



TESIS DOCTORAL:

**ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE *INDIVIDUOS* INFANTILES  
EN ANTROPOLOGÍA FORENSE.  
RESULTADOS PARA LA EDAD DENTAL EN UNA  
MUESTRA DE ORIGEN MEDITERRÁNEO**

Programa de Doctorado en Biomedicina

AUTOR: Javier Irurita Olivares

DIRECTORA: Dra. Inmaculada Alemán Aguilera

*Granada, 2014*

Editor: Editorial de la Universidad de Granada  
Autor: Javier Irurita Olivares  
D.L.: GR 1846-2014  
ISBN: 978-84-9083-029-1











**Inmaculada Alemán Aguilera**, Profesora titular de Universidad, adscrita al Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Antropología Física de la Universidad de Granada

**Informa que:**

JAVIER IRURITA OLIVARES, Licenciado en Biología, ha realizado la Tesis Doctoral "ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE INDIVIDUOS INFANTILES EN ANTROPOLOGÍA FORENSE. RESULTADOS PARA LA EDAD DENTAL EN UNA MUESTRA DE ORIGEN MEDITERRÁNEO" en el Laboratorio de Antropología, del Departamento de Medicina Legal, Toxicología y Antropología Física de la Universidad de Granada, para aspirar al grado de Doctor, reuniendo las condiciones necesarias para ser presentada y defendida ante el Tribunal correspondiente.

Y para que así conste a los efectos oportunos, en cumplimiento de la legislación vigente, firmo el presente certificado.

en Granada, a 15 de Enero de 2014





El doctorando JAVIER IRURITA OLIVARES y la directora de la tesis INMACULADA ALEMÁN AGUILERA garantizamos, al firmar esta tesis doctoral, que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la dirección de los directores de la tesis y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

En Granada, a 15 de enero de 2014

Director/es de la Tesis

Doctorando

Fdo.: Inmaculada Alemán Aguilera

Fdo.:Javier Irurita olivares



## **AGRADECIMIENTOS**

Ea!, listo. Después de 5 años de darle a los botoncitos del ordenador y pelear por ver hacia donde apuntan 4 números (...más bien peleando por cualquier cosa); después de 10 ó 200 horas de fregantín, con momentos inolvidables acompañado de Evaristo, La Pepona, El Surfero, las momias y algún que otro niño mutante; después de unas 236 raciones de caracoles, croquetas, tortillas, más caracoles y, por lo menos por lo menos... 50 mantecados!; después de 5 años conociendo a gente magnífica, para después olvidarla y así poder volverla a conocer; y ante todo, después de pasarme 5 años disfrutando como un niño chico, puedo afirmar en primer lugar, que no cambiaría ni un minuto de este tiempo y, en segundo lugar, que HE TERMINADO LA TESIS.

Sin embargo, en honor a la verdad, sería más correcto decir que HEMOS TERMINADO LA TESIS, pues sin toda la ayuda recibida, sin el entorno tan "salao" del Laboratorio y sin toda la suerte que he tenido por haber caído donde estoy, habría sido imposible terminarla.

Desde el principio, el comité de bienvenida que me recibió ya auguraba buenos tiempos: Joan, Stefano y Fernando. Los tres parecían funcionar como una única mente pensante, pero que no pensaba mucho: Joan empezaba un chiste, Stefano lo terminaba (o al revés) y Fernando les ponía los puntos sobre las íes, y ellos solitos se desmadraban. Puedo considerarlos a los tres como mentores, guías o "papá patos" a los que yo seguía en mi papel de "patillo". Con el tiempo fui aprendiendo chistes (Taxi!) hasta que, poco a poco, me dejaron entrar en su círculo. Muchas gracias a los tres.



Como todo buen antropólogo, empecé mi trabajo con una visitica al cementerio. Allí, fuimos sacando poco a poco los esqueletillos que se han convertido en los protagonistas principales de esta Tesis. Por lo tanto, desde el primer día que empecé mi trabajo, y hasta que lo termine, espero que dentro de mucho años, estaré agradecido a José Antonio Muñoz, Director-Gerente de EMUCESA, a Maribel Martín, Coordinadora de Servicios, y a todo el personal de esta empresa, quienes siempre nos han ayudado, dedicándonos su tiempo y cariño y porque desde el principio han creído en nuestro trabajo. Gracias a ellos, éste ha sido posible.

Jeje, si es que pienso en ellos y me da la risa... "Ellos" son el Laboratorio, en su conjunto. Gracias a todas las personas que forman parte de él, he tenido ganas de madrugar durante todo este tiempo y los domingos eran un buen día porque ya estaba ahí el lunes (no os riáis!). Podría empezar por Sandra Mimimí Lázaro, a quien declaro culpable de todas las peleas que hemos tenido, pues lo único que tendría que haber hecho para evitarlas era estar de acuerdo conmigo. Por otro lado, aunque ella lo niegue, compartimos algún trozo de seso que hace que tengamos en común más de lo que a ella le gustaría. También agradezco su existencia a Mirjiana Mirimiri Uaaaaau, que con esa gracia y ese salero parece la más andaluza del Laboratorio (Nadal es mejor...). A Ángela porque, "de verdad... lo mejor del congreso fue haberte conocido" (y por no sacarme un brazo el día que no me leí el artículo). A la Doctora más Guay y a su amigo del sombrero, porque aunque haga trampas al Katán, siempre sorprende con cosas como sus "aplausos de flor" y es muy graciosa cuando puja; a Bea Eva, que hay que hacerle la pelota para que traiga más chocos; a Laura (no te apellido pubis que queda muy feo), por darnos a conocer esa magnífica tarta de huesitos. A todos los alumnos internos que han pasado por el Laboratorio, porque son los únicos que no me tratan como el mindundi que soy; a Sparky, a Julián, a los raros y a un laaaaargo etcétera de compañeros a los que no me da tiempo a citar porque se le acaba la tinta al ordenador.

Agradezco también haber compartido estos años con Carmen, Silvia y Rosa, porque desde el primer día, han estado ahí siempre que las he necesitado.

El Laboratorio es un concepto abstracto, que significa lo que a nosotros nos da la gana; por ese motivo tengo que incluir también en él a Elisa y a los Juan Antonios. He aprendido horrores con ellos (guiño), tanto en la sala de autopsias, como en los bares, como haciendo mantecados. No os relajéis que seguiremos dando la tabarra.

Imaginad una pirámide pero del revés; una construcción gigante, de millones de toneladas, que se sustenta en delicado equilibrio por tan solo un pequeño punto, responsable de que no se venga todo abajo. La pirámide sería la Facultad y en ese pequeño punto estarían Los Pepes y Los Pacos, a quienes visitamos entre una y tres veces al día para que nos recarguen las pilas, y gracias a los cuales (y a sus fresquitas) no perdemos la cabeza más de uno.

Hablando de bares me he acordado de Richard. Tengo que agradecerle la dedicación, el interés y el buen humor con el que me ha ayudado en las traducciones, con las revisiones y con las revisiones de las revisiones de las revisiones de los artículos.

Ya que he cogido carrerilla tengo que mencionar también a Los Húngaros. Para ser sinceros no tengo nada que agradecerles en relación a esta tesis; lo más que he conseguido de ellos por haberla hecho, es que me llamen "bicho raro". Sin embargo, me lo dicen los que aseguran curar el cáncer con el alpechín, los que cuentan Lemins, o no les gusta el jamón; los que tiran a gente casi a diario por un puente (mejor no sigo con estos que no acabo...), los que baten placentas y juegan a ser Dios con mutaciones y clonaciones, los que se parten tobillos haciendo carreras de contenedores, o los tienen carpetas forradas con los Teletubbies. Como digo, no tienen ni pizquita de culpa de que yo haya hecho esta tesis; no obstante, por derecho tienen que estar aquí, al igual que lo estarán siempre, haga lo que haga y donde quiera que vaya.

Creo que no debería haber entrado en este Laboratorio; ya me dieron puerta en algún otro porque, siendo sinceros, no tenía el mejor expediente de mi promoción... Sin embargo, Miguel Botella únicamente tuvo en cuenta mis ganas y curiosidad por la Antropología, lo cual fue suficiente para que me aceptara en el Laboratorio. Años después me ha contagiado por completo de su pasión por la Antropología, y le estoy enormemente agradecido, al igual que ahora agradezco que me cerraran las puertas previas a ésta.

Inmaculada Alemán. Me está costando escribir el parrafito que te corresponde (para los ajenos, es mi directora de Tesis). A ti es a la que más tengo que agradecer, no ya por este librito, que obviamente te pertenece igual que a mi, sino por todo en general, define eso lorito... Desisto de explicártelo por tanto, que lo único que puedo conseguir es decir menos de lo que te mereces. Solo espero que

nos queden muchos años trabajando juntos por delante, para ver si así da tiempo a devolverte todos los favores y buenos ratos que te debemos.

Y por último, ya no es agradecer, sino reconocer la suerte que tengo por tener esta familia. Limitándonos a lo que respecta a la realización de esta tesis (ya está bien de gastar folios), creo que he tenido una suerte enorme de tener una familia que reconozca y valore lo mucho que me importa lo que hago; y además comparta (sobre todo comparta) el sacrificio que supone hoy en día dedicarse a la investigación (y encima tienen burros!). Muchas veces me quedo en silencio por miedo a que se les pase el embrujo.

MUCHAS GRACIAS A TODOS





---

**RESUMEN**



La Antropología Forense es una disciplina que ha evolucionado y se ha extendido enormemente a lo largo del último medio siglo. En la actualidad constituye una rama fundamental de las Ciencias Forenses, participando como elemento clave en multitud de cuestiones médico-legales tales como la identificación de personas desaparecidas, interpretación de lesiones en el esqueleto en relación a la forma y causa de la muerte, asistencia en casos de desastres masivos, como terremotos, tsunamis, inundaciones, atentados terroristas, etc.; y también para el estudio de personas vivas por cuestiones de inmigración, paternidad, delitos cometidos por, o contra el menor, etc.

Hoy en día, los principales retos a los que se enfrenta la investigación en Antropología Forense se centran en responder a todas estas necesidades que presenta la sociedad actual, ofreciendo métodos y técnicas que posean un elevado grado de certeza y capacidad discriminante, ya que sus resultados están destinados a su utilización en fines judiciales.

No obstante, la posibilidad de ofrecer resultados de estas características cuando se estudian individuos infantiles plantea series dificultades, ya que la ausencia de muestras adecuadas de estudio para este grupo de edad, supone una limitación de gran importancia a nivel mundial.

El presente documento nace a raíz de la adquisición, por parte del Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, de la mayor colección osteológica a nivel mundial, de individuos infantiles identificados con edades comprendidas entre la



edad fetal y los 5 años. Esta colección se ha adquirido gracias al acuerdo de colaboración realizado entre dicho laboratorio y el Cementerio San José de Granada.

El objetivo principal que justifica la realización de esta tesis, ha sido establecer un punto de partida para el estudio completo de esta colección desde la perspectiva de la Antropología Forense, el cual permita responder a las necesidades actuales en este campo, preparar esta muestra para su estudio y ofrecer resultados preliminares para la creación de una nueva metodología forense adaptada a la población mediterránea. Pertenece por tanto a una línea de investigación bien definida y muy extensa, la cual ha sido planteada a los diferentes organismos financiadores de ámbito nacional y autonómico.

Dado el elevado abanico de posibilidades de estudio que ofrece esta colección, se ha optado por comenzar su análisis por aquellos aspectos que se han considerado de mayor relevancia. Esto ha dado lugar a la publicación de tres artículos en las principales revistas científicas de su campo, todas ellas indexadas y pertenecientes al primer cuartil de su grupo. A continuación se resumen los principales objetivos planteados y resultados obtenidos en cada uno de ellos:

**Alemán I, Irurita J, Valencia AR, Martínez A, López-Lázaro S, Viciano J, Botella MC (2012) Brief communication: The Granada osteological collection of identified infants and young children. Am J Phys Anthropol 149: 606–610. Impact factor 2.481. Position 7 of 83 (Q1).**

En este artículo se describen las características de la colección de individuos infantiles identificados ubicada en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, España. Se trata de una muestra de estudio aún en formación, que en el presente está compuesta por 230 esqueletos completos con edades comprendidas entre los 5 meses de gestación y los 8 años; la mayoría de ellos menores de 1 año. Las fechas de defunción pertenecen a mediados del siglo veinte. El estado de conservación es muy bueno y se dispone de información *antemortem* muy completa gracias a la existencia de actas de enterramiento y defunción entre otras. Con este artículo se da a conocer una de las escasas muestras disponibles a nivel mundial que permiten el estudio del desarrollo osteológico en esqueletos infantiles desde la perspectiva de la Antropología Física.

**Irurita J, Alemán I, Viciano J, De Luca S, Botella MC (2013) Evaluation of the maximum length of deciduous teeth for estimation of the age of infants and young children: proposal of new regression formulas. Int J Legal Med. DOI 10.1007/s00414-013-0903-y. Impact factor 2.686. Position 3 of 16 (Q1).**

La metodología empleada para la identificación de personas en contextos de Antropología Forense debe poseer unas características mínimas de precisión y exactitud, así como haber sido diseñadas a partir de muestras identificadas y suficientemente representativas. Obtener resultados con estas características, referidos a individuos infantiles, entraña una gran dificultad debido a la escasez de muestras adecuadas para su estudio. En este trabajo se ha estudiado la colección osteológica de individuos infantiles identificados de Granada, España, para evaluar la aplicabilidad de los métodos desarrollados por Liversidge *et al.* (1993) y por Deutsch *et al.* (1983) para la estimación de la edad dental en población mediterránea. En ambos casos las diferencias entre la edad real y la estimada fueron estadísticamente significativas. Se han desarrollado nuevas fórmulas de regresión para la estimación de la edad dental a partir del estudio métrico de los dientes deciduales. Se ofrecen funciones independientes para cada diente decidual, maxilar y mandibular, y para cada sexo, así como los intervalos de confianza al 95% para definir el error asumido en la estimación.

**Irurita J, Alemán I, López-Lázaro S, Viciano J, Botella MC (2014) Chronology of the development of deciduous dentition in Mediterranean population. Am J Phys Anthropol . In press. Impact factor 2.481. Position 7 of 83 (Q1).**

En este estudio se describe el proceso de maduración de la dentición decidual, para ofrecer un nuevo método para la estimación de la edad específico para la población mediterránea. Para ello se ha analizado la colección osteológica de individuos infantiles identificados, ubicada en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, España. Una vez excluidos los individuos prematuros y patológicos, se dispuso de una muestra de estudio compuesta por 138 individuos infantiles (80 niños y 58 niñas), con edades comprendidas entre las 24 semanas de gestación y los 6 años, de los cuales se pudo analizar un total de 1.303 dientes

deciduales. Para describir el proceso de maduración dental se definieron 11 fases de mineralización y se estudió el proceso de erupción dental. Para ello se modificaron y combinaron los criterios empleados por Demirjian *et al.* en 1973, Moorrees *et al.* en 1963 y Liversidge *et al.* en 2004, ya que se consideró que éstas planteaban ciertas limitaciones o carencias. La replicabilidad del método está avalada por el reducido error intra- e interobservador cometido al emplear estas fases de desarrollo. Los resultados ofrecen información de la edad de inicio y edad media de cada fase de desarrollo, para cada diente decidual, para ambos sexos por separado y de forma combinada.

Como conclusión general desprendida de estas tres publicaciones, se confirma el gran potencial para la investigación que posee la colección identificada de esqueletos infantiles de Granada, cuyo estudio completo es fundamental para el diseño de una metodología eficaz útil para su utilización en contextos de Antropología Forense infantil, ya que es idónea para cumplir con los estrictos requisitos requeridos por esta disciplina.





---

**ABSTRACT**



Forensic Anthropology has evolved and expanded considerably over the past half century. It is now a key discipline of forensic sciences, responsible for important tasks in numerous medical-legal contexts, such as the identification of missing persons, interpretation of skeletal lesions in relation to the manner and cause of death, and support in cases of mass disasters, such as earthquakes, tsunamis, floods, and terrorist attacks. It is also used for the study of living people in reference to immigration issues, paternity, and juvenile law, among others.

Research in forensic anthropology is currently focused on responding to all of these societal needs, offering methods and techniques with a high degree of certainty and discriminatory power, essential if results are to be useful for judicial purposes.

However, it is highly challenging to yield results with these qualities in the study of children, because of the absence of adequate reference samples for this age group, which represents a major limitation worldwide.

The present investigation was developed after the Laboratory of Anthropology of the University of Granada acquired the largest ontological collection of identified infants and young children in the world, aged from 5 months of gestation to 8 years. The creation of this collection is the result of collaborative work between the Laboratory and the San José Cemetery of Granada.

The main objective of this thesis was to initiate the study of this collection from the perspective of Forensic Anthropology in order to serve as a guide for its future complete analysis. This general objective was focused on preparing the sample for its study and providing preliminary results to support the creation of a novel forensic methodology adapted to the Mediterranean population. This thesis represents an early stage in a well-defined and very extensive research line.



The collection offers a wide range of study possibilities. Initial research on key topics has resulted in the publication of three articles in leading scientific journals in this field, all indexed and in the first quartile of their group. Their main objectives and results are summarized below:

**Alemán I, Irurita J, Valencia AR, Martinez A, Lopez-Lazaro S, Viciano J, Botella MC (2012) Brief communication: The Granada osteological collection of identified infants and young children. Am J Phys Anthropol 149: 606–610. Impact factor 2.481. Position 7 of 83 (Q1).**

The objective of this study is to present the characteristics of a collection of identified infants and young children housed in the Laboratory of Anthropology of the University of Granada, Spain. The sample, which is still being enlarged, is currently composed of 230 complete skeletons aged from 5 months of gestation to 8 years, with a majority below 1 year. It mainly dates from the mid-20th century. The state of preservation is very good, and antemortem information is available from burial and death certificates, among other documents. Our sample makes an important contribution to the relatively few collections available in the world for investigating the osteological development of the skeletons of infants and young children from a physical anthropological perspective.

**Irurita J, Alemán I, Viciano J, De Luca S, Botella MC (2013) Evaluation of the maximum length of deciduous teeth for estimation of the age of infants and young children: proposal of new regression formulas. Int J Legal Med. DOI 10.1007/s00414-013-0903-y. Impact factor 2.686. Position 3 of 16 (Q1).**

The methodology used to identify individuals in forensic anthropology requires a minimum degree of precision and accuracy and should be based on identified and representative samples. Achievement of these objectives in infant skeletons is hampered by the scarcity of appropriate samples. The dental age estimation methods of Liversidge *et al.* (Am J Phys Anthropol 90: 307–313, 1993) and Deutsch *et al.* (Growth 49: 207–17, 1985) were applied to the Granada osteological collection of identified infants (Granada, Spain) in order to evaluate its applicability in a Mediterranean population. Significant differences were found

between the estimated and real ages in both cases. Based on the measurements obtained in 140 fetuses and infants, new regression formulas were developed to estimate age from the metric study on deciduous teeth. Independent functions are provided for each deciduous maxillary and mandibular tooth in each sex, along with the margin of error (95 % confidence interval). These formulas appear to offer one of the best methods available for estimating the age of Mediterranean infants in forensic anthropology settings.

**Irurita J, Alemán I, López-Lázaro S, Viciano J, Botella MC (2014) Chronology of the development of deciduous dentition in Mediterranean population. Am J Phys Anthropol . In press. Impact factor 2.481. Position 7 of 83 (Q1).**

The objective of this study of the maturation of deciduous dentition was to offer a novel age-estimation method for Mediterranean populations, using the osteological collection of fetuses, infants, and young children in the Anthropology Laboratory of Granada University (Spain) as study material. After excluding premature newborns and infants with disease, the final study sample comprised 1,303 deciduous teeth suitable for analysis from 138 individuals (80 male, 58 female) aged between 24 weeks *in utero* and 6 years. Eleven mineralization stages were defined for the dental maturation analysis, and the alveolar emergence was also studied. The criteria published by Demirjian *et al.* in 1973, by Moorrees *et al.* in 1963, and by Liversidge *et al.* in 2004 were combined and modified for this purpose. The reproducibility of the proposed method is supported by the low intra- and inter-observer error in the identification of these development stages. The results provide information on the mean age of attainment of each of 11 mineralization stages and on the average age for each stage in each deciduous tooth type, considering each sex separately and both sexes combined.

A general conclusion to be drawn from these three publications is that the Granada osteological collection of identified infants and young children offers enormous research potential for developing a forensic anthropology methodology in children that meets the stringent requirements of this discipline. Further comprehensive studies are warranted to test and validate the proposals developed in these articles.



---

**ÍNDICE**



- <b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	V
- <b>RESUMEN</b> .....	XI
- <b>ABSTRACT</b> .....	XIX

<b>1. INTRODUCCIÓN A LA ANTROPOLOGÍA FORENSE INFANTIL</b> .....	1
1.1. PRINCIPALES DIFERENCIAS EN EL ESTUDIO DE INDIVIDUOS ADULTOS Y SUBADULTOS.....	5
1.1.1. Diferencias osteológicas.....	5
1.1.2. Diferencias en cuanto a las metodologías.....	8
1.1.3. Diferencias en la naturaleza del tejido óseo.....	9
1.1.4. Diferencias en cuanto a las alteraciones óseas y su interpretación...10	
1.1.5. Diferencias en cuanto a la finalidad de la investigación forense.....	13
1.2. LIMITACIONES EN EL ESTUDIO DE LA ANTROPOLOGÍA FORENSE INFANTIL.....	13
1.3. ESTUDIO DE COLECCIONES IDENTIFICADAS.....	18
1.4. PRINCIPALES COLECCIONES OSTEOLÓGICAS IDENTIFICADAS DE INDIVIDUOS INFANTILES.....	19
1.4.1. Colección de Spitalfields.....	19
1.4.2. Colección de Fazekas y Kósa.....	19
1.4.3. Colección de Lisboa.....	20
1.4.4. Colección Osteológica "Prof. Dr. Rómulo Lambre", Argentina.....	21
1.4.5. Colección de Raymond A. Dart de Sudáfrica.....	22
1.4.6. Colección de Robert J. Terry.....	22
1.4.7. Muestras del Museo de Historia Natural de Cleveland, EEUU.....	23
1.4.8. Muestra de momias subadultas del norte de Chile.....	23
1.4.9. Colección identificada de la iglesia de St. Bride's.....	23
1.4.10. La Colección de Esqueletos Humanos de Referencia de la Universidad de Atenas, Grecia.....	24
1.5. INFORMACIÓN ANTEMORTEM CON INTERÉS PARA EL ANTROPÓLOGO.....	24
1.5.1. Edad de muerte.....	26

1.5.2. Sexo.....	27
1.5.3. Causa de la muerte.....	28
1.5.4. Nacionalidad.....	29
1.5.5. Estatus social.....	29
1.5.6. Criterios de exclusión.....	30
<b>2. ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN INDIVIDUOS INFANTILES.....</b>	<b>33</b>
2.1. INTRODUCCIÓN.....	35
2.2. TERMINOLOGÍA EMPLEADA.....	37
2.3. GRUPOS DE EDAD EN INDIVIDUOS SUBADULTOS.....	38
2.3.1. Embriología, Pediatría y Antropología Médica.....	40
2.3.2. Bioarqueología.....	41
2.3.3. Antropología Evolutiva.....	42
2.3.4. Antropología Forense.....	43
2.3.5. Edades legales o edades de transición.....	44
2.3.5.1. <i>Nacimiento</i> .....	45
2.3.5.2. <i>Mayoría de edad</i> .....	45
2.3.5.3. <i>Otras</i> .....	46
2.4. ESTIMACIÓN DE LA EDAD DENTAL Y ESQUELÉTICA.....	47
2.4.1. Edad dental.....	48
2.4.1.1. <i>Tipos de métodos para la estimación de la edad dental</i> .....	52
2.4.1.1.1. <i>Atlas de desarrollo</i> .....	52
2.4.1.1.2. <i>Fases de maduración para cada diente</i> .....	54
2.4.1.1.3. <i>Métodos métricos</i> .....	57
2.4.1.2. <i>Recomendaciones para la estimación de la edad dental</i> .....	59
2.4.2. Edad esquelética.....	60
2.4.2.1. <i>Tipos de métodos para la estimación de la edad esquelética</i> .....	62
2.4.2.1.1. <i>Presencia / ausencia de centros de osificación</i> .....	62
2.4.2.1.2. <i>Métodos métricos</i> .....	66
2.4.2.1.3. <i>Fusión de centros de osificación</i> .....	69
2.4.3. Otros métodos para la estimación de la edad.....	75
2.4.3.1. <i>Histomorfometría del tejido óseo compacto</i> .....	75
2.4.3.2. <i>Microestructura de las marcas de desarrollo en los dientes</i> .....	75

2.4.3.3.	<i>Tamaño y peso del individuo</i> .....	76
2.4.3.4.	<i>Método de Tanner</i> .....	77
2.5.	DIFERENCIAS POR SEXO.....	77
2.6.	DIFERENCIAS POBLACIONALES.....	80
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD</b> .....	<b>87</b>
3.1.	ANÁLISIS DE VARIABLES CONTINUAS.....	90
3.1.1.	Regresión simple.....	92
3.1.1.1.	<i>Comparación de las pendientes de regresión</i> .....	93
3.1.1.2.	<i>Comparación de las alturas en el origen</i> .....	94
3.1.2.	Regresión curvilínea.....	94
3.1.3.	Regresión múltiple.....	96
3.1.4.	Sistemas spline.....	98
3.2.	ANÁLISIS DE VARIABLES DISCRETAS O NUMÉRICAS DISCONTINUAS.....	99
3.2.1.	Funciones de frecuencia acumulada.....	100
3.2.2.	Edad media de los individuos en una fase determinada.....	101
3.2.3.	Alternativa para los modelos de predicción.....	102
3.2.4.	Media de los estados de desarrollo para un grupo de edad concreto.....	102
3.2.5.	Escalas de maduración.....	103
3.2.6.	Atlas de desarrollo.....	103
3.2.7.	Recomendaciones para la construcción e interpretación de cronologías.....	104
3.3.	CUANTIFICACIÓN DEL ERROR.....	104
3.3.1.	Precisión y exactitud.....	105
3.3.2.	Sensibilidad y especificidad.....	108
3.3.3.	Cálculo del error intra- e interobservador.....	111
3.3.4.	Cálculo del error con variables cualitativas.....	113
3.3.5.	Cálculo del error con variables cuantitativas.....	115
3.3.5.1.	<i>Coeficiente de Correlación de Concordancia</i> .....	115
3.3.5.2.	<i>Coeficiente de Correlación Intraclase</i> .....	117
3.3.5.3.	<i>Otros sistemas</i> .....	118



3.4. VALIDACIÓN DEL MÉTODO.....	119
3.4.1. Requisitos de la muestra de estudio.....	120
3.4.2. Requisitos en cuanto al método empleado.....	122
<b>4. CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO ADECUADO.....</b>	<b>125</b>
<b>5. OBJETIVOS.....</b>	<b>133</b>
<b>6. HISTORIA Y COMPOSICIÓN DEMOGRÁFICA DE LA COLECCIÓN OSTEOLÓGICA DE INDIVIDUOS SUBADULTOS IDENTIFICADOS DE SAN JOSÉ, GRANADA, ESPAÑA.....</b>	<b>139</b>
6.1. PRESENTACIÓN.....	141
6.2. ÍNDICES DE CALIDAD.....	143
6.3. RESUMEN.....	151
6.4. INTRODUCCIÓN.....	152
6.5. HISTORIA.....	153
6.6. METODOLOGÍA PARA LA RECOGIDA Y LIMPIEZA DEL MATERIAL OSTEOLÓGICO.....	155
6.7. TOMA DE DATOS ANTEMORTEM.....	158
6.8. CARACTERÍSTICAS DE LA COLECCIÓN.....	159
6.8.1. Composición demográfica.....	159
6.8.2. Análisis según causa de muerte.....	162
6.8.3. Estimación del estatus social.....	163
6.9. AGRADECIMIENTOS.....	166
<b>7. VALORACIÓN DE LA LONGITUD MÁXIMA DE LOS DIENTES DECIDUALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD DE INDIVIDUOS INFANTILES. PROPUESTA DE NUEVAS FÓRMULAS DE REGRESIÓN.....</b>	<b>169</b>
7.1. PRESENTACIÓN .....	171

7.2. ÍNDICES DE CALIDAD.....	173
7.3. RESUMEN.....	185
7.4. INTRODUCCIÓN.....	186
7.5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	187
7.6. RESULTADOS.....	190
7.7. EJEMPLO PRÁCTICO.....	194
7.8. DISCUSIÓN.....	195
7.9. AGRADECIMIENTOS.....	199
<b>8. CRONOLOGÍA DEL DESARROLLO DE LA DENTICIÓN DECIDUAL EN POBLACIÓN MEDITERRÁNEA.....</b>	<b>203</b>
8.1. PRESENTACIÓN.....	205
8.2. ÍNDICES DE CALIDAD.....	207
8.3. RESUMEN.....	209
8.4. INTRODUCCIÓN.....	210
8.5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	212
8.6. RESULTADOS.....	217
8.7. CÓMO UTILIZAR LOS RESULTADOS.....	221
8.8. DISCUSIÓN.....	222
8.9. AGRADECIMIENTOS.....	228
<b>9. CONCLUSIONES.....</b>	<b>231</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>237</b>



**Capítulo 1:**  
**ANTROPOLOGÍA FORENSE INFANTIL**



La Antropología Forense, según la clasificación de la UNESCO para los campos de las Ciencias y las Tecnologías, es una subdisciplina de la Antropología Física, denominada bajo el código 2404.03 dentro del campo de las Ciencias de la Vida.

Aunque no bajo este nombre, la Antropología Forense es una disciplina que ha estado siempre presente desde el inicio de la Antropología Física. Se puede destacar como uno de los hitos más relevantes que definen su origen, la fundación de la Sociedad de Antropología de París por Paul Broca en 1859. Desde el comienzo de la Antropología Física como disciplina, los conocimientos y técnicas empleados para el estudio del esqueleto humano han sido utilizados para su aplicación en el contexto de las Ciencias Forenses.

Una de las primeras y más destacadas definiciones de Antropología Forense fue planteada por D. Stewart en 1976, quien se refirió a ella como *"La rama de la Antropología Física que se encarga de la identificación de los restos, más o menos esqueléticos, que se sabe, o se sospecha, puedan ser humanos"* (Ubelaker, 2006). En la actualidad, la definición más aceptada se refiere a ella como *"una subdisciplina de Antropología física que se vale de los conocimientos y técnicas referentes al estudio del esqueleto para su aplicación a cuestiones médico-legales"* (Ubelaker 2008). Esta última definición, más amplia en su contexto, permite incluir aquellos casos en los que la Antropología Forense se encarga del estudio de personas vivas, como, por ejemplo, cuestiones de paternidad, inmigración, delitos contra el menor, etc.

Con carácter general, los principales contextos en los que interviene son aquellos que requieren establecer la identidad de una persona fallecida a través de su esqueleto o de su cadáver en mal estado de conservación, así como conocer otros aspectos relacionados con la forma y la causa de su muerte. Este trabajo requiere la comparación de información *antemortem*, la cual puede ser obtenida a partir de material visual y de entrevistas con parientes y testigos, con la información *posmortem*, esta última recopilada por el antropólogo tras el estudio de los restos. El primer paso para establecer la identidad de un sujeto será, por tanto, conocer sus características biológicas básicas, tales como el sexo, la edad, la estatura y posibles enfermedades o hábitos que dejaron huella en su esqueleto.

