6.2. El desarrollo de la placa timpánica

Con la intención de validar las fases de desarrollo del anillo timpánico en población portuguesa, se ha aplicado el método de fases de desarrollo tanto en su versión combinada, como separadas por sexos en individuos infantiles con una edad comprendida entre los 0 y los 6 años de edad. Atendiendo a la prueba de Kolmogorov-Smirnov ($p > 0,05$) la muestra no sigue una distribución normal (**Tabla 5.28**), por lo que se ha usado el test de Wilcoxon para comparar entre la edad estimada con el método y la edad cronológica de los individuos (**Tabla 5.29 / Imagen 5.37** **Imagen 5.38**).

Tabla 5.28: Test de normalidad de las variables continuas.

Edad	Edad estimada de inicio	Edad estimada media
------	-------------------------	---------------------

Test normalidad	0,073	0,002	0,001
-----------------	-------	-------	-------

Tabla 5.29: Análisis de la precisión de para la edad estimada.

Ecuación	Medida	n	Sig.	Estimación de la media	Edad media en la Colección de Lisboa	RMSE
Combinada	Edad de inicio	27	0,000	1019,47	343,11	±786,66
	Edad media estimada	27	0,838	1019,47	1014,93	±552,95
Diferenciad. por sexos	Edad de inicio	27	0,000	1019,47	467,074	±894,68
	Edad media estimada	27	0,971	1019,47	1027,37	±561,61

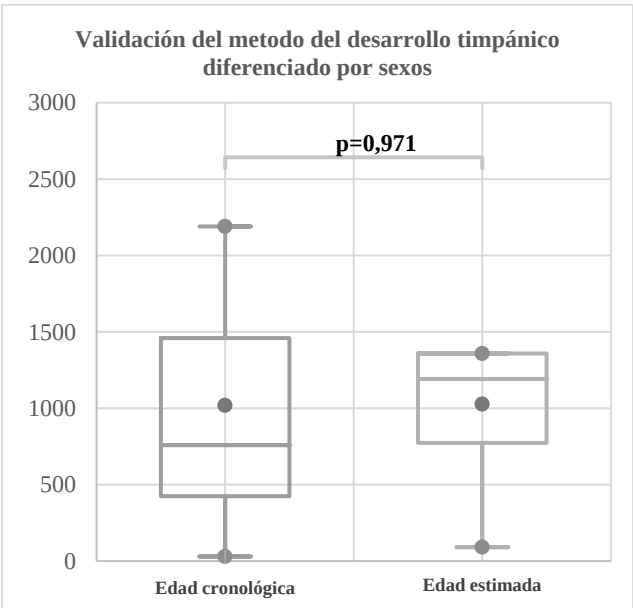


Imagen 5.37: Diagrama de cajas de la validación de las fases de desarrollo de la placa timpánica en una población portuguesa diferenciada por sexos.

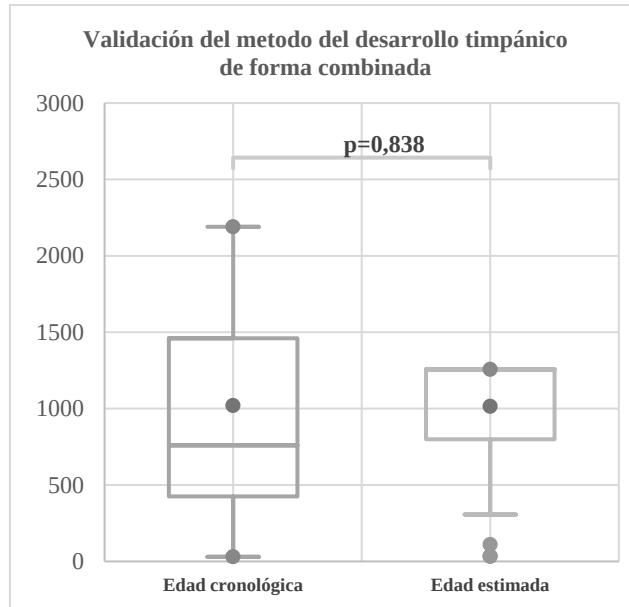


Imagen 5.38: Diagrama de cajas de la validación de las fases de desarrollo de la placa timpánica en una población portuguesa no diferenciada por sexos.



CAPÍTULO 6
DISCUSIÓN

CAPÍTULO 6

DISCUSIÓN

6.1. La precisión de métodos propuestos por otros autores.

6.1.1. Validación de los resultados de Fazekas y Kósa.

La metodología propuesta por Fazekas y Kósa (1978), no proporciona un error de estimación, y por su puesto, ningún tipo de validación, y aunque esto sea común en muchos de los métodos para la estimación de la edad (Corron *et al.*, 2018), uno de los aspectos clave por lo que se desaconseja esta metodología es que las estimaciones se realizan de manera indirecta, es decir, infiriéndose la edad de los individuos que componen la colección a partir de la estimación de su estatura o tamaño fetal (Figueiro *et al.*, 2022). Por lo tanto, aunque estos autores proporcionan una valiosa información sobre el desarrollo esquelético del individuo en un periodo de vida intrauterina, es cierto que sus resultados sobre la estimación de la edad deben ser tomados con cautela en caso de ser aplicados, y en su defecto, deben ser primero validados por la comunidad científica.

Según los resultados obtenidos, esta metodología no es aplicable en población mediterránea, debido a las diferencias significativas existentes

entre las estimaciones obtenidas y la edad cronológica de la colección estudiada, con una clara tendencia a la sobreestimación de los edad en individuos en edad gestacional (Borja Miranda *et al.*, 2023) (**Imagen 6.1**). No obstante, la medida de la altura de la escama es el único estimador cuyos resultados se ajustan más a la población de Granada, con un error ligeramente superior al mes, siendo asumible y por lo tanto, puede ser aplicable como método para estimar la edad de los individuos en edad de gestación.

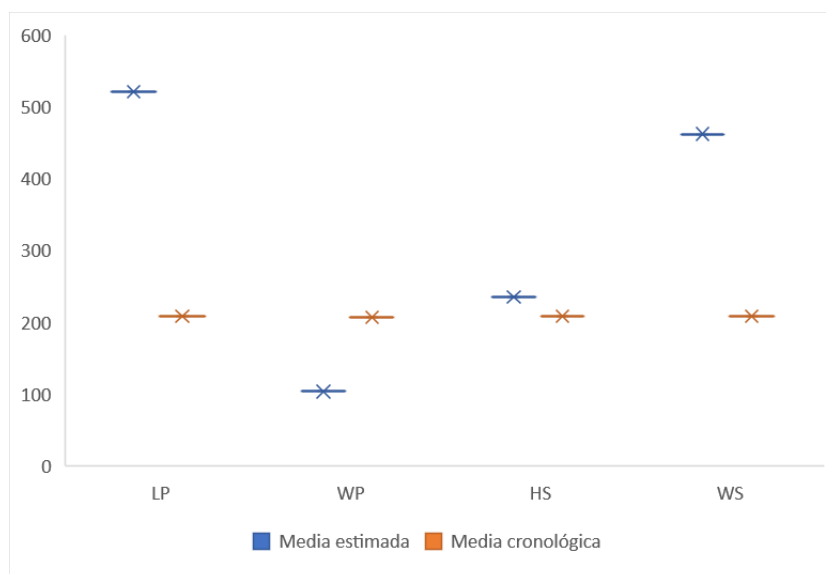


Imagen 6.1: Comparación de medias entre la edad estimada con los métodos de Fazekas y Kósa (1978) con la edad cronológica de la población de Granada.

6.1.2. Validación de los resultados de Nagaoka.

Los resultados obtenidos de la aplicación del método de Nagaoka a la porción petrosa del temporal de la muestra mediterránea (Nagaoka *et al.*, 2012; Nagaoka & Kawakubo, 2015), al igual que los resultados de

Fazekas y Kósa (1978) muestran diferencias significativas entre la edad cronológica y la edad estimada.

No obstante, las estimaciones obtenidas mediante las fórmulas propuestas por estos autores se ajustan más a la población mediterránea que las obtenidas por Fazekas y Kósa (1978) (**Imagen 6.2**). Aunque el error de las estimaciones es asumible, y similar a métodos como el de mineralización y erupción dentaria (AlQahtani *et al.*, 2010), las diferencias significativas observadas hacen que no sea recomendable su aplicación para estimar la edad en individuos fetales de población mediterránea. Una de las explicaciones de este fenómeno puede ser la diferencia observada entre las medidas de la porción petrosa entre la población japonesa y la europea (Nagaoka & Kawakubo, 2015). Estos autores evidencian un menor tamaño entre las medidas de la porción petrosa en la colección osteológica de la Universidad de Tohoku respecto a poblaciones europeas, siendo esta diferencia una de las posibles explicaciones por la que, pese a que las estimaciones se ajusten más a la población mediterránea, existan aún así diferencias significativas entre los resultados obtenidos y la edad cronológica de los individuos de Granada.

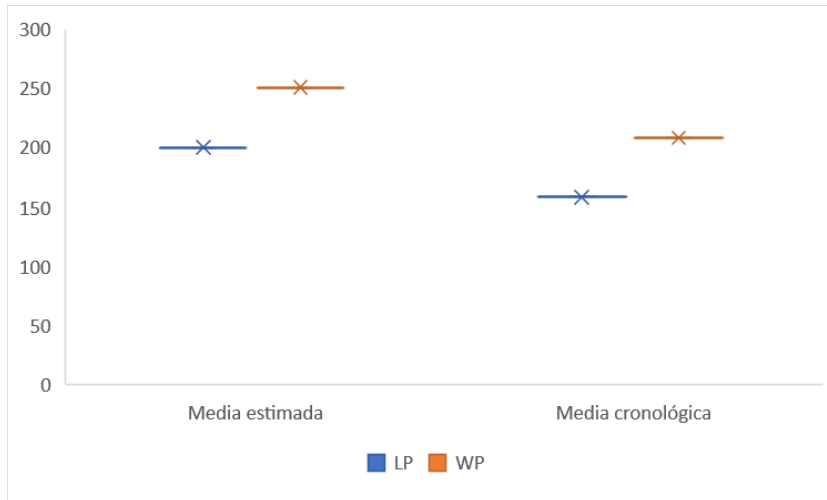


Imagen 6.2: Comparación de medias entre la edad estimada con los métodos de Nagaoka *et al.* (2012; 2015) con la edad cronológica de la población de Granada.

6.1.3. Validación de los resultados de Weaver.

Una vez analizada la precisión de los resultados obtenidos de la aplicación del método de Weaver (1982; 1979) en una muestra mediterránea, se concluye que no es recomendable para estimar la edad en individuos infantiles postnatales. Aunque estos autores son los primeros en detallar y describir la evolución de la placa timpánica como método para estimar la edad, sus estimaciones difieren de forma significativa con la edad cronológica de los individuos de Granada (**Imagen 6.3**).

De los tres métodos disponibles que evalúan el desarrollo óseo de la placa timpánica, este es el menos recomendable, ya que no solo tiende a sobrestimar la edad sino que también es el que mayor rango de error ofrece, en algunos casos alrededor del año, lo que resulta inasumible para estimar la edad en infantiles.

No obstante, estos autores verifican los estudios realizados por Anson *et al.* (1955) sobre la fusión del anillo timpánico a la estructura del hueso temporal al término de la edad gestacional. Además, precisamente estos resultados son los únicos que no presentan diferencias significativas con la muestra de Granada, siendo la única fase que realmente puede ser aplicada en la población mediterránea como estimador de la edad en individuos de edad gestacional, aunque realmente este hecho nos sirva solo como discriminador entre individuos prenatales y postnatales, sin especificar una edad concreta.

Finalmente, hay que tomar en cuenta los criterios muestrales sobre los que se asientan estos datos. Aunque estos mismos autores validan sus resultados en una población identificada como la Colección Forense Osteológica de Fetos del Instituto Smithsonian, dichos resultados han de ser tomados con cautela ya que se han documentado y observado posteriormente a estos estudios, que existen discrepancias entre la edad cronológica y la edad estimada a partir de los indicadores biológicos en esta colección identificada del Instituto Smithsonian (Huxley, 2005), lo cual puede explicar las discrepancias tan grandes entre los resultados expuestos por estos autores y la edad cronológica de los individuos de Granada.

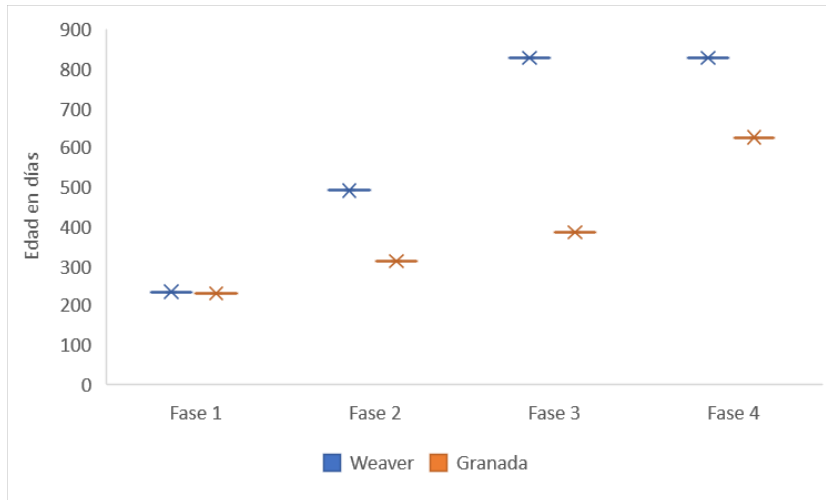


Imagen 6.3: Diferencia entre las medias de las edades estimadas por los estudios de Weaver (1979) en comparación con la edad cronológica de la población de Granada.

6.1.4. Validación de los resultados de Humphrey y Scheuer.

Al igual que las fórmulas anteriores, los publicados por Humphrey y Scheuer (2006), al ser evaluados en la población de Granada muestran diferencias significativas entre la edad cronológica y la edad estimada. Por lo tanto este método no puede ser aplicado en población mediterránea para la estimación de la edad en individuos infantiles.

Aunque el estudio realizado por estos autores resulta un avance en el estudio de la placa timpánica como un método para la estimación de la edad en individuos infantiles, ya que resulta el más completo, las diferencias significativas existentes en sus estimaciones, la tendencia a infraestimar la edad en las últimas fases y a sobrestimar la edad en las tres primeras fases, y los valores altos de RMSE aunque estos sean más ajustados que los propuestos por otros autores (Curran & Weaver, 1982;

Weaver, 1979), conducen a que no se recomiende su uso para estimar la edad de individuos infantiles de población mediterránea.



Imagen 6.4: Diferencia entre las medias de las edades estimadas por los estudios de Humphrey & Scheuer (2006) en comparación con la edad cronológica de la población de Granada.

6.1.5. Validación de los resultados de García – Mancuso *et al.*

Al igual que las fórmulas de los autores anteriormente discutidos, los propuestos por García – Mancuso *et al.* (2016) evidencian diferencias significativas entre la edad estimada y la edad cronológica de los individuos de Granada, por lo que su uso como método para estimar la edad en individuos postnatales no sería aplicable en población mediterránea.