Para llevar a cabo esta tarea, la Antropología Forense utiliza métodos y técnicas que han sido desarrollados a partir de estudios centrados en la variabilidad humana, es decir, en cuantificar las diferencias que existen entre distintos grupos de edad, entre sexos, entre diferentes grupos poblacionales o dentro de una misma población, etc. A partir de estos estudios se genera la metodología que será empleada por el antropólogo, definiendo aquellos rasgos individualizantes y patrones que permitan ofrecer estimaciones con un suficiente grado de precisión y certeza.

Sin embargo, es importante tener presente que todo este conjunto de conocimientos y técnicas empleadas por el antropólogo van a estar condicionadas por las características del individuo que se esté estudiando; en concreto, si nos centramos en el grupo de edad al que éste pertenezca, las diferencias que existen entre individuos adultos y subadultos van a provocar que sea necesario emplear metodologías específicas para ambos grupos de edad. Estas diferencias van a afectar a prácticamente cualquier aspecto objeto de estudio de la Antropología Forense, como a la estimación de la edad, del sexo, de la talla, a la interpretación de lesiones, a la identificación de condiciones patológicas, de episodios de estrés o de hábitos que puedan dejar su huella en el esqueleto, a la valoración de los efectos tafonómicos, a la identificación odontológica, a la estimación del grupo poblacional, etc.

La Antropología Forense referida a individuos subadultos, por tanto, debe ser estudiada de forma separada a la de los adultos y cualquier antropólogo, antes de poder abordar el estudio de un individuo infantil, deberá poseer una formación específica y una experiencia previa para este grupo de edad.

## 1.1 PRINCIPALES DIFERENCIAS EN EL ESTUDIO DE INDIVIDUOS ADULTOS Y SUBADULTOS

A continuación se resumen algunos de los aspectos más destacados que justifican la necesidad de estudiar de forma independiente a los individuos adultos y subadultos:

### 1.1.1 Diferencias osteológicas:

Los esqueletos de un individuo adulto y un individuo infantil son diferentes en cuanto al número, tamaño y forma y de los huesos que los componen.

El **número** de huesos por los que está compuesto un esqueleto subadulto puede llegar a ser muy superior al del adulto, dependiendo de la edad concreta del individuo infantil, ya que prácticamente todos los huesos de un adulto han sido formados a partir de la unión y obliteración de varios centros de osificación independientes en el infantil. De esta manera, conforme el esqueleto se desarrolla, el número de huesos que lo componen varía, en unos casos aumentando, por la formación de nuevos centros de osificación, y en otros disminuyendo, por la unión de unos con otros. Con carácter general, y salvo contadas excepciones, en un esqueleto infantil se pueden encontrar hasta 463 huesos diferentes, mientras que en el adulto éstos se reducen a 206.

Es algo obvio que el **tamaño** de los huesos infantiles puede llegar a ser muy inferior al de los adultos; como ejemplo ilustrativo, se puede mencionar el hecho de que el esqueleto completo de un feto de 6 meses de gestación podría caber en una pequeña taza de café. No obstante, se trata de una característica muy importante, que siempre debe ser considerada en las tareas de recuperación, identificación y análisis de los huesos cuando se trabaja con esqueletos infantiles, ya que muchos de los huesos que componen el esqueleto infantil pueden tener escasos milímetros de tamaño. En estos casos va a ser muy importante dedicar más tiempo y cuidado a inspeccionar con detenimiento el sustrato sobre el que se encuentra el individuo, su



ropa y restos de tejidos blandos, en busca de aquellos elementos de menor tamaño, como gérmenes dentales, falanges, epífisis etc. También será necesario tomar las medidas necesarias para prevenir su posterior pérdida durante las tareas de limpieza, estudio y almacenaje del material.

En muchos casos, estos huesos de menor tamaño, además, suelen tener una importancia adicional a la hora de aplicar las técnicas habituales de identificación, ya que constituyen los elementos de formación más reciente del esqueleto. A continuación se muestra una imagen donde se observan algunos restos del sustrato sobre el que se encontró el esqueleto de un feto. Su análisis detallado permite encontrar entre ellos 3 dientes temporales que no fueron recogidos junto al resto del esqueleto. En este ejemplo concreto, la información que se pudo obtener a partir de estos dientes fue mucho mayor que la que aportó el resto del esqueleto, el cual se encontraba en mal estado de conservación:



*Figura 1: restos del sustrato sobre el que se hallaron los restos de un feto.*



*Figura 2: detalle de 3 los dientes temporales hallados en el sustrato.*

Otro aspecto relacionado con el tamaño, que también va a afectar afecta al trabajo del antropólogo, es la mayor facilidad con la que puede determinarse el número mínimo de individuos cuando se trabaja con osarios o fosas comunes. Esto es debido a que, dada la elevada tasa de crecimiento en los niños, el tamaño del esqueleto varía mucho con la edad y, por tanto, entre diferentes individuos (Lewis 2007).

Por último, destacan las diferencias en la **forma** de los huesos entre individuos infantiles y adultos. Desde que se originan como pequeños centros de osificación hasta que alcanzan su desarrollo completo, además de variar su tamaño, cambiará la relación entre sus dimensiones, estarán formados por un diferente número de subunidades independientes que se fusionarán de forma progresiva, y se definirán sobre ellos las inserciones musculares. El antropólogo, por tanto, deberá conocer cual es la morfología de cada hueso en sus diferentes fases de desarrollo, no solo por el hecho de poder identificarlos, sino para ser capaz de discriminar entre los cambios normales que se producen durante el desarrollo y las alteraciones traumáticas, patológicas, o tafonómicas que puedan presentar.

### 1.1.2 Diferencias en cuanto a las metodologías

Todos los métodos que se emplean como herramientas de identificación en Antropología Forense son diferentes entre adultos y subadultos, tanto las destinadas a estimar el sexo y la edad de muerte, como los utilizados para la interpretación de las posibles alteraciones o variantes morfológicas del esqueleto.

Con respecto a la **estimación de la edad**, la metodología empleada en subadultos está basada en los cambios producidos durante el desarrollo del esqueleto, a diferencia de la empleada en adultos, basada en los cambios degenerativos. Por este motivo, las metodologías infantiles para estimar la edad son mucho más precisas que las adultas, ya que, por un lado, la tasa de desarrollo es muy superior a la tasa de degeneración del esqueleto, por lo que en individuos infantiles se produce un cambio mayor en un menor espacio de tiempo; y por otro, los procesos de desarrollo dependen en mayor medida de una regulación genética que los cambios degenerativos. Por este motivo existe una menor variabilidad entre individuos subadultos, ya que cuanto mayor sea la edad, más evidentes serán los cambios en el esqueleto producidos por el ambiente frente a los producidos por diferencias genéticas. Como ejemplo de esto último, se pueden mencionar las diferencias que presentará el esqueleto de un individuo de avanzada edad que ha llevado una vida sedentaria, con respecto a otro, de edad similar, que ha realizado de forma habitual una actividad física intensa.

Al contrario que la estimación de la edad, la **estimación del sexo** en individuos infantiles es mucho más imprecisa que en individuos adultos. Esto se debe a que la aparición de rasgos diferenciales entre individuos de diferente sexo se produce como consecuencia de un cambio en los niveles hormonales al alcanzar la pubertad, por lo que en individuos que aún no la han alcanzado, los rasgos óseos discriminantes son mínimos. No obstante, siempre que el estado de conservación del esqueleto lo permita, un análisis genético de los restos permitirá ofrecer una estimación fiable del sexo. En el contexto de la Antropología Forense, el principal problema que suscita la identificación del sexo en individuos infantiles radica en el evidente problema asociado a la identificación de un cadáver; no obstante, a esto se suma el hecho de que existe una variabilidad significativa en las tasas de crecimiento dependientes del sexo, lo que provoca un incremento en el error asumido cuando se determina la edad de un esqueleto infantil de sexo desconocido.

La **estimación de la estatura** cuando se estudian individuos adultos ofrece información muy valiosa en casos de identificación; sin embargo, será uno de los datos menos fiables que podrá ofrecer el antropólogo en los casos de identificación forense infantil. Esto es debido, principalmente, a la elevada tasa de desarrollo del esqueleto y a la dependencia de ésta con la edad, ya que la relación entre la longitud de los huesos largos y la estatura varía durante el desarrollo, principalmente durante la pubertad (Feldesman 1992). En los casos de personas desaparecidas, además, la estimación de la estatura de unos restos óseos no será válida para su comparación con la información *antemortem*, ya que ésta, debido al continuo crecimiento, probablemente difiera con respecto a la del individuo en el momento de la desaparición.

### 1.1.3 Diferencias en la naturaleza del tejido óseo

Los huesos de individuos infantiles presentan diferencias físico-químicas con respecto a los huesos adultos que van a condicionar su comportamiento ante aquellos factores que puedan alterarlos, como condiciones patológicas, traumatismos o factores tafonómicos.

El hecho de que los huesos infantiles se encuentren en proceso de desarrollo, va a provocar que éstos sean de menor tamaño y más frágiles que los de los adultos; no obstante, este no es el único motivo de la mayor debilidad de los huesos infantiles ya que, además, el tejido óseo de los individuos que no han alcanzado su desarrollo, tiene una mayor proporción de materia orgánica y menor contenido mineral cuando se compara con el tejido óseo de un adulto (Currey *et al.*, 1975; Specker *et al.*, 1987).

Una de las principales consecuencias que va tener la mayor fragilidad de tejido óseo infantil, y que va a afectar de forma directa al trabajo del antropólogo, es que su esqueleto será más perecedero ante las circunstancias de descomposición y enterramiento normales, por lo que, en muchos casos, éste no se conservará de forma óptima para su estudio (Johnston *et al.*, 1989).

Otra diferencia importante del tejido óseo infantil, que va a condicionar su respuesta ante factores externos, es su elevada tasa de crecimiento y desarrollo.

Esto va a tener dos consecuencias fundamentales: por un lado, los signos que aparecen en el esqueleto a causa de una afección patológica, serán más evidentes al poco tiempo de aparecer la enfermedad; por otro lado, también va a provocar que el esqueleto se recupere rápidamente, haciendo que estos signos, ya sean patológicos o traumáticos, desaparezcan, o sean mucho menos perceptibles, con el paso del tiempo.

### 1.1.4 Diferencias en cuanto a las alteraciones óseas y su interpretación

Las alteraciones que pueda presentar un esqueleto son otra herramienta habitual utilizada en los casos de identificación forense, ya que pueden ser contrastadas con la información *antemortem* recogida en el historial médico. No obstante, en individuos infantiles, rara vez se emplearán para la identificación, ya que no suelen haber sido expuestos a traumatismos en su corta vida, o bien, el crecimiento del esqueleto ha borrado los signos que pudiera dejar una determinada condición patológica en el hueso.

El estudio e interpretación de las alteraciones que se pueden encontrar en el esqueleto de individuos infantiles, ya sean de origen traumático o patológico, comprende dos diferencias fundamentales con respecto al referido a individuos adultos:

- Muchas de las alteraciones serán específicas de cada grupo. Por ejemplo, nunca vamos a encontrar en un esqueleto adulto, alteraciones como las que presenta un individuo con anencefalia o las fracturas metafisarias características de los huesos largos en individuos infantiles; así mismo, ninguna de las alteraciones que aparecen en adultos como consecuencia de los procesos degenerativos comunes serán encontradas en individuos infantiles.
- En aquellas alteraciones comunes a ambos grupos, como las provocadas por enfermedades infecciosas o determinados casos de malnutrición, éstas se van a distribuir y manifestar de forma diferente en individuos infantiles y adultos. En los siguientes apartados se mencionan algunos ejemplos específicos.

Ante circunstancias similares, los **traumatismos** en el esqueleto de individuos infantiles van a ser diferentes a las de los adultos en cuanto a su gravedad, localización y naturaleza. Por este motivo se debe prestar especial cuidado a la hora de interpretar lesiones en niños, ya que no se deben emplear los mismos criterios que se emplean en el adulto. Con carácter general, las lesiones en el esqueleto que se van a observar en individuos infantiles están condicionados por tres características de sus huesos: (1) son muy cartilaginosos, lo que le aporta una mayor elasticidad, (2) presentan zonas de mayor debilidad (metáfisis), haciendo a éstas especialmente susceptibles al traumatismo y (3) su naturaleza es altamente porosa, la que contribuye a disipar las fuerzas de compresión (Lewis, 2007).

Dentro del contexto de la interpretación de lesiones, cuando se estudian esqueletos infantiles, las lesiones que puedan aparecer cobran una especial importancia si se relacionan con conductas de **maltrato infantil**. Gracias a los casos recogidos por la Medicina legal y clínica, se establece qué tipo de lesiones están relacionadas comúnmente con el maltrato infantil. Por ejemplo, entre un 11% y un 15% de los casos de abuso incluyen fracturas de huesos, y un 40% de ellas se producen en el cráneo. La distribución de las principales lesiones que comúnmente se producen en los casos de maltrato incluye fracturas en las costillas, helicoidales en el húmero, en fémur, tibia, escápula (acromion), manos y pies, etc. Las alteraciones encontradas en el esqueleto infantil relacionadas con el maltrato no tienen por qué ser necesariamente fracturas óseas; se pueden observar otro tipo de lesiones en aquellos casos de maltrato recurrente. Algunos ejemplos son la diastasis de las suturas craneales, lesiones endocraneales como consecuencia de un hematoma subdural, lesiones características del conocido como “Síndrome del niño agitado”, donde las continuas sacudidas provocan hemorragias en las inserciones musculares que darán lugar alteraciones características en el periostio; estas últimas, para que puedan ser observadas, es necesario que el individuo sobreviva un mínimo de 4 a 14 días tras causarle la lesión.

El tejido óseo infantil también va a reaccionar de forma diferente ante los **procesos infecciosos** que afectan al esqueleto. Con carácter general, la mayor extensión de la médula hematopoyética en los subadultos, va a provocar una mayor diseminación por el tejido óseo de las enfermedades infecciosas, por lo que los patrones habituales empleados es el diagnóstico de estas enfermedades, no será el mismo para los individuos infantiles que para los adultos. Además, las fibras de

colágeno que mantienen unido el periostio y el hueso son más débiles y menos numerosas, por lo que enfermedades como la osteomielitis, pueden provocar que éste se separe del hueso en toda su longitud, lo que desencadena una hipertrofia con ensanchamiento generalizado del hueso característica de individuos infantiles. Con respecto a la deformación de los huesos como consecuencia de una infección —más probable en la epífisis—, ésta suele provocar alteraciones características no observadas en adultos, como la fusión de las articulaciones (Lewis 2007).

Otro grupo de alteraciones que también se van a manifestar de forma diferente en adultos y subadultos, son las que responden a enfermedades específicas de **desnutrición**. Entre ellas destaca el raquitismo, enfermedad producida por un déficit de vitamina D en el organismo durante el desarrollo, lo que provoca la desmineralización del tejido óseo por falta de calcio, dando lugar a alteraciones del esqueleto que serán mucho más evidentes en individuos infantiles debido a su elevada tasa de desarrollo. Tanto alteraciones que provoca esta enfermedad como su interpretación guardan una estrecha relación con la edad del individuo; por ejemplo, en perinatales se relaciona con un déficit de esta vitamina en la leche materna, mientras que en individuos de mayor edad, las deformaciones del esqueleto serán mayores debido al aumento del tono muscular (Ortner 2003, Waldron 2009).

Otro caso similar es el escorbuto, que es una enfermedad producida por la deficiencia de vitamina C, o ácido ascórbico, en el organismo, lo que provoca alteraciones en la síntesis de colágeno. En los adultos, la principal manifestación de la enfermedad es la presencia de encías sangrantes e inflamadas y la posterior pérdida dental. Esto no se observa en los individuos de temprana edad, debido a que sus dientes aún no han erupcionado; en su lugar, en el esqueleto se observan alteraciones generalizadas que pueden ser confundidas con el raquitismo (Lewis 2007, Waldron 2009).

Por último, otro grupo de alteraciones específicas de individuos infantiles son, en muchos casos, las **congénitas**. En este grupo se incluyen todas aquellas condiciones físicas que se desvían de lo que es considerado como normal y que comienzan antes del nacimiento. Éstas pueden ser de origen infeccioso, como sífilis o rubéola, o genético, las cuales, a su vez, pueden estar provocadas por factores epigenéticos, extrínsecos o intrínsecos. Por un lado, de este tipo de alteraciones se desprende información, no solo referente al individuo que las padece, sino que

también se pueden inferir datos referentes al estado de salud o hábitos de la madre; por otro lado, pueden provocar alteraciones genéticas durante momentos cruciales del desarrollo embrionario, dando lugar a malformaciones que, en muchos casos, impedirán la supervivencia prolongada del individuo y que, por tanto, únicamente serán observables en individuos infantiles, como la encefalia. Otros ejemplos destacados, observados con mayor frecuencia en individuos infantiles, son la espina bífida o la hidrocefalia (Lewis 2007, Waldron 2009).

#### 1.1.5 Diferencias en cuanto a la finalidad de la investigación forense

Existen numerosos contextos legales que únicamente se aplican en individuos subadultos y están limitados para grupos de edades muy concretos, acotados por las denominadas "edades de transición". Se pueden mencionar como ejemplos de estos casos, el maltrato infantil, la pedofilia, la ley del aborto, la adopción, la pornografía infantil, los delitos cometidos por el menor, casos de inmigración, "niños soldado", etc. En España, algunas de las edades de transición más destacadas, recogidas en los Códigos Civil y Penal, son el nacimiento, los 4, los 12, los 16 o los 18 años; no obstante, éstas se tratarán con mayor detalle en capítulos posteriores.

Por lo tanto, a diferencia que en los adultos, cuando se estudian individuos infantiles bajo una perspectiva legal, el papel de la Antropología Forense va más allá de la identificación o la interpretación de lesiones, ya que también podrá aportar información muy valiosa que permita ubicar al menor en su grupo de edad correspondiente, tanto en individuos vivos, como en el estudio de cadáveres, condicionando así la aplicación de leyes y derechos.

## 1.2. LIMITACIONES EN EL ESTUDIO DE LA AFI

En Antropología Física, trabajar con restos óseos de individuos infantiles puede presentar una serie de ventajas con respecto a los adultos, como la



posibilidad de ofrecer estimaciones de la edad más precisas o una mayor facilidad para separar a los posibles individuos en casos de fosas con restos mezclados y desconexos. Sin embargo, también puede implicar una serie de dificultades, como una peor conservación de los restos en la mayoría de los casos, o la dificultad de encontrar metodologías específicas capaces de ofrecer resultados válidos para su aplicación en contextos forenses.

Desde un punto de vista histórico, los estudios de Antropología Física dedicados a los individuos subadultos han sido siempre muy escasos, aunque desde hace pocas décadas, su número ha ido en aumento. Los motivos de esta escasa representación de los individuos infantiles en la investigación antropológica pueden ser muchos y muy diversos, como así lo manifiestan algunos autores con la publicación de revisiones que abordan este tema (Baker 2005, Lewis 2007, Saunders 2008, González 2008, Halcrow *et al.* 2008). Dentro de este contexto, existe un, cada vez menos, polémico debate, en cuanto al peso que cada uno de estos factores tiene ante la escasa representación de los estudios sobre individuos infantiles.

Muchos de estos autores coinciden en que, probablemente, el principal motivo radica, simplemente, en que en el pasado se le atribuyó poca importancia a su estudio, ya que cobraban mayor protagonismo los trabajos dedicados a aspectos relacionados con la taxonomía humana, centrados en la descripción morfológica y métrica del cráneo (Halcrow 2008), por lo que los trabajos de investigación centraban sus objetivos en el análisis de los individuos adultos. A esto, además, se le sumarían las dificultades que plantean los restos óseos de individuos infantiles, tanto de excavación como de su posterior estudio.

Hoy en día esta tendencia ha desaparecido y ningún antropólogo cuestiona la importancia del estudio de los individuos infantiles, tanto para la comprensión de las sociedades del pasado, como para su aplicación directa en cuestiones de actualidad. Prueba de ello es el considerable aumento de trabajos de investigación, así como la publicación de manuales y revisiones, que abordan de manera específica el estudio de los individuos infantiles en el contexto de la Antropología Física y Forense (González 2008).

Pese al "desinterés" que ha existido en el pasado en torno al estudio de individuos infantiles en el contexto de la Antropología Física, muchos autores defienden que sigue existiendo un sesgo en cuanto al porcentaje de individuos

infantiles que puede ser estudiado en las necrópolis, es decir hay menos niños de los que debería haber (Saunders 2008). Para demostrar esto, se han realizado estudios en los que se compara el porcentaje de individuos infantiles recuperado tras la excavación de una necrópolis, con las tasas de mortalidad que tenía esa población de acuerdo a los documentos depositados en los registros históricos. Con este sistema, Jones y Ubelaker (2001) observaron en la excavación de una necrópolis del siglo XIX en Pensilvania que, los individuos menores de 5 años recuperados tras la excavación, únicamente representaban el 50% de los que, según los documentos oficiales, debería haber en dicho cementerio.

Para dar explicación a este reducido número de individuos infantiles en las excavaciones con respecto a lo esperado, algunos autores defienden que el motivo radica en la peor conservación de los restos óseos infantiles ya que, como se ha mencionado anteriormente, al ser más pequeños, más frágiles y tener un menor porcentaje de contenido mineral, los factores tafonómicos que degradan el tejido óseo tras la muerte, actuarán con mayor severidad en el esqueleto de individuos infantiles. No obstante, esta hipótesis no es aceptada por muchos investigadores, ya que, aunque efectivamente el esqueleto de los individuos infantiles es más susceptible al deterioro tafonómico que el adulto, eso no va a implicar que en las necrópolis se recuperen menos individuos infantiles; únicamente justifica que éstos se encuentren en peor estado de conservación.

Por otro lado, existen numerosos factores sociales y culturales que pueden dar respuesta a esta cuestión, de tal forma que, por cualquier motivo, a los individuos infantiles se les haya dado un trato diferencial con respecto a los adultos tras la muerte. En muchas sociedades, por ejemplo, el concepto de "persona" no se atribuía al individuo hasta varios años después del nacimiento, por lo que el ritual de enterramiento era muy diferente (Saunders 2008). En otros casos, las elevadas tasas de mortalidad infantil o el hecho de que el infanticidio pudiera ser una práctica habitual (Lewis 2007), también pudieron motivar un sesgo en el número de enterramientos de individuos infantiles. Guy (1997) pone como ejemplo una iglesia en Francia en la que se encontró un elevado porcentaje de individuos infantiles. Para explicar esto, hace notar que, en esa época, estaba castigado el infanticidio y se bautizaban a todos los individuos neonatos. En otros muchos ejemplos de cementerios se constata que los niños eran enterrados a parte de los adultos, por lo

que excavaciones parciales de un cementerio pueden conducir a proporciones erróneas de los grupos de edad.

Regresando al tema principal, y sean cuales sean los motivos, la realidad es que los trabajos centrados en el estudio de individuos infantiles en Antropología Física son escasos, más aún, si hacemos referencia a aquellos que ofrezcan métodos útiles que puedan ser empleados en Antropología Forense.

Hay que tener en cuenta que, en Antropología Forense, dado que los resultados que se desprendan de la investigación están orientados a fines judiciales, se hace preciso que la metodología empleada por el antropólogo posea un elevado grado de certeza y capacidad discriminante, no dejando lugar a la duda, pues suponen una gran carga emocional para las personas implicadas. Por este motivo, es importante dejar claro que no todos los métodos empleados en Antropología Física pueden ser utilizados en Antropología Forense, ya que los objetivos o cuestiones que abordan las diferentes subdisciplinas de la Antropología Física, van a ser diferentes (Cunha, 2009).

Cuando un antropólogo estudia una población arqueológica, la estimación de la edad puede responder a diferentes objetivos de su investigación, como comparar estudios paleodemográficos entre diferentes poblaciones, o bien, dividir a su muestra de estudio en grupos de edad, relativamente amplios, que le permitan estudiar por separado las variables objeto de su investigación. En este caso, la elección de los métodos para estimar la edad, podrá basarse en seleccionar aquellos que fueron desarrollados a partir de las poblaciones que ofrezcan un mayor interés comparativo, o bien, aquellos que sean fáciles de utilizar, aunque únicamente ofrezcan resultados orientativos, frente a aquellos más costosos y que ofrecen estimaciones más precisas.

En un contexto forense, sin embargo, en el que la investigación está centrada en identificar a una persona, el principal objetivo que se persigue es poder individualizarla, y siempre bajo unos niveles de precisión y exactitud adecuados desde un punto de vista judicial. Para lograrlo, el antropólogo debe emplear métodos que cumplan una serie de requisitos indispensables, relacionados con la metodología empleada para diseñarlos, el material utilizado, su publicación en revistas científicas y, quizás como uno de los más destacados, las características de la muestra que se empleó para diseñarlos.

Con carácter general, para diseñar un método útil para su aplicación en contextos forenses, se deben emplear muestras de estudio que cumplan 2 requisitos fundamentales: (1) deben ser contemporáneas, con el fin de que tenga unas características similares a las poblaciones actuales sobre las que se va a aplicar el método; (2) deben ser identificadas, es decir, en las que de cada individuo que componga esta muestra, se conozcan con certeza datos como la edad, el sexo, causa de muerte, origen poblacional, etc.

Si bien, como ya se ha mencionado anteriormente, si ya es reducido el número de trabajos que aborden el estudio de individuos infantiles en el contexto de la Antropología Física, más aún lo es el de aquellos que cumplen con los mencionados requisitos para su aplicación específica en Antropología Forense. Esto ha provocado que, a nivel mundial, se suelen emplear métodos muy básicos, no contrastados y, en gran parte, poco representativos, obtenidos con frecuencia a partir del estudio de colecciones arqueológicas no identificadas.

En la actualidad, las colecciones osteológicas no son el único tipo de muestra que puede utilizar el antropólogo para hacer trabajos de investigación. El avance de las tecnologías ha permitido que existan otros muchos recursos que pueden ser empleados con el mismo fin; principalmente aquellos que se derivan de casos clínicos sobre pacientes vivos, como estudios radiográficos, tomografías computarizadas (TCs), estudios de resonancia magnética, ecografías, ultrasonografías o bien, simplemente, la observación directa. No obstante, aunque estos recursos han supuesto un valioso avance para la investigación en Antropología Forense, continúan presentando una serie de limitaciones en cuanto al estudio de individuos infantiles, ya que este tipo de estudios o análisis no son una práctica habitual en sujetos de temprana edad y, además, no siempre son aplicables (o no se ha comprobado su aplicabilidad) en el estudio directo de restos óseos.

Resumiendo, por tanto, ésta la principal limitación que supone el estudio de individuos infantiles en el contexto de la Antropología Forense: la dificultad de investigar, siendo la causa más importante la escasez de muestras de estudio adecuadas. Las principales consecuencias son, con carácter general, que la metodología que puede ser empleada no suele cumplir con los requisitos mínimos exigidos para su aplicación en contextos forenses; que hay muchos grupos de edad que están muy pobremente representados, principalmente entre los 0 y los 5 años; que el reducido número de individuos que componen las muestras no permiten

conocer de manera correcta la variabilidad de los procesos o los patrones estudiados; y que la escasez de muestras adecuadas impide comprobar la aplicabilidad de los métodos en diferentes poblaciones.

### 1.3 ESTUDIO DE COLECCIONES IDENTIFICADAS

Como ya se ha mencionado, un aspecto crucial para la investigación en Antropología Forense, que permita elaborar métodos de estimación válidos, es el análisis de colecciones identificadas, de las cuales, al menos, se conozcan con certeza datos referentes al sexo y a la edad de muerte de sus individuos.

Estas colecciones son muy escasas debido a la dificultad que existe para adquirirlas y, más aún, aquellas que están compuestas por esqueletos de individuos infantiles. Esta dificultad es fácil de entender; por un lado, es debida a razones socio-culturales, ya que, al tratarse de individuos de época contemporánea, por lo general, aún conservan allegados que deseen enterrarlos o conservarlos tras la muerte; y por otro, debido al elevado coste personal, económico y temporal que conlleva la recuperación y preparación de la muestra, más aún, en aquellos casos en los que se requiere la esqueletización de los individuos cuando éstos proceden de una muerte reciente. Además, para poder llevar a cabo esta tarea de manera eficiente, se debe disponer de sistemas de financiación adecuados, lo cual en la actualidad, también supone un problema añadido, debido a la dificultad que existe para conseguir fondos destinados a la investigación.

No obstante, a nivel mundial existe un reducido número de colecciones que, pese a no poseer las características idóneas, han permitido desarrollar numerosos trabajos científicos y, a raíz de ellos, la práctica totalidad de la metodología actual empleada para el estudio de los individuos infantiles en Antropología Forense. A continuación se detallan las características y el origen de las más destacadas.

#### 1.4 PRINCIPALES COLECCIONES OSTEOLÓGICAS IDENTIFICADAS DE INDIVIDUOS INFANTILES:

##### 1.4.1 Colección de Spitalfields (Molleson 1993).

Esta colección osteológica, conservada actualmente en el Museo de Historia Natural de Londres, procede de las excavaciones arqueológicas que se realizaron en la década de 1980 en la cripta de la iglesia de Spitalfields, en Londres, durante los trabajos de restauración de dicha iglesia. Está compuesta por 968 individuos, con fechas de defunción comprendidas entre 1729 y 1857, de los cuales, 215 son juveniles (menores de 17 años); no obstante, no todos ellos se encuentran identificados, ya que únicamente se pudo disponer de información *antemortem* en aquellos casos en los que se conservó la lápida, en la que, además del nombre, se recogía la edad de muerte o bien las fechas de nacimiento y defunción.

Junto con la colección de Lisboa, se trata de una de las más notables colecciones de niños documentados en el mundo (Lewis 2007). Ha sido ampliamente estudiada, desprendiéndose de ella multitud de trabajos de gran relevancia, como los de Schutkowski (1993) para la determinación del sexo, los de Liversidge (1993, 2004) para la estimación de la edad dental o los de Scheuer *et al.* (1994) y Humphrey *et al.* (2006) para la estimación de la edad esquelética.

Como inconvenientes de esta colección hay que considerar que hay un elevado número de individuos en mal estado de conservación, así como una escasa proporción de femeninos. Según Wilson (2008), de los 215 subadultos, solo están identificados y en buen estado de conservación 17 individuos masculinos y 8 femeninos de 0 a 8 años.

##### 1.4.2 Colección de Fazekas y Kósa (Fazekas y Kósa 1978).

Esta muestra pertenece al Departamento de Medicina Forense de la Universidad de Medicina de Szeged, en Hungría. Está compuesta por 138

esqueletos de individuos no natos, 71 de ellos masculinos y 67 femeninos, que abarcan edades de gestación desde el 3º hasta el 10º mes lunar.

Para preparar esta colección, Fazekas y Kósa utilizaron sus propios estudios de autopsias. Esto supuso un duro y meticuloso trabajo, debido a la complejidad que implica la esqueletización completa de individuos de esta edad ya que, al ser los huesos de un tamaño muy reducido, es fácil que éstos se pierdan o se dañen durante el proceso. Además de la esqueletización, llevaron a cabo un amplio estudio morfométrico de cada individuo, tomando aproximadamente 80 medidas diferentes del esqueleto.

Tras 20 años de trabajo y el análisis estadístico exhaustivo de las variables tomadas en toda la colección, publicaron en el año 1978 el libro titulado "Forensic Fetal Osteology", en el cual ofrecían una amplia metodología para la estimación de la edad y el sexo de individuos no natos. Este libro supuso un gran avance en el contexto de la Antropología Forense, convirtiéndose en un manual indispensable para el antropólogo; no obstante, hay que tener en cuenta que su aplicación, únicamente es válida para individuos fetales y que, debido a la escasez de muestras similares, son escasos los estudios realizados para contrastar sus resultados, por lo que hay que considerar la posibilidad de error al aplicar estos métodos en poblaciones diferentes.

### 1.4.3 Colección de Lisboa (Cardoso 2006).

Esta colección se encuentra ubicada en el Museo Nacional de Historia Natural (Museo Bocage) de Lisboa. Comenzó a formarse en 1980 por *Luís Lopes*, técnico de dicho museo, por lo que también se conoce como Colección de *Luís Lopes*. No ha estado disponible para su estudio hasta hace apenas una década, ya que se pretendió no darla a conocer hasta que no estuviera totalmente procesada. Los individuos que la componen proceden de tres cementerios diferentes de Lisboa: Alto de S. Jo, Alto de S. João, Prazeres, y Benfica. Para adquirir los restos óseos, el Museo Bocage solicitó al ayuntamiento de Lisboa que, aquellas tumbas que hubieran sido abandonadas y cuyos restos estuvieran destinados a fosas comunes, fueran cedidos para su investigación. Gracias a este origen de la muestra, la

información *antemortem* de la que se dispone es muy completa, ya que no se limita a la inscripción de la lápida, sino que, en la mayoría de los casos, también existen actas de defunción con información muy detallada.

Está compuesta por 1692 esqueletos, con fechas de defunción comprendidas entre 1880 y 1975; ambos sexos están bien representados y se encuentran en un estado de conservación, en su mayoría, bueno. No todos ellos están disponibles para la investigación, ya que hay muchos que no han sido preparados para su estudio, o bien, la información *antemortem*, aún no ha sido recuperada. En el año 2006, cuando esta muestra se dio a conocer mediante su publicación, únicamente estaban disponibles para su estudio 699 individuos.

Con respecto a los individuos subadultos, a pesar del elevado número de individuos por los que está compuesta esta colección, son escasos los infantiles disponibles para la investigación, reduciéndose a 42 con edades inferiores a los 10 años, por lo que no se puede considerar representativa para este grupo de edad; sin embargo, al igual que con la colección de Spitalfields, la colección de Lisboa ha permitido desarrollar numerosos trabajos de investigación, que han supuesto un gran avance para la metodología empleada en Antropología Forense infantil. Entre otros, destacan los realizados por Black *et al.* (1996), Cardoso *et al.* (2008, 2013) o Vlák *et al.* (2008).

#### 1.4.4 Colección Osteológica "Prof. Dr. Rómulo Lambre", Argentina (Salceda 2009)

Esta colección, de reciente formación, está depositada en la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Los esqueletos proceden del Cementerio Nacional de La Plata, que tras llegar a un acuerdo de cooperación, en el año 2005, con la Facultad de Ciencias Médicas y la Facultad de Ciencias naturales y Museo (UNLP), cedió aquellos restos óseos procedentes de las exhumaciones rutinarias realizadas en este cementerio, con el objetivo de que pudieran ser utilizados para la investigación y docencia.

Esta colección osteológica está formada por 437 esqueletos, con fechas de defunción comprendidas entre 1936 y 2001; no obstante, se mantiene el convenio



con el cementerio, por lo que se espera que aumente su número con el paso del tiempo. Los principales aspectos positivos que presenta están en relación a que procede de un cementerio actual, por lo que la muestra se puede considerar contemporánea, los esqueletos se encuentran en buen estado de conservación en su mayoría y la información *antemortem* relativa a cada individuo es muy amplia, ya que se conservan actas de defunción con la edad, el sexo, la causa de muerte, fecha de defunción, nacionalidad, etc.

Con respecto a los individuos infantiles, esta colección posee 54 individuos fetales de los que se desconocen los meses de gestación y 84 con edades comprendidas entre los 0 y los 9 años (48 masculinos y 36 femeninos), siendo la mayoría de estos menores de 1 año.

#### 1.4.5 Muestra de Raymond A. Dart de Sudáfrica (Dayal 2009).

Esta muestra comenzó a formarse alrededor de 1920, de ahí el gran número de individuos que la compone (2.550 de todas las edades). Se localiza en la Escuela de Ciencias Anatómicas de la Universidad de Witwatersrand, Johannesburgo, Sudáfrica y está compuesta por cadáveres de la Sala de Disección Anatómica, cedidos para la investigación, meticulosamente tratados para su estudio y conservados en perfecto estado, lo que la convierte en una muestra excelente para la investigación.

Su principal carencia es el número de individuos infantiles que la compone, reduciéndose a 42 con edades comprendidas entre los 0 y los 10 años.

#### 1.4.6 Colección de Robert J. Terry (Hunt 2005).

Está compuesta por cadáveres utilizados en las clases de Anatomía de la Escuela de Medicina de St. Louis, Missouri y se localiza en el Museo de Historia Natural del Instituto Smithsonian, Washington. El número de individuos subadultos identificados se reduce a 16, con edades comprendidas entre los 14 y 20 años, por lo que no es representativa para este grupo de edad.

1.4.7 Muestras del Museo de Historia Natural de Cleveland, EEUU. (<http://www.cmnh.org>).

En dicho museo poseen dos colecciones independientes disponibles para su estudio en el Departamento de Antropología Física. Una de ellas es la colección Hamann-Todd, compuesta por 3.715 individuos, en su gran mayoría identificados, de los cuales 57 son infantiles con edades que abarcan desde el nacimiento hasta los 10 años. La otra es una colección de 112 cráneos de no natos humanos procedentes de Baltimore, Maryland.

1.4.8 Muestra de momias subadultas del norte de Chile (Sutter 2003).

Esta muestra está compuesta por 85 momias prehistóricas infantiles autopsiadas, de las cuales se conoce el sexo gracias a la conservación de los órganos sexuales momificados. Aunque es perfectamente válida para la investigación y muy útil, en concreto, para estudiar el dimorfismo sexual en subadultos, el desconocimiento de la edad de los individuos y su escaso número de ejemplares la limita en gran medida en cuanto a su potencial de investigación.

1.4.9 Colección identificada de la iglesia de St. Bride's (Gapert R, 2009).

Esta colección está ubicada en la iglesia de St. Bride, en Londres. Esta compuesta por 244 esqueletos, identificados a partir de las inscripciones conservadas en las lápidas o ataúdes de sus tumbas. Las fechas de defunción abarcan los siglos XVIII y XIX. En ella hay 14 individuos juveniles con edades comprendidas entre los 3 y los 17 años.

1.4.10 La Colección de esqueletos humanos de referencia de la Universidad de Atenas, Grecia (Eliopolus 2007).

Esta colección se encuentra ubicada en el Departamento de Fisiología Animal y Humana de la Universidad de Atenas, Grecia. Está formada por 225 individuos, 214 de los cuales están identificados. Procede de cementerios municipales actuales, con las ventajas de conservación y documentación anteriormente mencionadas que esto conlleva; no obstante, los individuos subadultos están muy poco representados, reduciéndose su número a 9 niñas y 1 niño con edades comprendidas entre los 0 y los 9 años.

1.5 INFORMACIÓN ANTEMORTEM CON INTERÉS ANTROPOLÓGICO

Todas estas colecciones tienen como elemento en común el hecho de que se conserva información *antemortem* de los individuos que las componen, lo cual va a ser el aspecto más importante que las convierte en herramientas idóneas para la investigación en Antropología Forense. Por este motivo, será necesario que el antropólogo conozca con qué tipo de información puede contar, qué datos serán más importantes para alcanzar sus objetivos y cuales son las fuentes que puede consultar para obtenerlos.

Con respecto al origen de esta información, éste puede ser muy variable, como las inscripciones que se conserven en las lápidas o ataúdes, las bases de datos de los propios cementerios, multitud de registros oficiales, donde se conserven actas de nacimiento o defunción, o bien, simplemente gracias al hecho de que los individuos estén momificados, permitiendo así conocer con certeza su sexo, siendo éste el ejemplo antes mencionado de las momias de Chile. Cualquier información que pueda recuperar el antropólogo podrá ser válida para su uso en la investigación, siempre y cuando, se cumpla con el requisito de que ésta proceda de una fuente fiable.

Antes de iniciar el estudio de una colección identificada hay que tener muy presente que la naturaleza de los datos que se van a utilizar hace referencia a la identidad de personas y, por lo tanto, es confidencial y está sujeta a leyes de privacidad. Por ello, los proyectos de investigación que trabajen con este tipo de colecciones deberán estar estructurados de acuerdo a unos protocolos y metodología de trabajo estrictos, que aseguren la confidencialidad y la custodia de la información personal con la que se trabaja. Para llevar esto a cabo de forma correcta, antes de comenzar ningún trabajo, se debe plantear un proyecto que cumpla con estos requisitos y, posteriormente, deber ser evaluado y aceptado por los comités de ética u organismos responsables en cada caso, que verifiquen que no se atenta contra ningún derecho fundamental de las personas vinculadas a los esqueletos de la muestra.

Una vez que se conozcan las fuentes de información que se pueden consultar y el protocolo de trabajo que se va a seguir, el antropólogo deberá plantearse, por último, qué datos querrá recabar y con qué fin podrá emplearlos en el futuro. Recabar la información *antemortem* de una colección amplia, por lo general, es una tarea que requiere mucho tiempo y dedicación, por lo que, tener claro todos estos aspectos, será la única forma de evitar tener que repetir todas las consultas realizadas en el caso de se haya cometido algún error, o bien, no se recabara toda la información necesaria.

A continuación se muestran algunos datos de información *antemortem* que podrán ser de interés para la investigación en Antropología Física y Forense, así como algunas consideraciones que pueden ayudar plantear de forma correcta el trabajo desde su inicio. No existe una manera concreta de realizar esta tarea, siempre dependerá de los objetivos de la investigación, la naturaleza de la muestra y las posibilidades de recabar datos. Por lo tanto, la información que se presenta a continuación no pretenden ser un protocolo de trabajo, sino más bien, una serie de consejos o consideraciones fruto de la experiencia personal y de los errores propios cometidos en tareas similares:

### 1.5.1 Edad de muerte:

Posiblemente, éste será el dato más importante que se pueda recabar en el estudio de colecciones identificadas, principalmente cuando se trabaje con individuos infantiles, ya que será el dato que más directamente se pueda relacionar con los cambios observables en el esqueleto. Cuanto menor sea el individuo, más preciso debe de ser el dato de la edad, ya que la tasa de desarrollo será mayor. Por lo tanto, en individuos infantiles la edad debe ser expresada preferiblemente en días, evitando aquellos datos que la redondeen a meses o años.

Todos los documentos que se pueden consultar han sido elaborados por personas y, por lo tanto, son susceptibles de contener errores. Por este motivo, y con carácter general, también va a ser muy importante estar seguro de que la información que recogen estos documentos es correcta y, por lo tanto, tomar todas aquellas medidas que aseguren su veracidad. Para ello, en primer lugar, y siempre que sea posible, es aconsejable contrastar la información de las diferentes fuentes que se puedan consultar, como las actas de enterramiento de los cementerios y las actas de defunción de los registros civiles.

Ciñéndonos al dato de la edad, otra forma de confirmar que la edad de muerte reflejada en un documento es correcta, será contrastarla con la edad que se obtiene al restar a la fecha de defunción la fecha de nacimiento, ésta última consultada en las actas oficiales de nacimiento.

Cuando se trabaja con individuos infantiles, principalmente con aquellos de temprana edad, otro elemento que puede contribuir a que el dato de la edad del individuo sea erróneo, va a ser el desconocimiento de los meses de gestación con los que nació. Hay que tener en cuenta que la edad de muerte se basa solo en la edad cronológica, únicamente definida por el momento del nacimiento y, por lo tanto, inducirá a error en aquellos casos en los que el individuo naciera de forma prematura. Como ejemplo, aunque en el acta de defunción de un bebé aparezca que éste murió a los 15 días de vida, si éste nació con 8 meses de gestación, sería erróneo relacionar su edad con su estado de desarrollo.

Para identificar estos casos, puede ser útil consultar las causas de muerte en las actas de defunción, ya que, en muchos casos, estos individuos murieron precisamente por el hecho de ser prematuros y, por lo tanto, podrán aparecer como

causas de defunción "prematuridad", "debilidad congénita", "falta de desarrollo", etc. Una vez identificado, lo ideal sería poder conocer los meses de gestación con los que nació cada individuo, para lo cual, posiblemente se pueda consultar, cuando exista, el informe médico incorporado cuando se registra un nuevo nacimiento, o bien, recurrir al historial médico de las madres; no obstante, ambas opciones son difíciles de conseguir, por lo que la única alternativa será que estos individuos sean excluidos de aquellos estudios relacionados con la edad del sujeto.

### 1.5.2 Sexo:

El sexo es un dato que será especialmente útil conocer cuando se estudien individuos infantiles, ya que los métodos actuales no permiten estimarlo con el suficiente grado de certeza, mediante el análisis morfométrico del esqueleto (Weaver 1980, Schutkowski 1993, Sutter 2003, Scheuer 2002, Vlak 2008, Hsiao 2010); no obstante, tampoco entraña dificultad conocerlo, ya que en cualquier acta o documento vinculado al difunto podrá encontrarse, como mínimo, su nombre y, por lo tanto su sexo.

El único problema que se suele plantear, en cuanto al conocimiento del sexo, en colecciones de esqueletos infantiles identificados, puede venir dado en los individuos de edad fetal, pues, dado que no llegaron a nacer, no se les llegó a poner nombre, ni tienen una acta de nacimiento o defunción. En estos casos, es posible que en el acta de enterramiento, en el propio cementerio, sí exista este dato, en forma, por ejemplo, de: "...se entierra un feto varón..."; o bien, en el historial clínico de la madre, en el caso de que se pueda acceder él.

Como última posibilidad, se recomienda anotar el sexo observable en aquellos individuos que conserven los genitales momificados o semimomificados; esto permitirá conocer el sexo de los individuos fetales, de los no identificados y, en los que sí estén identificados, permitirá contrastarlo con los documentos oficiales a fin de evitar posibles errores.

1.5.3 Causa de muerte:

Este dato puede ser de gran utilidad para varios aspectos muy diferentes, como identificar a los individuos prematuros, descartar en posible estudios a aquellos individuos cuya causa de muerte hubiera podido afectar al desarrollo normal del esqueleto (como alteraciones congénitas, enfermedades crónicas, desnutrición, etc.) o bien, la posibilidad de poner dicha causa de muerte en relación con alteraciones observables en el esqueleto, lo que permitiría establecer los patrones para realizar futuros diagnósticos.

En las actas de defunción, la causa de muerte puede estar dividida en causa fundamental y causa inmediata. La primera hará referencia al estado patológico que, de forma directa, ha provocado la muerte del individuo, por ejemplo: "insuficiencia respiratoria" o "paro cardíaco"; la segunda, sin embargo, hará referencia a la enfermedad o proceso que ha ocasionado las patologías posteriores que han dado lugar a la muerte del individuo, como por ejemplo "bronquitis capilar", "meningitis" o "debilidad congénita por prematuridad".

En ocasiones, puede ser de gran utilidad consultar los informes forenses en aquellos casos en los que se le realizara la autopsia al cadáver. En este documento, además de poder encontrar la causa de la muerte, gracias a lo cual se podrá contrastar con el acta de defunción, el médico forense habrá detallado los procesos y causas que han provocado la muerte del individuo, ampliando así las posibilidades de establecer la relación entre las lesiones o marcas encontradas en el esqueleto y los mecanismos de producción. Como ejemplo de esto último, mientras que en el acta de defunción podemos encontrar como causa de muerte únicamente el dato "traumatismo craneoencefálico", consultando el informe forense sabremos si fue por precipitación, en cuyo caso también sabremos la altura aproximada, o si fue por un accidente de tráfico, detallándose si se trataba de un peatón, conductor o copiloto, contra qué se produjo el golpe, velocidad aproximada, si existen lesiones adicionales, etc.

#### 1.5.4 Nacionalidad:

Conocer el país de nacimiento de cada individuo, e incluso el de sus progenitores, permitirá ampliar las posibilidades de estudio de la colección, ya que, como se detallará en adelante, multitud de trabajos justifican la necesidad de establecer estándares específicos para cada población. Por este motivo, excluir de la muestra de estudio aquellos sujetos que pertenezcan a un grupo poblacional diferente, permitirá obtener resultados más precisos, además de ofrecer la posibilidad, cuando el volumen de muestra sea adecuado, de realizar estudios comparativos destinados a desarrollar métodos para la estimación del grupo poblacional.

#### 1.5.5 Estatus social

El desarrollo de cualquier organismo vivo está condicionado por factores genéticos y ambientales. En el ser humano, el estatus social de una persona puede ser un indicativo de la capacidad que tiene para el acceso a recursos que le permitan disponer de una mayor calidad de vida, como, por ejemplo, acceso a una atención médica de calidad, acceso a una buena alimentación, posibilidad de evitar trabajos duros que supongan un deterioro físico intenso, etc. En definitiva, a partir del estatus social, se puede inferir si los factores ambientales son favorables o desfavorables para el desarrollo, por lo que conocer este dato para los individuos de una colección osteológica, permitirá al antropólogo valorar en qué medida y forma afectan estos factores al desarrollo del esqueleto.

Este tipo de estudios son de gran interés en el contexto de la Antropología Forense, ya que gracias a ellos se podrán escoger aquellos métodos de estimación que se muestren más estables ante diferentes condiciones ambientales, o bien, nos permitirán conocer, a grandes rasgos, en qué tipo de entorno se desarrolló una persona. En este sentido, gracias a investigaciones similares, se ha demostrado que el desarrollo dental está menos influenciado por factores ambientales de este tipo que el desarrollo del esqueleto (Cardoso 2007).



Valorar el estatus social de una persona es algo que puede resultar complicado, ya que depende de multitud de factores; no obstante, a partir de la documentación *antemortem* de la que se pueda disponer, se pueden obtener algunos datos que servirán para ofrecer una aproximación. Para cuantificar este parámetro de la forma más objetiva posible, se pueden categorizar todos aquellos datos que ofrezcan información sobre cómo vivía esa persona, asignando valores numéricos según indiquen un alto o bajo estatus social, como por ejemplo, 1=bajo, 2=medio y 3=alto; de esta forma, al unificar la información, se obtendrá como resultado un único valor numérico, representativo del estatus social y que habrá sido calculado utilizando los mismos criterios para todos los individuos.

Como ejemplos de información referente al estatus social, y que se pueden encontrar en las actas habituales disponibles para colecciones identificadas, se pueden mencionar los siguientes datos: el último domicilio, ocupación (de los padres en el caso de individuos infantiles), ropa y ajuar con los que fue enterrado, tipo y coste del ataúd, ritual funerario, etc.

### 1.5.6 Criterios de exclusión

Por último, y con carácter general, es importante tener en cuenta que la utilidad de la información *antemortem* no va ser únicamente la de relacionar ciertos datos con las características observables en el esqueleto, sino que también va a servir para aportar criterios de exclusión que permitan utilizar en cada estudio, únicamente aquellos individuos que se ajusten a los objetivos concretos de éste.

Como ejemplo, se puede mencionar que, en los estudios que evalúen el desarrollo del esqueleto en relación con la edad, se deberá tener en cuenta, además de la edad, que los individuos de la muestra no padecieran patologías que afectaran a su desarrollo, que no nacieran de forma prematura, que pertenecieran al mismo grupo poblacional; se deberá evaluar si afectan factores como el sexo o el estatus social, etc.

En resumen, cuanto mayor sea el volumen de información de la que se pueda disponer, más posibilidades habrá de adecuar la muestra a las necesidades específicas del estudio que se pretenda realizar, haciendo a ésta más homogénea

en cuanto a sus características y excluyendo aquellos factores externos que puedan comprometer los resultados finales; en definitiva, esto permitirá realizar una investigación de mayor calidad.



**Capítulo 2:**  
**ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN**  
**INDIVIDUOS INFANTILES**



## 2.1 INTRODUCCIÓN

En Antropología Forense, la estimación de la edad se aplica, por lo general, para conocer la edad que tenía una persona al morir, con el objeto de contribuir a su identificación. Para ello se lleva a cabo el análisis de sus restos óseos o del cadáver en avanzado estado de putrefacción. No obstante, en subadultos, también se utiliza de forma habitual para la estimación de la edad de personas vivas, principalmente mediante el empleo de radiografías, con el objeto de ubicar a un individuo en un marco legal; por ejemplo, en casos de inmigración, infanticidio, pedofilia, etc.

La metodología utilizada para la estimación de la edad en Antropología Física, está basada en la evaluación del estado de desarrollo de un esqueleto, o edad fisiológica, y la correspondencia de ésta con la edad cronológica. A continuación se definen cada una de ellas:

- **Edad cronológica:** está únicamente determinada por la fecha de nacimiento y de defunción. En los casos de identificación forense, se dispondrá de este dato como parte de la información *antemortem* y será proporcionado por los familiares, o a partir de documentos oficiales. Así mismo, en caso de conocerse, será el criterio empleado para ubicar al individuo de acuerdo a las diferentes edades de transición establecidas por la ley, condicionando así la aplicación de leyes y derechos.
- **Edad fisiológica o biológica:** es la edad que refleja el estado fisiológico de un individuo. Se define según criterios de maduración y desarrollo en individuos infantiles y a partir de la evaluación de signos degenerativos en adultos. En el contexto de la Antropología Física, la edad fisiológica distingue entre la “edad dental” y la “edad esquelética”.

A partir del estudio del esqueleto, únicamente se puede obtener información referente a la edad fisiológica, mientras que, desde una perspectiva legal, el dato verdaderamente útil en los casos de identificación será la edad cronológica. Por este motivo, será la correspondencia entre ambas la que condicionará la validez de la estimación ofrecida por el antropólogo.

El ajuste entre la edad fisiológica y cronológica depende de diversos factores:

- **Factores genéticos:** la variabilidad genética va a provocar que no todos los individuos posean una tasa de desarrollo idéntica. Desde un punto de vista práctico, se puede distinguir entre variabilidad genética intrapoblacional, la cual será definida, en parte, mediante el margen de error asumido por las diferentes metodologías; y la variabilidad genética interpoblacional, ampliamente estudiada por numerosos autores, y la que justifica la necesidad de desarrollar estándares de maduración específicos para diferentes poblaciones (Jayaraman 2013, Cunha *et al.* 2009, Ooze *et al.* 2006, Schmeling 2006)
- **Factores ambientales:** el estado de nutrición de una persona, su actividad, su estatus social, padecer determinadas enfermedades, episodios de estrés intenso, etc., son algunos ejemplos de factores ambientales que van a condicionar de forma muy significativa la relación entre la edad cronológica y fisiológica de un individuo. No todos los procesos de maduración se verán afectados del mismo modo por los factores ambientales; con carácter general, el desarrollo dental se ve menos influenciado por ellos que el esquelético.
- **Diferencias por sexo:** los procesos de crecimiento y maduración de un individuo están altamente regulados por la acción de determinadas hormonas, cuya secreción y naturaleza, a su vez, se encuentra altamente condicionada por el sexo del individuo. En general, el desarrollo dental y el esquelético son más tempranos en el sexo femenino que en el masculino, pero el grado de discrepancia entre ambos dependerá del proceso de maduración estudiado y del grupo de edad al que pertenezcan.
- **Edad gestacional:** este factor tiene una gran importancia en los individuos infantiles de menor edad. Como se ha mencionado, la edad cronológica está definida por el momento del nacimiento; sin embargo, no todos los individuos nacen tras el mismo periodo de gestación. Por esta razón, en edades tempranas, la estimación de la edad puede ser errónea si el sujeto nació de forma prematura, mostrando una edad fisiológica inferior a su edad cronológica.

Por estos motivos, la investigación en Antropología Forense debe cuantificar en qué grado afectan cada uno de estos factores al desarrollo y de qué modo paliarlos. Esto se puede llevar a cabo comprobando la aplicabilidad de cada método en función del origen poblacional de la muestra, o bien evaluando la influencia del medio ambiente en el desarrollo del individuo y buscando variables que permitan la identificación del sexo previo a la estimación de la edad. Todos estos elementos deben ser evaluados antes de comenzar el estudio de un esqueleto, ya sea a través de la información *antemortem* disponible o mediante el análisis de los restos, para poder seleccionar aquellas metodologías más adecuadas.

Cuando se estudian individuos subadultos en un contexto forense, con frecuencia, la edad será el dato más valioso que pueda aportar el antropólogo. Esto se debe a que, en los individuos infantiles, se podrán ofrecer estimaciones con mayor grado de precisión que en los adultos, ya que la estimación de la edad en subadultos se lleva a cabo a partir criterios basados en el desarrollo del esqueleto, a diferencia de los métodos para adultos que evalúan los procesos degenerativos. A continuación se señalan las dos diferencias principales que existen entre ambos tipos de procesos.

- Los procesos de crecimiento y desarrollo del esqueleto tienen una **tasa de cambio** muy superior a la de los procesos degenerativos. Con carácter general, y en función del método empleado, se puede estimar la edad de un individuo perinatal con un error de pocas semanas; en individuos que posean en torno a los 3 años el error asumido será de pocos meses; cuando se alcanza la pubertad el error asciende a los pocos años y una vez alcanzada la edad adulta, el error asumido puede ser de décadas.
- Los procesos de crecimiento y desarrollo presentan una mayor **regulación genética** que los degenerativos, los cuales se ven más influenciados por factores ambientales, como la actividad ocupacional, lesiones, estilo de vida, etc. Además, cuanto mayor es la edad de un individuo, mayor será la influencia que el ambiente haya tenido en las características de su esqueleto.

Pese a que, en teoría, la edad de los individuos subadultos se puede estimar de forma muy precisa, existe un inconveniente que impide que esto siempre sea así: los procesos de maduración dentales y esqueléticos varían significativamente entre los individuos masculinos y femeninos; sin embargo, la estimación del sexo en individuos infantiles supone un gran problema para la Antropología Física, ya que las diferencias morfológicas entre ambos sexos son mínimas hasta alcanzar la adolescencia (Saunders 2008). Por este motivo, cuando se desconozca el sexo, la precisión que se pueda obtener en la estimación de la edad se verá reducida.

## 2.2 TERMINOLOGÍA EMPLEADA

Este texto está dedicado al estudio de todos aquellos individuos que no han alcanzado aún la edad adulta. Existen numerosos términos para referirse a este grupo de edad; sin embargo, en la actualidad, aún no existe un consenso dentro de la comunidad científica sobre cual de ellos debería ser empleado. Uno de los términos más habituales es "**subadulto**" (Halcrow 2008); no obstante, algunos autores sugieren que, etimológicamente, esta palabra hace referencia a



aquellos individuos "inferiores" a los adultos, con una posible interpretación despectiva del concepto, como "peores" o "menos importantes" que los adultos (Lewis 2007). Otros autores, justificándose en el argumento anterior, prefieren denominar a este grupo como "**No adultos**", eliminando así la connotación negativa (Lewis 2007). Sin embargo, este concepto puede plantear exactamente el mismo problema que el anterior, ya que se está definiendo a este grupo como "lo que no son": adulto, de tal modo que, inevitablemente, se crea una categoría que, por definición, es inferior a la otra (Halcrow 2008). Otros autores emplean el término **Inmaduro** (Ubelaker 1987), pero éste plantea problemas similares a los anteriores. La alternativa a estos problemas, por tanto, debería ser emplear términos específicos para este grupo de edad, sin que ellos hayan sido construidos a partir de otros, como **juveniles** o **infantiles**, empleados por autores como Saunders (2008) o Scheuer y Black (2000, 2004, 2009). Estos conceptos también pueden plantear ciertos inconvenientes dependiendo del contexto en el que se usen: por un lado pueden ser confundidos, ya que coinciden con otras subcategorías de edad que emplean ciertas disciplinas y que están acotados por límites de edad muy concretos (Halcrow 2008); por otro lado, ambos son términos que se emplean habitualmente para definir un grupo de "edad social" no de "edad biológica" o "cronológica". Como se verá más adelante, la definición del término en este caso será variable y estará sujeta a una población y una época concretas (Kamp 2001).

Como ya se mencionó en la introducción, en este documento se empleará, con carácter general el término subadulto, dado que se interpreta que éste plantea una connotación biológica de la infancia; es decir, hace referencia a aquellos individuos que no han culminado su desarrollo. No obstante, se hará también uso de otros términos similares, como individuos infantiles o juveniles, ya que, pese a la posible problemática que puedan plantear, éstos pueden facilitar la comprensión y la fluidez del texto al lector.

### 2.3 GRUPOS DE EDAD EN INDIVIDUOS SUBADULTOS

Prácticamente todas las disciplinas que analizan al ser humano en cualquier aspecto relacionado con su edad, establecen grupos o categorías que faciliten su estudio. Estas divisiones permiten a los antropólogos realizar comparaciones, ya sea entre estos mismos grupos de edad o entre poblaciones diferentes, y establecer patrones específicos para cada uno de ellos. Establecer categorías de edad, por tanto, es una herramienta útil y, en la mayoría de los casos, necesaria, para poder abordar multitud de estudios antropológicos; no obstante, tanto los términos empleados para cada una de las categorías, como los límites de edad que se utilizan para

definirlas, son con frecuencia motivo de conflicto, ya que su utilidad y eficacia, dependen de los objetivos concretos para los que se utilicen.

Los cambios que se producen en el organismo de una persona, tanto los de crecimiento y desarrollo como los cambios degenerativos, forman parte de un proceso biológico, continuo y progresivo, que sucede conforme al incremento en edad del individuo; sin embargo, las categorías de edad que utilizan las diferentes disciplinas no pueden ajustarse a las características de este proceso por dos motivos fundamentales: (1) están basadas en la edad cronológica del individuo, es decir, meramente definidas por el momento del nacimiento y el día en que se cumple una edad determinada, mientras que los cambios biológicos de un individuo están regulados por la edad fisiológica; y (2) establecen límites muy puntuales entre un grupo de edad y otro, cuando, sin embargo, los cambios anteriormente mencionados se producen de manera progresiva y con una notable variabilidad entre diferentes personas. Hay que tener muy presente, por tanto, que estas categorías de edad son artificiales, es decir, no existen a nivel biológico. La principal consecuencia que se desprende de este razonamiento, es que los grupos de edad que se empleen en cada caso deben estar específicamente definidos para cumplir los objetivos concretos para los que han sido creados.

Existen numerosas divisiones del periodo que comprende el desarrollo de un individuo, cada una de las cuales está basada en unas características concretas del individuo y ha sido creada con unos fines específicos. Así, pueden estar orientadas a establecer edades legales, que condicionen la aplicación de leyes o derechos; también pueden estar definidas como "edades sociales", construidas culturalmente y que condicionan el cumplimiento de unas determinadas normas de comportamiento o rituales; o bien pueden estar definidas por determinadas características fisiológicas que faciliten los estudios de crecimiento o desarrollo. Por lo tanto, podremos encontrar diferentes clasificaciones en función de la disciplina que las utilice y además, entre diferentes países.

Cualquier estudio que utilice una clasificación por edades de la infancia, deberá definir claramente en su inicio, cual es la clasificación que va utilizar y qué motivos le han llevado a emplearla. A continuación se muestran las clasificaciones de edad más habituales empleadas en diferentes disciplinas:

2.3.1 Embriología, Pediatría y Antropología Médica

En estos casos las clasificaciones están basadas en el desarrollo fisiológico general del individuo. A continuación se indican, con carácter general, los principales términos empleados y las edades que los definen (Scheuer y Black 2000, Scheuer y Black 2004, Halcrow 2008):

- Prenatal** Hasta el momento del nacimiento
- Embrión** Primeras 8 semanas de vida intrauterina
- Feto** Desde la 9ª semana hasta el nacimiento
- Pretérmino** Menos de 37 semanas de gestación
- A término** Entre las 37 y las 42 semanas de gestación
- Postérmino** Más de 42 semanas de gestación
- Perinatal** Desde 24 semanas de gestación hasta los 7 días postnatales
- Neonato** Desde el nacimiento hasta los 28 días
- Infantil** Desde el nacimiento hasta 1 año
- Infancia** De 1 a 15 años
  - Infancia temprana: de 1 a 5 años
  - Infancia tardía: de 6 a 15 años. En algunos contextos esta etapa dura hasta los 12 años
- Pubertad** Término generalmente empleado para describir el inicio de los cambios fisiológicos sexuales secundarios
  - Niños: entre los 12 y los 16 años
  - Niñas: entre los 10 y los 14 años
- Adolescencia** Algunos pediatras la definen desde los 13 a los 19 años

### 2.3.2 Bioarqueología

En este caso, los objetivos que se plantean los trabajos arqueológicos que estudian a los individuos infantiles en las poblaciones del pasado, centran su interés en la estructura de la sociedad de dicha población y, por tanto, en la "edad social" del individuo. Del mismo modo que en contextos sociológicos es importante diferenciar entre el concepto de "sexo", como condición biológica, y "género", como concepto social, tampoco deben ser confundidos los conceptos de "edad fisiológica" o "cronológica" con "la edad social" de un individuo.