Aunque los valores de RMSE de este método son los menores, en comparación con aquellos métodos propuestos por otros autores (Humphrey & Scheuer, 2006; Weaver, 1979), siendo así los que más se

ajustan a población mediterránea, estos han de ser tomarlos con cautela, ya que esta metodología (García – Mancuso., 2015) tiende a infraestimar la edad de los individuos. Aunque los valores de RMSE sean los más ajustados a la edad cronológica, y por tanto, se considere un método recomendado para estimar la edad en individuos infantiles, este solo sería útil en aquellos individuos en edad gestacional y perinatal, que es cuando el RMSE es menor. Sin embargo, la última fase estudiada es la que posee un error superior a los 8 meses, lo cual resulta inasumible si se pretende estimar la edad a individuos de menos de un año de edad.

Sin embargo, las investigaciones de estos autores avalan de nuevo que la fusión del anillo timpánico a la estructura del temporal, especialmente a la porción escamosa, se produce al término de la edad gestacional, tal y como afirmaban otros autores (Anson *et al.*, 1955; Weaver, 1979), hecho que, al igual que con los resultados de Weaver (1979), es la única fase validada y aplicable en la población mediterránea.

Por lo tanto, y aunque de los métodos propuestos por los tres autores analizados, este es el que más se ajusta a la población mediterránea, las diferencias significativas existentes entre los valores estimados y la edad cronológica de la colección de Granada hacen que no sea recomendable aplicar estos resultados para estimar la edad en individuos infantiles.

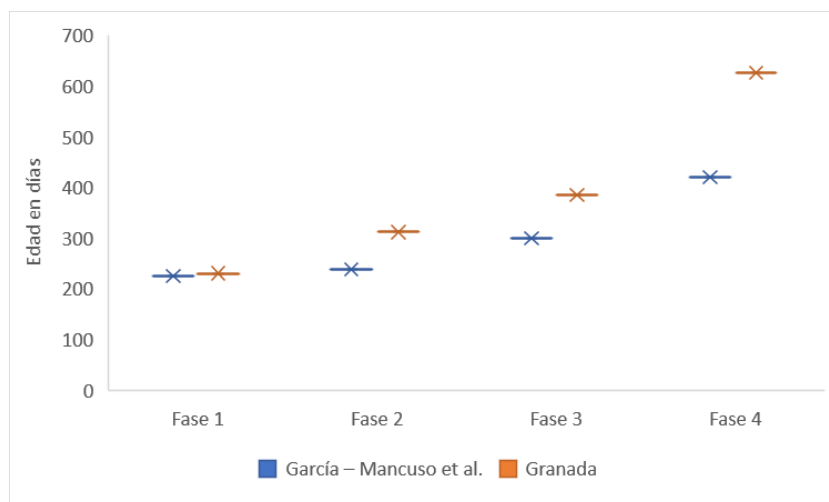


Imagen 6.5: Diferencia entre las medias de las edades estimadas por los estudios de García – Mancuso *et al.* (2015) en comparación con la edad cronológica de la población de Granada.

6.2. Estimación de la edad con las medidas del temporal.

La literatura para la estimación de la edad en individuos prenatales e infantiles es amplia, basada principalmente en el desarrollo y evolución del esqueleto. Desde el momento de fusión de los centros primarios de osificación hasta el desarrollo métrico de los restos óseos (Cunningham *et al.*, 2016), el desarrollo métrico de los restos óseos infantiles ha sido ampliamente estudiado tanto en elementos del cráneo (Figueiro *et al.*, 2022; Irurita *et al.*, 2014; Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017; Smith *et al.*, 2021) como del esqueleto poscraneal (Cardoso *et al.*, 2014a; De Luca *et al.*, 2016; López-Costas *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2017; Rissech & Black, 2007). En cuanto al desarrollo métrico del temporal, encontramos pocos estudios cuyo objetivo sea elaborar un método para

estimar la edad en individuos prenatales (Fazekas & Kósa, 1978; Nagaoka *et al.*, 2012; Nagaoka & Kawakubo, 2015).

Hay que tomar en cuenta otros estudios basados más en la descripción del desarrollo esquelético cuyo fin es el de la intervención médico – quirúrgica más que la metodología forense, como es el caso de los estudio realizados por Simms & Neely (1989a, 1989b) cuyo objetivo es describir el crecimiento de la región lateral de la escama temporal de cara a implantes o prótesis cocleares. Su estudio se realiza sobre una muestra de 83 individuos con un rango etario de entre los 0 y los 20 años, donde evidencia un crecimiento rápido entre los 0 y los 4 años y un desarrollo óseo menos evidente entre los 4 y 20 años.

Los estudios sobre el desarrollo métrico del temporal se han centrado en la estimación de la edad en individuos prenatales (Fazekas & Kósa, 1978; Nagaoka *et al.*, 2012; Nagaoka & Kawakubo, 2015). No obstante, estos métodos cometen errores en las estimaciones propuestas, comunes en gran parte de los estudios de estimación de la edad en individuos infantiles (Corron *et al.*, 2018), aunque, como ya se ha visto en apartados anteriores, estos métodos han sido evaluados en la población de estudio, dando como resultado su no aplicabilidad como métodos para estimar la edad en individuos prenatales de población mediterránea.

Igualmente, estos métodos de forma habitual incurren en la práctica habitual de emplear el error de entrenamiento como parámetro representativo del error intrínseco del método (Valsecchi *et al.*, 2019). Tal y como recomienda Corron *et al.* (2018), lo más adecuado es usar algún tipo de técnica de validación cruzada, que no solo demuestra eficacia en términos de manejo de tamaños de muestra modestos, sino que también confiere la ventaja adicional de que el error validado se

ajusta de manera más precisa a las peculiaridades de la población de estudio, proporcionando así estimaciones más realistas (Valsecchi *et al.*, 2019).

Este estudio, por lo tanto, ofrece un error de estimación mucho más realista y se suma a los pocos estudios que usan validación cruzada para elaborar métodos de estimación de la edad en Antropología Forense.

El estudio desarrollado a partir de las medidas de las porciones petrosa y escamosa del temporal en individuos menores del año y medio arroja unos resultados positivos, aunque deben tomarse con cautela, ya que no son tan fiables como los métodos propuestos a partir de la longitud de los huesos largos en individuos postnatales menores de 2 años (Cardoso *et al.*, 2013, 2014a) y en individuos en edad gestacional (Carneiro *et al.*, 2016, 2019). En este aspecto, los métodos propuestos por Carneiro *et al.* (2016, 2019) tienen un coeficiente de determinación (R^2) de al menos un 90%, con un error de estimación en la mayoría de los casos no menor a los 17 días. Las ecuaciones obtenidas en este trabajo, en contraposición tienen un menor R^2 , en el mejor de los casos de un 80 – 87%, y un mayor error de estimación de al menos 30 días.

No obstante, el error de estimación de las ecuaciones propuestas se acercan bastante a los métodos ya existentes para el desarrollo y la erupción dentaria (AlQahtani *et al.*, 2010), ya que el rango de estimación de este método es de alrededor de 28 días (4 semanas) para fetos, o el propio método desarrollado por Nagaoka y Kawakubo (2015) con la longitud del temporal con un error de 22 días, pero un menor valor de coeficiente de determinación ($R^2 = 0,77$).

En cuanto a los individuos postnatales, el uso de las fórmulas presentadas tiene una desventaja frente a los métodos de estimación de la

edad a partir de la longitud de los huesos largos en menores de 2 años (Cardoso *et al.*, 2013), ya que, en este último, tan solo dos de las dieciocho ecuaciones presentadas tienen un coeficiente de determinación (R^2) inferior a 0,84. Los valores más altos, superiores a un valor de 0,90 corresponden al fémur, radio y peroné para individuos femeninos, cúbito y fémur para masculinos y fémur en la fórmula combinada por sexos, mientras que el peor coeficiente de determinación es para la tibia de los individuos masculinos ($R^2 = 0,79$). En cuanto a los valores de SEE, para las ecuaciones combinadas, son de entre 91,3 y 105,9 días para los individuos femeninos; 83,9 – 124,1 días para los masculinos, y de forma combinada entre los 83,9 – 105,9 días.

Cardoso *et al.* (2014) formula la misma metodología anterior, esta vez desarrollada sobre la cintura escapular y pélvica, con unos resultados menos ajustados respecto a los obtenidos en huesos largos. En esta ocasión, 23 de las 36 ecuaciones tienen un coeficiente de determinación (R^2) superior al 88%. De forma general, los valores más altos del coeficiente de determinación se dan en la cintura pélvica, mientras que los más bajos en la cintura escapular. El valor más bajo sería para la fórmula de la longitud de la espina para individuos femeninos ($R^2 = 0,74$), mientras que el más alto es el obtenido para los individuos femeninos en relación con la altura del isquion ($R^2 = 0,95$). Los errores de estimación para individuos masculinos en la cintura pélvica oscilan entre los 76,7 – 135,0 días, y para la cintura escapular entre los 94,9 – 105,9 días. Para individuos femeninos en la cintura pélvica, fluctúa entre los 62,0 – 175,2 días, y para la cintura escapular, entre los 131,4 – 171,6 días. Para las ecuaciones combinadas en la cintura pélvica presenta valores entre los 83,9 – 105,9 días, y para la cintura escapular, entre los 105,9 – 131,4 días.

Smith *et al.* (2021) realiza las mismas estimaciones que Cardoso *et al.* (2014a) pero con los huesos del cráneo, a excepción de las porciones petrosa y escamosa del temporal. De esta forma, los valores más altos del coeficiente de determinación pertenecen al hueso frontal, la altura del occipital, la altura de la rama mandibular y la anchura del mentón, con valores de entre el 0,80 – 0,84; el resto de las fórmulas, (14 de las 19 presentadas) poseen un coeficiente de determinación bajo, inferior al 70 o incluso el 50%. Este estudio es de los pocos en los que no aparecen las fórmulas diferenciadas por sexos, sino de forma combinada. No obstante, sí diferencia en tres estructuras el cráneo: los elementos faciales, la bóveda craneal y la mandíbula. De esta forma, los valores del SEE para los elementos de la bóveda craneal oscilan entre los 73 – 113,2 días, mientras que para la mandíbula rondan entre los 113,2 – 131,4 días. Por lo tanto, según este estudio, no existe una mayor efectividad del método en una zona en concreto, ya que los huesos que mayor fiabilidad aportan se encuentran repartidos entre la bóveda craneal y la mandíbula.

Aunque existen multitud de métodos para estimar la edad a través del desarrollo métrico de los restos óseos infantiles, los métodos anteriormente descritos son los que más se asemejan al propuesto en este estudio. Los métodos basados en la *pars basilaris* (Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017), *pars lateralis* (Figueiro *et al.*, 2022), dentición (Irurita Olivares *et al.*, 2014) y coxales (Pérez *et al.*, 2017) comparten la misma muestra de estudio, la colección identificada infantil de Granada, y solo los podemos comparar en cuanto al valor del coeficiente de determinación (R^2).

Las ecuaciones presentadas para la base del cráneo (Figueiro *et al.*, 2022; Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017) se aplican en

individuos desde edad gestacional hasta los 6 años, diferenciadas por sexos y de forma combinada. Ambas metodologías presentan valores altos de coeficiente de determinación (R^2) siendo común encontrarlas con valores cercanos al 80-85%. Para las ecuaciones presentadas para el coxal (Pérez *et al.*, 2017), con exactamente la misma muestra, los valores del coeficiente de determinación son realmente altos, siendo valores superiores al 90% en cuatro de las seis ecuaciones presentadas.

En este estudio se han presentado quince fórmulas de regresión exponencial, diferenciadas por sexo y de forma combinada, bajo parámetros de calibración inversa, aplicando validación cruzada del tipo LOOCV, lo que provee una metodología con una mejor precisión, reduce el sobreajuste del modelo y ofrece un error de estimación más realista (Valsecchi *et al.*, 2019). Del total de ecuaciones, solo seis pueden ser aplicables, aquellas que presentan valores de coeficiente de determinación (R^2) superiores al 80%, y, además, los SEE más bajos. Asimismo, se desaconseja el uso de las ecuaciones relacionadas con la anchura de la porción petrosa no solo por sus bajos valores de coeficiente de determinación (R^2), sino también por los valores de reproducibilidad y repetibilidad bajos, por lo que las medidas pueden no ser fiables.

De igual manera, las medidas de la porción escamosa no resultan lo suficientemente fiables como para aplicarlas como método para estimar la edad en individuos infantiles, ya que dichos elementos no superan el 70% de coeficiente de determinación.

El uso de las ecuaciones combinadas de las variables LP+WS+HS, aunque son fiables no resultan del todo aplicables ya que los valores de coeficiente de determinación y SEE no varían de forma significativa con los valores de LP de forma separada. Por ello se recomienda el uso de la

ecuación de la variable LP con valores fiables ($R^2 = 0,85$) con un SEE de entre 30 – 61 días según la ecuación que se aplique.

Las ecuaciones presentadas, siguen la línea de las investigaciones realizadas por Smith *et al.* (2021) ya que los valores de coeficiente de determinación (R^2) son similares, al igual que los errores de estimación, aunque los valores de las ecuaciones aquí presentadas son ligeramente superiores. El resto de métodos basados en los elementos del cráneo (Figueiro *et al.*, 2022; Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017) no se puede comparar de forma exhaustiva, ya que solo pueden ser comparados en función de los valores del coeficiente de determinación (R^2) al ser aplicados sobre individuos infantiles desde edad gestacional hasta los cinco o seis años; además, al realizarse sobre las misma población de este estudio, el error de estimación será más ajustado.

Por el contrario, las metodologías formuladas sobre huesos largos (Cardoso *et al.*, 2014a), cuyos errores de estimación son superiores a los aquí recomendados, presentan una mayor fiabilidad en sus estimaciones. Los métodos basados en la cintura pélvica y cintura escapular (Cardoso *et al.*, 2013), aunque son ligeramente inferiores a los aplicados en huesos largos, son prácticamente igual de fiables en sus estimaciones que las ecuaciones presentadas en este trabajo, a excepción de la cintura pélvica, en concreto la altura del isquion, que es altamente recomendable. No obstante, su precisión se ve reducida debido al aumento del valor de error de estimación.

Otro de los estudios basados en el hueso coxal presentado por Pérez *et al.* (2017) es altamente fiable, con valores de coeficiente de determinación (R^2) muy superiores a cualquier elemento del cráneo, siendo altamente recomendado.

Como se ha podido observar, las ecuaciones presentadas proveen una valiosa información de la edad de muerte de los individuos prenatales y en edad gestacional hasta los 1,5 años, con un coeficiente de determinación alto ($R^2 = 0,80$) y un error de estimación asumible de entre los 30 y 61 días en una muestra Mediterránea (**Tabla 5.23**).

6.3. Edad de inicio asociada al desarrollo de la placa timpánica.

Como se ha podido observar el desarrollo del anillo y de la placa timpánica es un proceso que se concentra desde los últimos meses de gestación hasta no más allá de los cinco primeros años de vida. A tenor de los resultados obtenidos, se puede decir que las fases de desarrollo 0 y 1 se concentran en edad gestacional, mientras que el resto de las fases se dan en individuos postnatales. Aunque estudios como el de Simms y Neely (1989a) exponen un crecimiento métrico anterolateral rápido de la placa timpánica en los cuatro primeros años de vida, los resultados obtenidos no siguen esta tendencia, ya que lo observado es un proceso de cambio de fase de desarrollo muy rápido a lo largo del primer año de vida, mientras que los estadios finales presentan un desarrollo más lento y variable entre las dos últimas fases a lo largo del cuarto o quinto año de vida.