En este caso, la edad social es aquella que regula el estatus del individuo dentro de la sociedad, sus relaciones con el resto de la comunidad, rituales, su actividad laboral, etc. Por lo tanto, cuando se estudien individuos subadultos en contextos de bioarqueología, para poder obtener conclusiones acertadas y evitar comparaciones erróneas, éstos deben tener en cuenta que dichas edades difieren de unas sociedades a otras, por lo que, tanto el número como la definición de las categorías de edad en las que se divide la infancia, deben ser escogidas de forma específica para cada población y no se debe utilizar ningún sistema preconcebido si se desconoce la estructura de dicha sociedad (Kamp 2001, Halcrow 2008, Lewis 2007).

A continuación se muestran, con carácter general, los principales términos y las edades correspondientes que se emplean habitualmente en Bioarqueología para clasificar a los individuos subadultos. Esta clasificación puede ser considerada como la más habitual, confeccionada a partir de la combinancia de las clasificaciones publicadas por Scheuer y Black (2000, 2004), Baker (2005), Lewis (2007) y Halcrow (2008); no obstante, como se ha mencionado anteriormente, no es una clasificación cerrada, sino que deberá adaptarse a los objetivos concretos de cada estudio.

- Feto** Desde la octava semana de gestación hasta el nacimiento.
- Perinatal** Con carácter general, periodo de tiempo justo anterior y posterior al nacimiento.
- Neonato** Desde el nacimiento hasta los 27 días de vida.
- Infantil I** De 0 a 7 años (hasta la emergencia del primer molar permanente). En ocasiones se subdivide en 2 categorías:
  - Infantil Ia: desde el nacimiento hasta los 2 años
  - Infantil Ib: de 2 a 7 años
- Infantil II** De 7 a 15 años (hasta la emergencia del segundo molar permanente)
- Juvenil** Desde los 15 años hasta el cierre de la sincondrosis esfenobasilar (en torno a los 22 años).

Este sistema de clasificación es uno de los más empleados en países europeos; no obstante, en el manual publicado por Lewis (2007) se puede encontrar una clasificación que incluye diferencias, entre ellas, categorías para dividir el periodo prenatal. Esta última es más empleada por antropólogos del Reino Unido.

Con respecto a los términos "feto a término" o "recién nacido", éstos pueden ser fácilmente confundidos en la práctica cuando se trabaja en contextos de bioarqueología, por lo que siempre será recomendable sustituirlos por el término "perinatal", el cual incluye a ambos y será más exacto (Baker 2005).

Como se puede observar en la clasificación anterior, algunas de las categorías están definidas en función de que haya ocurrido, o no, algún evento del desarrollo. Éstos son, con frecuencia, muy variables dentro de una misma población, con especial mención al cierre de la sincondrosis esfenobasilar (Scheuer y Black 2006, Kahana *et al.* 2003); no obstante, en contextos de bioarqueología, es más importante poder clasificar a los individuos correctamente, en grupos que permitan establecer comparaciones entre ellos mismos y entre poblaciones diferentes, quedando en un segundo plano si la edad estimada tiene una elevada exactitud o no.

### 2.3.3 Antropología Evolutiva

En otro contexto, desde una perspectiva evolutiva, los objetivos por los que se plantea una clasificación de la infancia responden a la posibilidad de comparar este periodo entre diferentes especies. En este sentido, los grupos de edad se originan como consecuencia de los cambios fisiológicos que se producen en los homínidos durante la evolución, los cuales, hacen variar la duración de los diferentes periodos en los que pueda dividirse la vida de una persona. Como ejemplo, en el contexto de los individuos subadultos, la infancia corresponde con una nueva etapa que aparece en los homínidos, probablemente a partir del *Homo habilis*; ésta se define, en este caso, como el periodo que sigue al destete del individuo, pero aún requiere de los cuidados paternos para su alimentación y protección (Bogin 1997).

A continuación se muestra la clasificación por periodos de la infancia que se emplea, con carácter general, en contextos de Antropología Evolutiva (Halcrow 2008):

- Neonato** Desde el nacimiento hasta los 28 días de vida.
- Infantil** Desde los 2 meses hasta el final del periodo de lactancia (habitualmente alrededor de los 36 meses de vida).
- Infancia** De 3 a 7 años
- Juvenil** De 7 a 10 años en niñas.  
De 7 a 12 años en niños.
- Adolescencia** Entre 5 y 8 años después del inicio de la pubertad.

#### 2.3.4 Antropología Forense

Desde el punto de vista de la Antropología Forense, los objetivos de estudio y las necesidades son diferentes a las planteadas anteriormente. En este caso, el principal objetivo es ofrecer un valor lo más próximo posible a la realidad, es decir, a la edad cronológica del individuo, quedando en un segundo plano las posibles comparaciones intra- o interpoblacionales entre los diferentes grupos de edad. En este contexto, por tanto, las clasificaciones de la edad son una herramienta que ofrecen los diferentes estudios o manuales por razones prácticas, como criterio para la elección de los métodos y técnicas más adecuados, en función de las características comunes de los individuos de cada grupo de edad. Otros sistemas de clasificación empleados como criterio para la elección de métodos de estudio, pero más comunes en adultos, son aquellos basados en el estado de conservación o de las regiones anatómicas disponibles para su estudio (Cunha *et al.* 2009).

A continuación se muestra la clasificación recomendada por la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense (AEAOF) para emplearla como criterio para la elección del método más adecuado para la estimación de la edad en individuos subadultos (Robledo *et al.* 2013):

- Fetal** Antes del nacimiento
- Infantil** 0-14 años
- Juvenil** 15-18 años

Hay que recordar que la clasificación por edades es artificial y, por lo tanto, pueden solaparse los rangos de edad ofrecidos por cada método; es decir, no van a coincidir con esta clasificación, solo sirve como un criterio orientativo.

Dado que, en el contexto de la Antropología Forense, las diferentes clasificaciones responden a unos fines prácticos muy concretos, es posible encontrar diversas subdivisiones por categorías de la infancia en función de los objetivos específicos de cada estudio (Ferembach 1980, Cunha 2009, SWGANTH 2013). Como ejemplo de esto último, también se puede mencionar que la clasificación empleada será totalmente diferente cuando el objetivo sea la elección del método más apropiado para la estimación del sexo de individuos infantiles, ya que en este caso el factor que deberemos tener en cuenta será a qué edad se hacen patentes las diferencias sexuales.

### 2.3.5 Edades legales o edades de transición

Por último, el régimen jurídico de cada país ampara a los individuos menores de edad de forma específica en función del grupo de edad al que pertenezcan y de las circunstancias en las que se encuentren. Por este motivo, cuando se estudian individuos infantiles desde una perspectiva legal, la Antropología Forense podrá aportar información muy valiosa en cuanto a estos aspectos, independientemente de la identificación del individuo.

Con respecto a los grupos de edad, cada régimen legal estipula una serie de “edades de transición” que condicionan la aplicación de leyes y derechos. Éstas van a afectar al menor en multitud de circunstancias diferentes, como el maltrato infantil, la pedofilia, ley del aborto, adopción, pornografía infantil, delitos cometidos por, o contra el menor, inmigración, “niños soldado”, etc. Por lo tanto, será muy habitual el papel del antropólogo para ubicar al menor en el grupo de edad correspondiente, tanto en individuos vivos, como en restos esqueletizados (Schmeling 2008, Cunha 2009). Por tanto, en estos casos, el papel del antropólogo no se limita a estimar la edad del individuo con la mayor precisión posible, sino que debe ajustarse a los requerimientos de la ley; es decir, únicamente debe ceñirse a estimar si se alcanzó, o no, una edad determinada. Las implicaciones prácticas de este hecho serán que el antropólogo debe utilizar aquellos criterios que le permitan ofrecer como resultado un “sí” o un “no” con la mayor sensibilidad y especificidad posibles (Ferrante *et al.* 2009), en lugar de aquellos métodos que ofrezcan una edad estimada más precisa.

A continuación se mencionan las edades de transición más destacadas que se contemplan en los códigos Civil y Penal en España (RDCodCiv de 25 de julio de 1989, LORRPMS 5/2000 de 12 de enero, LOSSRIVE 2/2010 de 3 de marzo):

#### 2.3.5.1 El nacimiento

El artículo 29 del Código Civil estipula que "el nacimiento determina la personalidad". Este acontecimiento, por tanto, es de suma importancia a nivel jurídico, ya que va a condicionar y regular la aplicación de multitud de leyes y derechos; entre ellos, pueden mencionarse el derecho a la titularidad jurídica, con su consecuente implicación en cuestiones de herencia patrimonial; la aplicación de la *Ley Orgánica de salud sexual y reproductiva y de la interrupción voluntaria del embarazo*; o la aplicación del Código Penal cuando se atentara contra el individuo, ya sea en los casos de homicidio, o bien, por la provocación de lesiones.

Por tanto, la estimación de la supervivencia posnatal, cuando se estudian los restos de un cadáver desde una perspectiva médico legal, es de suma importancia para identificar la naturaleza y el marco legal de dicha muerte. Sin embargo, como ya se ha mencionado, el criterio que emplea la ley para definir este acontecimiento, no es un criterio biológico sino el momento puntual del nacimiento, por lo que en estos casos, la maduración del esqueleto no será una herramienta válida para el antropólogo. Actualmente existen diversos métodos que se centran en identificar aquellos signos que puedan quedar en el individuo como consecuencia del parto, atribuidos al estrés sistémico que conlleva el cambio de medio externo.

#### 2.3.5.2 La mayoría de edad

Se trata de la edad de transición más importante, obviando el nacimiento, debido al elevado número de implicaciones legales que representa. En España, el ordenamiento jurídico la define como "*momento de la incorporación de éstos a la plenitud de la vida jurídica alcanzando la plena capacidad de obrar en los campos civil, administrativo, político o de cualquier otra naturaleza*". Las leyes de cada país establecen a qué edad se alcanza y las implicaciones legales que conlleva. En España se obtiene a los 18 años y en la mayoría de países del mundo entre los



18 y los 21 años; no obstante hay excepciones, como Cuba o Escocia en donde se alcanza a los 16 años, a los 15 en Irak o Iran, o a los 13 en algunos territorios de África.

En España, la mayoría de edad representa un gran aumento tanto de los derechos como de los deberes de una persona. Entre los efectos más destacados se pueden mencionar la posibilidad de ser juzgado como adulto, extinción de la patria potestad o tutela, derecho a votar, derecho a contraer matrimonio, derecho a trabajar, derecho a heredar, etc.

Existen determinados elementos dentales y esqueléticos que permiten al antropólogo estimar si se ha alcanzado, o no, la mayoría de edad. Cuando ésta se define a los 18 años, los principales criterios empleados son la fusión de la epífisis esternal de la clavícula, el desarrollo del tercer molar, la sincondrosis esfeno-occipital, o el desarrollo de la mano y la muñeca.

### 2.3.5.3 Otras

Existen otras edades de transición que afectarán de forma específica a la aplicación de multitud de procesos legales concretos. Muchas de ellas se encuentran en continuo cambio debido a grandes discrepancias políticas o sociales, y siempre será responsabilidad de los organismos judiciales, y no del antropólogo, determinar en qué casos será necesario estimar si un individuo ha superado o no una edad concreta. A continuación se mencionan algunos contextos legales que en España están regulados por edades de transición concretas. El conocimiento completo de estos aspectos, así como de sus excepciones, abarca un amplio y complejo volumen de información que no será competencia del antropólogo conocer:

- 4 años: será considerado un agravante cuando se provoquen lesiones a un menor de 4 años.
- 5 años: a esta edad comienza la educación básica obligatoria.
- 12 años: a partir de esta edad será necesario su consentimiento en casos de adopción y si es menor de esta edad, únicamente tendrá derecho a ser oído. Así mismo, en determinados casos de agresión, si la víctima es menor de 12 años será considerado un agravante.
- 13 años: edad de consentimiento sexual. Si el individuo es menor de esta edad, será considerado como agravante, cuando sobre él se produzcan actos de agresión sexual, abusos, incitación a la prostitución, etc.
- 14 años: a partir de esta edad y hasta los 18 años, los delitos y faltas cometidos por el menor estarán regulados por la ley de responsabilidad penal del menor.

- 16 años: a partir de esta edad se contempla legalmente la interrupción voluntaria del embarazo. Así mismo, no haber superado esta edad será considerado un agravante cuando se obtenga el consentimiento sexual del menor recurriendo al engaño.

## 2.4 ESTIMACIÓN DE LA EDAD DENTAL Y ESQUELÉTICA

La estimación de la edad en individuos infantiles, como ya se ha mencionado, esta basada en la evaluación del grado de maduración o desarrollo del individuo. En estos casos, el número de variables que se pueden cuantificar o medir es muy elevado, ya que, durante el desarrollo, prácticamente todos los elementos del esqueleto y de la arcada dentaria se encuentran en un proceso de cambio continuo. Bajo este punto de vista, en este apartado se hace un pequeño resumen de los principales tipos de sistemas que se pueden emplear para estimar la edad de individuos subadultos, dejando en un segundo plano la explicación de métodos concretos, los cuales únicamente se mencionarán como ejemplo y podrán consultarse en manuales específicos (Fazekas y Kósa 1978, Scheuer y Black 2000, 2004; Schaefer *et al.* 2009, Baker *et al.* 2005).

Los objetivos planteados son: mostrar una clasificación de los tipos de métodos, su características, las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos, así como los principales contextos y recomendaciones para su aplicación.

En primer lugar hay que distinguir entre los métodos que analizan el esqueleto, ofreciendo así una estimación de la "**edad esquelética**", y los que analizan el desarrollo dental, los cuales informan sobre la "**edad dental**". Esta primera clasificación se debe a que ambos tipos de métodos poseen características propias y están regulados por factores diferentes, por lo que también variará la interpretación de los resultados que se obtengan en ambos casos (Demirjian 1985, Lewis 2006). Cuando se estime la edad de un individuo subadulto en un contexto forense, el antropólogo deberá calcular ambas edades por separado y posteriormente interpretar las posibles discrepancias.

Una de las aplicaciones prácticas más destacadas de la comparación entre la edad esquelética y la dental en un mismo individuo, viene dada por el hecho de que el desarrollo dental se ve mucho menos influenciado por factores ambientales, como el estatus socioeconómico, la nutrición o la salud del individuo (Cameriere 2007; Cardoso 2007, Conceição 2011, Elamin 2013), por lo que la estimación de la edad dental se asemejará más a la edad cronológica que la edad esquelética (Liversidge 2003, Lewis 2007, Saunders 2008). Si se observaran discrepancias, por tanto, entre la edad dental y la esquelética, se podría concluir que el individuo que se esté

estudiando se desarrolló bajo unas condiciones ambientales desfavorables, como malnutrición, enfermedades crónicas o cualquier otro tipo de estrés fisiológico (Conceição 2011, Liversidge 2008, Elamin 2013)

En 1955, Hunt y Gleiser propusieron un método para la estimación del sexo basado en las discrepancias entre la edad dental y la edad esquelética. Este método está basado en que, teóricamente, los niños presentan una maduración esquelética más retrasada que las niñas; sin embargo, estas diferencias no son tan pronunciadas en el desarrollo dental. A partir de esta hipótesis, plantearon que si se le asigna la edad dental y esquelética a un individuo de sexo desconocido utilizando estándares propios masculinos, éste sería “femenino” si ambas edades son diferentes y “masculino” si coinciden. Empleando radiografías obtuvieron una probabilidad de acierto comprendida entre el 73% y el 81%. Otros autores (ver Lewis 2007 y Saunders 2008) sin embargo, testaron este método en otras poblaciones y obtuvieron una probabilidad de acierto menor. Entre otros factores, destacaban que este método no podía ser eficaz, ya que se ve demasiado influenciado por factores ambientales.

A continuación se describen los principales tipos de métodos y las características de los sistemas empleados para la estimación de la edad dental y esquelética en individuos subadultos.

### 2.4.1 Edad dental

La edad dental esta basada en la evaluación de la maduración dental. Ésta se define como el proceso por el cual la dentición de un individuo pasa de un estado inmaduro transitorio hasta otro maduro o adulto; comienza a las seis semanas de gestación, cuando aparecen pequeños grupos de proliferación de las células del mesénquima bajo el tejido epitelial bucal, que darán lugar a la dentición decidua del individuo. En este momento, se inicia un proceso altamente ordenado y secuencial de maduración de la dentición que culminará alrededor de los 18 y los 21 años, al alcanzar la edad adulta (Gómez de Ferraris 2002).

Para estudiar este fenómeno, en primer lugar, tenemos que distinguir entre dos procesos claramente diferenciados y que actúan simultáneamente: el desarrollo dental o crecimiento del diente y la erupción o emergencia dental. Aunque muy relacionados, actúan de manera independiente, por lo cual los fenómenos de los que dependen y sus características se estudiarán por separado.

El desarrollo dental, o mineralización, se inicia en las cúspides o borde incisal y paulatinamente se extiende hacia la región cervical. En los molares y premolares multicuspidados,

este proceso se inicia de forma independiente en cada cúspide y posteriormente se produce la unión de los puntos de calcificación, dando lugar a la superficie oclusal del diente. Culmina con el cierre de la dentina en el extremo apical de la raíz (Gómez de Ferraris 2002; Van Waes 2002). El desarrollo dental se demuestra que es simétrico contralateralmente; sin embargo, existen diferencias entre parejas de dientes maxilo-mandibulares (Bolaños 2000)

La erupción dental es el proceso por el cual los dientes en formación dentro de los alvéolos migran hasta ponerse en contacto con la región bucal, ocupando así su lugar en la arcada dentaria. Dentro del proceso eruptivo, también se observa el reemplazo de la dentición decidua o primaria, provocado por la presión que ejerce el diente permanente en erupción. Para que tenga lugar este reemplazo es preciso que se produzca la resorción fisiológica de la raíz en los dientes deciduales, proceso denominado como rizoclasia. La resorción de los tejidos duros del diente primario está producida por los odontoclastos próximos a la superficie dentaria; los abundantes lisosomas citoplasmáticos que contienen son los responsables de la reacción citoquímica positiva de la fosfatasa ácida. Este fenómeno comienza por la cara lingual de la raíz en incisivos y en caninos, quedando en muchas ocasiones intacta la cara bucal tras la pérdida del diente, mientras que en los molares se produce la pérdida completa de la raíz. Llega un momento en el que el diente está suelto por falta de periodoncio de inserción y por acción de las fuerzas masticatorias se produce su pérdida o exfoliación (Gómez de Ferraris 2002; Van Waes 2002).

Por último, con respecto a la erupción dental, es importante distinguir entre la erupción alveolar, definida como la emergencia del diente fuera del hueso alveolar del maxilar; y la emergencia clínica, ésta última referida a la salida del diente a la cavidad bucal a través de la encía.

Con carácter general, cuando hablamos de estimación de la edad dental, ésta plantea una serie de ventajas metodológicas cuando se compara con la estimación de la edad esquelética (Cunha 2009), que se detallan a continuación:

- *Mejor conservación de los dientes:*

Los dientes están formados por tres tipos de tejido duro: dentina, esmalte y cemento. Éste último posee una estructura mineral que lo convierte en el tejido más duro y resistente del cuerpo humano. Por este motivo, los dientes serán, con frecuencia, las estructuras mejor conservadas cuando se encuentren restos muy alterados por factores como el fuego, en restos incinerados, por

productos químicos o bien por la acción de factores tafonómicos (Hillson 2005, Bush *et al.* 2006, Fereina 2008, Ubelaker 2009).

### - *Mayor estabilidad del desarrollo dental*

Como ya se ha mencionado anteriormente, numerosos estudios demuestran que el desarrollo dental es independiente del desarrollo esquelético y de la maduración sexual; además, se ve menos afectado por influencias hormonales y por factores ambientales externos (Smith 1991, Demirjian 2008, Liversidge 2008, Cardoso 2007, Cameriere 2007, Conceição 2011, Elamin 2013, Liversidge 2013). En concreto, la dentición decidua muestra ser más estable frente a dichos factores que la dentición permanente, debido a que comienza a formarse durante la vida intrauterina (Van Waes 2002). El proceso de erupción, sin embargo, sí muestra ser más variable que el de mineralización (Scheuer y Black 2004).

Esto, a priori, implica que se trata de un proceso regulado en mayor medida por factores genéticos que por ambientales, lo cual ha sido demostrado mediante el estudio de las diferencias en el desarrollo dental entre gemelos monocigóticos, que mostraron un coeficiente de correlación muy elevado para el desarrollo dental y dicigóticos, en los que la correlación era menor (Pelsmaekers 1997).

La principal implicación práctica de esta menor influencia de factores ambientales en el desarrollo dental, será que la edad dental guardará una mayor correlación con la edad cronológica del individuo en comparación con la edad esquelética, por lo que ésta tendrá mayor trascendencia, especialmente en contextos forenses (Cunha 2009).

### - *Elevado número de variables de estudio*

La dentición del ser humano está compuesta por 20 dientes deciduales y 32 dientes permanentes, cada uno de los cuales se mineraliza y erupciona de forma independiente. Esto hace que la arcada dentaria sea una herramienta ideal para la estimación de la edad, ya que el número de variables que pueden ser estudiadas es muy elevado. Cuanto mayor sea el número de variables analizadas, mayor será la precisión y la exactitud con la que pueda estimarse la edad (Smith 1991, Ubelaker 2008).

- *Fácil de observar*

Otro aspecto positivo se debe a la mayor facilidad con la que pueden ser estudiados los dientes en comparación con otros elementos del esqueleto. Por ejemplo, para evaluar el proceso de maduración dental, podría ser suficiente con que una muestra amplia de niños abrieran la boca, lo que permitiría observar qué dientes, deciduales y/o permanentes, han erupcionado y cuáles no, y posteriormente relacionar esta información con la edad; también se pueden utilizar radiografías dentales, muy habituales en clínica, destacando el uso de la ortopantomografía o la radiografía periapical, ambas de gran utilidad para la estimación de la edad. Así mismo, al igual que con otros elementos del esqueleto, también se puede acceder a amplias colecciones dentales, habituales en los laboratorios de Antropología, las cuales son un gran recurso para la investigación.

Esta facilidad con la que puede observarse el desarrollo dental, se traduce en dos ventajas principales para el antropólogo en cuanto a la estimación de la edad: en primer lugar, los dientes se convierten en una herramienta idónea para la estimación de la edad en personas vivas, dado el reducido daño que implica para el individuo la realización de estas radiografías (Schmeling 2008, Cunha 2009); y en segundo lugar, permiten al antropólogo acceder a grandes muestras de referencia para la investigación, al poder acceder a las radiografías de pacientes de las clínicas dentales. Por este motivo, con carácter general, los métodos destinados a la estimación de la edad dental suelen poseer una elevada robustez estadística, gracias a que sus muestras de estudio suelen ser más representativas, en comparación con otros elementos del esqueleto que plantean más dificultades. Como ejemplo, se puede mencionar el elevado número de estudios que se han realizado para validar el método propuesto por Demirjian (1973) en multitud de países diferentes y empleando muestras muy representativas (Cunha *et al.* 2009, Jayakumar 2013). Como se verá más adelante, una región del esqueleto que posee algunas ventajas similares es la mano y la muñeca, por lo que existen numerosos trabajos que la estudian, destacando el método propuesto por Greulich y Pyle (1959), el cual ha sido testado por numerosos estudios (Cunha *et al.* 2009).

- *Tasa de desarrollo regular*

El proceso de maduración dental posee una tasa de desarrollo más estable que el esqueleto, desde que se inicia la dentinogénesis durante la vida intrauterina, hasta el desarrollo

completo del poro apical de la raíz del último diente, cuando el individuo ya ha terminado su desarrollo. Esto contrasta con el desarrollo de otros elementos del esqueleto o de los rasgos sexuales secundarios, los cuales presentan un desarrollo más accidentado, con una velocidad de crecimiento que varía dentro de un mismo individuo. (Liversidge 2008, Saunders 2008)

#### 2.4.1.1 Tipos de métodos para la estimación de la edad dental

Los métodos que se utilizan para la estimación de la edad dental están basados en la evaluación de 2 procesos de desarrollo principales (Liversidge 2008): (1) los cambios en tamaño/volumen en el diente, directamente relacionados con la mineralización dental, los cuales son cuantificables con variables como el tamaño de la corona, la longitud o volumen de la raíz, ángulo del cono que forma la raíz, dimensiones del poro apical, etc.; y (2) por el recuento de los dientes que han erupcionado en el interior de la cavidad oral.

Ambos procesos (mineralización y erupción), pueden cuantificarse en poblaciones de referencia para crear estándares específicos que pongan en relación dichos cambios con la edad cronológica del individuo y, posteriormente, utilizar dichos resultados para construir una cronología que pueda ser empleada como método para la estimación de la edad dental.

Los sistemas que se pueden emplear para crear dichas cronologías pueden ser muy diferentes y cada uno de ellos responde a unos objetivos concretos y pueden presentar ciertas ventajas o inconvenientes dependiendo de los diferentes contextos en los que se apliquen. A continuación se detallan los principales tipos de métodos que se pueden diseñar para estimar la edad, sus principales casos de aplicación y algunos de los estudios más destacados que los representan.

##### 2.4.1.1.1 *Atlas de desarrollo*

En este caso, se emplea un número concreto de ilustraciones que reflejan diferentes estados de desarrollo dental, tanto de la mineralización como de la erupción, de todos los dientes deciduales y permanentes. Cada uno de estos estados se relaciona con una edad concreta del individuo, a la cual le incorporan el margen de error correspondiente.

Uno de los primeros y más destacado atlas de desarrollo dental fue publicado por Logan y Kronfield en 1933; éste estaba compuesto por 22 estados de desarrollo con sus edades

correspondientes. Muchos autores cuestionan la validez de este método, ya que parte de la muestra utilizada consistió en 20 niños con “paladar hendido” y otras enfermedades bucales que pudieron comprometer el desarrollo dental (Smith 1991). Posteriormente, este sistema fue rediseñado por Ubelaker (1989), utilizando información de multitud de trabajos de diferentes autores en los que se describe el desarrollo dental de indios americanos y otras poblaciones “no-blancas” estudiadas en yacimientos arqueológicos; no obstante, este también fue criticado, ya que no se conocían datos reales de sexo y edad de los sujetos de estudio, sino que fueron estimados a partir de otras estructuras del esqueleto. Pese a estas críticas, este sistema ha sido testado en una población identificada de origen mediterráneo y se ha obtenido una buena correlación entre la edad real y la estimada, sin que se observe ninguna tendencia significativa hacia la infraestimación o sobreestimación (Irurita 2011).

En 2010, AIQahtani *et al.* publicaron un nuevo atlas en el que combinaron datos obtenidos a partir del estudio de colecciones esqueléticas identificadas y radiografías de estudios clínicos de personas vivas. Éste está compuesto por 23 fases que describen el desarrollo dental desde las 30 semanas en el útero hasta los 15,5 años. Otra diferencia con respecto a los anteriores es que, en este caso, las ilustraciones incluyen la estructura interna de los tejidos del diente, lo que ayuda a identificar cada fase cuando se observan radiografías. Los principales aspectos positivos que presenta este nuevo atlas son que la muestra empleada para diseñarlo es identificada, es decir, con sexo y edad conocidos y, además, es relativamente contemporánea, lo que lo convierte en el más apto para su utilización en contextos forenses.

Como principales ventajas que plantea este método, destacan la sencillez del mismo, por lo que su aplicación es muy rápida y directa, sin necesidad de realizar cálculos complicados o emplear utensilios de observación o medida específicos; y la elevada exactitud de las estimaciones realizadas, ya que, al presentar márgenes de error muy amplios, la posibilidad de cometer un error es menor.

Como principales defectos o inconvenientes, hay que mencionar la escasa precisión que se puede ofrecer con este tipo de métodos, por lo que su utilización deberá quedar limitada a realizar estimaciones orientativas; así mismo, también es un aspecto negativo, la subjetividad con la que el antropólogo debe escoger la fase concreta de desarrollo que más se asemeje al individuo que esté estudiando; esto ocurre cuando uno o varios dientes están en una fase diferente al resto, por lo que el antropólogo se verá obligado a escoger una de ellas (Liversidge 2008). Por último, los atlas de desarrollo no suelen incluir diferencias por sexo cuando, sin embargo, éstas han sido demostradas por numerosos autores, siendo más significativas para el desarrollo de la dentición permanente (Scheuer y Black 2004, Cameriere 2006b).



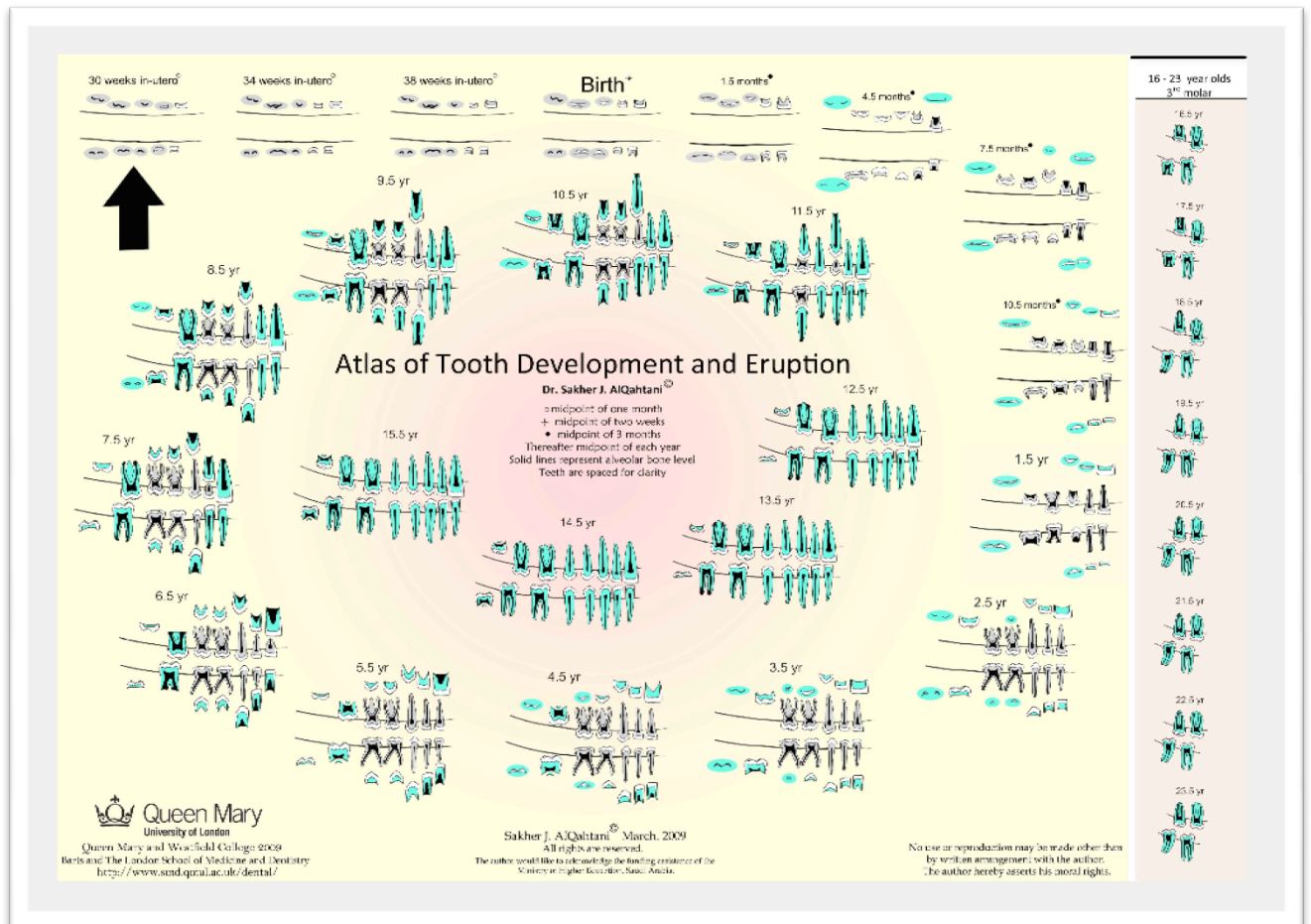


Figura 3: atlas de desarrollo dental (AlQahtani et al. 2010)

#### 2.4.1.1.2 Fases de maduración para cada diente

En este caso, el desarrollo de cada diente se divide en un número concreto de fases o estados de desarrollo, y se asigna una edad concreta para cada fase y cada diente de forma independiente. Este tipo de métodos permite realizar una estimación de la edad a través de la observación macroscópica directa o a través de radiografías de un solo diente; lo cual es de gran utilidad cuando se estudian restos esqueletizados o en mal estado de conservación, ya que será habitual que no se disponga de todos los dientes. Aumentando el número de dientes estudiados se obtendrán mejores resultados (Smith 1991, Saunders 2008).

Uno de los aspectos más importantes de este tipo de métodos es la definición de las diferentes fases de duración en las que divide el desarrollo dental. Los diferentes autores difieren en el número de fases empleadas; los criterios que utilizan para identificarlas; el método de observación utilizado, variando entre radiografías u observación directa; la incorporación de

representaciones esquemáticas o imágenes que permitan comparar el desarrollo externo e interno (mediante observación radiográfica) del diente, etc. De la elección cuidadosa de todos estos aspectos dependerá la validez final del método, ya que condicionan, por un lado, el error intra- e interobservador cometido al asignar cada fase y, por otro, la precisión que se pueda obtener en los resultados, ya que ésta aumentará cuanto mayor sea el número de fases empleadas.

Para la utilización correcta de estos métodos es necesario que el antropólogo posea experiencia en la identificación correcta de cada fase, para lo cual es aconsejable realizar un entrenamiento previo para la correcta identificación de fases como "corona completa" o las diferentes fracciones de corona o raíz formadas (Scheuer y Black 2004).

Entre los métodos que emplean este sistema por fases de maduración dental se pueden destacar los trabajos publicados por Kronfeld y Schour (1935), Gleiser y Hunt (1955), Moorrees *et al.* (1963a, 1963b), Nolla (1960), Haavikko (1970), Gustafson y Kock (1974) Mincer *et al.* (1993) o Liversidge (2004). Todos ellos difieren en cuanto al número de fases empleadas, su definición, método de observación, métodos de análisis estadístico empleado, características y distribución de edades de la muestra, etc. Por este motivo, cada uno deberá ser empleado de acuerdo a los objetivos concretos de cada estudio.

Como aspecto positivo de este tipo de métodos se puede mencionar la mayor precisión que se puede ofrecer en las estimaciones, en comparación con los atlas de desarrollo, ya que cada diente se evalúa de forma independiente; cuantos más dientes se puedan analizar, mejor será la estimación ofrecida. Otro aspecto positivo es la versatilidad de este tipo de métodos, ya que pueden ser empleados en tanto en la observación directa del diente como a partir de radiografías.

Como elementos negativos destacan la subjetividad con la que se asigna cada fase de desarrollo por parte del investigador, lo cual provoca que el error intra- e interobservador sea elevado; y la imposibilidad de ofrecer intervalos de confianza válidos que informen sobre la incertidumbre de la estimación ofrecida por el método, por lo que en estos casos deberá ser la experiencia del propio investigador al que evalúe su eficacia (Smith 1991).

Por último, en cuanto a los métodos que utilizan fases de desarrollo, hay que destacar el método elaborado por Demirjian *et al.* (1973, 1976); no obstante, otros autores prefieren clasificarlo como un tipo de método diferente, bajo el nombre de "métodos de puntuación", ya que el sistema de análisis empleado varía (Liversidge 2008). El método de Demirjian, al igual que los anteriores, evalúa de forma independiente el desarrollo de cada diente, utilizando un sistema de clasificación que emplea 8 fases de desarrollo definidas a partir de criterios radiológicos. En este caso, únicamente se evalúan los 7 dientes permanentes mandibulares (excluyendo el tercer molar permanente). Lo que lo diferencia a este método de los anteriores es el sistema empleado para

## Capítulo 2: Estimación de la edad en individuos infantiles

combinar la información ofrecida por los 7 dientes estudiados: en este caso, a cada fase, y por cada diente, no le corresponde una edad, sino un valor de puntuación en una escala de maduración; una vez evaluado cada diente de forma independiente, los 7 valores obtenidos se suman para obtener una puntuación total que represente el grado de maduración general del individuo. Este último valor será el que se ponga en relación con la edad estimada del individuo utilizando los estándares ofrecidos en las tablas de maduración que incorpora el método.

El método de Demirjian (1973, 1976) es más preciso y exacto que los métodos anteriores y, además, como está basado en el análisis de radiografías, es uno de los métodos más eficaces y fáciles de aplicar para la estimación de personas vivas, por lo que se trata de un método que ha sido ampliamente validado en multitud de países. Como aspecto negativo, presenta el inconveniente de que no puede ser aplicado si falta alguno de los dientes que utiliza el método, por lo que en contextos arqueológicos o forenses en los que se estudien restos esqueléticos o en mal estado de conservación no podrá ser aplicado.

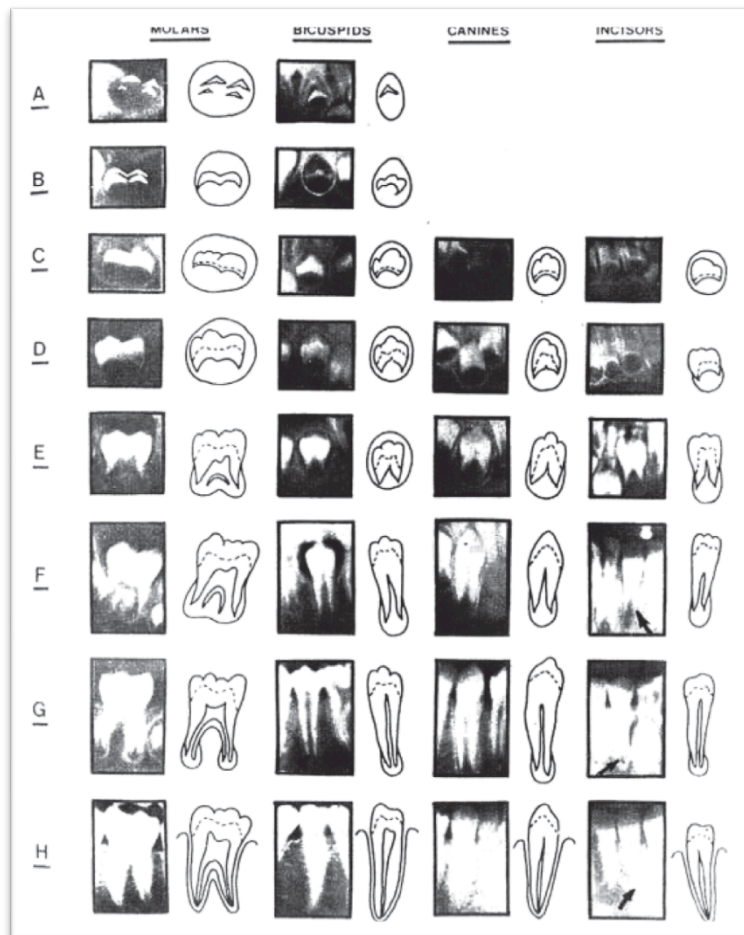


Figura 4: esquema del desarrollo dental por Demirjian (1973); A) inicio de formación de la cúspide; B) superficie oclusal completa; C) corona 1/2; D) corona completa; E) raíz 1/4; raíz 2/3; G) raíz completa; H) ápice cerrado.

2.4.1.1.3 Métodos métricos

En este caso, son métodos basados en la relación que existe entre la edad cronológica del individuo y el cambio en tamaño o volumen de los dientes. Para ofrecer estimaciones emplean funciones de regresión, en las que la variable dependiente es la edad estimada y las variables independientes son diferentes medidas odontométricas, que se pueden tomar de la corona, de la raíz o de la longitud total del diente. Entre los principales métodos que emplean este sistema cabe destacar los propuestos por Deutsch *et al.* (1985), Liversidge *et al.* (1993) o Sema *et al.* (2009). Al igual que los métodos que emplean fases de desarrollo, la utilización de métodos métricos requiere de una experiencia previa del investigador en técnicas y conceptos de odontometría, que le permitan identificar claramente los puntos por los que está definida cada medida.

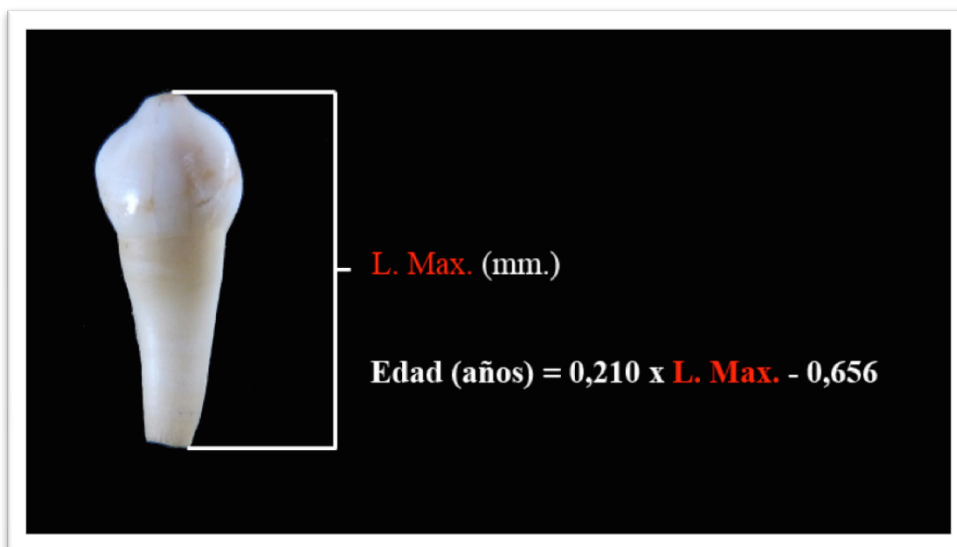


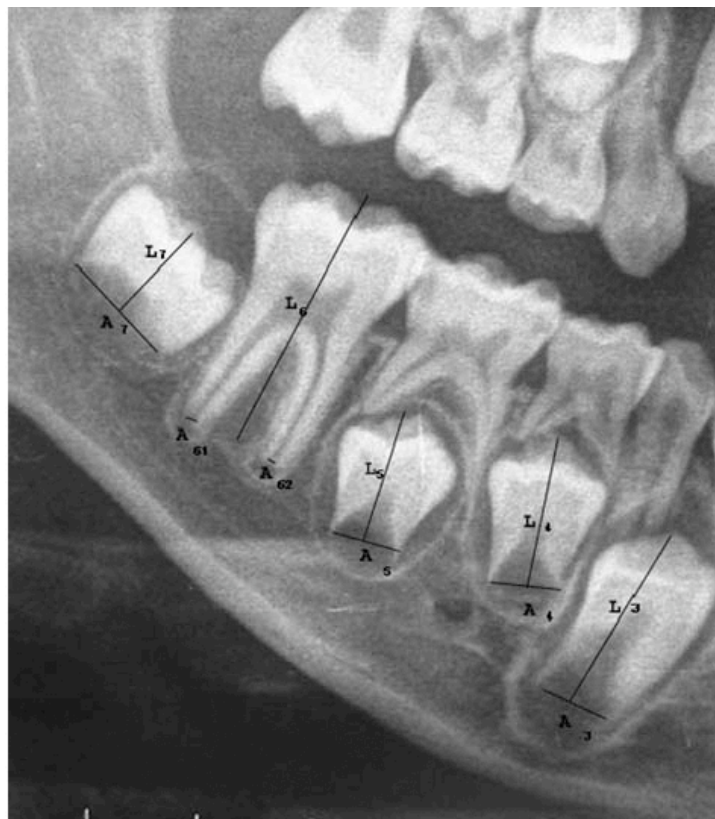
Figura 5: método de Liversidge *et al.* 1993

Como principal ventaja que plantea este tipo de métodos, destaca la mayor precisión que se puede obtener en los resultados, ya que las variables que evalúan son continuas; además, al emplear este tipo de variables, es posible ofrecer intervalos de confianza que informen sobre la incertidumbre de la estimación.

Como aspecto negativo, se acepta de forma general que estos métodos no pueden ser aplicados a estudios radiográficos, debido a los cambios de escala y a la deformación del diente que se obtiene al tomar una radiografía; por este motivo, además de imposibilitar la aplicación del método en individuos vivos, los métodos que utilizan este sistema, por lo general, se diseñaron a

partir de tamaños muestrales reducidos, ya que únicamente pueden utilizar los dientes de colecciones identificadas. Esto, sin embargo, contrasta con los resultados obtenidos por Cardoso (2007), quien comparó las medidas reales de una muestra de dientes con las medidas de esos mismos dientes sobre radiografías periapicales en las que había incluido una lámina de 10 mm de metal como referencia de escala. En este trabajo demuestra que no hay diferencias significativas entre la medida directa del diente y la realizada a través de radiografías.

Como alternativa a este supuesto inconveniente, Cameriere *et al.* (2006a) publicaron un método métrico basado en la medida de los ápices radiculares abiertos de los dientes en formación sobre imágenes radiográficas. Para evitar los problemas de magnificación o angulación producidos al medir sobre la imagen radiográfica, normalizaron las medidas de los ápices dividiéndolas por la longitud máxima del diente. Éste método combina las ventajas de poder emplear radiografías y utilizar variables continuas, aumentando así la precisión de sus estimaciones. Posteriormente, Cameriere *et al.* (2008) testaron este método junto con los métodos de Demirjian (1973) y Willems (2001), sobre una muestra de 756 ortopantomografías de niños de diferentes países; en sus resultados observaron que las estimaciones de la edad eran significativamente mejores utilizando el método de Cameriere *et al.* (2006).



*Figura 6: medidas empleadas para aplicar el método de Cameriere et al. (2006a)*

#### 2.4.1.2 Recomendaciones para la estimación de la edad dental.

A continuación se muestran algunas recomendaciones en cuanto a la metodología utilizada para la estimación de la edad dental de individuos subadultos. Éstas han sido recopiladas de varias revisiones realizadas sobre el tema (Smith 1991, Scheuer y Black 2004, Liversidge 2008, Cunha *et al.* 2009):

- Deben evaluarse el mayor número de dientes posibles de forma separada y calcular la edad estimada como la media de los intervalos obtenidos.
- Cuando se emplee el sistema anterior no podrán calcularse intervalos de confianza como medida del error cometido por el método, por lo que deberá ser la experiencia del propio investigador la que evalúe los resultados.
- Las fases de desarrollo que sean más fáciles de identificar, como el inicio de formación de las cúspides, corona completa o inicio de la ramificación de la raíz, ofrecerán mejores resultados que otras fases que utilicen definiciones más subjetivas, como fracciones de la corona o la raíz formadas.
- Con respecto a los métodos que utilizan fases de desarrollo, los resultados con mayor exactitud se obtendrán con aquellos que hayan calculado la edad de inicio de cada fase. La edad estimada podrá calcularse como el punto medio entre la edad de inicio de la fase observada y la siguiente (Smith 1991).
- Con respecto a los métodos que ofrecen mejores estimaciones de la edad para individuos de la primera infancia, hay discrepancias entre varias de las revisiones consultadas: unos recomiendan emplear los sistemas tipo atlas elaborados por Ubelaker (1978) y otros, las fórmulas propuestas por Liversidge (1993) para la longitud máxima de los dientes deciduales y las fases de erupción alveolar de los dientes deciduales (Liversidge 2008).
- Con respecto a los métodos de puntuación que evalúan el desarrollo de los 7 dientes mandibulares, los resultados son mejores utilizando la adaptación del método de Demirjian (1973) adaptado por Willems (2001), en comparación con los datos originales (Maber *et al.* 2006).

### 2.4.2 Edad esquelética

La estimación de la edad esquelética está basada en la correlación entre la edad cronológica de un individuo y los cambios de maduración que afectan al tamaño y forma de sus huesos (Franklin 2010). Como ya se ha mencionado anteriormente, la edad esquelética presenta una serie de inconvenientes cuando se compara con la edad dental, destacando la mayor variabilidad en la tasa de desarrollo del esqueleto, o su menor resistencia frente a los procesos que alteran el esqueleto; no obstante, cuando se estudian individuos infantiles esquetizados, es probable que, si su estado de desarrollo es temprano, los gérmenes dentales se hayan extraviado debido a su reducido tamaño, por lo que únicamente se dispondrá del esqueleto para poder estimar la edad (Ubelaker 1987). Además, la edad esquelética siempre tendrá que ser estimada junto a la edad dental, ya que el antropólogo deberá interpretar las posibles discrepancias que haya entre ambas (Saunders 2008).

Para comprender qué variables pueden emplearse para cuantificar el grado de maduración del esqueleto, es preciso conocer algunos aspectos sobre la formación y la fisiología del tejido óseo. En los siguientes apartados se hace un breve repaso a los mecanismos que dan lugar al proceso de osteogénesis (O´Rahilly 1998, Tortora 2006).

La osteogénesis u osificación, es el proceso fisiológico que da lugar a la formación de hueso nuevo. Comienza en torno a la sexta semana de gestación y continúa de una forma altamente regulada y secuencial, hasta alcanzar la edad adulta. De una manera simplificada, la osificación consiste en la sustitución de tejido conectivo laxo preexistente por tejido óseo. Según los procesos que den lugar a este cambio, se pueden distinguir dos mecanismos diferentes de osificación:

- Osificación intramembranosa: El hueso de nueva formación se origina directamente a partir del tejido conectivo laxo. En el embrión, este tejido conectivo se denomina mesénquima y está formado por células pluripotenciales indiferenciadas. Durante el proceso de osificación intramembranosa, estas células se transforman en osteoblastos, responsables de la formación de la matriz extracelular del hueso; una vez que se rodean de dicha matriz, pasan a ser osteocitos, los cuales depositan calcio y otras sales minerales que provocan la solidificación del tejido. El proceso culmina con la condensación del mesénquima en torno al hueso formado, dando lugar al periostio. El hueso resultante es una estructura ósea trilaminar, formada por dos capas de hueso compacto y una de hueso esponjoso entre ambas. Mediante

este mecanismo se originan los huesos planos del esqueleto, como el neurocráneo o la mandíbula (O'Rahilly *et al.* 1998, Tortora *et al.* 2006).

- Osificación endocondral: En este caso, las células del mesénquima embrionario dan lugar a la formación de un cartílago hialino, el cual actuará como molde para la formación del futuro hueso. Mediante este proceso se forman la mayor parte de los huesos del esqueleto y, en el caso de los huesos largos, comprende la formación de un centro primario de osificación que formará la diáfisis y los centros de osificación secundarios que formarán las epífisis (O'Rahilly *et al.* 1998, Tortora *et al.* 2006).

Una vez formado el tejido óseo, éste crecerá a partir de dos mecanismos diferentes: un crecimiento intersticial, originado a partir de la placa epifisaria y que permitirá a los huesos largos crecer en longitud; y un crecimiento aposicional, originado a partir del periostio y que hará crecer a los huesos en espesor.

La placa epifisaria es una capa de cartílago hialino situada en la metáfisis del hueso en formación, es decir, entre la epífisis y la diáfisis. La superficie de esta placa que queda unida a la epífisis, está formada por células cartilaginosas de pequeño tamaño (condrocitos) inactivas, cuya función es mantener unida la placa epifisaria a la epífisis. Bajo esta capa, los condrocitos crecen en tamaño progresivamente y se dividen a un ritmo mayor, hasta alcanzar la línea de unión entre el cartílago y la diáfisis del hueso; en este punto, los condrocitos se hipertrofian, calcifican la matriz extracelular y mueren. El tejido óseo de la diáfisis que queda en contacto con la placa epifisaria, posee osteoclastos que disuelven el cartílago calcificado y los osteoblastos lo sustituyen por matriz ósea. De esta forma el hueso crece en longitud hasta alcanzar su tamaño adulto (Tortora *et al.* 2006).

El caso del crecimiento aposicional, responsable del aumento en grosor del hueso, se produce a partir del periostio, membrana de tejido conectivo que tapiza la superficie externa del hueso. Sus células se diferencian en osteoblastos, los cuales originarán nuevo tejido óseo hacia el interior. En el interior del hueso, las células del endostio, unidas a la cavidad medular del hueso, destruyen el tejido óseo hacia el exterior. De este modo, conforme el hueso crece en diámetro, también lo hace su cavidad medular (Tortora *et al.* 2006).

Conforme el hueso aumenta de tamaño, ya sea por crecimiento intersticial o aposicional, se establece la unión entre centros de osificación adyacentes, limitada por el tejido conectivo que queda entre ambos. Esta unión podrá dar lugar a la formación de articulaciones o suturas, o bien, podrá dar lugar a la fusión programada de ambas estructuras mediante la sustitución del tejido conectivo por tejido óseo.

En el caso de los huesos largos, cuando la diáfisis ha alcanzado su longitud máxima, los condrocitos dejan de dividirse y el cartílago que forma la placa epifisaria es sustituido por hueso.



En este caso comienza la fusión de las epífisis con la diáfisis, durante la cual la placa epifisaria desaparece, dejando una estructura denominada línea epifisaria, que deja de ser visible cuando la fusión ya se ha completado (O´Rahilly *et al.* 1998, Tortora *et al.* 2006).

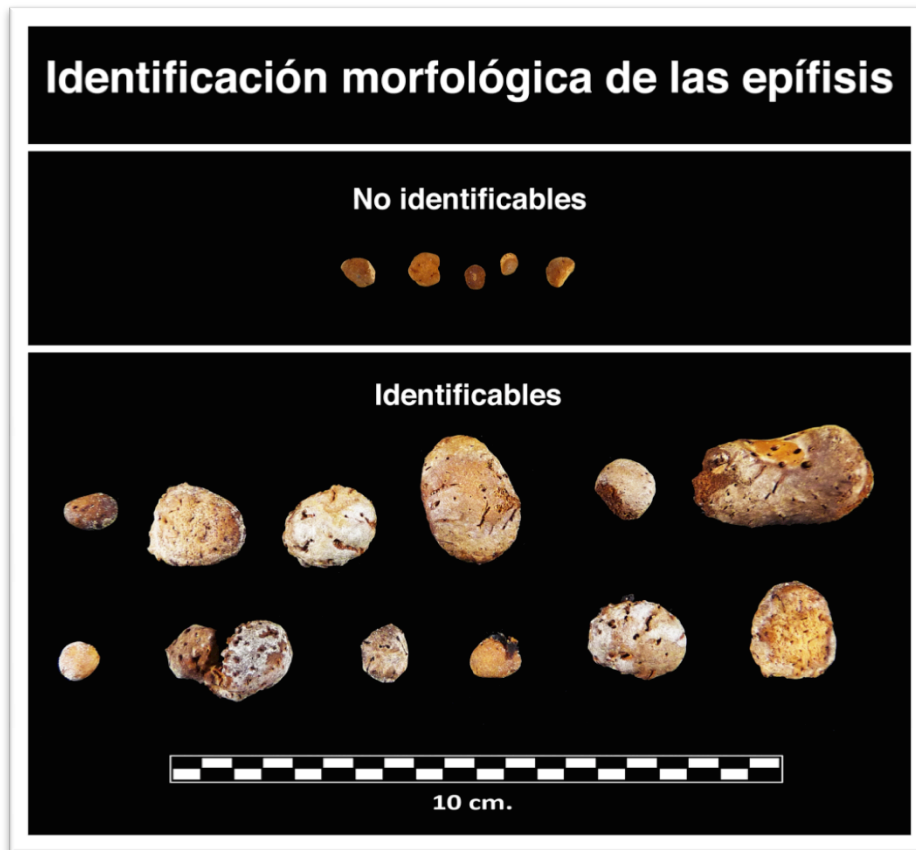
### 2.4.1.2 Tipos de métodos para la estimación de la edad esquelética

Todos los cambios anteriormente mencionados se pueden dividir en tres tipos fundamentales: (1) aparición de nuevos centros de osificación, (2) cambios en la forma y el tamaño de estos y (3) la unión y obliteración de unos con otros.

#### 2.4.1.2.1 *Presencia / ausencia de centros de osificación*

Cada centro de osificación del esqueleto se origina a una edad determinada (incluyendo el margen de variabilidad normal del proceso) por lo que el estudio de su cronología proporciona una información muy valiosa para la estimación de la edad en individuos subadultos. A grandes rasgos, la presencia del último hueso formado aportará información referente a la “edad mínima” que posee el individuo, mientras que la ausencia del que será el próximo hueso en formarse, indicará cual es su “edad máxima”. En el manual publicado por Schaefer *et al.* en 2009 puede consultarse una amplia revisión sobre los principales trabajos que han estudiado la cronología de aparición de los centros de osificación.

Este tipo de metodologías presenta como inconveniente, que los centros de osificación, cuando comienzan a formarse, son de un tamaño muy reducido y no poseen una morfología característica, por lo que su identificación no será posible cuando se estudie en esqueletos desconexos. En estos casos, será necesario que el hueso posea el tamaño suficiente para su identificación, por lo que la estimación de la edad será demasiado imprecisa. Cuando se estudian restos óseos desconexos, además, no se debe considerar una edad máxima basándose en la ausencia de un determinado centro de osificación, ya que ésta puede deberse a su extravío durante la obtención de los restos o por su deterioro, debido a la acción de efectos tafonómicos.



*Figura 7: identificación morfológica de centros de osificación.*

Por lo tanto, el mejor resultado con este tipo de metodologías, se obtendrá cuando se trabaje con material fresco, o cuando queden adheridas al esqueleto partes blandas que permitan la identificación del centro de osificación por su ubicación anatómica. En estos casos será necesaria la realización de radiografías o tomografías. En la siguiente imagen se muestra un posible ejemplo de un caso en el que, previo a cualquier manipulación o alteración del individuo para estudiar su esqueleto, sería necesario tomar radiografías.



*Figura 8: restos de un individuo infantil parcialmente momificado.*

Una de las regiones anatómicas más empleadas en este tipo de metodologías es la mano y la muñeca. Esto es debido, principalmente, a que en ella hay 48 centros de osificación, que se forman de manera progresiva desde las 7 semanas de gestación hasta los 10 años; además, se fusionarán entre sí y cambiarán su disposición y morfología hasta alcanzar la edad adulta, por lo que el número de variables que pueden ser estudiadas es muy elevado. Al tratarse de una zona de reducido tamaño y no existir cerca ningún órgano vital, presenta una gran facilidad, y poco riesgo, para la toma de radiografías en individuos vivos, por lo que existen numerosos estudios que emplean muestras muy numerosas para el desarrollo de metodologías destinadas a la estimación de la edad a partir de la mano y la muñeca. El más empleado es el atlas diseñado por Greulich y Pyle (1959); en él se muestran imágenes de radiografías de la mano y la muñeca que representan los estándares de desarrollo para cada edad desde el nacimiento hasta los 19 años. La aplicación del método únicamente requiere la comparación de la radiografía que se está estudiando con las ofrecidas por el atlas. Cada una de las imágenes del atlas ofrece una edad media y un margen de error.

A continuación se muestra una radiografía de la mano derecha de un niño de 13 años, donde se observan los diferentes centros de osificación que la componen y los intervalos de edad más probables a los que se forman.



Figura 9: edad de formación de los centros de osificación de la mano y la muñeca (datos obtenidos de Schaefer et al. (2009) .

El empleo de la aparición de los diferentes centros de osificación como método para estimar la edad de un individuo, está supeditado al grupo de edad al que éste pertenezca. Será la experiencia del propio investigador la que le permita “buscar” aquellos indicadores que ofrezcan una información más eficiente, de acuerdo a una observación previa general del grado de maduración del esqueleto. Así, por ejemplo, si se desea estimar la edad de un sujeto del que se sospecha que podría ser un feto, en primer lugar habría que observar si se encuentran formados el calcáneo y el astrágalo, lo cual indicaría una edad superior a los 6-7 meses de gestación; en caso positivo, el siguiente centro de osificación que acotaría la búsqueda sería la epífisis distal del fémur, cuya ausencia revelaría que se trata de un individuo que falleció pocas semanas antes o después del parto. En otros casos, con carácter general, la cadera y la rodilla serían buenos indicadores para estimar la edad entre 1 y 6 años y el codo entre los 6 y los 12 años.

### 2.4.1.2.2 Métodos métricos

Siguiendo los mecanismos anteriormente descritos, todo centro de osificación, desde que se origina, crecerá a una tasa determinada hasta alcanzar su tamaño y morfología adultos. La relación entre la tasa de variación en tamaño y la edad es fácilmente cuantificable, por lo que cualquier hueso del esqueleto que no posea su tamaño final de desarrollo, podrá ser empleado para ofrecer una estimación de la edad con mayor o menor precisión, dependiendo de la variabilidad del proceso. Por lo general, los resultados más precisos se obtendrán analizando los cambios en la longitud de las diáfisis de los huesos largos (Lewis 2007, Saunders 2008), ya que su tasa de cambio es muy elevada y se mantiene hasta alcanzar la edad adulta; no obstante, en el caso de restos mal conservados, existen otros centros de osificación que se pueden emplear, como la *pars basilaris*, mandíbula, clavícula, huesos de la pelvis, etc. En el manual publicado por Schaefer *et al.* en 2009 puede encontrarse una amplia revisión de los principales métodos métricos empleados para la estimación de la edad de individuos subadultos.

El tamaño y la forma de los huesos es altamente variable, debido tanto a factores genéticos, existiendo grandes diferencias dependientes del sexo o del origen poblacional, como a factores ambientales, viéndose muy afectados por el estado de salud y enfermedad del individuo (Lewis 2007, Cardoso 2007, Cameriere 2007, Conceição 2011, Elamin 2013). Las diferencias ambientales serán más evidentes conforme aumente la edad del individuo, por lo que los métodos basados en el tamaño de los huesos son más eficientes cuando se aplican a sujetos de temprana edad. Conforme el individuo crece, deben ser sustituidos por aquellos basados en la aparición, unión y fusión de las epífisis (Lewis 2007, Saunders 2008).

La malnutrición o padecer determinados procesos infecciosos, afectan significativamente a la longitud de las diáfisis en los individuos infantiles. Por este motivo, en muchos casos, estos métodos no se emplean para ofrecer una estimación de la edad del individuo, sino para identificar posibles episodios de estrés infantil, comparando la edad estimada mediante la longitud de los huesos largos con la edad dental, esta última más estable frente a dichas condiciones (Lewis 2007, Conceição 2011, Elamin 2013).