En cuanto al anillo timpánico, se ha observado en individuos de edad gestacional la presencia del anillo timpánico no fusionado (fase 0) o parcialmente fusionado a la porción escamosa (fase 1), donde la fusión del anillo timpánico a la parte posterior de la porción escamosa se produce a los 245 días (35 semanas de gestación), mientras que al término de la edad gestacional el anillo timpánico es más robusto y suele

estar fusionado a la porción escamosa (Anson *et al.*, 1955), hecho también señalado posteriormente por otros autores (Anderson, 1960; Bowden, 1977; Reinhard & Rösing, 1985; Ars, 1989; Krmpotić-Nemanić *et al.*, 1999; Lupu *et al.*, 2010). No obstante, si bien diferentes estudios corroboran esta fase en edad fetal (Weaver, 1979; Curran & Weaver, 1982), otros autores proponen que la fusión del anillo timpánico a la porción escamosa se produce más bien a los 280 días (40 semanas de gestación), es decir, ya en el momento del nacimiento del individuo (García-Mancuso *et al.*, 2016). Los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer que, efectivamente, un anillo timpánico separado de los elementos óseos del hueso temporal corresponde a individuos fetales de alrededor de los 202 días (28,8 semanas de gestación), coincidente con anteriores investigaciones, mientras que en población mediterránea, la fusión del anillo timpánico a la porción escamosa se produce en momentos cercanos al término de la edad gestacional, alrededor de los 269 días (38,4 semanas de gestación), que igualmente corrobora las investigaciones realizadas por Anson *et al.* (1955), así como de Weaver (1982; 1979) y García – Mancuso *et al.* (2016).

La presencia de un anillo timpánico completamente fusionado tanto a la porción escamosa como porción petrosa (fase 2) se ha documentado en individuos en edad postnatal, alrededor del primer mes de vida, hecho que, desde el punto de vista forense, puede ser relevante como factor discriminante entre individuos prenatales y postnatales. Igualmente, este evento ha sido descrito por otros autores (García-Mancuso *et al.*, 2016; Humphrey & Scheuer, 2006; Weaver, 1979), aunque, como se ha comprobado previamente, las estimaciones de estos autores para esta fase de desarrollo tienden a sobreestimar la edad de los individuos.

Durante las tres fases postnatales iniciales (fase 2, 3 y 4) de un individuo, se observa el desarrollo de la placa timpánica, la cual resulta de la fusión del anillo timpánico con el hueso temporal. Este proceso se caracteriza por un crecimiento acelerado que tiene lugar a lo largo del primer año de vida. Mientras que algunos autores sostienen que estas tres primeras fases se mantienen hasta los 1,5 años (Curran & Weaver, 1982; Humphrey & Scheuer, 2006), otros estudios reducen las estimaciones en un rango de entre los 2 hasta los 4,5 meses (García-Mancuso *et al.*, 2016). Por contrapartida, los datos recopilados sugieren que estas fases de desarrollo de la placa timpánica se producen en una horquilla temporal más reducida e inferior al primer año de vida, donde la fase dos se centra en el primer mes de vida, y las fases tres y cuatro entre el segundo y el tercer trimestre del primer año de vida.

En este punto de formación de la placa timpánica, la cual crece de forma antero – inferior hasta formar el meato auditivo (Krmpotić-Nemanić *et al.*, 1999; Humphrey & Scheuer, 2006). A la edad de 4 a 5 años, se observa un cambio en el plano de la placa timpánica hacia una posición mas horizontal, posición que se mantiene hasta la adultez (Ars, 1989; Eby & Nadol, 1986). Durante esta etapa, se evidencia un cambio en el ritmo de crecimiento de la placa. En las fases iniciales, el cambio de estadio es más rápido, pero en las fases finales (fase 5 y 6), el ritmo se torna más lento y variable. Esto se corrobora por la diferencia entre la edad de inicio de cada fase y la edad media de las mismas. En las fases tempranas, las diferencias entre la edad inicial y la edad media son mínimas; sin embargo, en las dos últimas fases, estas diferencias son más pronunciadas, llegando a ser de hasta 458 días.

Según los resultados obtenidos, se ha estimado la edad de inicio del foramen de Huschke (fase 5) al final del primer año de vida, siendo lo común encontrarlo de media a los 1079 días (2,2 años). Aunque otros autores señalan que esta fase se asocia más bien a individuos de entre 1 y 2 años (Krmpotić-Nemanić *et al.*, 1999) o bien entre los 2 y 2,5 años (Weaver, 1979), estudios más recientes reflejan que esta fase de desarrollo puede ser observada en individuos de mínimo 580 días (10 meses) (Humphrey & Scheuer, 2006). Pese a ello, hay que tener en cuenta que el foramen de Huschke es considerado una variable no métrica si es observada en individuos mayores de 5 años (Cunningham *et al.*, 2016), aunque Humphrey y Scheuer (2006) reportan que es común encontrar dicho foramen cerrado en individuos mayores de 5 años, cuya frecuencia en adultos es superior al 20%, y aunque el cierre bilateral del foramen de Huschke es más acusado en individuos adultos de mayor edad, no existe una relación clara entre la edad y el porcentaje de huesos temporales con presencia de dicho foramen (Humphrey & Scheuer, 2006).

En línea con lo anterior, aunque el cierre del foramen de Huschke ha sido asociado a una edad más avanzada, siendo común encontrarlo en torno a los cuatro años (Weaver, 1979), o incluso sobre los cinco años (Reinhard & Rösing, 1985; Ars, 1989; Hauser & De Stefano, 1989; Wang *et al.*, 1991), otros autores señalan que, si bien es común el cierre de dicho foramen entre los 5 y 6 años, el foramen debería cerrarse como pronto a partir del segundo año de vida (Schmidt & Dahm, 1977). Sin embargo, Humphrey y Scheuer (2006) sugieren que la concepción de que el foramen de Huschke se va cerrando progresivamente alrededor de los 5 años de vida es errónea, y que dicho foramen se cierra a partir de los 1180 días (2,5 años). No obstante, los resultados observados en población

mediterránea ponen de manifiesto que este estadio es constatable a partir de los 693 días (1,1 años), con una media de 1537 días (3,4 años).

Aunque algunos estudios han demostrado que los sistemas frecuentistas conllevan ciertos inconvenientes metodológicos y, de hecho, existen métodos de análisis más eficaces (Cameriere *et al.*, 2016), como por ejemplo los análisis de transición (Konigsberg, 2015) y los de calibración bayesiana (Ferrante *et al.*, 2015; Konigsberg & Frankenberg, 2013), este estudio presenta una aproximación sencilla al desarrollo osteológico del anillo y la placa timpánica. El principal problema de las técnicas mencionadas con anterioridad es que se requiere un conocimiento y manejo especializado tanto de estadística como de software especializado.

Así por ejemplo, entre otros métodos basados en el desarrollo y madurez ósea del cráneo, cabe mencionar los desarrollados en el occipital, los cuales sugieren que su fusión comienza en el primer año de vida y finaliza entorno a los seis o siete años de edad (Cardoso *et al.*, 2013). En otras estructuras del cráneo, como por ejemplo el hueso frontal, la sutura metópica oblitera a lo largo del primer año de vida, aunque estudios recientes documentan que la misma empieza a cerrarse alrededor de los tres primeros meses de vida, y que una completa fusión puede aparecer alrededor de los nueve meses postnatales (Cunningham *et al.*, 2016; Meredith, 1959; Molleson & Cox, 1993; Vu *et al.*, 2001; Young, 1957). Investigaciones sobre el hueso esfenoides han permitido establecer que la fusión del cuerpo a las alas mayores se produce alrededor de los cinco primeros meses de vida, y que las alas menores aunque fusionadas, no alcanzan un estado maduro hasta el primer año de vida (Cunningham *et al.*, 2016; Molleson & Cox, 1993).

Otro punto característico en el desarrollo y madurez ósea del cráneo es la mandíbula, la cual, aunque presenta forma y desarrollo variables, muestra un crecimiento de la sínfisis limitado, encontrándola normalmente fusionada en el primer año de vida, en concreto a partir de los tres primeros meses, y completamente fusionada a partir de los seis meses (Becker, 1986; Cunningham *et al.*, 2016; Molleson & Cox, 1993). Como se puede observar, gran parte del desarrollo de las estructuras del cráneo se produce a lo largo del primer año de vida, de forma similar a las primeras fases de desarrollo de la placa timpánica.

Una de las ventajas que el estudio de la placa timpánica presenta es su gran estado de conservación respecto a otras estructuras óseas infantiles, la cual, junto a la *pars basilaris* es una estructura cuya preservación y conservación es buena debido a su alta densidad ósea (Katzenberg & Grauer, 2018). Aunque los métodos basados en el desarrollo, madurez y erupción dental son los más fiables en cuanto a la estimación de la edad en infantiles (AlQahtani *et al.*, 2010; Irurita Olivares *et al.*, 2014), a menudo la conservación y preservación de los gérmenes dentales es mala, dado que estos se encuentran deteriorados, poco representados o incluso perdidos (Cardoso *et al.*, 2013). Por esta razón, los métodos basados en la maduración del esqueleto son una buena alternativa, en especial aquellos centrados en el cráneo. Estudios basados en la base del cráneo han demostrado que tanto dicha estructura como el crecimiento de la cabeza no solo son independientes a episodios severos de malnutrición, sino que también son resilientes a la influencia de factores tafonómicos (Alfonso-Durruty & Thompson, 2011; Househam & De Villiers, 1987; Lottering *et al.*, 2016).

Por estas razones, y teniendo en cuentas las limitaciones del estudio, la colección analizada en el rango de edad estudiado es superior a todos los estudios realizados con anterioridad, y aunque algunos grupos etarios están poco representados los resultados son positivos y pueden ser aplicados en contextos forenses, y por extensión en contextos bioarqueológicos (Tabla 5.24).

6.4. Análisis *probit* para la estimación de la edad pre/postnatal.

Gran parte de los métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles se ha centrado en el desarrollo y madurez esquelética de los individuos prenatales (Carneiro *et al.*, 2016, 2019; Fazekas & Kósa, 1978; Molleson & Cox, 1993; Nagaoka & Kawakubo, 2015; Stempflé *et al.*, 1995) o postnatales (Cardoso *et al.*, 2013, 2014a; Rissech & Black, 2007; Smith *et al.*, 2021), siendo pocos los estudios cuya muestra está compuesta por ambos rangos etarios (Borja Miranda *et al.*, 2023; Figueiro *et al.*, 2022; Irurita Olivares *et al.*, 2014; Irurita Olivares & Alemán Aguilera, 2017; Pérez *et al.*, 2017), por lo que no existen métodos cuyo objetivo sea la diferenciación entre individuos de edad gestacional e individuos en edad postnatal, que pueden resultar útiles en la resolución de casos en la casuística forense, como por ejemplo, en casos de infanticidio donde sea necesario diferenciar entre un aborto punible u homicidio infantil. Parte de este tipo de estudios se ha centrado en estimar la mayoría de edad legal en individuos vivos según el desarrollo y madurez dental del tercer molar, la fusión epifisiaria de la articulación de la rodilla o de la clavícula y primera costilla a partir de un análisis radiológico de estas zonas (Albernaz Neves *et al.*, 2020; Balla *et al.*, 2017; Caldas *et al.*, 2011; De Luca *et al.*, 2016; Galić *et al.*, 2016;

Garamendi *et al.*, 2011). En este trabajo, por su parte, se ha presentado un método basado en el estudio sobre hueso seco, cuya aplicabilidad puede ser útil en contextos forenses y humanitarios, y por extensión en contextos bioarqueológicos, siguiendo las recomendaciones propuestas por Corron (2018) para la metodología de estimación de estimar la edad en individuos infantiles.

Los valores óptimos del área bajo la curva ($AUC > 0,85$) y de la prueba de verosimilitud LR^+ (> 10) para la longitud de la porción petrosa, anchura de la escama y anillo timpánico son los que poseen una mayor precisión, y por lo tanto, mayor poder discriminante, entre nacido/no nacido, frente al resto de las variables. Bien es cierto que, frente a estudios como los basados en el desarrollo dental y la fusión epifisiaria de la articulación de la rodilla, cuyos valores de LR^+ son cercanos a los 20 puntos, y de AUC de mínimo 0,910, los resultados no son tan positivos, aunque hay que tener en cuenta que estos resultados se obtienen de una muestra radiográfica, y en individuos jóvenes o preadultos, con una muestra mayor y con parámetros que hasta ahora son recomendados para estimar la edad en vivos por su alta fiabilidad.

Aunque los métodos aportados por Nagaoka y Kawakubo (2015) y Fazekas y Kósa (1978) no son comparables con la metodología aquí presentada, estos autores realizaron estudios sobre individuos fetales con edades comprendidas entre los 5 meses de gestación y el término de la edad gestacional con el hueso temporal, por lo que es posible comparar, al menos, las dimensiones de estos restos óseos al término de la edad gestacional. De esta forma, según los primeros autores, las medidas correspondientes para la longitud de la porción petrosa en individuos en su etapa final de gestación es de entre 31 – 34mm (Nagaoka &

Kawakubo, 2015). Así mismo, los estudios realizados por Fazekas y Kósa (1978) sobre la longitud de la porción petrosa del temporal indican un promedio de 38,1mm, mientras que la anchura de la escama del temporal sería de 32,6mm de promedio es esta misma etapa.

Por lo contrario, en este estudio se ha observado que, en población mediterránea, una anchura de la escama de 30,69mm y una longitud de la porción petrosa de 36,62mm corresponden al punto de corte entre los individuos en edad prenatal y postnatal. Por ello, si se aplicaran estos métodos en esta población, la estimación de la edad quedaría claramente infraestimada con la metodología de Fazekas y Kósa (1978) y sobreestimada con la metodología de Nagaoka y Kawakubo (2015)

En cuanto a la fusión del anillo timpánico a las porciones petrosa y escamosa (fase 2), la cual se produce en los primeros cinco días de vida (285,5 días) a tenor de los resultados obtenidos, según algunos estudios realizados sobre el anillo timpánico, como se ha hecho referencia en apartados anteriores, estos determinan que dicho anillo se fusiona al hueso temporal al término de la edad gestacional (Anderson, 1960; Anson *et al.*, 1955; Ars, 1989; Bowden, 1977; Curran & Weaver, 1982; García-Mancuso *et al.*, 2016; Krmpotić-Nemanić *et al.*, 1999; Lupu *et al.*, 2010; Reinhard & Rösing, 1985; Weaver, 1979). No obstante, en el apartado anterior se han analizado los estadios de fusión del anillo timpánico, y se ha concluido que, al igual que otros estudios (García-Mancuso *et al.*, 2016; Humphrey & Scheuer, 2006), el anillo se fusiona al temporal desde la parte anterior, hasta una fusión completa a la porción escamosa, y que este desarrollo lo encontraríamos al término de la edad gestacional o en una edad perinatal.