Un factor muy importante a tener en cuenta cuando se emplean métodos métricos, es la definición de la medida que debe tomar el investigador. Si la definición de los puntos exactos del hueso que se deben emplear es confusa, se cometerá un error interobservador elevado, lo que afectará a la precisión y exactitud de los resultados que se obtengan. Por este motivo, se recomienda prestar especial atención a las indicaciones que el método ofrezca para localizar los puntos exactos de la medida, y desechar aquellos que no sean suficientemente concretos.

Cuando se aplica este tipo de metodologías en individuos fetales es especialmente importante tener en cuenta la naturaleza de la muestra que se empleó para diseñar el método, distinguiendo principalmente entre estudios radiográficos y de hueso seco, ya que pueden existir diferencias entre ambas. Con carácter general, el tamaño del hueso fresco en un feto de 4 meses de gestación se reduce un 10% al desecarse durante el proceso de esqueletización y un 32% en el caso de restos quemados. Al nacer, estas diferencias se reducen al 1% y al 2% respectivamente (Huxley 1998, 1999).

Por lo general, cuando se emplean métodos métricos sobre huesos largos, solo se emplean medidas de la diáfisis; en muy pocos casos se incluyen las epífisis, ya que éstas podrían extraviarse e incrementarían el error asumido por el método. Por este motivo, la longitud de los huesos largos solo podrá emplearse para estimar la edad hasta los 12 años aproximadamente, cuando comienza la fusión de las epífisis (Saunders 2008). Otro inconveniente que presentan es que, en restos mal conservados, será habitual encontrar alterados los extremos de la diáfisis, imposibilitando la toma de medidas.



Figura 10: medida de la longitud máxima de la diáfisis del húmero.

Dependiendo del estado de conservación de los restos, del grupo de edad que se estudie o de los objetivos concretos que persiga el investigador, se podrá optar por analizar muchos otros centros de osificación para estimar la edad mediante métodos métricos, destacando aquellos huesos más robustos, como la *pars basilaris*, ya que se conservarán mejor, o aquellos a los que se le puedan tomar un mayor número de medidas, como la escápula (Rissech 2013), ya que aún cuando se encuentren parcialmente deteriorados, será posible realizar algunas medidas. En este

sentido destacan los trabajos realizados por Fazekas y Kósa (1978), quienes establecieron medidas para todos los huesos del esqueleto en individuos fetales para el desarrollo de técnicas destinadas a la estimación de la edad.

Los cambios producidos en un hueso durante su desarrollo, no implican únicamente un cambio en su tamaño, sino también en su morfología. Cuando en lugar de emplear medidas independientes de un mismo hueso, se analiza la relación entre varias de ellas, se obtiene un índice que hará referencia a la forma del hueso. Si se analizan los cambios en el valor de este índice y su relación con la edad, se pueden desarrollar metodologías para la estimación de la edad en función de los cambios de forma de los huesos, independientemente del tamaño que estos posean.

A continuación se muestran algunos de los ejemplos más destacados en los que se atribuye una edad determinada a cambios morfológicos en los huesos fácilmente observables (Schaefer *et al.* 2009):

- Pars basilaris: la anchura máxima es mayor o igual a la longitud sagital a partir de los 5 meses de gestación. La anchura máxima será igual o mayor que la longitud máxima a partir de los 6,5 meses de vida.
- Frontal: a partir de los 5 meses de gestación la longitud anteroposterior es mayor que la longitud mediolateral.
- Cigomático: el tubérculo marginal y la eminencia orbitaria son paralelos a partir de los 2-3 años de edad.



*Figura 11: cambios morfológicos del pars basilaris con la edad.*

2.4.1.2.3 *Fusión de centros de osificación*

Prácticamente todos los huesos que componen el esqueleto de un adulto, se han formado a partir de la fusión de varios centros de osificación independientes durante la infancia. Se trata de un proceso que se produce de manera secuencial desde la edad prenatal hasta alrededor de los 22 años de edad, cuando se alcanza la madurez ósea. La secuencia y cronología de estos procesos está altamente regulada y puede ser observada tanto en el estudio del hueso seco como en radiografías, por lo que su estudio puede ser empleado como una metodología eficaz para la estimación de la edad en individuos subadultos.

La unión entre dos centros de osificación es un proceso lento, por lo que la estimación de la edad basada en la “fusión” o “no fusión” de dos huesos ofrecerá intervalos de edad demasiado amplios. La amplitud de estos intervalos se puede reducir de dos maneras: (1) combinando la información obtenida mediante el estudio de todo el esqueleto, en lugar de emplear un solo centro de unión y (2) empleando métodos que definan diferentes estados de unión, por ejemplo en función del porcentaje de sutura cerrada. Cualquier método divide el proceso, al menos, en tres fases fácilmente observables: no unión, fusión parcial y fusión completa.

En este tipo de métodos es importante distinguir entre dos procesos diferentes:

- Unión: en muchos casos, al crecer, se establece la unión íntima entre dos huesos adyacentes, manteniéndose en el hueso seco como una única estructura conjunta; no obstante, ambos huesos no se han llegado a fusionar. Un ejemplo claro de esta unión son las suturas craneales que separan a los huesos planos que conforman la bóveda craneal.
- Obliteración: una vez establecida la unión entre dos huesos, éstos pueden llegar a fusionarse mediante la osificación del tejido conectivo que los une, en un proceso conocido como obliteración. Este concepto incluye como requisito que exista una solución de continuidad del tejido óseo entre ambas estructuras.

En este caso, al igual que en los métodos mencionados hasta el momento, también será muy importante conocer la metodología empleada en el estudio original del método, ya que la línea de unión que separa 2 huesos en proceso de fusión, puede seguir observándose radiográficamente cuando ya no se observa en el análisis directo del hueso, por lo que los métodos serán diferentes dependiendo de la naturaleza de la muestra de estudio que se empleó para diseñarlos. Los estándares radiográficos, por tanto, ofrecerán estimaciones de la edad mayores que los basados en la observación macroscópica del hueso (Lewis 2007).



## Capítulo2: Estimación de la edad en individuos infantiles

Al igual que los métodos basados en la aparición de los centros de osificación, la fusión ósea sigue una secuencia programada. El antropólogo necesitará poseer una experiencia y conocimientos previos sobre esta secuencia para localizar aquellas estructuras que más información le puedan ofrecer de acuerdo al grupo de edad al que pertenezca el individuo. Con carácter general, los procesos de fusión utilizados en la primera infancia son los que ocurren en el cráneo y, conforme el individuo crece, serán sustituidos por los de la columna vertebral y epífisis de los huesos largos.

La unión y fusión de los huesos del cráneo se produce durante la primera infancia, por lo que serán empleados preferentemente para la estimación de la edad en este grupo de edad. En un individuo perinatal, el cráneo está compuesto por 45 huesos independientes, los cuales se irán fusionando y uniendo de forma progresiva hasta alcanzar la morfología adulta. Por este motivo, el número de uniones que pueden ser estudiadas es muy elevado, contribuyendo así a ofrecer estimaciones de la edad más precisas.



*Figura 12: unión y obliteración secuencial de los huesos del cráneo.*



*Figura 13: epífisis distal del fémur aún sin fusionar.*

Además de los procesos de fusión anteriormente mencionados, en el cráneo infantil se utiliza también el cierre de las fontanelas como indicador de la edad. Éstas son pequeños espacios ubicados en los vértices de unión de los huesos planos que conforman la bóveda craneal (frontales, parietales, temporales y occipital); conforme estos huesos crecen, las fontanelas van siendo sustituidas por hueso hasta que se cierran por completo.

La fusión de las epífisis comienza en torno a los 11-12 años, por lo que será a partir de esta edad cuando puedan ser utilizadas para la estimación de la edad.

Como norma general, la unión entre la epífisis y la diáfisis comienza en el centro de la placa epifisaria y se extiende concéntricamente hacia el exterior; no obstante existen algunas excepciones a esta regla, como por ejemplo, la proximal del fémur, que comienza en la parte superior y se extiende hacia abajo y la proximal de la tibia, que empieza la fusión en su región anterior-medial hacia el margen posterior. Como la última porción de la epífisis en fusionarse son los márgenes externos, durante todo el proceso se observa una línea de unión que desaparecerá cuando la epífisis esté totalmente fusionada; gracias a esto se pueden establecer fases de unión fácilmente identificables.

## Capítulo2: Estimación de la edad en individuos infantiles

---

En otro contexto, cuando se estudia hueso seco, es posible que las epífisis débilmente unidas se hayan separado de sus respectivas diáfisis. En estos casos, si el estado de conservación del esqueleto es bueno, puede observarse un daño en la región central de la superficie de unión entre la epífisis y la diáfisis, lo que indicará que se había iniciado el proceso de fusión.

También merecen especial atención el cierre de la sincondrosis esfenoccipital (Shirley *et al.* 2008) y la fusión de la epífisis esternal de la clavícula (Schulz 2008), ya que se considera que estos dos procesos pueden ser utilizados para identificar a individuos que han alcanzado la mayoría de edad. Entre los dos sistemas, el que mejor resultados ofrece es el análisis del extremo esternal de la clavícula, siendo éste más efectivo en los países que estipulan la mayoría de edad a los 21 años (Cunha 2009). Con respecto al análisis de la sincondrosis esfenoccipital, algunos estudios indican que es un indicador poco fiable para este fin (Kahana 2003; Bassed 2010). Ambos estudios plantean el problema ético de irradiar al individuo cuando se estima la edad en personas vivas (Cunha 2009); no obstante, recientes estudios están evaluando la posibilidad de emplear estos métodos utilizando el análisis por resonancia magnética (Cunha 2009, Hillewing 2011).

Por último, además de conocer los intervalos de edad a los que se unen y fusionan los diferentes centros de osificación, también es importante tener en cuenta la secuencia que sigue este proceso en todo el esqueleto, de tal forma que, según el grado de desarrollo, sea posible estimar la posibilidad de que el material óseo estudiado sea incompatible entre sí y, por lo tanto, pertenezca a individuos diferentes. Gracias a esto, el antropólogo podrá separar los posibles individuos cuando se estudien fosas con restos desconexos y mezclados. En este sentido, Schaefer y Black publicaron en 2007 los intervalos de unión de las diferentes epífisis a partir del estudio de una muestra osteológica procedente de Bosnia y, a su vez, diseñaron un Árbol de Secuencias de Unión, en el que indicaban la relación existente entre los diferentes procesos de fusión que ocurren en el esqueleto. A continuación se muestra dicho árbol y las indicaciones necesarias para interpretarlo.

Cómo interpretar el Árbol de Secuencias de Unión: el esquema se divide en dos árboles independientes, uno de ellos hace referencia al inicio de la unión y el otro a la unión completa. Cada uno de ellos está compuesto por un eje principal que indica la secuencia de unión más probable de los centros de osificación más destacados; a partir de este eje se extienden ramas laterales a derecha e izquierda, que indican la probabilidad de que esta secuencia varíe. Las ramas que se extienden hacia la izquierda del eje principal indican la probabilidad de que determinados procesos de fusión se adelanten con respecto a la epífisis de referencia mostrada en el eje principal; y las ramas que se extienden hacia la derecha indican la probabilidad de que se retrasen.

**ÁRBOL DE SECUENCIA DE FUSIÓN. INICIO DE LA UNIÓN.**

Modificado de Schaefer y Black (2007)

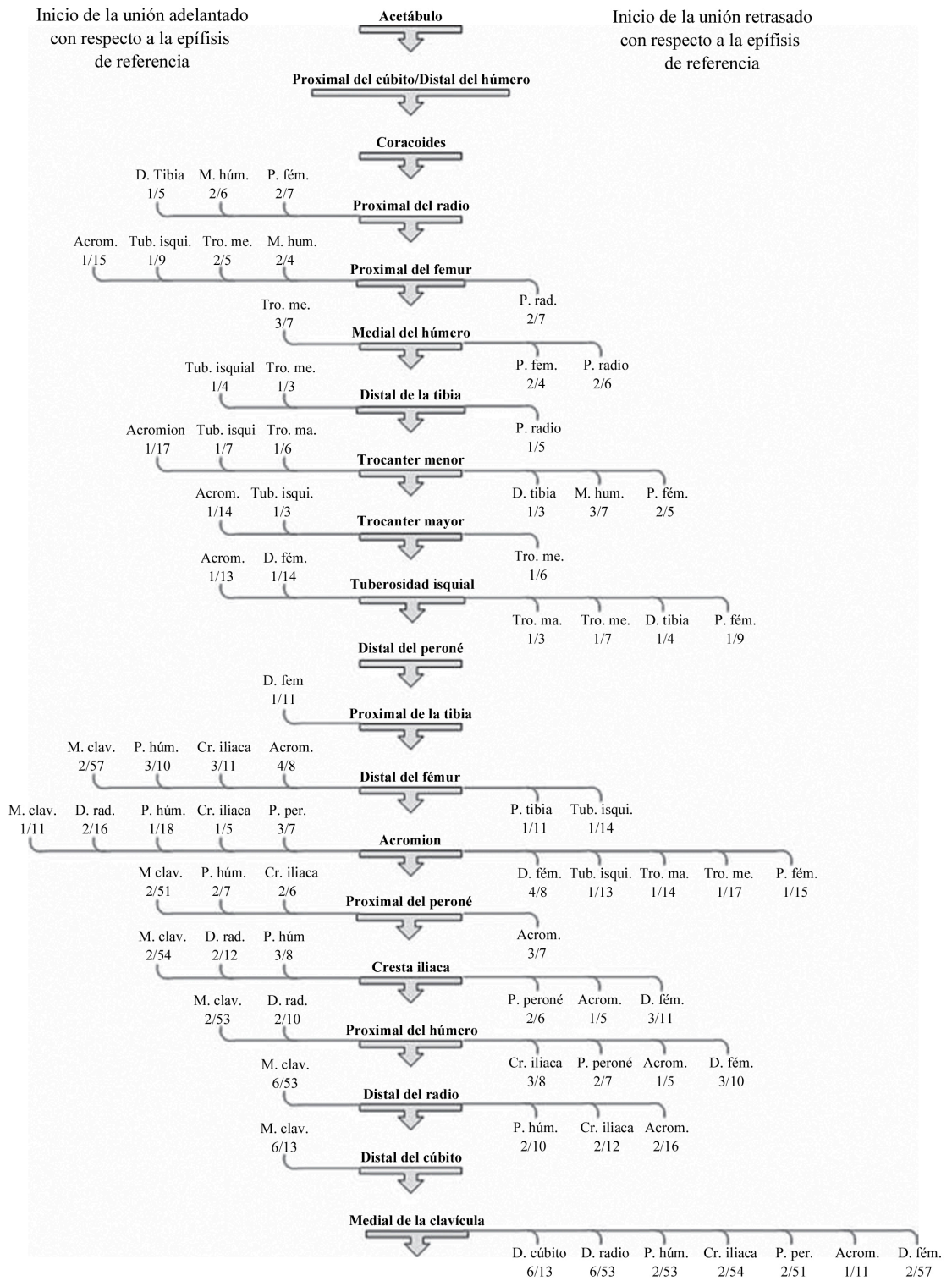


Figura 14: Árbol de secuencia de fusión (I). Modificado de Schaefer y Black (2007).

**ÁRBOL DE SECUENCIA DE FUSIÓN. FUSIÓN COMPLETA.**

Modificado de Schaefer y Blak (2007)

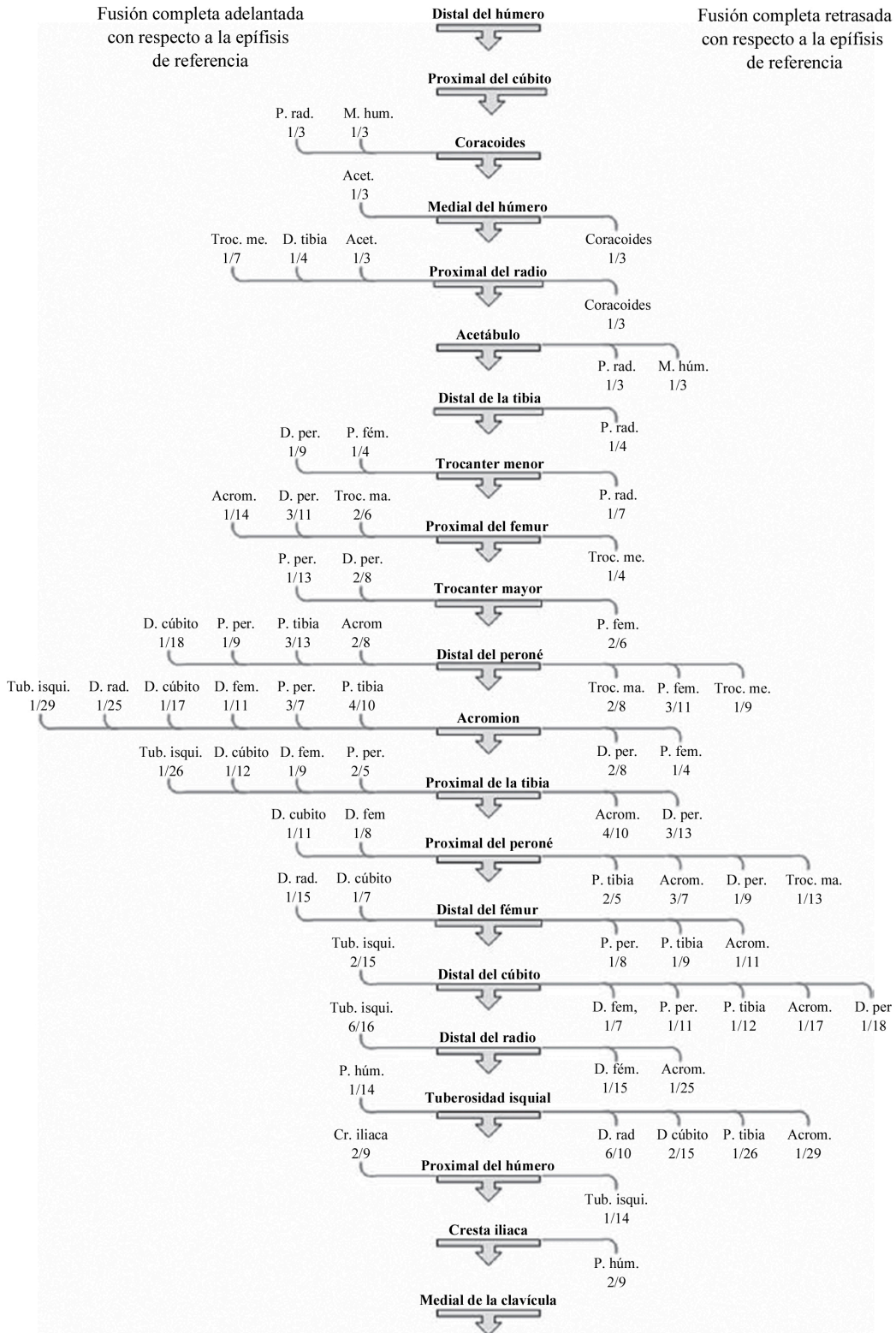


Figura 15: Árbol de secuencia de fusión (II). Modificado de Schaefer y Black (2007).



### 2.4.3 Otros métodos para la estimación de la edad

La estimación de la edad de individuos infantiles puede realizarse mediante otros muchos sistemas además de los planteados hasta el momento. Éstos no se describen con detalle porque su uso no es habitual en Antropología Forense; no obstante, en determinados contextos pueden ser de utilidad, además de constituir una importante fuente de posibilidades en cuanto a futuras investigaciones. Por estos motivos, a continuación se mencionan algunos de ellos y se describen los fundamentos de su aplicación.

#### 2.4.3.1 Histomorfometría del tejido óseo compacto.

Los métodos que emplean este sistema analizan la estructura microscópica del tejido óseo compacto, ya que ésta varía a lo largo del desarrollo del hueso. Destaca el método cuantitativo publicado por Kerley (1965), posteriormente revisado (Kerley *et al.* 1978), en el que se utiliza como variables el número de los diferentes tipos de osteonas por unidad de superficie. También es importante el método cualitativo propuesto Streeter (2005), en el que establece 4 categorías según varias características de la microestructura del tejido óseo de las costillas. Estos métodos, aunque se ha demostrado que pueden ser válidos para la estimación de la edad, han sido poco testados en muestras identificadas de referencia y dependen altamente de otros factores como el sexo, grupo poblacional, técnicas de estudio utilizadas, hueso utilizado, condiciones patológicas o desarrollo físico del individuo (Robling *et al.* 2008).

#### 2.4.3.2 Microestructura de las marcas de desarrollo en los dientes.

Dentro de este grupo se engloban un conjunto de métodos que están basados en la interpretación de ciertas marcas de desarrollo que quedan grabadas en la dentina y en el esmalte, actuando como un "registro endógeno del desarrollo". Estas marcas aparecen en los tejidos dentarios como consecuencia de la repetición de un patrón de desarrollo altamente regulado y estable, por lo que el recuento de dichas marcas puede ser utilizado para ofrecer una estimación de la edad con un elevado grado de precisión y exactitud. Dado que únicamente serán de utilidad

cuando se estudien dientes que aún se encuentran en desarrollo, su uso está limitado a individuos subadultos (Fitzgerald *et al.* 2008).

Estos métodos pueden clasificarse en dos grupos según sus características (Fitzgerald *et al.* 2008):

- En primer lugar, aquellos métodos que interpretan las marcas internas del diente que se forman de forma periódica y regular; éstas son denominadas estrías transversales o **estrías de Retzius**. La precisión que se puede obtener con este tipo de método es mayor, pero requiere la destrucción parcial del diente, para poder observar su estructura interna, por lo que esta técnica queda limitada en la mayoría de las circunstancias.
- En segundo lugar, se encuentran los métodos que analizan las líneas o estriaciones externas del diente, en la superficie del esmalte, llamadas **perkymatas**. Estos métodos plantean el inconveniente de ser menos precisos, ya que tanto la naturaleza de estas estrías como las técnicas que deben ser empleadas para cuantificarlas representan factores de variabilidad que deben ser tenidos en cuenta. El aspecto positivo de estos métodos es que no requieren la destrucción del diente.

Otra de las posibilidades que ofrecen este tipo de métodos, de gran utilidad en contextos de Antropología Forense, es estimar la supervivencia posnatal en cadáveres de individuos perinatales (Smith 2005). Estas técnicas están basadas en la observación microscópica de la **Línea Neonatal del esmalte**, la cual aparece como consecuencia del estrés fisiológico producido durante el parto; por este motivo, únicamente podrá ser observada en los dientes deciduales y en el primer molar permanente (Sabel *at al.* 2008).

Pese a que este tipo de métodos poseen un elevado potencial para ofrecer estimaciones de la edad altamente relacionadas con la edad cronológica del individuo, su uso actualmente se encuentra limitado. Esto es debido a que son pocos los estudios que se han realizado destinados a validar estas técnicas y a buscar vías para que sean más económicas y fáciles de aplicar (Fitzgerald *et al.* 2008).

### 2.4.3.3 Tamaño y peso

En contextos de Antropología Forense, cuando se estima la edad a personas vivas, el primer paso es realizar un examen físico externo del individuo (Cunha *et al.* 2009). Durante este procedimiento, además de evaluar otros elementos de interés forense, se realiza una primera estimación orientativa de la edad. Para ello, uno de los sistemas empleados, es pesar y medir al

individuo y comparar los valores obtenidos con los percentiles específicos, según los estándares de maduración en individuos infantiles de su población de origen. Éstos pueden ser consultados en las páginas web de la Organización Mundial de la Salud (2013) y de "Centros para la Prevención y el Control de Enfermedades" (2013). Los resultados obtenidos mediante este sistema deben ser empleados únicamente como información orientativa, siendo imprescindible realizar posteriores análisis basados en el desarrollo dental y esquelético del individuo (Cunha *et al.* 2009).

#### 2.4.3.4 Método de Tanner

Este método también es utilizado para ofrecer estimaciones de la edad en personas vivas a partir de su examen físico externo. En este caso, está basado en la evaluación del estado de desarrollo de los órganos sexuales según el esquema que divide el desarrollo sexual en 5 fases, según las características del bello púbico, el desarrollo mamario en niñas y el tamaño testicular en niños (Marshall 1969, 1970). Al igual que el anterior, este método únicamente debe ser empleado para ofrecer una primera estimación orientativa (Cunha 2009).

## 2.5 DIFERENCIAS POR SEXO

Para diseñar métodos para la estimación de la edad hay que tener en cuenta qué factores de variabilidad pueden afectar al desarrollo y, por consiguiente, a la correspondencia entre la edad cronológica y la estimada. Conociendo los fundamentos de estos factores y cuantificando sus efectos, el antropólogo podrá tomar las medidas oportunas para paliarlos. Uno de los elementos de mayor variabilidad en cuanto a la estimación de la edad es el sexo.

Los mecanismos responsables del desarrollo poseen un elevado control hormonal, destacando el papel de la conocida como hormona del crecimiento (GH, "growth hormone"). Ésta es responsable, entre otros, de estimular procesos de crecimiento, división celular, regeneración de tejidos y, con mayor relación al desarrollo esquelético, también es responsable de promover la retención de calcio y la mineralización del tejido óseo. Esta hormona está regulada, a su vez, por los niveles de las hormonas sexuales en el organismo (Ulijaszek *et al.* 1998).



## Capítulo2: Estimación de la edad en individuos infantiles

Las diferencias hormonales entre el sexo femenino y el masculino están condicionadas por la presencia o no de testículos, ya que cualquier individuo, en ausencia de andrógenos se desarrollará fisiológicamente expresando caracteres típicos femeninos (Haseltine 1981). En varones, los niveles circulantes de hormona luteinizante, hormona estimulante del folículo y testosterona, comienzan a elevarse en torno a la décima semana de gestación y declinan poco antes de nacer. Después del nacimiento aumentan de nuevo, alcanzando entre el primer y tercer mes de vida el valor máximo, equivalente al nivel normal de individuos adultos; posteriormente estos bajan de nuevo hasta los valores normales juveniles. Desde los seis u ocho meses de edad hasta la pubertad, los niveles hormonales entre individuos de diferente sexo son similares (Mann 1996).

El sexo, por lo tanto, va a condicionar diferencias en las tasas de desarrollo entre niños y niñas, las cuales, además, no serán constantes, sino que dependerá de la edad del individuo y del proceso que se compare. Por ejemplo, las diferencias serán mayores durante la adolescencia y no afectarán por igual a desarrollo dental y al esquelético, dado que ambos dependen de mecanismos de regulación diferentes.

Con respecto al esqueleto, por lo general, la mayoría de los estudios realizados coinciden en destacar que existen diferencias significativas entre niños y niñas, por lo que el sexo deberá ser un factor a tener en cuenta cuando se realicen estimaciones de la edad.

A continuación se muestran algunos ejemplos de los resultados obtenidos por diversos autores:

Durante el desarrollo embrionario, las niñas maduran antes que los niños, tanto en tamaño como en peso (Lampl *et al.* 2003); con respecto a la aparición y fusión de los centros de osificación de la mano y la muñeca, prácticamente todos los estudios demuestran la existencia de diferencias significativas entre ambos sexos. Jiménez-Castellanos (1996), observó que en niños españoles el desarrollo del esqueleto se produce antes en niñas que en niños, siendo las diferencias máximas entre los 5 y los 11 años. Goilsanz *et al.* (2005) obtienen resultados similares, con diferencias más acusadas entre los 2 y los 14 años y una media de 1,5 años de adelanto de las niñas con respecto a los niños.

En general, los procesos de fusión son los que muestran más diferencias en cuanto a su cronología entre niños y niñas. Cardoso (2008) observó en una muestra de origen portugués, con edades comprendidas entre los 9 y los 25 años, que los niños muestran un retraso de entre 1 y 2 años con respecto a las niñas. Davies (2013) obtiene resultados similares estudiando la fusión de las epífisis de los metatarsianos. En los huesos largos, la fusión de las epífisis termina en la rodilla en torno a los 17 años en niñas y en torno a los 19 en niños (Lewis 2007); y los procesos de fusión que se producen después de esta edad (clavícula, sincondrosis esfenoccipital, etc.)

muestran diferencias mucho menores (Bassed 2010). Una revisión de los principales métodos para la estimación de la edad mediante el tamaño de los huesos largos, muestra que, en este caso las diferencias no son tan marcadas entre niños y niñas (Schaefer *et al.* 2009, Cardoso 2013); no será hasta alcanzar la pubertad cuando aumente el dimorfismo (Scheuer 2004). Sin embargo, otros autores han observado que dichas diferencias sí existen en cuanto a los métodos para estimar la estatura en individuos subadultos, es decir, la relación entre la longitud de los huesos largos y la talla (Feldesman 1992, Mendonça 1998).

Respecto a las diferencias existentes en el desarrollo dental según el sexo de los individuos, en un origen los estudios científicos trataban de demostrar que el desarrollo dental era independiente de este, incluso se llegaron a proponer metodologías para la estimación del sexo en individuos infantiles basadas en la comparación entre la edad esquelética, que sí presentaba diferencias sexuales y la edad dental, que presuponían similar para ambos sexos (Hunt 1955; Demirjian 1985). Sin embargo, ha sido ya ampliamente aceptado que dichas diferencias sí que existen, observando que, a rasgos generales, en niñas el desarrollo es más temprano que en niños, lo que implica que se hace preciso discriminar entre sexos a la hora de establecer los patrones estándar que describan el desarrollo dental (Bolaños 2000; Frucht 2000; Sang Eon Lee 2008; TeMoanai 2008).

Las diferencias en el desarrollo dental se incrementan con la edad (Scheuer 2004). Durante el desarrollo fetal, los niños muestran un desarrollo ligeramente avanzado con respecto a las niñas, que se invierte progresivamente. Algunos estudios odontométricos, que utilizan análisis de regresión lineal para obtener sus resultados, sugieren que no hay diferencias en cuanto a las tasas de desarrollo de la dentición decidua, ya que al incluir la variable "sexo" en la función, ésta no supone una mejora en los resultados (Sema 2009).

A continuación se explica brevemente por qué puede ser un error plantear dichas diferencias como una variable más en estudios de regresión: como se ha mencionado anteriormente, el desarrollo comienza siendo más avanzado en niños y posteriormente se invierte, debido a las diferencias hormonales; esto quiere decir que las funciones de regresión para cada sexo poseen pendientes diferentes y que, además, se cruzan. Incluir una variable más para obtener un mayor ajuste en estudios de regresión lineal, únicamente será válido cuando las funciones resultantes sean paralelas, es decir, cuando las diferencias entre ambos sexos son homogéneas durante todo el desarrollo. El modo correcto de comprobar si existen dichas diferencias es comparando estadísticamente si las pendientes y la ordenada en el origen de ambas funciones son significativamente diferentes. En apartados posteriores se explicarán estos aspectos con mayor detalle.

En cuanto a la dentición permanente, parece haber un mayor acuerdo en que dichas diferencias sí existen y son significativas. En este caso sucede al revés que en la dentición decidual, ya que el desarrollo se inicia alrededor de 6 meses antes en niñas que en niños. Prácticamente todos los estudios que analizan el desarrollo dental permanente obtienen en sus resultados un adelanto de las niñas con respecto a los niños, independientemente del método empleado (Moorrees 1963a, Demirjian 1973, 1976; Smith 1991, Liversidge 1999, Bolaños 2000, Cameriere 2006b, Sang 2008, Tunk 2008).

Con respecto a la presencia o ausencia del tercer molar, aunque ampliamente estudiado, no se han observado diferencias significativas entre el sexo masculino y el femenino (Bolaños 2003); sin embargo, si las hay en cuanto al inicio de la formación de la corona, siendo más temprana en niñas, y en cuanto a la tasa de desarrollo, siendo más rápida en niños (Scheuer 2004). Por este motivo, las diferencias en cuanto al desarrollo del tercer molar después de la adolescencia se minimizan (Prieto 2005) e incluso se invierten pasados los 18 años (Martín 2008).

Además de existir diferencias en las tasas de desarrollo dental entre ambos sexos, también pueden existir diferencias morfológicas (Liversidge 2008). Éstas han sido demostradas por numerosos autores, siendo empleadas incluso como método para la estimación del sexo (Vicinao *et al.* 2012). Estos métodos ofrecen una elevada probabilidad de acierto en comparación con los que analizan otros elementos del esqueleto (Schutkowski 1993). Estas diferencias morfológicas avalan la necesidad de emplear métodos para la estimación de la edad que incluyan las diferencias entre ambos sexos, con mayor importancia en aquellos que sean odontométricos.

Se podría concluir, por tanto, que para una correcta estimación de la edad de individuos subadultos en contextos de Antropología Forense, hay que emplear métodos que ofrezcan resultados independientes según el sexo del individuo; sin embargo, también hay que tener en cuenta que en muchos casos no se conocerá este dato, ni será posible estimarlo de una manera fiable por tratarse de individuos infantiles, lo cual limitará la posibilidad de ofrecer estimaciones precisas de la edad (Saunders 2008). Por este motivo, también será útil que los métodos ofrezcan resultados combinados para ambos sexos (Scheuer 2004, Franklin 2010, Rissech 2013).

## 2.6 DIFERENCIAS POBLACIONALES

Uno de los principales objetivos que se plantea la investigación en Antropología Forense en la actualidad, es conocer si los diferentes métodos para la estimación de la edad son aplicables

en grupos con etnicidad diferente a los que se emplearon para diseñarlos; siendo aquí utilizada la palabra etnicidad para identificar la afinidad de diferentes poblaciones en términos de origen. En muchos casos, esta información se desconoce, lo cual compromete seriamente el valor de las estimaciones en contextos legales.

Estas diferencias poblacionales han sido ampliamente demostradas y cuantificadas por numerosos autores, tanto para el desarrollo dental como para el esquelético. Existen dos formas habituales de llevar a cabo estos estudios científicos: (1) aquellos que ponen a prueba metodologías diseñadas a partir de grupos humanos concretos en otros diferentes para evaluar las diferencias y reajustar dichos métodos a esta nueva población, y (2) aquellos que comparan en una población la edad real de un grupo de individuos de estudio con la edad estimada por varios métodos diferentes, comprobando así qué método se ajusta en mayor medida a esta población. A continuación se muestran, como ejemplo, los resultados obtenidos por varios autores que han comparado diferentes poblaciones.

Con respecto al método de Demirjian para la estimación de la edad dental (Demirjian 1973,1976), se ha observado que sobreestima la edad en poblaciones indias (Koshy 1998), turcas (Tunc 2008), italianas, españolas y croatas (Cameriere 2008), la infraestima en británicos (Liversidge 1999) o alemanes (Leurs 2005) y ofrece buenos resultados cuando lo aplicamos a población belga (Hegde 2002); resultados coherentes dada la afinidad de esta última población con la francesa, de la cual procedió la muestra de estudio que utilizaron Demirjian y Goldstein para diseñar el mencionado método. Olze (2004) comprobó, empleando este método, que el desarrollo dental en individuos japoneses era entre 1 y 2 años más avanzado que el de alemanes y que el de individuos africanos entre 1-2 años más retrasados que los alemanes.

Jayaraman *et al.* publicó en 2013 una amplia revisión bibliográfica en la que compararon 46 estudios que habían puesto a prueba el método de Demirjian (1973) en diferentes poblaciones. Como conclusión principal destacó que, en general, el método de Demirjian sobreestima la edad independientemente de la población estudiada, obteniendo un valor medio de 0,5 años de edad más elevada. Las máximas diferencias fueron observadas en una población India, en la cual el método sobreestimaba la edad en torno a los 3 años; la mejor correlación se observó en una población venezolana, con una infraestimación de unos 0,2 años. En los siguientes gráficos se muestra un resumen de las diferencias observadas en cada población, para niños y para niñas.

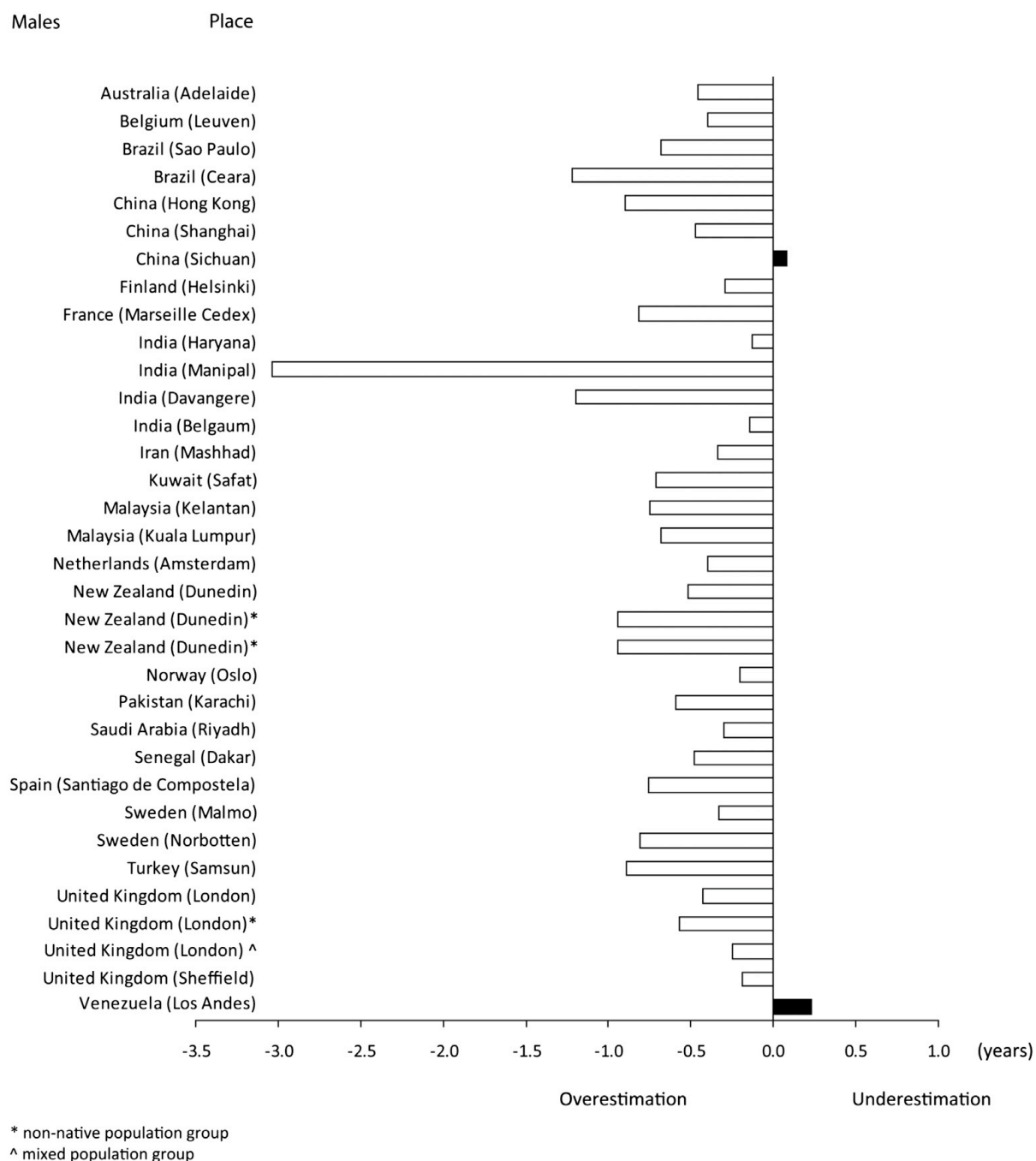


Figura 16: Tomado de Jayaraman (2013). Diferencias cuando se aplica en niños el método de Demirjian (1973) en diferentes poblaciones.

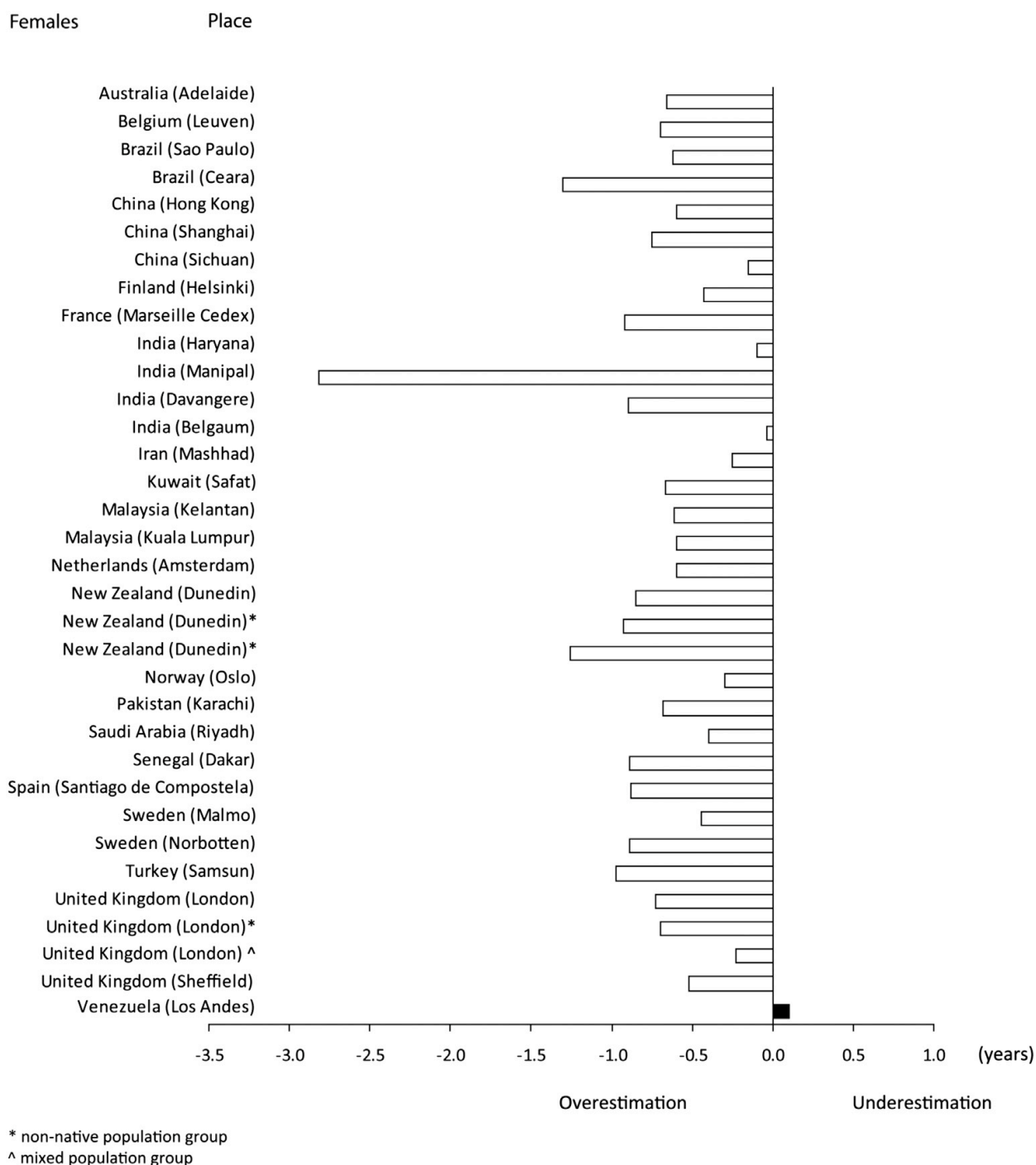


Figura 17: Tomado de Jayaraman (2013). Diferencias cuando se aplica en niñas el método de Demirjian (1973) en diferentes poblaciones.

Con respecto a la comparación de varias metodologías en una misma población, podremos presuponer que aquellas que fueron diseñadas a partir de poblaciones más afines a las que se las compara ofrecerán una estimación más acertada. Como ejemplo podemos mencionar que el método de Cameriere (2006) ofrece mejores resultados que los de Demirjian (1973-1976) o Willems (2001) en las poblaciones mediterránea y peruana (Cameriere 2007, 2008).

A raíz de estos estudios los investigadores pueden realizar ajustes en los patrones de desarrollo definidos por el método para adecuarlos a la nueva población, como por ejemplo los realizados por Willems (2001), que ofrecen mejores resultados en población británica y de Bangladesh (Maber 2006) o bien los realizados para la población coreana (Sang Eon Lee 2008).

Con respecto al desarrollo esquelético, estudios similares ponen de manifiesto la necesidad de utilizar estándares específicos para cada población (Cunha *et al.* 2009). Con carácter general, el atlas de Greulich y Pyle sobreestima la edad en españoles y asiáticos (Tritrakarn *et al.* 1991, Jiménez-Castellanos *et al.* 1996, Zhang *et al.* 2009), quienes muestran un desarrollo más temprano que poblaciones africanas y americanas (Garamendi *et al.* 2006, Zhang *et al.* 2009).

Pese a que hay un acuerdo unánime entre la mayoría de los investigadores en cuanto a que dichas diferencias existen y deben ser tomadas en cuenta para una correcta estimación de la edad, aún existe un extenso debate para explicar su origen. A priori, cabe pensar que debe tener un peso importante la variabilidad genética interpoblacional que existe entre grupos humanos. En este sentido se pueden destacar los estudios de Reid y Dean (2006), quienes observaron diferencias en los tiempos de formación de la corona dental entre varias poblaciones. Éstas podían estar debidas a diferencias que afecten al tamaño o a la forma de la corona, de tal forma que, si un diente tiene un tamaño menor en una población concreta, éste alcanzará antes su desarrollo completo (Liversidge 2008). En una línea similar a ésta, Olze *et al.* (2006), basándose en estudios centrados en poblaciones japonesas alemanas y africanas (Olze *et al.* 2004), proponen que pueden estar relacionadas con diferencias en las dimensiones palatales entre los grupos étnicos estudiados, presentando un tamaño mucho mayor en africanos que en japoneses y con los alemanes en un punto medio entre ambos. Un espacio demasiado reducido en el maxilar podría provocar un retraso en el proceso de erupción y, en consecuencia, un retraso en la mineralización dental.

En contraposición a que las diferencias observadas entre grupos étnicos son debidas a diferencias genéticas, varios autores plantean que pueden existir más factores de variabilidad que no han sido tomados en cuenta por otros estudios, como diferencias en el estatus social de las muestras empleadas, muestras de épocas diferentes, errores metodológicos en la comparación, etc.

En apoyo a esta hipótesis, varios estudios han comparado poblaciones que mostraban diferencias cuando se les aplicaba el método de Demirjian (1973), pero esta vez teniendo en cuenta que los individuos de ambas muestras empleadas poseyeran un estatus social similar. Cuando se tenía en cuenta dicho factor, no se observaban diferencias significativas (Liversidge 1999, Martin 2008).

Actualmente son muchos los autores que defienden que pueden estar debidas a errores metodológicos en la comparación (Smith 1991, Liversidge 2008, Liversidge 2010, Cardoso 2013). Liversidge realizó dos estudios por separado (2006, 2010b), en los que comparó, con varios sistemas, más de 9.000 ortopantomografías de 8 poblaciones distintas. Sus resultados mostraron que cuando se utilizaba para comparar el método de Demirjian (1973), las poblaciones mostraban ser significativamente diferentes; sin embargo, si dicha comparación se realizaba de forma independiente para cada diente, dichas diferencias desaparecían. Concluye que no existen evidencias biológicas que justifiquen un desarrollo dental distinto entre las poblaciones estudiadas y, por tanto, las diferencias observadas son erróneamente interpretadas como diferencias étnicas. Sugiere que son fruto de la realización de comparaciones erróneas y que el método de Demirjian (1973) es un sistema inapropiado para comparar poblaciones, posiblemente porque emplee escalas de duración basadas en el desarrollo ponderado de 7 dientes, porque implica la utilización de ecuaciones complejas o porque en los estudios realizados se incluyeron individuos maduros.

En esta misma línea, Cardoso (2013) observa diferencias significativas entre población portuguesa y británica en cuanto a la relación longitud de los huesos largos y la edad; no obstante, éstas desaparecen si las comparaciones las realiza dividiendo ambas muestras en grupos de edad. Esto demuestra que todos aquellos estudios destinados a establecer comparaciones entre grupos, deben estar sujetos a un estricto control metodológico, que normalice todos aquellos factores externos que puedan afectar a la variabilidad, y en los que únicamente el elemento que se desea comparar (en este caso las diferencias poblacionales) sea el único factor no controlado.

Pese a que no exista un consenso en cuanto a por qué se producen diferencias cuando un mismo método se emplea en poblaciones distintas, desde un punto de vista práctico, sí existe una conclusión clara y unánime en cuanto que deben usarse estándares específicos para cada población cuando se empleen técnicas para la estimación de la edad (Schmeling 2006, Olze 2006, Christensen 2009, Cunha 2009, Franklin 2010, De Donno 2013, Rissech *et al.* 2013, SWGANTH 2013).





## **Capítulo 3**

# **DISEÑO DE MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD EN INDIVIDUOS INFANTILES**



Los métodos para la estimación de la edad están basados en la creación de estándares de desarrollo y maduración de referencia que, posteriormente, pueden ser empleados para ofrecer estimaciones sobre la edad cronológica de un individuo.

Para que los resultados tengan validez y puedan ser utilizados con fines forenses, es necesario que el investigador siga las pautas del habitual método científico. Debe seguir y documentar una metodología muy clara y estricta que permita la interpretación, replicación y verificación de su trabajo por parte de investigadores independientes (SWGANTH, 2013b, Comité de Bioética de España 2013, CSIC 2013)

Uno de los aspectos cruciales para legitimizar los resultados del estudio será que las características de la muestra de referencia empleada sean las adecuadas. Con carácter general, ésta debe ser amplia y aleatoria con respecto al rasgo o variable que se pretende evaluar, de tal forma que se cumplan las asunciones requeridas por la mayoría de los test paramétricos estadísticos (normalidad, igualdad de varianzas, aleatoriedad, etc.). Cuando se empleen muestras reducidas, se debe tener presente que los posibles excesos de ajuste serán irreales y que, por tanto, únicamente deberán ser interpretados como información orientativa. Se deben conocer y controlar todas las características de la muestra que puedan afectar al comportamiento de la variable que se desea estudiar. Si nos centramos en el diseño de métodos para la estimación de la edad, algunos ejemplos serán el sexo de los individuos, el origen poblacional, el estatus social, determinadas patologías, etc. De aquí la importancia del estudio de colecciones identificadas. De esta forma, las variaciones en la variable analizada podrán quedar explicadas de acuerdo al parámetro de estudio; en el caso planteado, la edad cronológica del individuo.

En todo proyecto de investigación, la calidad de los resultados obtenidos así como las utilidades que éstos puedan tener, están basados en los datos que utilice el investigador. Por este motivo, la metodología empleada para la toma de datos también debe estar estrictamente organizada, controlada y descrita junto a la publicación de los resultados, de tal manera que investigadores independientes puedan repetir el proceso exactamente del mismo modo.

### Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

A continuación se menciona una pequeña revisión de "buenas prácticas" que se deben tener en cuenta para la toma de datos:

- Antes de comenzar se debe poseer una experiencia previa para evitar adquirir nuevos hábitos de repetición y para ser consciente de los posibles errores que se pueden cometer; de esta forma se conseguirá emplear una metodología constante durante todo el estudio.
- Se debe ser lo más objetivo posible; para ello, la variable de estudio debe ser cuantificada sin conocer el valor de la variable con la que se quiere relacionar (en nuestro caso la edad cronológica del individuo). De esta forma se evitará una posible sugestión del investigador.
- El instrumento de medida debe ser lo suficientemente preciso y estar correctamente homologado; no será correcto cambiarlo por otro en el transcurso del estudio, pese a que sea de características similares.
- Se deberán incluir en el estudio, sin excepción, todos los resultados, pese a que sean negativos, discordantes o inesperados; además, también deberán quedar reflejados todos los cambios que se realicen o los posibles errores cometidos.
- Por último, estos datos deberán ser almacenados y custodiados por la persona responsable una vez que termine la investigación, a fin de que puedan ser reevaluados en futuros estudios por parte de terceros.

Además de existir muchos métodos para estimar la edad, también existen muchas variantes de análisis para desarrollarlos. La elección de uno u otro dependerá de los objetivos, el tipo de muestra, el tipo de variable, etc.

En adelante se hace un pequeño repaso de los principales análisis que se pueden aplicar a los datos tomados, según se empleen variables continuas o discretas. No se pretende explicar con detalle los fundamentos de cada una de ellas, sino comentar sus ventajas e inconvenientes y en qué contextos son más habituales.

#### 3.1 ANÁLISIS DE VARIABLES CONTÍNUAS

Las variables continuas son aquellas que pueden tomar cualquiera de los valores dentro de un intervalo finito o infinito. Esto implica que, entre dos valores, siempre podrá existir un tercer valor que pueda ser tomado. Otra de las propiedades de estas variables será que nunca podrá ser tomada con exactitud, siempre existirá un margen de error que vendrá dado por la precisión de la herramienta de medida utilizadas (Madrigal 1998, Rosing 2007). En el contexto de la Antropología Forense, los métodos que utilizan variables continuas son aquellos que evalúan el tamaño o la

forma mediante variables métricas; por ejemplo, el aumento en longitud de las diáfisis de los huesos largos, o bien, las variaciones en el ángulo que relaciona dos superficies.

Cuando se analizan variables continuas para crear estándares de desarrollo, el principal método que se puede emplear es el análisis de regresión (Madrigal 1998). El objetivo de este método es buscar la relación, expresada como una ecuación matemática, entre diferentes parámetros que, se supone, están relacionados (Aykroyd 1997).

En este tipo de análisis se puede distinguir entre dos tipos de variables: variables independientes y dependientes. La variable independiente, en términos generales, es aquella que es manipulada por el investigador. En Antropología, la manipulación de las variables es algo que parece que está fuera del control del investigador; no obstante, en todo estudio antropológico, el investigador cuantifica un determinado rasgo, que será la variable independiente, con el fin de inferir el efecto que ésta tiene sobre una segunda variable.

La variable dependiente, por tanto, es aquella que el investigador tiene interés en estudiar; el investigador no la controla, solo la observa. Modificando la variable independiente puede observar los cambios que se producen en la variable dependiente. Una manera más práctica de distinguir entre ambas variables es observando su relación en los modelos predictivos: el antropólogo estima la variable dependiente a partir de un valor dado de la variable independiente. En el caso que aquí se trata, la variable dependiente sería la edad y la independiente alguna medida específica del individuo.

El análisis de regresión en Antropología se puede emplear para responder a tres objetivos fundamentales: (1) conocer si las variables estudiadas están relacionadas o son independientes; (2) en el caso de que estén relacionadas, conocer qué tipo de relación existe entre ambas (lineal, exponencial, inversa, etc.); y (3) crear un modelo que nos permita predecir una de las variables a partir del conocimiento de la otra (Martín 1989).

Para obtener una función de regresión que explique la relación entre dos variables se emplea el sistema conocido como "método de mínimos cuadrados". El objetivo de este análisis es ajustar una línea en la cual la suma de los cuadrados de las distancias verticales (representados los valores en un sistema de coordenadas cartesianas) sea mínima. De manera simplificada, encontrar la línea que sea más cercana a todos los puntos a la vez (Madrigal 1998). El término "cuadrado" se emplea porque algunas diferencias con respecto a la línea serán positivas y otras negativas.

Existen 4 tipos de análisis de regresión que se pueden estimar para el diseño de métodos para la estimación de la edad:

## Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

### 3.1.1 Regresión lineal simple.

Este sistema se emplea cuando únicamente intervienen dos variables y éstas se relacionan siguiendo una línea recta. Con respecto a los métodos para estimar la edad, la función lineal es la más sencilla y rápida de aplicar e indica que el crecimiento es constante (Madrigal 1998, Aykroyd 1997). El modelo matemático resultante puede ser expresado del siguiente modo:

$$y = a + bx$$

donde:

- "y" es la variable dependiente (la edad estimada en nuestro caso).
- "x" es la variable independiente (en nuestro caso una variable métrica).
- "a" es una constante denominada "ordenada en el origen", que representa el punto en el cual la línea se cruza con el eje de ordenadas; es decir, el valor que toma "y" cuando "x" es igual a cero. Desde un punto de vista práctico, se puede interpretar como la edad a la que se inicia un proceso de desarrollo concreto, ya que justo a partir de esa edad, la variable métrica que se está estudiando siempre será superior de cero.
- y "b" es otra constante que representa la pendiente de la línea de regresión.

Como ejemplos de métodos que emplean este sistema se pueden mencionar las funciones publicadas por Liversidge *et al.* (2004) para el incremento en el tamaño de la dentición decidua, las propuestas por Rissech *et al.* (2013) para la escápula y el coxal o las que emplean la longitud máxima de los huesos largos publicadas por Scheuer (1980, citado en Schaefer *et al.* 2009).

Cuando se emplean sistemas de regresión lineales hay que tener en cuenta que todo proceso de desarrollo finaliza cuando el individuo alcanza la maduración, por lo que la relación lineal únicamente podrá emplearse hasta una determinada edad que el método deberá indicar.

Los modelos lineales de regresión permiten a su vez realizar comparaciones entre distintos grupos; por ejemplo, entre poblaciones, entre sexos, entre diferentes estatus sociales, etc. Para ello hay que desarrollar los dos modelos de regresión lineal que se desean comparar y realizar dos análisis independientes. A continuación se mencionan cada uno de ellos, pero no se describe con detalle cómo llevarlos a cabo, ya que se requieren conocimientos específicos de estadística. Para obtener una explicación más amplia sobre como llevar a cabo estos análisis se recomienda acudir a manuales específicos (Martin 1989).

3.1.1.1 Comparación de las pendientes de regresión:

El objetivo es comparar si las pendientes, es decir, los valores de "b", son estadísticamente significativos. Para ello será preciso realizar el siguiente test estadístico:

$$T_{\text{exp}} = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{S_D^2 \left\{ \frac{1}{(xx)_1} + \frac{1}{(xx)_2} \right\}}}$$

- $b_1$  y  $b_2$  son los valores de la pendiente obtenidos por el análisis de regresión.
- $S_D^2$  es la media de las varianzas de regresión.
- $(xx)_1$  y  $(xx)_2$  son la suma de los cuadrados de las funciones 1 y 2.

Como posibles resultados se puede obtener que las pendientes sean iguales o distintas. En las siguientes imágenes se muestra una representación gráfica de ambas opciones:

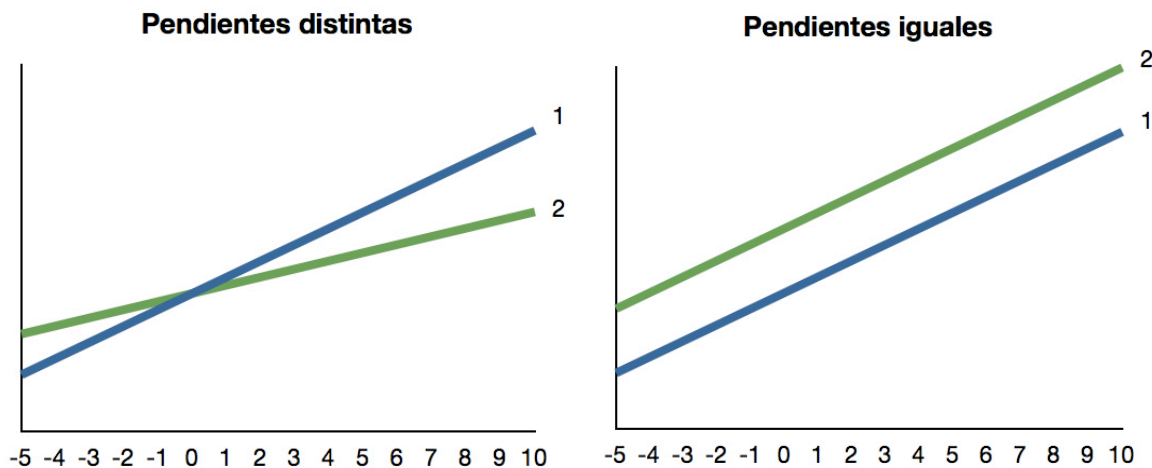


Figura 18: comparación de pendientes entre rectas de regresión.

Cuando las pendientes son diferentes, esto se interpreta considerando que para algunos valores de "x", "y" será mayor en la función 2 que en la 1, y para otros será a la inversa. Cuando las pendientes son similares, significa que ambas rectas son paralelas y, por lo tanto, los valores de "y" para cualquier valor de "x" se diferencian entre las funciones 1 y 2 en la misma cantidad



### Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

constante. Dada esta situación cabe la posibilidad de realizar un segundo análisis para comprobar si las alturas en el origen son similares.

#### 3.1.1.2 Comparación de las alturas en el origen:

En este caso, el objetivo será plantear si ambas funciones cortan al eje de ordenadas en el mismo punto, es decir, comprobar si los valores de "a" obtenidos en el análisis de regresión son estadísticamente significativos entre ambas funciones. El test a realizar será el siguiente:

$$T_{\text{exp}} = \frac{|\bar{a}_1 - \bar{a}_2|}{\sqrt{\bar{S}_D^2 \left\{ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{(xx)_{1+} + (xx)_2} \right\}}}$$

- $\bar{a}_1$  y  $\bar{a}_2$  son los valores de a de ambas funciones.
- $\bar{S}_D^2$  es la varianza de regresión considerando que las pendientes son iguales.
- $n$  es el tamaño de la muestra para ambas funciones.
- $\bar{x}_1$  y  $\bar{x}_2$  es el valor medio de los valores de "x" para ambas funciones.

Cuando la distancia entre ambas restas es significativa, como se observa en la imagen de la derecha, el factor que diferencia a ambas poblaciones estudiadas puede ser incorporado a la función de regresión, siguiendo el modelo de regresión múltiple que se explicará más adelante, de tal manera que puedan ser explicadas ambas poblaciones con una sola ecuación. Si las alturas y las pendientes son iguales, las poblaciones son similares, por lo que no es necesario utilizar ecuaciones independientes.

#### 3.1.2 Regresión curvilínea:

En este caso también intervienen únicamente 2 variables, pero se relacionan siguiendo una línea curva. Esta situación es más coherente con la realidad biológica del desarrollo, en la que los procesos de desarrollo no siguen una relación constante con respecto a la edad del individuo,

sino que varían a lo largo de la maduración hasta llegar a detenerse cuando éste es adulto. El problema que plantean este tipo de funciones es que pueden resultar más complejas de aplicar.