No obstante, la completa fusión del anillo timpánico, tanto en la porción escamosa como en la petrosa del hueso temporal, como se evidencia en el presente estudio, se manifiesta de manera patente en individuos postnatales con al menos cinco días de vida. Esta constatación refuta la hipótesis que postulaba la fusión del anillo timpánico a las porciones petrosa y escamosa del temporal al término de la edad gestacional, estableciendo en su lugar que este acontecimiento tiene lugar en días subsiguientes al nacimiento del individuo. Además, esta variable, según los análisis realizados, es la que mayor poder discriminante, y, por lo tanto, mayor precisión tiene.

Este estudio proporciona una nueva metodología basada en el poder discriminador de la fusión del anillo timpánico y del crecimiento longitudinal de las porciones petrosa y escamosa entre individuos prenatales y postnatales, la cual puede ser útil en la resolución de casos de niños robados vinculados a desapariciones forzosas (Cubero Santos, 2012), como en el caso de España producidos durante la Guerra Civil y posterior dictadura. Aunque no hay un consenso tácito entre los investigadores, actualmente se ha aceptado la cifra de trescientos mil afectados por estos hechos, que fueron realizados desde la Guerra Civil española hasta bien entrado el régimen monárquico (Bonet Esteva, 2013; Mancho & Marta-Lazo, 2021; Pedreño, 2003). A partir de 2011, la Fiscalía ha archivado gran parte de las denuncias interpuestas por los afectados debido a entre otros factores, la presencia de individuos abortivos en fosas comunes, así como la presencia de la inviabilidad del feto por prematuridad (Mancho & Marta-Lazo, 2021; Taboada, 2014). A ello se le suma que las exhumaciones realizadas arrojan resultados no positivos debido a la conservación de los restos (Mancho & Marta-Lazo, 2021; Taboada, 2014). Por estos motivos, la metodología aquí expuesta

puede ser útil para elaborar el perfil biológico de los restos exhumados, ya que la conservación y preservación de estos restos es buena, lo cual puede auxiliar al investigador a diferenciar entre un individuo en edad gestacional o un individuo postnatal.

Además, como señalaron Lewis y Flavel (2006), el estudio de los restos prenatales en contextos forenses además pueden ser aplicados para resolver casos de infanticidio, la viabilidad del feto y en aquellos casos en lo que se aplique la legislación abortiva. No obstante, no hay que dejar de tomar en cuenta que el estado nutricional de la madre durante el embarazo, el peso, la estatura y demás rasgos influyen tanto en el tamaño como en el peso del niño al nacer (Adair, 2004; Hauspie *et al.*, 1996).

Por ello, aunque los resultados obtenidos son positivos, especialmente en alusión a la fusión del anillo timpánico, o el desarrollo métrico del temporal, se intuye que, frente a otros marcadores óseos como el desarrollo dental y/o el de los huesos largos, estos últimos puede tener un mayor poder discriminante entre individuos prenatales y postnatales, ya que como se ha observado en otros estudios, resultan más fiables para estimar la edad en individuos infantiles (Cardoso *et al.*, 2014a; Carneiro *et al.*, 2019; Irurita Olivares *et al.*, 2014). No obstante, la conservación y preservación de la porción petrosa frente a los elementos óseos anteriormente mencionados hace que su aplicabilidad sea altamente recomendable, lo cual proporciona más utilidad a las regiones anatómicas objeto de estudio en el presente trabajo (**Tabla 5.25**).

6.5. Comparación entre colecciones

En la metodología antropológica física y especialmente la forense una de las formas de evaluar la eficacia y la aplicabilidad de un método es la

validación del mismo (Valsecchi *et al.*, 2019), no solo a través de técnicas como la validación cruzada (CV), si no también a través de una muestra y/o un estudio independiente (Corron *et al.*, 2018). En el caso de la validación en una muestra independiente, una de las posibilidades es la de validar el método con otra población. No obstante, en este caso nos encontramos ante el problema de las diferencias socioeconómicas, ambientales, culturales e incluso biológicas, que influyen en el desarrollo y madurez ósea del individuo, derivando, por lo tanto, en lo que se denomina diferencia poblacional. Por este motivo, es importante, no solo la construcción o elaboración de métodos, sino también evaluar la efectividad del mismo en diferentes poblaciones, es decir, validarlo (Cunha *et al.*, 2009; Monum *et al.*, 2020).

Uno de los principales desafíos al validar métodos para estimar la edad en restos infantiles es la variación en las tasas de crecimiento entre individuos. Como es de esperar, los países desarrollados muestran tasas de crecimiento superiores en comparación con los países en vía de desarrollo (Humphrey, 2000). Esta disparidad afecta directamente a los métodos que se basan en la longitud de los huesos largos, ya que son sensibles a factores ambientales que podrían influir en el crecimiento normal del niño. Sin embargo, los métodos que se basan en el desarrollo y la madurez ósea del cráneo presentan una ventaja significativa, ya que numerosos estudios respaldan la idea de que el crecimiento del cráneo no se ve afectado por factores externos o ambientales (Bogin, 2020; Cardoso *et al.*, 2021; Cardoso & Magalhães, 2011), registrándose solo un desarrollo óseo menor del cráneo en casos extremos de abandono infantil (Bogin, 2020; Cardoso & Magalhães, 2011). Además dichos cambios ambientales no influyen de manera significativa en menores de dos años, ya que el retraso o el estancamiento del crecimiento del individuo es más

acusado a partir de dicha edad, momento en el cual, por efecto acumulativo, empiezan a verse los primeros síntomas negativos en el crecimiento del infante (Cardoso *et al.*, 2014b; Cole, 2000). Esta diferencia entre el crecimiento del esqueleto poscraneal respecto al cráneo puede explicarse por el papel protector que cumple la estructura del cráneo en el rápido crecimiento y desarrollo del cerebro (Smith *et al.*, 2021). Estos factores hacen por lo tanto, que la aplicabilidad de los métodos basados en el desarrollo y madurez esquelética del cráneo sea más amplia que respecto a los métodos basados en huesos largos.

Aunque muchos autores resaltan la necesidad de estudiar de forma específica las diferencias poblacionales (Bassed *et al.*, 2010; Thornton *et al.*, 2020), la cercanía entre poblaciones así como compartir factores socioculturales similares sugieren que los individuos compartían un entorno ontogenético similar, y que por lo tanto, más que estudios de diferencia poblacional, debemos centrarnos en la aplicabilidad y fiabilidad del método (Cardoso *et al.*, 2021; Spake *et al.*, 2021).

Como hemos visto, no existen diferencias entre la edad estimada con los métodos presentados y la edad cronológica de los individuos de la colección lisbonense. Esto puede ser debido a que las muestras comparten numerosas similitudes, no solo por la cercanía geográfica, si no también, similitudes históricas, sociopolíticas e incluso genéticas (Pimenta *et al.*, 2019). No obstante, varios estudios documentan que la diferencia genética entre las poblaciones europeas puede explicarse debido a la geografía común (Lao *et al.*, 2008; Novembre *et al.*, 2008), y que también el factor político-cultural en ocasiones puede influenciar al flujo genético entre las poblaciones que conforman el viejo continente (Adams *et al.*, 2008; Lao *et al.*, 2008). Estos factores pueden ser la

explicación de los valores altos de error RMSE calculados en población portuguesa, ya que aunque de forma general las ecuaciones propuestas son válidas en esta población, existe una diferencia notable entre los errores de estimación de las ecuaciones presentadas y el RMSE calculado en la validación del método. No obstante, estos valores altos de error RMSE también pueden explicarse debido al tamaño de la muestra, ya que solo se realiza la validación en un total de 13 individuos, cuya representación no es tan amplia, en comparación con la muestra de Granada.

Sin embargo, estudios basados en el desarrollo de la caja torácica en adultos, han observado algunas diferencias entre población española y portuguesa (Partido Navadizo, 2023) que pueden explicarse por:

- Los aspectos demográficos como la natalidad, mortalidad, esperanza de vida y el tamaño poblacional posteriores a la Guerra Civil (1936 – 1939) y posguerra (años 50) son superiores respecto a Portugal, con efectos inmediatos en factores ambientales que influyeron en la estatura media de la población (Caballero & Popkin, 2002; Cardoso *et al.*, 2014b; Zoido Naranjo & Arroyo Pérez, 2003).
- La dinámica socioeconómica y demográfica-epidemiológica durante el siglo XX no ha sido homogénea, especialmente las cuestiones higiénico-sanitarias (da Silva, 1997; Godinho, 2019; Nadal, 1984; Rodrigues, 2010).

Según los estudios realizados por Cardoso (2007; 2014b) y Humphrey (2000), los individuos infantiles pertenecientes a la colección lisbonense son anteriores al aumento secular de la estatura en Europa, y que junto a los valores de malnutrición moderada a grave, la exposición a

elevadas cargas de morbilidad presentan un retraso en el crecimiento de los individuos, mientras que los niños españoles se encuentran entre los individuos de población europea cuyo valor secular ha aumentado desde mediados del siglo XX, alrededor de 2,4cm por década (Rebato, 1998; Susanne *et al.*, 2001). Sin embargo, como se ha visto con anterioridad, estos factores posiblemente afecten más al desarrollo y madurez ósea de los huesos largos, lo que explica que las metodologías presentadas sean válidas en población portuguesa.

6.6. Síntesis final

A partir de los resultados presentados en este apartado, se destaca el potencial del hueso temporal como una herramienta excepcional para predecir la edad en individuos no adultos dentro de la población mediterránea, abarcando tanto la española como la portuguesa. Dentro de los elementos craneales, el desarrollo métrico del hueso temporal emerge como uno de los componentes óseos con mayor capacidad predictiva para la edad. No obstante, en comparación con los huesos que constituyen la base craneal, los valores del coeficiente de determinación y el rango de aplicación del método son menores que aquellos derivados de las mediciones en la *pars basilaris* y *pars lateralis*.

En lo que respecta a la madurez y desarrollo de la placa timpánica, se pone de manifiesto la utilidad de la fusión del anillo timpánico con la porción petrosa y escamosa del hueso temporal como un discriminador efectivo entre individuos prenatales y postnatales. En términos de la madurez de la placa timpánica, se observa un desarrollo rápido durante los primeros años de vida, lo cual resulta valioso para estimar la edad en individuos no adultos. Sin embargo, en las etapas finales, el patrón de

crecimiento es más variable, lo que implica una menor fiabilidad. En estos casos, la edad de inicio presentada para cada fase se erige como una herramienta particularmente útil, proporcionando al menos una estimación mínima de la edad del individuo.

Prospectivamente, la realización de estudios futuros con una muestra más amplia, caracterizada por una distribución más homogénea tanto en términos de edad como de sexo, permitirá consolidar las estimaciones. Esto, a su vez, facilitará la aplicación de técnicas estadísticas más sólidas y fiables en contextos de aprendizaje automático.



CAPÍTULO 7
CONCLUSIONS

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONS

1. Various methods for estimating age based on the metric development and bone maturity of the temporal bone in a Mediterranean population have been evaluated, revealing significant differences between the age estimated by each of the methods and the chronological age of the study sample:

a. Specifically, in those methods based on the metric development of the temporal bone, age estimates in the Mediterranean population tend to overestimate the age of individuals, in addition to presenting an error range wide enough to rule out their use as an age estimator in gestational-age individuals.

b. Regarding the bone maturity of the tympanic plate, among the three methods evaluated, as in metric development, there has been a tendency to overestimate the age of individuals, particularly in the earlier stages, while in the later stages, the result is the reverse.

2. The variability in the development and bone maturity of the temporal bone, specifically in the three parts that comprise it, has a high correlation with the chronological age of individuals, making its study relevant when establishing a methodology for age estimation.

3. The values of inter-observer and intra-observer error show high levels of reproducibility and repeatability for both developmental phases and metric values. However, in the metric study, the variable of the width of the squamous portion (WS) shows suboptimal values, which are not suitable for this type of study.

4. The potential for using the metric development of the squamous and petrous portions of the temporal bone as a method for estimating age in non-adult individuals is high:

a. The values of the coefficient of determination (R^2) in the recommended equations range between 0.80 and 0.87, with estimation errors (SEE) ranging from 30 to 67 days.

b. Due to the low values of the coefficient of determination and intra- and inter-observer error, the use of the variable width of the petrous portion to estimate age in non-adult individuals is strongly discouraged.

c. There is a difference in the reliability of age estimates differentiated by sex, as the values are generally more favourable for females compared to their male counterparts. However, due to the difficulties in estimating sex in non-adult individuals, it is recommended to use combined equations to estimate age in cases where the sex of the individual is unknown.

5. Regarding the degree of bone maturity of the tympanic plate, it has been observed that there is a rapid development in the early phases occurring within the first year of life, while in the later stages, the evolution of the phases takes place over a broader time span:

a. Fusion of the tympanic ring to the squamous portion occurs at the end of the gestational age, whereas complete fusion to the temporal bone happens during the perinatal period.

b. There is a slight overlap between the early developmental phases, mainly due to the rapid growth within the age range in which they occur.

c. The onset of each developmental phase aligns with the frequency of occurrence of each phase, particularly in the first three phases. The opposite is observed with the last two phases, where the onset occurs at a much earlier age than the frequency at which they appear.

d. Once the tympanic ring has fused, forming the tympanic plate, development occurs anterolaterally, growing along the horizontal axis in such a way that it reaches maturity peaks at around one and a half years of age, with the presence of the foramen of Huschke.

6. It has been demonstrated that there is a difference in both the metric development and bone maturity of the parts that make up the temporal bone, allowing for discrimination between prenatal and postnatal individuals:

a. It has been confirmed with 95 % probability that the fusion of the tympanic ring occurs between 299 and 364 days.

b. The difference in the metric development of the petrous and squamous portions of the temporal bone has been evidenced, with the length of the petrous portion and the width of the squamous portion being particularly relevant.

c. It has been confirmed with 95 % probability that an individual with a petrous portion length between 41.84 and 49.02 mm, and a squamous portion width ranging between 33.88 and 38.21 mm, is a postnatal individual.

7. The results have been validated in a population with similar socioeconomic and cultural characteristics, whose secular growth does not differ significantly, specifically in the osteological sample from Lisbon (Portugal):

a. There are no significant differences in the metric development of the temporal bone between the study populations; therefore, the method for estimating age based on the measurements of the squamous and petrous portions of the temporal bone is validated.

b. There are no significant differences in the bone maturity of the tympanic plate between the study populations; thus, similarly to the metric development, the methodology is validated.

c. Due to the lack of a sample of individuals of gestational age, validating the third method has not been possible.

8. In summary, three distinct methodologies are presented with high potential as methods/as a method for estimating age in non-adult individuals:

a. The first method is based on the metric development of the temporal bone in individuals under 2 years of age.

b. The second method relies/based on the bone maturity of the tympanic plate, with a broader age estimation range, from gestational age up to 6 years.

c. Finally, a method is proposed to differentiate between prenatal and postnatal individuals based on the metric development of the squamous and petrous portions of the temporal bone and the bone maturity of the tympanic ring.

CONCLUSIONES

1. Se han evaluado distintos métodos de estimación de la edad en función del desarrollo métrico y la madurez ósea del hueso temporal en población mediterránea, evidenciando diferencias significativas entre la edad estimada por cada uno de los métodos, y la edad cronológica de la muestra de estudio:

a. En concreto, en aquellos métodos basados en el desarrollo métrico del hueso temporal, las estimaciones de la edad en población mediterránea tiende a sobrestimar la edad de los individuos, además de ofrecer un rango de error lo suficientemente amplio como para descartar su uso como estimador de la edad en individuos en edad gestacional.

b. Respecto a la madurez ósea de la placa timpánica, de los tres métodos evaluados, al igual que en el desarrollo métrico, se ha observado una tendencia a sobrestimar la edad de los individuos especialmente en las fases más tempranas, mientras que en estadios finales, el resultado es el inverso.

2. La variabilidad en el desarrollo y madurez ósea del hueso temporal, en concreto de las tres partes que lo conforman tiene una alta correlación con la edad cronológica de los individuos, por lo que su estudio resulta relevante a la hora de establecer una metodología para estimar la edad.

3. Los valores del error interobservador e intraobservador muestran altos niveles de reproducibilidad y repetibilidad

especialmente en el estudio por fases y desarrollo métrico. No obstante, en el estudio métrico, la variable de la anchura de la porción escamosa (WS) muestra valores no óptimos, ni adecuados para este tipo de estudios.

4. El potencial como método para estimar la edad en individuos no adultos a partir del desarrollo métrico de las porciones escamosa y petrosa del hueso temporal, es elevado:

a. Los valores del coeficiente de determinación (R^2) se encuentran, en las ecuaciones recomendadas, entre un 0,80 – 0,87, con errores de estimación (SEE) que oscilan entre los 30 – 67 días.

b. Debido a los valores bajos del coeficiente de determinación y del error intra – interobservador se desaconseja totalmente el uso de la variable anchura de la porción petrosa para estimar la edad en individuos no adultos.

c. Existe una diferencia entre la fiabilidad de las estimaciones diferenciadas por sexos, ya que en general los valores son más positivos para el sexo femenino respecto a sus contrapartes masculinas. No obstante, debido a las dificultades para estimar el sexo en individuos no adultos, se recomienda el uso de las ecuaciones combinadas para estimar la edad en casos donde el sexo del individuo sea desconocido.

5. En cuanto al grado de madurez óseo de la placa timpánica, se ha observado que existe un desarrollo rápido en las primeras fases de desarrollo que se producen en el primer año de vida, mientras que en estadios finales, la evolución de las fases se encuentran en un espacio temporal más amplio:

a. La fusión del anillo timpánico a la porción escamosa se produce al término de la edad gestacional, mientras que la fusión completa al hueso temporal se produce en un periodo perinatal.

b. Existe un pequeño solape entre las primeras fases de desarrollo, debido principalmente al crecimiento rápido en el rango de edad que se producen.

c. El inicio de cada fase de desarrollo se ajusta con la frecuencia de aparición de cada fase especialmente en aquellas tres primeras. Caso contrario ocurre, con las dos últimas fases, ya que el inicio de estas se produce a una edad mucho más temprana, que la frecuencia a las que estas se muestran.

d. Una vez fusionado el anillo timpánico, conformando la placa timpánica, el desarrollo se produce de forma anterolateral creciendo en el eje horizontal de tal forma que alcanza picos de madurez entorno al año y medio de vida, con la presencia del foramen de Huschke.

6. Se ha evidenciado que existe una diferencia en el desarrollo tanto métrico como la madurez ósea de las partes que conforman el hueso temporal que permiten discriminar entre individuos prenatales y postnatales:

a. Se ha constatado con un 95% de probabilidad que la fusión del anillo timpánico se encuentra entre los 299 – 364 días.

b. Se ha evidenciado la diferencia entre el desarrollo métrico de las porciones petrosa y escamosa del temporal, siendo relevantes la longitud de la porción petrosa y la anchura de la porción escamosa del temporal.

c. Se constató que, con un 95% de probabilidad, un individuo con una longitud de la porción petrosa de entre 41,84 – 49,02mm, y una anchura de la escama que oscile entre los 33,88 – 38,21mm es un individuo en edad postnatal.

7. Se han validado los resultados en una población de características socioeconómicas y culturales similares, cuyo crecimiento secular no difiera en gran medida, en concreto en la muestra osteológica de Lisboa (Portugal):

a. No existen diferencias significativas en el desarrollo métrico del temporal entre las poblaciones de estudio, por lo que el método de estimación de la edad a partir de las medidas de la porción escamosa y petrosa del temporal queda validado.

b. No existen diferencias significativas entre la madurez ósea de la placa timpánica entre las poblaciones de estudio, por lo que al igual que con el desarrollo métrico, la metodología queda validada.

c. Debido a la falta de muestra de individuos en edad gestacional, validar el tercer método no ha sido posible.

8. En resumen, se ofrecen tres metodologías distintas con un alto potencial como método para estimar la edad en individuos no adultos:

a. El primero de ellos a partir del desarrollo métricos del temporal en individuos menores de 2 años.

b. El segundo de ellos, a partir de la madurez ósea de la placa timpánica, con un rango de edad de estimación más amplio, desde edad gestacional hasta los 6 años.

c. Por último, un método para discriminar entre individuos prenatales y postnatales a partir del desarrollo métrico de las porciones escamosa y petrosa del hueso temporal y de la madurez ósea del anillo timpánico.



CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFÍA

A

- Adair, L. (2004). Fetal adaptations to maternal nutritional status during pregnancy. *American Journal of Physical Anthropology*, 38, 50.
- Adams, D., & Pilloud, M. (2021). The (Mis)appropriation of Biological Anthropology in Race Science and the Implications for Forensic Anthropology. *Forensic Anthropology*.
<https://doi.org/10.5744/fa.2021.0010>
- Adams, S. M., Bosch, E., Balaesque, P. L., Ballereau, S. J., Lee, A. C., Arroyo, E., López-Parra, A. M., Aler, M., Grifo, M. S. G., Brion, M., Carracedo, A., Lavinha, J., Martínez-Jarreta, B., Quintana-Murci, L., Picornell, A., Ramon, M., Skorecki, K., Behar, D. M., Calafell, F., & Jobling, M. A. (2008). The Genetic Legacy of Religious Diversity and Intolerance: Paternal Lineages of Christians, Jews, and Muslims in the Iberian Peninsula. *The American Journal of Human Genetics*, 83(6), 725-736. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2008.11.007>
- Albernaz Neves, J., Antunes-Ferreira, N., Machado, V., Botelho, J., Proença, L., Quintas, A., Delgado, A. S., Mendes, J. J., & Cameriere, R. (2020). Validation of the Third Molar Maturation Index (I3M) to assess the legal adult age in the Portuguese population. *Scientific Reports*, 10(1), 18466. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75324-x>
- Alcaide, R. (1999). La introducción y el desarrollo del higienismo en España durante el siglo XIX. Precursores, continuadores y marco legal

de un proyecto científico y social. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*.

- Alemán, I., Irurita, J., Valencia, A. R., Martínez, A., López-Lázaro, S., Viciano, J., & Botella, M. C. (2012). Brief communication: The Granada osteological collection of identified infants and young children. *American Journal of Physical Anthropology*, 149(4), 606-610.
- Alfonso-Durruty, M. P., & Thompson, J. L. (2011). Basiocciput age at death estimation assessment in subadults from Punta Teatinos, Chile. *Anthropologie (1962-)*, 49(2), 125-132.
- AlQahtani, S. J., Hector, M. P., & Liversidge, H. M. (2010). Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *American Journal of Physical Anthropology*, 142(3), 481-490. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21258>
- Alves-Cardoso, F., & Henderson, C. Y. (2018). Identified skeletal collections: The testing ground of anthropology? *Identified skeletal collections*, 1-198.
- Amores-Ampuero, A., & Viciano, J. (2022). Sexual dimorphism from vertebrae: Its potential use for sex estimation in an identified osteological sample. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 54(4), 546-558. <https://doi.org/10.1080/00450618.2020.1840629>
- Anderson, J. (1960). The development of the tympanic plate. *National Museum of Canada Bulletin 180, Anthropological series*, 57, 143-153.
- Anson, B. J., Bast, T. H., & Richany, S. F. (1955). LXXVI The fetal and early postnatal development of the tympanic ring and related structures in man. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 64(3), 802-823.
- Argimon, J. M., & Jiménez, J. (2004). Métodos de investigación clínica y epidemiológica. *Cuarta. Elsevier España, editor. España*, 29-33.
- Arlot, S., & Celisse, A. (2010). A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics Surveys*, 4(none). <https://doi.org/10.1214/09-SS054>

- Ars, B. (1989). Organogenesis of the middle ear structures. *The Journal of Laryngology & Otology*, 103(1), 16-21.
- Ashizawa, K., Kumakura, C., Zhou, X., Jin, F., & Cao, J. (2005). RUS skeletal maturity of children in Beijing. *Annals of Human Biology*, 32(3), 316-325.
- Augier, M. (1931). Squelet cephalique in traite danatomie humaine. *Poirier. Charpy, Nicolás, I*, 19.
- Aykroyd, R., Lucy, D., Pollard, A., & Solheim, T. (1997). Regression analysis in adult age estimation. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 104(2), 259-265.

B

- Bach-Petersen, S., & Kjaer, I. (1993). Ossification of lateral components in the human prenatal cranial base. *Journal of Craniofacial Genetics and Developmental Biology*, 13(2), 76-82.
- Balla, S. B., Galic, I., P., K., Vanin, S., De Luca, S., & Cameriere, R. (2017). Validation of third molar maturity index (I 3M) for discrimination of juvenile/adult status in South Indian population. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 49, 2-7. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.05.003>
- Balthazard, T., & Dervieux. (1921). Etudes anthropologiques surle foetus humain. *Annales Medicine Legale*, 1, 37-42.
- Bassed, R. B., Briggs, C., & Drummer, O. H. (2010). Analysis of time of closure of the spheno-occipital synchondrosis using computed tomography. *Forensic Science International*, 200(1-3), 161-164. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.04.009>
- Bast, T. H. (1930). Ossification of the otic capsule in human fetuses. *Contributions to Embryology*, 21, 53-82.
- Baxter-Jones, A., Mirwald, R., McKay, H., & Bailey, D. (2003). A longitudinal analysis of sex differences in bone mineral accrual in healthy 8-19-year-old boys and girls. *Annals of human biology*, 30(2), 160-175.

- Becker, M. J. (1986). Mandibular symphysis (medial suture) closure in modern *Homo sapiens*: Preliminary evidence from archaeological populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 69(4), 499-501. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330690409>
- Berger, V. W., & Zhou, Y. (2014). Kolmogorov–smirnov test: Overview. *Wiley statsref: Statistics reference online*.
- Berry, C., & Berry, R. J. (1967). Epigenetic variation in the human cranium. *Journal of anatomy*, 101, 361-379.
- Black, S., & Maat, G. (2010). Principles of physical age estimation. En S. Black, A. Aggrawal, & J. Payne-James (Eds.), *Age Estimation in the Living: The Practitioners Guide* (pp. 77-94). Wiley-Blackwell.
- Bogin, B. (2020). *Patterns of human growth* (Vol. 88). Cambridge University Press.
- Bolaños, M. V., Manrique, M. C., Bolaños, M. J., & Briones, M. T. (2000). Approaches to chronological age assessment based on dental calcification. *Forensic Science International*, 110(2), 97-106. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(00\)00154-7](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00154-7)
- Boldsen, J. L., Milner, G. R., Konigsberg, L. W., & Wood, J. W. (2002). Transition analysis: A new method for estimating age from skeletons. En R. D. Hoppa & J. W. Vaupel (Eds.), *Paleodemography* (1.^a ed., pp. 73-106). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542428.005>
- Bonet Esteva, M. (2013). Los niños arrebatados por el franquismo a las mujeres. Constelaciones de casos, puntos de conexión y posibles abordajes jurídico penales. En *VIII Encuentro Internacional de Investigadores del Franquismo* (Cd-rom, p.).
- Borja Miranda, E. A., Partido Navadijo, M., Alemán Aguilera, I., & Irurita Olivares, J. (2023). Age estimation in infant and prenatal individuals through the metric development of the pars petrosa and squamosal portion of the temporal bone. *International Journal of Legal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s00414-023-03030-0>

- Bowden, R. E. (1977). Congenital Conductive Deafness: Development of the Middle and External Ear in Man. *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, 70(11), 807-815.
- Bowman, J., Maclaughlin, S. M., & Scheuer, L. (1992). The relationship between biological and chronological age in the juvenile remains from St Bride's Church, Fleet Street. *Annals of Human Biology*, 19(2), 211-216.
- Buikstra, J. E. (2019). *Ortner's identification of pathological conditions in human skeletal remains*.
- Buikstra, J. E., & Ubelaker, D. H. (1996). *Standards for Data Collection from Human Skeletal Remains*. *Arkansas Archaeological Survey Research Series 44*. JSTOR.
- Burton, J. L. (2022). The Alder Hey affair. *Archives of Disease in Childhood*, 86(1), 4-7. <https://doi.org/10.1136/adsc.86.1.4>

C

- Caballero, B. H., & Popkin, B. M. (2002). *The nutrition transition: Diet and disease in the developing world*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:68441267>
- Caldas, I. M., Júlio, P., Simões, R. J., Matos, E., Afonso, A., & Magalhães, T. (2011). Chronological age estimation based on third molar development in a Portuguese population. *International Journal of Legal Medicine*, 125(2), 235-243. <https://doi.org/10.1007/s00414-010-0531-8>
- Cameriere, R., Giuliadori, A., Zampi, M., Galić, I., Cingolani, M., Pagliara, F., & Ferrante, L. (2015). Age estimation in children and young adolescents for forensic purposes using fourth cervical vertebra (C4). *International Journal of Legal Medicine*, 129(2), 347-355. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1112-z>
- Cameriere, R., Pacifici, A., Pacifici, L., Polimeni, A., Federici, F., Cingolani, M., & Ferrante, L. (2016). Age estimation in children by measurement of open apices in teeth with Bayesian calibration approach. *Forensic Science International*, 258, 50-54. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.11.005>

- Cameron, N. (2015). Can maturity indicators be used to estimate chronological age in children? *Annals of Human Biology*, 42(4), 302-307. <https://doi.org/10.3109/03014460.2015.1032349>
- Canavese, F., Charles, Y. P., & Dimeglio, A. (2008). Skeletal age assessment from elbow radiographs. Review of the literature. *La Chirurgia degli organi di movimento*, 92, 1-6.
- Cardoso, H. F. (2006). Brief communication: The collection of identified human skeletons housed at the Bocage Museum (National Museum of Natural History), Lisbon, Portugal. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 129(2), 173-176.
- Cardoso, H. F., & Magalhães, T. (2011). Evidence of neglect from immature human skeletal remains: An auxological approach from bones and teeth. En *The juvenile skeleton in forensic abuse investigations* (pp. 125-150). Springer.
- Cardoso, H. F., Spake, L., & Humphrey, L. T. (2017). Age estimation of immature human skeletal remains from the dimensions of the girdle bones in the postnatal period. *American Journal of Physical Anthropology*, 163(4), 772-783.
- Cardoso, H. F., Spake, L., Ríos, L., & Albanese, J. (2021). Population variation in diaphyseal growth and age estimation of juvenile skeletal remains. En *Remodeling Forensic Skeletal Age* (pp. 99-138). Elsevier.
- Cardoso, H. F. V. (2007). Environmental effects on skeletal versus dental development: Using a documented subadult skeletal sample to test a basic assumption in human osteological research. *American Journal of Physical Anthropology*, 132(2), 223-233. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20482>
- Cardoso, H. F. V., Abrantes, J., & Humphrey, L. T. (2014a). Age estimation of immature human skeletal remains from the diaphyseal length of the long bones in the postnatal period. *International Journal of Legal Medicine*, 128(5), 809-824. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0925-5>
- Cardoso, H. F. V., Abrantes, J., & Humphrey, L. T. (2014b). Age estimation of immature human skeletal remains from the diaphyseal

- length of the long bones in the postnatal period. *International Journal of Legal Medicine*, 128(5), 809-824. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0925-5>
- Cardoso, H. F. V., Gomes, J., Campanacho, V., & Marinho, L. (2013). Age estimation of immature human skeletal remains using the post-natal development of the occipital bone. *International Journal of Legal Medicine*, 127(5), 997-1004. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0818-7>
- Carneiro, C., Curate, F., Alemán, I., Botella, M., & Cunha, E. (2019). Fetal age at death estimation on dry bone: Testing the applicability of equations developed on a radiographic sample. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 21(2), 008. <https://doi.org/10.24215/18536387e008>
- Carneiro, C., Curate, F., & Cunha, E. (2016). A method for estimating gestational age of fetal remains based on long bone lengths. *International Journal of Legal Medicine*, 130(5), 1333-1341. <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1393-5>
- Chai, T., & Draxler, R. R. (2014). Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? – Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, 7(3), 1247-1250. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1247-2014>
- Chan, Y. (2003). Biostatistics 104: Correlational analysis. *Singapore Med J*, 44(12), 614-619.
- Choi, S. C., & Trotter, M. (1970). A statistical study of the multivariate structure and race-sex differences of American White and Negro fetal skeletons. *American Journal of Physical Anthropology*, 33(3), 307-312.
- Christensen, A. M., & Crowder, C. M. (2009). Evidentiary Standards for Forensic Anthropology. *Journal of Forensic Sciences*, 54(6), 1211-1216. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01176.x>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>

- Cole, T. J. (2000). Secular trends in growth. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59(2), 317-324. <https://doi.org/10.1017/S0029665100000355>
- Coqueugniot, H., Weaver, T. D., & Houët, F. (2010). Brief communication: A probabilistic approach to age estimation from infracranial sequences of maturation. *American Journal of Physical Anthropology*, 142(4), 655-664.
- Corron, L., Adalian, P., Condemi, S., Marchal, F., & Navega, D. (2019). Sub-adult aging method selection (SAMS): A decisional tool for selecting and evaluating sub-adult age estimation methods based on standardized methodological parameters. *Forensic Science International*, 304, 109897. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109897>
- Corron, L., Marchal, F., Condemi, S., & Adalian, P. (2018). A critical review of sub-adult age estimation in biological anthropology: Do methods comply with published recommendations? *Forensic Science International*, 288, 328.e1-328.e9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.05.012>
- Cox, M. (2000). Ageing adults from the skeleton. En M. Cox & S. Mays, *Human Osteology in Archaeological and Forensic Medicine* (pp. 61-81). Greenwich Medical Media Ltd.
- Cubero Santos, C. (2012). *Guía de Recomendaciones Para la Práctica de la Exhumación en los Casos de Posible Sustracción de Recién Nacidos*. Ministerio de Justicia.
- Cunha, E., Baccino, E., Martrille, L., Ramsthaler, F., Prieto, J., Schuliar, Y., Lynnerup, N., & Cattaneo, C. (2009). The problem of aging human remains and living individuals: A review. *Forensic science international*, 193(1-3), 1-13.
- Cunha, E., & Ubelaker, D. H. (2020). Evaluation of ancestry from human skeletal remains: A concise review. *Forensic Sciences Research*, 5(2), 89-97. <https://doi.org/10.1080/20961790.2019.1697060>
- Cunningham, C., Scheuer, L., & Black, S. (2016a). *Developmental juvenile osteology*. Academic press.

- Cunningham, C., Scheuer, L., & Black, S. (2016b). *Developmental juvenile osteology*. Academic press.
- Curran, B. K., & Weaver, D. S. (1982). The use of the coefficient of agreement and likelihood ratio test to examine the development of the tympanic plate using a known-age sample of fetal and infant skeletons. *American Journal of Physical Anthropology*, 58(3), 343-346. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330580313>
- Currey, J., & Butler, G. (1975). The mechanical properties of bone tissue in children. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 57(6), 810-814.

D

- da Silva, Á. F. (1997). A evolução da rede urbana portuguesa (1801-1940). *Análise social*, 779-814.
- Dahm, M. C., Shepherd, R. K., & Clark, G. M. (1993). The Postnatal Growth of the Temporal Bone and its Implications for Cochlear Implantation in Children. *Acta Oto-Laryngologica*, 113(sup505), 4-39. <https://doi.org/10.3109/00016489309128539>
- De Luca, S., Pacifici, A., Pacifici, L., Polimeni, A., Fischetto, S. G., Velandia Palacio, L. A., Vanin, S., & Cameriere, R. (2016). Third molar development by measurements of open apices in an Italian sample of living subjects. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 38, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2015.11.007>
- De Oliveira, F. T., Soares, M. Q. S., Sarmiento, V. A., Rubira, C. M. F., Lauris, J. R. P., & Rubira-Bullen, I. R. F. (2015). Mandibular ramus length as an indicator of chronological age and sex. *International Journal of Legal Medicine*, 129(1), 195-201. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1077-y>
- De Sanctis, V., Di Maio, S., Soliman, A. T., Raiola, G., Elalaily, R., & Millimaggi, G. (2014). Hand X-ray in pediatric endocrinology: Skeletal age assessment and beyond. *Indian journal of endocrinology and metabolism*, 18(1), S63.
- Demirjian, A. (1990). Dentition. En F. Falkner & J. M. Tanner (Eds.), *Human Growth: A Comprehensive Treatise* (Vol. 2, pp. 269-297). Plenum.

- Demšar, J. (2006). Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. *The Journal of Machine learning research*, 7, 1-30.
- Dimeglio, A., Bonnel, F., & Canavese, F. (2020). The Growing Spine. En J. M. Vital & D. T. Cawley (Eds.), *Spinal Anatomy* (pp. 25-52). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20925-4_3
- Diméglio, A., Charles, Y. P., Daures, J.-P., de Rosa, V., & Kaboré, B. (2005). Accuracy of the Sauvegrain method in determining skeletal age during puberty. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 87(8), 1689-1696.

E

- Eagle, W. (1949). Symptomatic elongated styloid process report of two cases of styloid process–carotid artery syndrome with operation. *Archives of Otolaryngology*, 49(5), 490-503. <https://doi.org/10.1001/archotol.1949.03760110046003>
- Eby, T. L., & Nadol, J. B. (1986). Postnatal Growth of the Human Temporal Bone: Implications for Cochlear Implants in Children. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 95(4), 356-364. <https://doi.org/10.1177/000348948609500407>
- Elgenmark, O. (1946). The normal development of the ossification centres during infancy and childhood. A clinical, roentgenologic and statistical study. *Acta Paediat. Scand.*, 33(1), 79.

F

- Fazekas, I. G., & Kósa, F. (1978). *Forensic fetal osteology*. Akadémiai Kiadó.
- Feijóo García, G. (2010). *Cronología de la odontogénesis de los dientes permanentes en niños de la Comunidad de Madrid: Aplicación a la estimación de la edad dentaria*.
- Ferembach, D., Schwidetzky, I., & Stloukal, M. (1979). Recommandations pour déterminer l'âge et le sexe sur le squelette. *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 6(1), 7-45.

- Ferrante, L., & Cameriere, R. (2009). Statistical methods to assess the reliability of measurements in the procedures for forensic age estimation. *International Journal of Legal Medicine*, 123(4), 277-283. <https://doi.org/10.1007/s00414-009-0349-4>
- Ferrante, L., Skrami, E., Gesuita, R., & Cameriere, R. (2015). Bayesian calibration for forensic age estimation. *Statistics in Medicine*, 34(10), 1779-1790. <https://doi.org/10.1002/sim.6448>
- Figueiro, G., Irurita Olivares, J., & Alemán Aguilera, I. (2022). Age estimation in infant skeletal remains by measurements of the pars lateralis. *International Journal of Legal Medicine*, 136(6), 1675-1684. <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02867-1>
- Fradella, H. F., O'Neill, L., & Fogarty, A. (2004). The Impact of Daubert on Forensic Science. *Pepperdine Law Review*, 31(323), 323-362.
- Franklin, D., & Blau, S. (2020). Physical and virtual sources of biological data in forensic anthropology: Considerations relative to practitioner and/or judicial requirements. En *Statistics and probability in forensic anthropology* (pp. 17-45). Elsevier.
- Freitas, D., Maia, J., Beunen, G., Lefevre, J., Claessens, A., Marques, A., Rodrigues, A., Silva, C., Crespo, M., Thomis, M., & others. (2004). Skeletal maturity and socio-economic status in Portuguese children and youths: The Madeira growth study. *Annals of Human biology*, 31(4), 408-420.
- Fushiki, T. (2011). Estimation of prediction error by using K-fold cross-validation. *Statistics and Computing*, 21(2), 137-146. <https://doi.org/10.1007/s11222-009-9153-8>

G

- Galdames, I. S., Matamala, D. A. Z., & Smith, R. L. (2008). Sex Determination Using Mastoid Process Measurements in Brazilian Skulls. *International Journal of Morphology*, 26, 941-944.
- Galić, I., Mihanović, F., Giuliadori, A., Conforti, F., Cingolani, M., & Cameriere, R. (2016). Accuracy of scoring of the epiphyses at the knee joint (SKJ) for assessing legal adult age of 18 years. *International*

- Journal of Legal Medicine*, 130(4), 1129-1142.
<https://doi.org/10.1007/s00414-016-1348-x>
- Galvis-Blanco, S. J., Duarte-Bueno, L. M., Villarreal-Gómez, A., Niño-Tovar, M. A., Africano-León, M. L., & Ortega-Sierra, O. L. (2022). Enfermedad ósea metabólica del prematuro: Revisión de tema. *Medicas UIS*, 35(2).
- Garamendi, P. M., Landa, M. I., Botella, M. C., & Alemán, I. (2011). Forensic Age Estimation on Digital X-ray Images: Medial Epiphyses of the Clavicle and First Rib Ossification in Relation to Chronological Age*,†. *Journal of Forensic Sciences*, 56(s1), S3-S12.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01626.x>
- García-Mancuso, R., Inda, A. M., & Salceda, S. A. (2016). Age Estimation by Tympanic Bone Development in Foetal and Infant Skeletons: Age estimation by tympanic fusion and development. *International Journal of Osteoarchaeology*, 26(3), 544-548.
<https://doi.org/10.1002/oa.2428>
- Garn, S. M. (1981). The growth of growth. *American Journal of Physical Anthropology*, 56(4), 521-530.
- Garn, S. M., Sandusky, S. T., Rosen, N. N., & Trowbridge, F. (1973). Economic impact on postnatal ossification. *American journal of physical anthropology*, 38(1), 1-3.
- Geisser, S. (1975). The predictive sample reuse method with applications. *Journal of the American statistical Association*, 70(350), 320-328.
- Getz, S. M. (2020). The use of transition analysis in skeletal age estimation. *WIREs Forensic Science*, 2(6).
<https://doi.org/10.1002/wfs2.1378>
- Godinho, V. M. (2019). *Estrutura da antiga sociedade portuguesa*. Leya.
- González-Martín, A. (2008). Mitos y realidades en torno a la excavación, el tratamiento y el estudio de los restos arqueológicos no-adultos. *Nasciturus, infans, puerulus vobis mater terra: la muerte en la infancia*, 57-76.

- Gordon, C., Halton, J., Atkinson, S., & Webber, C. (1991). The contributions of growth and puberty to peak bone mass. *Growth, development, and aging: GDA*, 55(4), 257-262.
- Greulich, W. W., & Pyle, S. I. (1959). Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. *The American Journal of the Medical Sciences*, 238(3), 393.
- Guy, H., Masset, C., & Baud, C. (1997). Infant Taphonomy. *Journal Osteoarchaeology*, 7, 221-229.

H

- Hackman, L., & Black, S. (2013). The Reliability of the Greulich and Pyle Atlas When Applied to a Modern Scottish Population. *Journal of forensic sciences*, 58(1), 114-119.
- Hauser, G., & De Stefano, G. F. (1989). *Epigenetic variants of the human skull*.
- Hauspie, R. C., Chrzastek-Spruch, H., Verleye, G., Kozłowska, M. A., & Susanne, C. (1996). Determinants of growth in body length from birth to 6 years of age: A longitudinal study of Lublin children. *American Journal of Human Biology*, 8(1), 21-29. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6300\(1996\)8:1<21::AID-AJHB2>3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6300(1996)8:1<21::AID-AJHB2>3.0.CO;2-T)
- Hoppa, R. D., & Vaupel, J. W. (2008). *Paleodemography: Age distributions from skeletal samples* (Vol. 31). Cambridge University Press.
- Househam, K., & De Villiers, J. (1987). Computed tomography in severe protein energy malnutrition. *Archives of disease in childhood*, 62(6), 589-592.
- Humphrey, L. T. (2000). Growth studies of past populations: An overview and an example. En M. Cox & S. Mays (Eds.), *Human osteology in archaeology and forensic sciences*. (pp. 23-38). Greenwich Medical Media Ltd.

- Humphrey, L. T., & Scheuer, L. (2006). Age of closure of the foramen of Huschke: An osteological study. *International Journal of Osteoarchaeology*, 16(1), 47-60. <https://doi.org/10.1002/oa.807>
- Humphries, A. L. (2011). Basic juvenile skeletal anatomy and growth and development. En *The juvenile skeleton in forensic abuse investigations* (pp. 19-31). Springer.
- Hurme, V. O. (1949). Ranges of normalcy in the eruption of permanent teeth. *J Dent Child*, 16, 11-15.
- Huxley, A. K. (2005). Gestational Age Discrepancies Due to Acquisition Artifact in the Forensic Fetal Osteology Collection at the National Museum of Natural History, Smithsonian Institution, USA. *American Journal of Forensic Medicine & Pathology*, 26(3), 216-220. <https://doi.org/10.1097/01.paf.0000176281.96564.29>

I

- Irurita, J. (2014). *Estimación de la edad de individuos infantiles en antropología forense. Resultados para la edad dental en una muestra de origen mediterráneo* [PhD Thesis]. Universidad de Granada.
- Irurita, J., Alemán, I., López-Lázaro, S., Viciano, J., & Botella, M. C. (2014). Chronology of the development of the deciduous dentition in Mediterranean population. *Forensic science international*, 240, 95-103.
- Irurita, J., Alemán, I., Viciano, J., López-Lázaro, S., & Botella, M. C. (2015). Alterations of skull bones found in anencephalic skeletons from an identified osteological collection. Two case reports. *International Journal of Legal Medicine*, 129(4), 903-912. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1123-9>
- Irurita Olivares, J., & Alemán Aguilera, I. (2016). Validation of the sex estimation method elaborated by Schutkowski in the Granada Osteological Collection of identified infant and young children: Analysis of the controversy between the different ways of analyzing and interpreting the results. *International Journal of Legal Medicine*, 130(6), 1623-1632.

- Irurita Olivares, J., & Alemán Aguilera, I. (2017). Proposal of new regression formulae for the estimation of age in infant skeletal remains from the metric study of the pars basilaris. *International Journal of Legal Medicine*, 131(3), 781-788. <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1478-1>
- Irurita Olivares, J., Alemán Aguilera, I., Viciano Badal, J., De Luca, S., & Botella Lopez, M. C. (2014). Evaluation of the maximum length of deciduous teeth for estimation of the age of infants and young children: Proposal of new regression formulas. *International journal of legal medicine*, 128, 345-352.

J

- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2015). *An introduction to statistical learning with applications in R* (Springer-Verlag New York).
- Jeffery, N., & Spoor, F. (2004). Prenatal growth and development of the modern human labyrinth. *Journal of Anatomy*, 204(2), 71-92. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2004.00250.x>

K

- Katzenberg, M. A., & Grauer, A. L. (2018). *Biological anthropology of the human skeleton*. John Wiley & Sons.
- Kemkes, A., & Göbel, T. (2006). Metric Assessment of the “Mastoid Triangle” for Sex Determination: A Validation Study. *Journal of Forensic Sciences*, 51(5), 985-989. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00232.x>
- Kim, J. R., Lee, Y. S., & Yu, J. (2015). Assessment of bone age in prepubertal healthy Korean children: Comparison among the Korean standard bone age chart, Greulich-Pyle method, and Tanner-Whitehouse method. *Korean journal of radiology*, 16(1), 201-205.
- Koc, A., Karaoglanoglu, M., Erdogan, M., Kosecik, M., & Cesur, Y. (2001). Assessment of bone ages: Is the Greulich-Pyle method sufficient for Turkish boys? *Pediatrics international*, 43(6), 662-665.

- Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *Ijcai*, 14(2), 1137-1145.
- Konigsberg, L. W. (2015). Multivariate cumulative probit for age estimation using ordinal categorical data. *Annals of Human Biology*, 42(4), 368-378. <https://doi.org/10.3109/03014460.2015.1045430>
- Konigsberg, L. W., & Frankenberg, S. R. (2013). Bayes in biological anthropology: Bayes in Biological Anthropology. *American Journal of Physical Anthropology*, 152, 153-184. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22397>
- Konigsberg, L. W., Frankenberg, S. R., & Liversidge, H. M. (2019). Status of mandibular third molar development as evidence in legal age threshold cases. *Journal of forensic sciences*, 64(3), 680-697.
- Konigsberg, L. W., Herrmann, N. P., Wescott, D. J., & Kimmerle, E. H. (2008). Estimation and Evidence in Forensic Anthropology: Age-at-Death. *Journal of Forensic Sciences*, 53(3), 541-557. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00710.x>
- Krämer, J. A., Schmidt, S., Jürgens, K.-U., Lentschig, M., Schmeling, A., & Vieth, V. (2014). Forensic age estimation in living individuals using 3.0 T MRI of the distal femur. *International journal of legal medicine*, 128, 509-514.
- Krmpotić-Nemanić, J., Padovan, I., Vinter, I., & Jalšovec, D. (1999). Prenatal and postnatal development of the tympanic portion of the temporal bone. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 181(6), 593-595.
- Krogman, W. (1962). *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Charles C. Thomas, Publisher.
- Kronfeld, R. (1935). Development and calcification of the human deciduous and permanent dentition. *Bur*, 15, 18-25.
- Kutner, M., Nachtsheim, C., & Neter, J. (2005). *Applied linear statistical models*. McGraw-Hill/Irwin, New York.

L

- Lampl, M., & Jeanty, P. (2003). Timing is everything: A reconsideration of fetal growth velocity patterns identifies the importance of individual and sex differences. *American Journal of Human Biology*, 15(5), 667-680. <https://doi.org/10.1002/ajhb.10204>
- Langley-Shirley, N., & Jantz, R. L. (2010). A Bayesian Approach to Age Estimation in Modern Americans from the Clavicle*. *Journal of Forensic Sciences*, 55(3), 571-583. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01089.x>
- Lao, O., Lu, T. T., Nothnagel, M., Junge, O., Freitag-Wolf, S., Caliebe, A., Balascakova, M., Bertranpetit, J., Bindoff, L. A., Comas, D., Holmlund, G., Kouvatsi, A., Macek, M., Mollet, I., Parson, W., Palo, J., Ploski, R., Sajantila, A., Tagliabracci, A., ... Kayser, M. (2008). Correlation between Genetic and Geographic Structure in Europe. *Current Biology*, 18(16), 1241-1248. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.07.049>
- Laor, T., & Jaramillo, D. (2009). MR imaging insights into skeletal maturation: What is normal? *Radiology*, 250(1), 28-38.
- Larose, D. T. (2015). *Data mining and predictive analytics*. John Wiley & Sons.
- Larsen, C. S. (2015). *Bioarchaeology: Interpreting behavior from the human skeleton* (Vol. 69). Cambridge University Press.
- Latarjet, M., & Ruiz Liard, A. (2019). *Anatomía humana* (5ª ed). Médica Panamericana.
- Lesciotto, K. M. (2015). The Impact of *Daubert* on the Admissibility of Forensic Anthropology Expert Testimony. *Journal of Forensic Sciences*, 60(3), 549-555. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12740>
- Lewis, A. B., & Garn, S. M. (1960). The relationship between tooth formation and other maturational factors. *The Angle Orthodontist*, 30(2), 70-77.
- Lewis, M. (2017). *Paleopathology of Children: Identification of Pathological Conditions in the Human Skeletal Remains of Non-Adults*. Academic Press.

- Lewis, M. E. (2007). *The bioarchaeology of children: Perspectives from biological and forensic anthropology* (Vol. 50). Cambridge University Press.
- Lewis, M. E., & Flavel, A. (2006). Age Assessment of Child Skeletal Remains in Forensic Contexts. En A. Schmitt, E. Cunha, & J. Pinheiro (Eds.), *Forensic Anthropology and Medicine* (pp. 243-257). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-099-7_10
- Lewis, M. E., & Rutty, G. N. (2003). The endangered child: The personal identification of children in forensic anthropology. *Science & Justice*, 43(4), 201-209. [https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(03\)71777-8](https://doi.org/10.1016/S1355-0306(03)71777-8)
- Lin, L. (1989). A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics*, 255-268.
- Liversidge, H. M., Lyons, F., & Hector, M. P. (2003). The accuracy of three methods of age estimation using radiographic measurements of developing teeth. *Forensic Science International*, 131(1), 22-29. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(02\)00373-0](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(02)00373-0)
- Liversidge, H. M., & Molleson, T. (2004). Variation in crown and root formation and eruption of human deciduous teeth. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 123(2), 172-180.
- Liversidge, H. M., & Molleson, T. I. (1999). Developing permanent tooth length as an estimate of age. *Journal of Forensic Sciences*, 44(5), 917-920.
- López, J., & Muñoz, G. (2006). El Cementerio Municipal de San José en Memoria de Granada. *Granada: EMUCESA*, 19-39.
- López Lázaro, S. (2016). *Análisis de morfometría geométrica en dentición humana. Estimación del sexo en población mediterránea*. Universidad de Granada. <http://hdl.handle.net/10481/40618>
- López-Costas, O., Rissech, C., Tranco, G., & Turbón, D. (2012). Postnatal ontogenesis of the tibia. Implications for age and sex estimation. *Forensic science international*, 214(1-3), 207-e1.
- Lottering, N., MacGregor, D. M., Alston, C. L., Watson, D., & Gregory, L. S. (2016). Introducing Computed Tomography Standards for Age

- Estimation of Modern Australian Subadults Using Postnatal Ossification Timings of Select Cranial and Cervical Sites . *Journal of Forensic Sciences*, 61, S39-S52. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12956>
- Lucy, D. (2013). *Introduction to statistics for forensic scientists*. John Wiley & Sons.
- Luna, L. H., Aranda, C. M., Monge Calleja, Á. M., & Santos, A. L. (2021). Test of the auricular surface sex estimation method in fetuses and non-adults under 5 years old from the Lisbon and Granada Reference Collections. *International Journal of Legal Medicine*, 135(3), 993-1003. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02431-9>
- Lupu, G., Popescu, D., Panus, V., & Popescu, G. (2010). Ontogenetic landmarks of the organ of hearing in fetal age determination. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 18(2), 129-132. <https://doi.org/10.4323/rjlm.2010.129>

M

- MacKenzie, D. A. (1981). *Statistics in Britain, 1865-1930: The social construction of scientific knowledge*. Edinburgh University Press Edinburgh.
- Mancho, A., & Marta-Lazo, C. (2021). Los niños robados desde la Guerra Civil en la historia reciente de España. *Ayer. Revista de Historia Contemporánea*, 122(2), 187-213. <https://doi.org/10.55509/ayer/122-2021-08>
- Maresh, M. M. (1970). Maresh, M. M. (1970). Measurements from roentgenograms, heart size, long bone lengths, bone, muscles and fat widths, skeletal maturation. En R. W. McCannon (Ed.), *Human growth and development* (pp. 155-200). Charles C. Thomas, Publisher.
- Márquez-Grant, N., Muñoz Villarreal, A., & López-Costas, O. (2015). Restos humanos subadultos: Cuestiones prácticas en antropología forense. En M. C. Sanabria (Ed.), *Patología y antropología forense de la muerte: La investigación científico-judicial de la muerte y la tortura, desde las fosas clandestinas, hasta la audiencia pública* (pp. 25-60). Colombia: Forensic Publisher.

- Marshall, W. (1974). Interrelationships of skeletal maturation, sexual development and somatic growth in man. *Annals of human biology*, 1(1), 29-40.
- McBride, G. (2005). A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. *NIWA client report: HAM2005-062*, 45, 307-310.
- McBride, G. (2014). A proposal for strength of agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient [NIWA client report: HAM2005-062]. May, 2005. *ICH and PHE segmentations. However, UNet tends to have more false positives (Table E2) for IVH segmentation compared with DiceCE (Dice and cross-entropy) and D, 2.*
- Mentzel, H.-J., Vilser, C., Eulenstein, M., Schwartz, T., Vogt, S., Böttcher, J., Yaniv, I., Tsoref, L., Kauf, E., & Kaiser, W. A. (2005). Assessment of skeletal age at the wrist in children with a new ultrasound device. *Pediatric radiology*, 35, 429-433.
- Meredith, H. V. (1959). Change in a dimension of the frontal bone during childhood and adolescence. *The Anatomical Record*, 134(4), 769-780. <https://doi.org/10.1002/ar.1091340409>
- Miller, J. Z., Slemenda, C. W., Meaney, F. J., Reister, T. K., Hui, S., & Johnston, C. C. (1991). The relationship of bone mineral density and anthropometric variables in healthy male and female children. *Bone and mineral*, 14(2), 137-152.
- Molleson, T., & Cox, M. (1993). *The Spitalfields project: Vol. 2: The anthropology, the middling sort*. Council for British Archaeology.
- Monum, T., Makino, Y., Prasitwattanaseree, S., Yajima, D., Chiba, F., Torimitsu, S., Hoshioka, Y., Yoshida, M., Urabe, S., Oya, Y., & Iwase, H. (2020). Age estimation from ossification of sternum and true ribs using 3D post-mortem CT images in a Japanese population. *Legal Medicine*, 43, 101663. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2019.101663>
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., Vining, G. G., & Robinson, T. J. (2012). *Generalized linear models: With applications in engineering and the sciences*. John Wiley & Sons.

N

- Nadal, J. (1984). *La población española: Siglos XVI a XX* (Vol. 12). Ariel.
- Nagaoka, T., Abe, M., & Shimatani, K. (2012). Estimation of mortality profiles from non-adult human skeletons in Edo-period Japan. *Anthropological Science*, 120(2), 115-128. <https://doi.org/10.1537/ase.1107312>
- Nagaoka, T., & Kawakubo, Y. (2015a). Using the petrous part of the temporal bone to estimate fetal age at death. *Forensic Science International*, 248, 188.e1-188.e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.01.009>
- Nagaoka, T., & Kawakubo, Y. (2015b). Using the petrous part of the temporal bone to estimate fetal age at death. *Forensic Science International*, 248, 188.e1-188.e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.01.009>
- Navadijo, M. P. (2023). *DIAGNÓSTICO DE SEXO Y EDAD EN LA CAJA TORÁCICA MEDIANTE ANÁLISIS ÓSEO Y DE IMÁGENES 3D*.
- Nemzek, W. R., Brodie, H. A., Chong, B. W., Babcook, C. J., Hecht, S. T., Salamat, S., Ellis, W. G., & Seibert, J. A. (1996). *Imaging Findings of the Developing Temporal Bone in Fetal Specimens*. 11.
- Nikita, E., & Nikitas, P. (2020). Sex estimation: A comparison of techniques based on binary logistic, probit and cumulative probit regression, linear and quadratic discriminant analysis, neural networks, and naïve Bayes classification using ordinal variables. *International Journal of Legal Medicine*, 134(3), 1213-1225. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02148-4>
- Novembre, J., Johnson, T., Bryc, K., Kutalik, Z., Boyko, A. R., Auton, A., Indap, A., King, K. S., Bergmann, S., Nelson, M. R., Stephens, M., & Bustamante, C. D. (2008). Genes mirror geography within Europe. *Nature*, 456(7218), 98-101. <https://doi.org/10.1038/nature07331>

O

- Obertová, Z., Stewart, A., & Cattaneo, C. (2020). *Statistics and probability in forensic anthropology*. Academic Press.

- Okumura, M. M. M., Boyadjian, C. H., & Eggers, S. (2007). Auditory exostoses as an aquatic activity marker: A comparison of coastal and inland skeletal remains from tropical and subtropical regions of Brazil. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 132(4), 558-567.
- Ousley, S. D., & Hollinger, R. E. (2012). The Pervasiveness of Daubert. En D. C. Dirkmaat (Ed.), *A Companion to Forensic Anthropology* (1.^a ed., pp. 654-665). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781118255377.ch32>

P

- Paterson, R. (1929). A radiological investigation of the epiphyses of the long bones. *Journal of Anatomy*, 64(Pt 1), 28.
- Pedersen, J. F. (1982). Fetal crown-rump length measurement by ultrasound in normal pregnancy. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 89(11), 926-930.
- Pedreño, J. M. (2003). Definición y objeto de la recuperación de la memoria histórica. *Foro por la Memoria*.
- Pérez, C. P., Olivares, J. I., & Aguilera, I. A. (2017). Validation methods of Fazekas and Kósa and Molleson and Cox for age estimation of the ilium in Western Mediterranean non-adult population: Proposal of new regression formulas. *International Journal of Legal Medicine*, 131(3), 789-795. <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1475-4>
- Petaros, A., Caplova, Z., Verna, E., Adalian, P., Baccino, E., de Boer, H. H., Cunha, E., Ekizoglu, O., Ferreira, M. T., Fracasso, T., Kranioti, E. F., Lefevre, P., Lynnerup, N., Ross, A., Steyn, M., Obertova, Z., & Cattaneo, C. (2021). Technical Note: The Forensic Anthropology Society of Europe (FASE) Map of Identified Osteological Collections. *Forensic Science International*, 328, 110995. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110995>
- Pfau, R., & Sciulli, P. (1994). A method for establishing the age of subadults. *Journal of Forensic Sciences*, 39(1), 165-176.

- Piercecchi-Marti, M.-D., Leonetti, G., Adalian, P., Maczel, M., Dutour, O., Bourliere-Najean, B., & Gouvernet, J. (2002). Validation of a radiographic method to establish new fetal growth standards: Radio-anatomical correlation. *Journal of forensic sciences*, 47(2), 328-331.
- Pimenta, J., Lopes, A. M., Carracedo, A., Arenas, M., Amorim, A., & Comas, D. (2019). Spatially explicit analysis reveals complex human genetic gradients in the Iberian Peninsula. *Scientific Reports*, 9(1), 7825. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44121-6>
- Prieto, J. L., Barbería, E., Ortega, R., & Magaña, C. (2005). Evaluation of chronological age based on third molar development in the Spanish population. *International Journal of Legal Medicine*, 119(6), 349-354. <https://doi.org/10.1007/s00414-005-0530-3>
- Pyle, S. L., & Hoerr, N. L. (1955). *Radiographie Atlas of Skeletal Development of the Knee*. Charles C. Thomas, Publisher.

R

- Rebato, E. (1998). The studies on secular trend in Spain: A review. En E. Bodzsar & C. Susanne (Eds.), *Secular growth changes in Europe* (pp. 279-317). Eötvös University Press. <http://hdl.handle.net/2013/ULB-DIPOT:oai:dipot.ulb.ac.be:2013/107781>
- Reinhard, R., & Rösing, F. W. (1985). *Ein Literaturüberblick über Definitionen diskreter Merkmale/anatomischer Varianten am Schädel de Mensen*. Selbstverlag der Autoren.
- Rhine, S., & Sperry, K. (1991). Radiographic identification by mastoid sinus and arterial pattern. *Journal of Forensic Sciences*, 36(1), 272-279.
- Rissech, C. (2008). Estimación de la edad biológica de los restos subadultos. En *Nasciturus, infans, puerulus vobis mater terra: La muerte en la infancia* (pp. 77-92). Servei d'Investigacions Arqueològiques i Prehistòriques.
- Rissech, C., & Black, S. (2007). Scapular development from the neonatal period to skeletal maturity: A preliminary study. *International Journal of Osteoarchaeology*, 17(5), 451-464. <https://doi.org/10.1002/oa.890>

- Rissech, C., García, M., & Malgosa, A. (2003). Sex and age diagnosis by ischium morphometric analysis. *Forensic Science International*, 135(3), 188-196. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(03\)00215-9](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(03)00215-9)
- Rissech, C., López-Costas, O., & Turbón, D. (2013). Humeral development from neonatal period to skeletal maturity—Application in age and sex assessment. *International Journal of Legal Medicine*, 127(1), 201-212. <https://doi.org/10.1007/s00414-012-0713-7>
- Rissech, C., Schaefer, M., & Malgosa, A. (2008). Development of the femur—Implications for age and sex determination. *Forensic Science International*, 180(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.06.006>
- Ritz-Timme, S., Cattaneo, C., Collins, M. J., Waite, E. R., Schütz, H. W., Kaatsch, H.-J., & Borrman, H. I. M. (2000). Age estimation: The state of the art in relation to the specific demands of forensic practise. *International Journal of Legal Medicine*, 113(3), 129-136. <https://doi.org/10.1007/s004140050283>
- Rodrigues, T. F. (2010). A população portuguesa. Das longas permanências à conquista da modernidade. En M. C. M. Pereira (Ed.), *População e Sociedade: Dinâmicas e perspectivas demográficas do Portugal contemporâneo*. (pp. 21-42). CEPESE e Edições Afrontamiento.
- Ronchetti, E. M., & Huber, P. J. (2009). *Robust statistics*. John Wiley & Sons Hoboken, NJ, USA.

S

- Sadler, T. W. (2015). *Langman. Embriología Médica, 13e*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Saint-Martin, P., Rérolle, C., Dedouit, F., Bouilleau, L., Rousseau, H., Rougé, D., & Telmon, N. (2013). Age estimation by magnetic resonance imaging of the distal tibial epiphysis and the calcaneum. *International journal of legal medicine*, 127, 1023-1030.
- Sánchez, D., & Martín, M. (2006). Historia y Contenido de un Lugar para la Memoria y Culto en Memoria de Granada. *Granada: EMUCESA*, 19-39.

- Santos, A. L. (2020). A particular heritage: The importance of identified osteological collections. *Metode Science Studies Journal*, 10, 91-97.
- Sanz, A., & Ramiro, D. (2002). *La caída de la mortalidad en la infancia en la España interior, 1860-1960: Un análisis de las causas de muerte*.
- Saunders, S. R. (2008). Juvenile Skeletons and Growth-Related Studies. En *Biological Anthropology of the Human Skeleton* (pp. 115-147). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470245842.ch4>
- Schaefer, M., Black, S. M., Schaefer, M. C., & Scheuer, L. (2009). *Juvenile osteology*. Elsevier.
- Schell, L. M. (1981). Environmental noise and human prenatal growth. *American Journal of Physical Anthropology*, 56(1), 63-70. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330560107>
- Scheuer, L., & Black, S. (2000). *Developmental Juvenile Osteology*. Academic.
- Scheuer, L., & Black, S. (2004). *The juvenile skeleton*. Elsevier.
- Scheuer, L., & MacLaughlin-Black, S. (1994). Age estimation from the pars basilaris of the fetal and juvenile occipital bone. *International Journal of Osteoarchaeology*, 4(4), 377-380.
- Schmeling, A., Geserick, G., Reisinger, W., & Olze, A. (2007). Age estimation. *Forensic science international*, 165(2-3), 178-181.
- Schmeling, A., Grundmann, C., Fuhrmann, A., Kaatsch, H.-J., Knell, B., Ramsthaler, F., Reisinger, W., Riepert, T., Ritz-Timme, S., Rösing, F. W., Röttscher, K., & Geserick, G. (2008). Criteria for age estimation in living individuals. *International Journal of Legal Medicine*, 122(6), 457-460. <https://doi.org/10.1007/s00414-008-0254-2>
- Schmidt, H., & Dahm, P. (1977). Die postnatale Entwicklung des menschlichen Os temporale. Teil II. Pars mastoidea, Pars tympanica und Facies lateralis ossis temporalis. *Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch*, 123, 589-620.
- Schour, I., & Massler, M. (1941). The development of the human dentition. *Journal of the American Dental Association*, 28, 1153-1160.

- Schulz, R., Mühler, M., Mutze, S., Schmidt, S., Reisinger, W., & Schmeling, A. (2005). Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans. *International journal of legal medicine*, 119, 142-145.
- Schutkowski, H. (1989). *Beitrag zur Alters- und Geschlechtsdiagnose am Skelett nichterwachsener Individuen*. 1-9.
- Schutkowski, H. (1993). Sex determination of infant and juvenile skeletons: I. Morphognostic features. *American journal of physical anthropology*, 90(2), 199-205.
- Simms, D. L., & Neely, J. G. (1989a). Growth of the lateral surface of the temporal bone in children. *The Laryngoscope*, 99(8), 795-799. <https://doi.org/10.1288/00005537-198908000-00005>
- Simms, D. L., & Neely, J. G. (1989b). Thickness of the Lateral Surface of the Temporal Bone in Children. *Annals of Otology, Rhinology & Laryngology*, 98(9), 726-731. <https://doi.org/10.1177/000348948909800913>
- Smith, B. H. (1991a). Standards of human tooth formation and dental age assessment. En M. A. Kelley & C. Spencer Larsen (Eds.), *Advances in Dental Anthropology* (pp. 143-168). Wiley-Liss, Inc.
- Smith, B. H. (1991b). *Standards of human tooth formation and dental age assessment*. Wiley-Liss Inc.
- Smith, D. E. M., Humphrey, L. T., & Cardoso, H. F. V. (2021). Age estimation of immature human skeletal remains from mandibular and cranial bone dimensions in the postnatal period. *Forensic Science International*, 327, 110943. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110943>
- Smith, S. L. (2007). Stature Estimation of 3–10-Year-Old Children from Long Bone Lengths. *Journal of Forensic Sciences*, 52(3), 538-546. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00428.x>
- Solari, A. C., & Abramovitch, K. (2002). The accuracy and precision of third molar development as an indicator of chronological age in Hispanics. *Journal of forensic sciences*, 47(3), 531-535.

- Spake, L., Blau, S., & Cardoso, H. (2021). The impact of forensic mortality bias in juvenile age estimation. *Eur. J. Anat*, 25, 129-146.
- Spake, L., & Cardoso, H. F. V. (2018). Are we using the appropriate reference samples to develop juvenile age estimation methods based on bone size? An exploration of growth differences between average children and those who become victims of homicide. *Forensic Science International*, 282, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.10.041>
- Specker, B. L., Brazerol, W., Tsang, R. C., Levin, R., Searcy, J., & Steichen, J. (1987). Bone mineral content in children 1 to 6 years of age: Detectable sex differences after 4 years of age. *American Journal of Diseases of Children*, 141(3), 343-344.
- Steinmann, E. P. (1970). A New Light on the Pathogenesis of the Styloid Syndrome. *Archives of Otolaryngology*, 91(2), 171-174. <https://doi.org/10.1001/archotol.1970.00770040241013>
- Stempflé, N., Hutten, Y., Fondacci, C., Lang, T., Hassan, M., & Nessmann, C. (1995). Fetal bone age revisited: Proposal of a new radiographic score. *Pediatric Radiology*, 25(7), 551-555. <https://doi.org/10.1007/BF02015793>
- Susanne, C., Bodzsar, E., Bielicki, T., Hauspie, R., Hulanicka, B., & Lepage, Y. (2001). Changements séculaires de la croissance et du développement en Europe. *Antropo*, 1, 71-90.

T

- Taboada, L. Á. (2014). Las denuncias en los casos de los «niños robados». Perspectiva histórico-legal. En M. Casado & J. J. López Ortega, *Desapariciones forzadas de niños en Europa y Latinoamérica. Del convenio de la ONU a las búsquedas a través de ADN*. (p. 279). Universidad de Barcelona.
- Tanner, J. M. (1981). *A history of the study of human growth*. Cambridge university press.
- Tanner, J. M. (1990). *Foetus into man: Physical growth from conception to maturity*. Harvard University Press.

- Tanner, J. M., Whitehouse, R., Marshall, W., Healy, M. J., & Goldestein, H. (1975). *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2~ Method)*. Academic Press.
- Tanner, J. M., Whitehouse, R., & Takaishi, M. (1966). Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity: British children, 1965. II. *Archives of disease in childhood*, 41(220), 613.
- Thillaud, P. L. (1996). *Paléopathologie humaine* (Vol. 1). Kronos BY éditions.
- Thornton, R., Edkins, A. L., & Hutchinson, E. F. (2020). Contributions of the pars lateralis, pars basilaris and femur to age estimations of the immature skeleton within a South African forensic setting. *International Journal of Legal Medicine*, 134(3), 1185-1193. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02143-9>
- Tobias, P. V. (1991). On the scientific, medical, dental and educational value of collections of human skeletons. *International Journal of Anthropology*, 6(3), 277-280.
- Todd, T. W. (1920). Age changes in the pubic bone. I. The male white pubis. *American journal of physical anthropology*, 3(3), 285-334.
- Todd, T. W. (1937). *Atlas of Skeletal Maturation*. The C.V. Mosby Company.
- Todd, T. W., & D'Errico Jr, J. (1928). The clavicular epiphyses. *American Journal of Anatomy*, 41(1), 25-50.

U

- Ubelaker, D. H. (1987). Estimating age at death from immature human skeletons: An overview. *Journal of Forensic Science*, 32(5), 1254-1263.

V

- Vallois, H. V. (1937). La durée de la vie chez l'homme fossile. *L'anthropologie*, 47, 499-532.
- Valsecchi, A., Irurita Olivares, J., & Mesejo, P. (2019). Age estimation in forensic anthropology: Methodological considerations about the

- validation studies of prediction models. *International Journal of Legal Medicine*, 133(6), 1915-1924. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02064-7>
- Viciano, J. (2013). *Métodos odontométricos para la estimación del sexo en individuos adultos y subadultos*. Universidad de Granada.
- Vu, H. L., Panchal, J., Parker, E. E., Levine, N. S., & Francel, P. (2001). The Timing of Physiologic Closure of the Metopic Suture: A Review of 159 Patients Using Reconstructed 3D CT Scans of the Craniofacial Region. *Journal of Craniofacial Surgery*, 12(6). https://journals.lww.com/jcraniofacialsurgery/fulltext/2001/11000/the_timing_of_physiologic_closure_of_the_metopic.5.aspx
-
- Wang, R.-G., Bingham, B., Hawke, M., Kwok, P., & Li, J. (1991). Persistence of the foramen of Huschke in the adult: An osteological study. *The Journal of otolaryngology*, 20(4), 251-253.
- Warren, M. (1999). Radiographic determination of developmental age in fetuses and stillborns. *Journal of forensic sciences*, 44(4), 708-712.
- Waschke, J., Koch, M., Kürten, S., Schulze-Tanzil, G., & Spittau, B. (2018). *Sobotta. Texto de anatomía*. Elsevier Health Sciences.
- WEA, W. of E. A. (1980). Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons. *Journal of Human Evolution*, 9, 517-549.
- Weaver, D. S. (1979). Application of the likelihood ratio test to age estimation using the infant and child temporal bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 50(2), 263-269. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330500216>
- Wilcoxon, F. (1992). *Individual comparisons by ranking methods*. Springer.
- Willey, P. (2016). Stature Estimation. En S. Blau & D. H. Ubelaker (Eds.), *Handbook of forensic anthropology and archaeology* (pp. 308-321). Routledge.

Willmott, C. J., & Matsuura, K. (2005). Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*, 30(1), 79-82.

Wittschieber, D., Schmeling, A., Schmidt, S., Heindel, W., Pfeiffer, H., & Vieth, V. (2013). The Risser sign for forensic age estimation in living individuals: A study of 643 pelvic radiographs. *Forensic science, medicine, and pathology*, 9, 36-43.

Y

Young, R. W. (1957). Postnatal growth of the frontal and parietal bones in white males. *American Journal of Physical Anthropology*, 15(3), 367-386. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330150316>

Z

Zabet, D., Rérolle, C., Pucheux, J., Telmon, N., & Saint-Martin, P. (2015). Can the Greulich and Pyle method be used on French contemporary individuals? *International Journal of Legal Medicine*, 129, 171-177.

Zoido Naranjo, F., & Arroyo Pérez, A. (2003). La población de España. En A. Arroyo Pérez (Ed.), *Tendencias demográficas durante el siglo XX en España* (pp. 19-75). Instituto Nacional de Estadística y Universidad de Sevilla.

Fontanella front.

Fontanella occipit

*Fontanella
sphenoid.*

*Fontanella
mastoid.*



UNIVERSIDAD
DE GRANADA