A continuación se mencionan algunos ejemplos que se pueden emplear en la práctica:

Polinómica de segundo grado o cuadrática  $y = a + bx + b_2x^2$

Polinómica de tercer grado o cúbica  $y = a + bx + b_2x^2 + b_3x^3$

Polinómica de grado n  $y = a + bx + b_2x^2 + \dots + b_nx^n$

Exponencial  $y = ae^{bx}$

Logarítmica  $y = a\ln x + b$

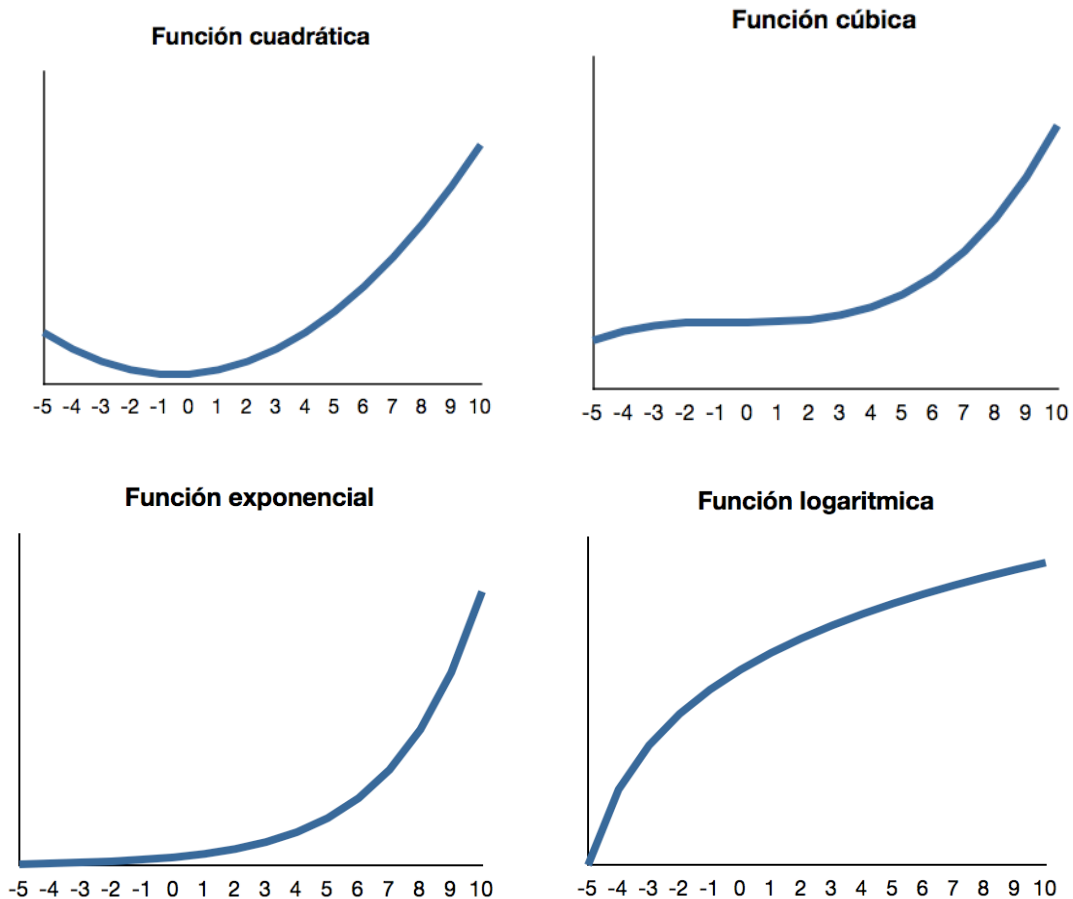


Figura 19: Algunos ejemplos de representaciones gráficas que pueden seguir estas funciones.

### Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

Como ejemplos de métodos para la estimación de la edad que emplean la regresión curvilínea se pueden citar los estudios de Scheuer *et al.* (1980, citado en Schaefer *et al.* 2009) quienes utilizan la función logarítmica para la estimación de la edad a través de la longitud máxima de los huesos largos, o los llevados a cabo por Liversidge *et al.* (1993), quienes emplearon la función cuadrática para la longitud máxima de los dientes permanentes.

Como se ha indicado anteriormente, estos sistemas no permiten realizar comparaciones estadísticas entre grupos; no obstante, es posible "linealizar" las funciones, lo cual permitirá al investigador interpretar y operar con los resultados obtenidos de forma más sencilla (Martin 1989). Este sistema requiere de práctica y conocimientos matemáticos, ya que para cada función curvilínea, el proceso a seguir será diferente; a continuación se muestra como ejemplo la linealización de una función exponencial:

$$y = ae^{bx}$$

$$Lny = Lna + bx$$

$$Lny = y' \quad Lna = a'$$

$$y' = a' + bx$$

Hay que tener muy en cuenta que este sistema únicamente nos permitirá realizar las comparaciones mencionadas anteriormente, pero no debe ser empleado como herramienta predictoria ya que, si utilizamos como ejemplo un método para la estimación de la edad, el valor que nos proporcionaría la ecuación sería, en este caso, el logaritmo neperiano de la edad estimada.

#### 3.1.3 Regresión múltiple:

Este sistema de regresión emplea una variable dependiente y varias independientes. A continuación se muestra, como ejemplo, la ecuación propuesta por Cameriere *et al.* (2006) para la estimación de la edad dental en individuos infantiles a partir del análisis de radiografías. Para cuantificar cada una de las variables que incorpora la función, se analizan los 7 dientes permanentes mandibulares a partir de imágenes radiográficas como la que se muestra a continuación:

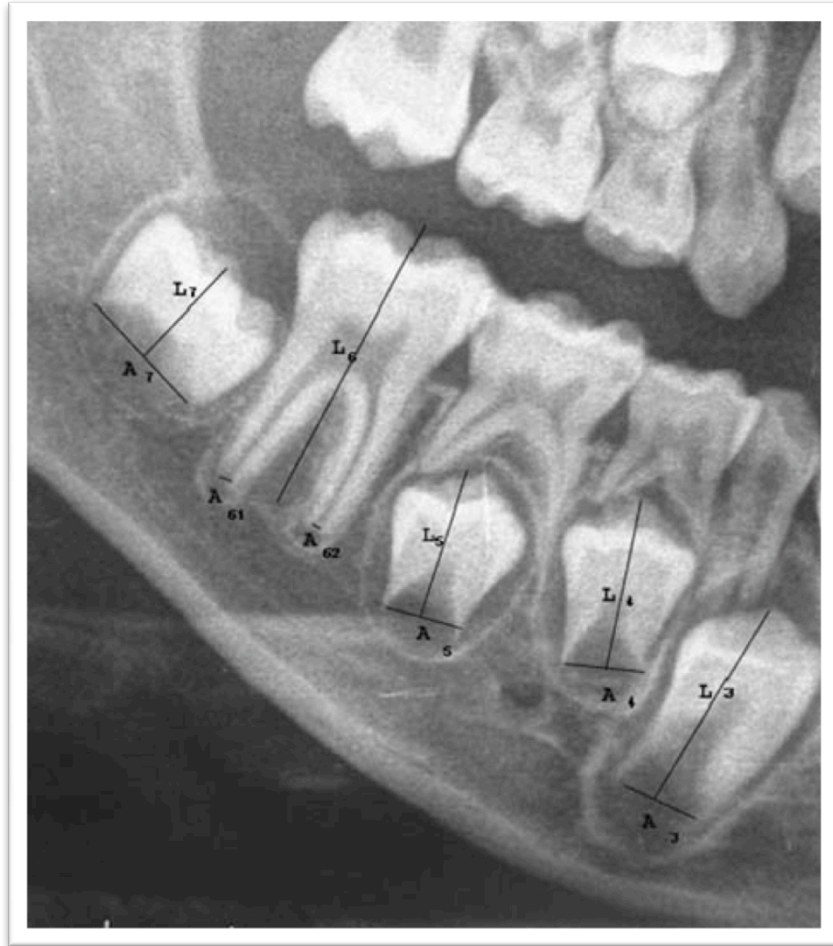


Figura 20: Tomada de Cameriere et al. (2006)

$$Edad = 8,971 + 0,375g + 1,631(x5) + 0,674N_0 - 1,034s - 0,176s \cdot N_0$$

- g es una variable igual a 1 para el sexo masculino y 2 para el sexo femenino.
- x5 es una variable normalizada obtenida dividiendo la distancia entre los extremos inferiores del ápice radicular abierto del segundo premolar, entre la longitud máxima del mismo diente
- $N_0$  es el número de dientes con el desarrollo de la raíz completo
- s es la suma de todos los ápices normalizados, del mismo modo que el anterior

Este sistema se utiliza cuando la incorporación de cada una de las variables independientes supone una mejora significativa en cuanto al ajuste de la función a la estimación de la edad; no obstante, el hecho de que añadir una nueva variable no suponga un mayor ajuste no es indicativo de que ésta no afecte a la edad. Como ejemplo se puede mencionar un caso hipotético en el que la incorporación de la variable "sexo" a una función de regresión múltiple no

### Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

suponga un mayor ajuste de la ecuación; en este caso no se puede inferir que no exista diferencias en el desarrollo entre ambos sexos, ya que es posible que si se representan las funciones por separado las pendientes sean diferentes (ambas rectas se crucen), en cuyo caso, la regresión múltiple no sería capaz de detectar dichas diferencias.

Otros ejemplos de métodos de estimación de la edad que emplean sistemas similares a éste, son las fórmulas propuestas por Castellana *et al.* (2001) para las dimensiones de los centros de osificación del atlas y el axis o las propuestas por Sema *et al.* (2009) para el estudio odontométrico de los incisivos centrales en fetos e individuos infantiles.

#### 3.1.4 Sistemas spline:

Los sistemas spline son aquellos que utilizan varias fórmulas de regresión para explicar la relación entre 2 variables. En este caso, cada una de las funciones está acotada por límites dados de la variable dependiente.

Estos métodos se pueden utilizar cuando la relación entre las variables dependiente e independiente sea compleja. Ésta es una situación habitual cuando se diseñan métodos para la estimación de la edad, ya que la velocidad de crecimiento no es la misma durante todo el desarrollo; a grandes rasgos, durante la primera infancia, el crecimiento es muy rápido hasta alcanzar aproximadamente los dos años de edad; a partir de ahí éste se ralentiza hasta la pubertad, cuando vuelve a observarse un aumento de la velocidad (Cardoso *et al.* 2013).

El empleo de sistemas spline puede ser el único método posible de utilizar cuando la relación entre las variables sea compleja; no obstante, también puede ser utilizado para simplificar los resultados, como alternativa a la regresión curvilínea. Un ejemplo de esto último puede observarse en las fórmulas propuestas por Cardoso *et al.* (2013); en la siguiente gráfica se muestra la distribución de datos que obtuvo tras analizar su población de estudio; en ella se puede observar que la velocidad de crecimiento se reduce a partir de los dos años. Posiblemente una función polinómica o logarítmica podría haberse ajustado bien a sus resultados. No obstante, para ofrecer un método más fácil y rápido de utilizar, optó por ofrecer 2 funciones lineales diferentes, una para edades inferiores a los 2 años y otra para las comprendidas entre los 2 y los 12 años.

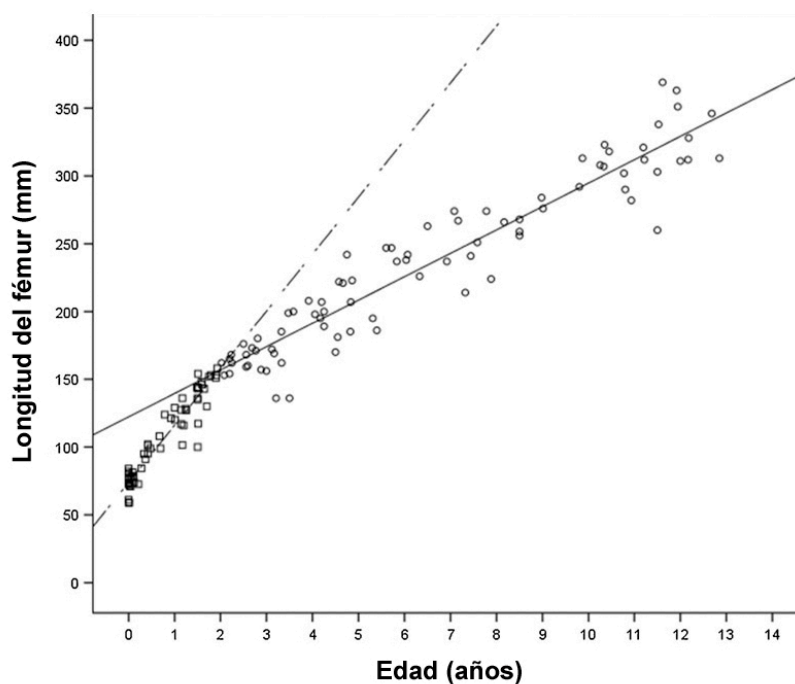


Figura 21: tomada de Cardoso et al. (2013)

### 3.2 ANÁLISIS DE VARIABLES DISCRETAS O NUMÉRICAS DISCONTINUAS.

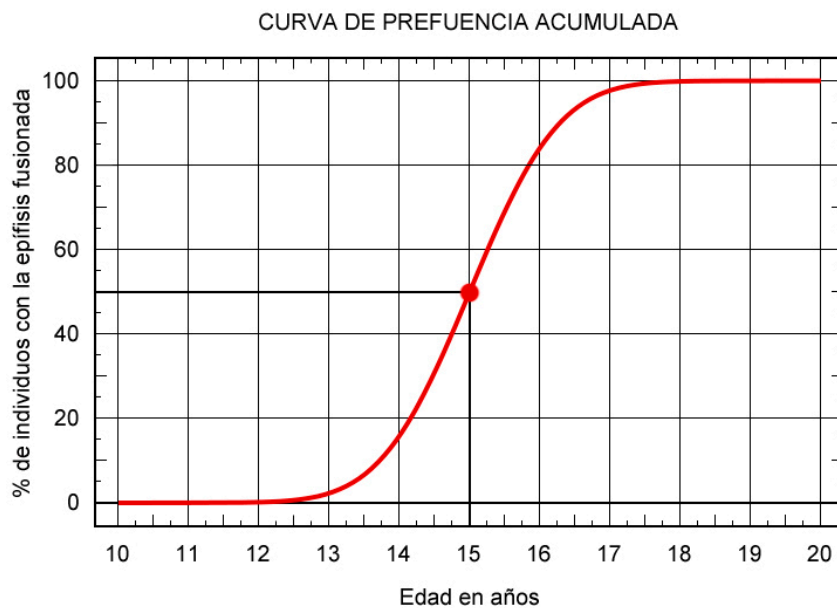
Una variable discreta, es toda aquella que solamente puede tomar valores aislados dentro de un número finito de categorías; es decir, no podrá tomar cualquier valor, sino solo aquellos que pertenezcan a ese conjunto. En el caso de las variables numéricas discontinuas, el conjunto es numérico; no obstante, no se podrá tomar ninguno de los valores intermedios (Madrigal 1998). En el contexto de la Antropología Forense, los métodos que emplean variables discretas pueden ser aquellos que categorizan un determinado rasgo según un número de morfotipos posibles, o bien evalúan si se ha producido un proceso de desarrollo concreto o no.

En estos casos, la construcción de cronologías está basada en elaborar un registro de las edades a las cuales ocurren una serie de sucesos o procesos. Se pueden mencionar como ejemplos la erupción de los diferentes dientes o los procesos de fusión de las epífisis. Existen muchos métodos para calcular este valor, cada uno de los cuales plantea una serie de ventajas o inconvenientes, o bien debe ser aplicado bajo unas condiciones concretas. A continuación se hace una pequeña revisión sobre los principales sistemas empleados para la construcción de cronologías (Smith 1991):

3.2.1 Funciones de frecuencia acumulada

Este sistema se emplea para conocer a qué edad se alcanza un determinado estado de maduración.

Su valor no es fácilmente cuantificable, ya que el cambio de un estado a otro se produce de una manera secuencial, siendo imposible observar, por parte del investigador, el momento exacto en el que se cambia de un estado a otro. La función de frecuencia acumulada relaciona la edad de un sujeto con la probabilidad de que éste haya alcanzado el estado de maduración objeto del estudio. Se acepta que la edad a la que se alcanza ese estado equivale a aquella a la cual el 50% de los individuos de una población ya lo ha alcanzado. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo hipotético de la curva de frecuencia acumulada asociada a un determinado proceso de desarrollo, como por ejemplo, la fusión de una epífisis; en este caso, la edad a la que se estima que se fusiona esta epífisis sería a los 15 años.



*Figura 22: ejemplo hipotético: curva de frecuencia acumulada para la fusión de una epífisis.*

La forma más adecuada de calcular este valor es empleando el método de regresión Probit, disponible en ciertos programas estadísticos informáticos. De esta forma se podrá estimar, además, el error cometido y la dispersión de los valores observados. No obstante, en ocasiones, es posible que el número de individuos que se pueda estudiar sea muy limitado, de tal forma que el intervalo de edad en el cual se produce el cambio de una fase de desarrollo a la siguiente está mal representado. Esta situación puede ser habitual en el estudio de esqueletos de individuos

subadultos debido a la escasez de muestras adecuadas y cuando se estudien procesos complejos cuyo desarrollo se divide en un elevado número de fases de maduración. En estos casos, la edad a la que se produce el cambio de una fase a otra puede ser estimada calculando el punto medio entre las edades el individuo más joven que haya alcanzado la fase de desarrollo estudiada y el individuo de mayor edad que aún no la haya alcanzado. Este sistema también se fundamenta en localizar el punto medio de la función de frecuencia acumulada.

Algunos métodos que emplean este sistema para obtener cronologías de desarrollo son los elaborados por Moorrees *et al.* (1963), Haavikko (1970), Liversidge *et al.* (2004) o Folayan *et al.* (2007).

### 3.2.2 Edad media de los individuos en una fase determinada

El valor que se obtiene en el sistema mostrado en el apartado anterior es la "edad de inicio de cada fase"; éste es el que describe la cronología de un proceso de la forma más adecuada (Smith 1991). Sin embargo, ese dato no es útil cuando se pretende estimar la edad de un individuo a partir de la observación de su estado de desarrollo, ya sea en contextos arqueológicos o forenses. Para estos fines, diferentes autores proponen calcular la edad media de los individuos que han mostrado tener una fase de desarrollo concreta. De esta forma, éste valor si podría ser utilizado como "edad estimada" cuando se observe dicha fase.

Algunos de los métodos que emplean este sistema pueden ser el propuesto por Schultz *et al.* (2005) para los estados fusión de la epífisis esternal de la clavícula, Prieto *et al.* (2005) para el desarrollo del tercer molar o Feijoó *et al.* (2011) para la adaptación del método de Demirjian.

Este sistema, sin embargo, plantea como inconveniente que es altamente sensible a la distribución de edades de la muestra; es decir, para poder estimar de forma correcta la edad media a partir de la observación de una fase concreta, es necesario que la muestra incluya todos los grupos de edad y que éstos estén representados uniformemente; en caso contrario, la estimación no será válida. (Smith 1991, Liversidge 2008). Multitud de estudios que se emplean para comparar poblaciones no tienen este factor en cuenta, por lo que las diferencias encontradas cuando se comparen diferentes grupos no deben ser interpretadas como diferencias poblacionales, ya que estas pueden deberse a diferentes distribuciones de edad en sus muestras.



3.2.3 Alternativa para modelos de predicción

Crear herramientas de predicción suele ser el principal objetivo de los estudios que diseñan cronologías del desarrollo. Por este motivo, cuando sea posible, se debe evitar emplear el sistema anterior, debido a los inconvenientes que plantea. Como alternativa, es posible adaptar los resultados obtenidos según las curvas de frecuencia acumulada para la edad de inicio de cada fase de desarrollo; de este modo, la edad estimada para una fase de desarrollo concreta, viene dada por el punto medio entre la edad de inicio de esa fase y la edad de inicio de la siguiente (Smith 1991).

Con este sistema puede evaluarse de forma independiente cada diente y emplear como edad estimada la media del total. Se trata de un método estadísticamente correcto, con el que pueden establecerse comparaciones entre poblaciones y flexible, ya que permite ofrecer estimaciones cuando se trabaja con restos mal conservados o incompletos en los que no todos los dientes estarán disponibles.

Smith (1991) publicó por primera vez esta alternativa aplicada al desarrollo dental, adaptando el método de Moorrees *et al.* (1963a). Otro ejemplo destacado es el trabajo publicado por Liversidge *et al.* (2004) para el desarrollo de la dentición decidual.

3.2.4 Media de los estados de desarrollo para un grupo de edad concreto

Algunos autores optan por emplear el sistema inverso, es decir, calcular la media de los estados de desarrollo observados en un determinado grupo de edad. En estos casos, por lo general, el objetivo que se plantean los investigadores es crear escalas de maduración normales, las cuales pueden ser empleadas para comparar el estado de desarrollo de un individuo y estimar si éste se encuentra avanzado o retrasado con respecto al valor normal; objetivo muy diferente a la estimación de la edad. Este sistema plantea igualmente inconvenientes metodológicos, como no tener en cuenta que la duración de cada fase será diferente, los problemas asociados al cálculo del error cometido o la dificultad de realizar comparaciones estadísticas, por lo que no deben ser empleados como herramienta de predicción. En este caso destaca el método publicado por Nolla (1960), readaptado por otros autores (El-Yazeed 2008).

### 3.2.5 Escalas de maduración

La construcción de escalas de maduración sigue un sistema parecido al planteado en el caso anterior, obteniendo el valor medio de las fases observadas para una edad concreta; sin embargo, como paso previo, las fases de maduración planteadas originalmente como una escala ordinal de fases de desarrollo, se adaptan para linealizarlas con respecto a una escala temporal, es decir, para tener en cuenta que la duración de cada una de ellas es diferente. Para ello, en lugar de emplear la escala ordinal original, se emplean valores de puntuación correspondientes, cuya suma, una vez evaluados todos los dientes, puede ser considerada una variable continua, fácilmente manejable estadísticamente.

Este sistema es el que emplean los métodos de Demirjian *et al.* (1973) para el desarrollo dental y de Tanner *et al.* (1975), ambos ampliamente testados en multitud de países y utilizados de forma habitual para la estimación de la edad en subadultos vivos en contextos forenses. Sin embargo, plantean dos inconvenientes principales para su aplicación en Antropología Forense: (1) no pueden ser aplicados si falta algunos de los elementos que se emplean para obtener la puntuación total de desarrollo (en el caso de Demirjian *et al.*(1973), los 7 dientes mandibulares); y (2) recientes estudios demuestran, que las comparaciones poblacionales utilizando este sistema son erróneas (Liversidge 2006, 2010).

### 3.2.6 Atlas de desarrollo

Por lo general, la construcción de atlas de desarrollo está basada en el método ya descrito consistente en calcular la media de las fases de desarrollo observadas en un grupo de edad concreto; aunque también pueden presentarse como la media de las edades para cada fase. Muchos de ellos fueron diseñados como guías anatómicas o bien, para crear estándares de maduración, por lo que en ocasiones no serán una buena herramienta para la estimación de la edad. Como métodos más destacados, se pueden citar los atlas de desarrollo dental (Schour y Massler 1941, Ubelaker 1978, AlQahtani, 2010), los cuales constituyen un método rápido y fácil de aplicar, aunque ofrecen resultados poco precisos; o el atlas de desarrollo de la mano y la muñeca, originalmente planteado por Greulich y Pyle (1959) y posteriormente revisado por numerosos autores (Cunha *et al.* 2009).

3.2.7 Recomendaciones para la construcción e interpretación de cronologías (Smith 1991).

1. Para calcular la edad de inicio de un estado de desarrollo concreto se deben emplear métodos basados en la curva de frecuencia acumulada, a partir de los cuales se pueda inferir la edad a la que el 50% de los individuos ha alcanzado dicho estado. Este valor se puede obtener empleando el método de regresión probit.
2. Para conocer cual será la edad estimada de un individuo a partir de la observación de un estado de desarrollo concreto, se deben adaptar, cuando sea posible, los valores obtenidos mediante el sistema anterior, calculando el punto medio entre la edad de inicio de dicha fase y la siguiente.
3. Para comprobar si el estado de maduración de un individuo se encuentra dentro de los límites "normales" de una población, se deben emplear estándares obtenidos por escalas de maduración, por ejemplo, el método de Demirjian (1973) y sus posteriores adaptaciones (Cunha *et al.* 2009).
4. Para realizar comparaciones válidas entre diferentes grupos es importante tener en cuenta qué método se empleó para diseñar la cronología y la distribución por edades de las muestras analizadas.
5. Por lo general, los métodos basados en la construcción de cronologías no permitirán ofrecer intervalos de confianza estadísticamente válidos, por lo que deberá ser la experiencia del propio antropólogo, en cuanto a la construcción de cronologías, la que le permita interpretar la validez de las estimaciones.

### 3.3 CUANTIFICACIÓN DEL ERROR

Cualquier método para la estimación de la edad debe incluir una descripción detallada del error que lleva asociado. Esto informará sobre la "calidad del resultado", de tal forma que quienes utilicen el método puedan evaluar su idoneidad. La tasa de error de un método puede estar referida a varios aspectos, el intervalo de confianza, la significancia de los resultados, la probabilidad de error, etc.(Christensen 2009). Para calcularla se debe evaluar y cuantificar el grado de ajuste entre la edad cronológica y fisiológica que ofrece el método, y además, debe incluir información detallada referente al margen de error Intra- e Interobservador asumido.

Por un lado, esto permitirá al antropólogo la elección correcta del método que más se ajuste a las circunstancias específicas de su estudio y, por otro lado, se trata de un valor que deberá ser incorporado en el informe antropológico como requisito indispensable cuando se trabaje en contextos forenses, ofreciendo el valor de la edad estimada como un intervalo de confianza y con una determinada probabilidad de acierto.

Existen determinados conceptos, englobados dentro del concepto general de "incertidumbre de la medida", que permiten describir estas características. La palabra "incertidumbre" significa duda, por lo que la incertidumbre de medida hace referencia a la duda sobre el resultado de una determinada medición. En Antropología Forense este dato ofrece información referente a la eficacia y aplicabilidad de cada método y deben ir acompañados del valor numérico correspondiente. A continuación se mencionan algunos conceptos asociados a la incertidumbre de medida que deberán emplearse para describir el error asumido cuando se aplica un método concreto:

### 3.3.1 Precisión y exactitud

En ciencia, se emplean ambos conceptos para describir la relación entre un valor numérico estimado con su valor real correspondiente. En la temática que aquí se trata, equivale a la relación entre la edad estimada a partir de un determinado método y la edad real del individuo. En el lenguaje cotidiano, precisión e incertidumbre son empleados generalmente como sinónimos; no obstante, cuando se emplean en un lenguaje técnico, son dos conceptos independientes que informarán sobre aspectos muy diferentes:

- La precisión informa sobre la dispersión de los resultados obtenidos cuando se aplica un determinado método repetidas veces, sobre una misma población de individuos con características similares. En el caso de la estimación de la edad, informa sobre el margen de error asumido por dicho método, expresado en forma de intervalo de edad estimada, dentro del cual existe una determinada probabilidad de que esté representado el valor de la edad real. Cuanto más preciso sea un método, menor será el intervalo de edad estimada que ofrezca. Preciso, por tanto, significa que el error es reducido y su magnitud es independiente del valor real de la medida (Christensen 2009).
- La exactitud informa sobre la desviación del valor estimado por un determinado método con respecto al valor real. En el caso de la estimación de la edad, equivale a la

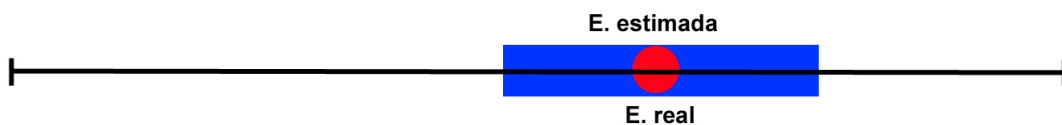
### Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

probabilidad de que la edad real del individuo se encuentre dentro del intervalo de edad estimada ofrecida por el método. Un método, por tanto, tendrá una elevada exactitud cuando no muestre una tendencia significativa a la sobreestimación o a la infraestimación de la edad.

Ambos conceptos dependen de factores diferentes, por lo que pueden ser utilizados de forma conjunta para informar sobre la aplicabilidad de un determinado método. A continuación se describen como ejemplos, 4 métodos hipotéticos que combinan los valores extremos de precisión y exactitud:

- Método poco preciso y muy exacto:

En este caso, el intervalo de edad estimada sería muy amplio, no obstante, éste contendría la edad real con una probabilidad muy elevada. Esta situación podría producirse, al emplear un método que fue diseñado combinando la información de diversas poblaciones muy diferentes entre sí.



*Figura 23: método poco preciso y muy exacto.*

- Método muy preciso y poco exacto:

El intervalo de edad ofrecido sería muy pequeño; no obstante, la probabilidad de que la edad real se encuentre dentro de dicho intervalo sería muy reducida. Este caso es habitual, cuando se aplican métodos que utilizan variables métricas muy precisas, pero que han empleado un volumen de muestra muy reducido para su diseño, por lo que no contemplan de forma adecuada la variabilidad del rasgo analizado.

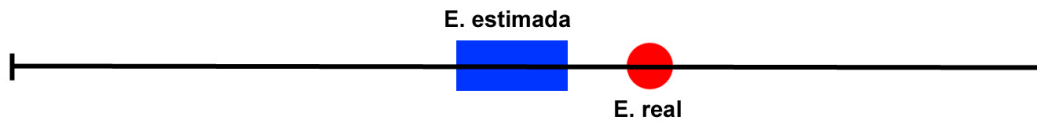


Figura 24: método muy preciso y poco exacto.

- Método muy preciso y muy exacto:

El intervalo de edad estimada es muy reducido y posee una gran probabilidad de incluir el valor de la edad real. Se trata de las características ideales que debe poseer un método para su aplicación en contextos forenses. Este caso se puede producir, por ejemplo, al emplear métodos que utilizaron grandes muestras de estudio para ser diseñados, que analicen variables métricas muy precisas y aplicados en la misma población que les dio origen.

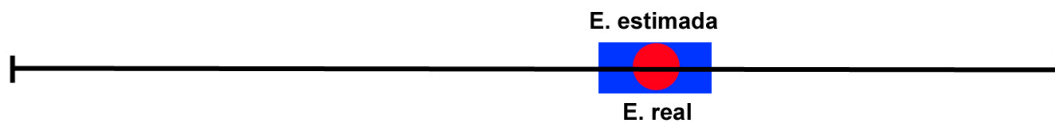


Figura 25: método muy preciso y muy exacto.

- Método poco preciso y poco exacto:

Al contrario que el caso anterior, el intervalo de edad estimada es muy amplio y, además, existe una probabilidad reducida de que albergue la edad real. En este caso, podría mencionarse un método que analice una variable débilmente relacionada con la edad del individuo.

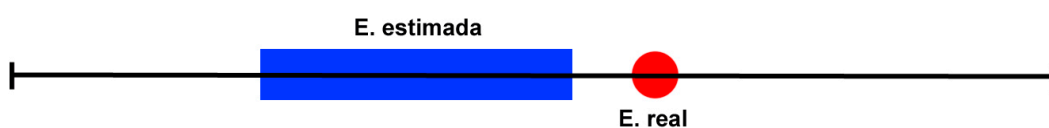


Figura 26: método poco preciso y poco exacto.

### 3.3.2 Sensibilidad y especificidad

En ocasiones, se emplean metodologías que no ofrecen como resultado un valor numérico, sino que informan sobre la posibilidad de que se cumpla o no, una determinada condición, por lo que los únicos resultados posibles serán “sí” o “no”. En el contexto de la estimación de la edad, se trata de metodologías que evalúan determinados acontecimientos discretos en el proceso de maduración del esqueleto, para inferir si el individuo ha superado, o no, una edad concreta. Como ejemplos más destacados se pueden mencionar la unión de las epífisis de los huesos largos, la erupción dental, la obliteración de las suturas craneales, etc.

En estos casos, los conceptos de sensibilidad y especificidad, se emplean para evaluar la validez del método; es decir, su capacidad para ubicar a cada individuo en su grupo de edad correspondiente, en función del resultado positivo, o negativo que se desprenda tras aplicar el método. Para explicar ambos conceptos se puede plantear como ejemplo la evaluación de un método antropológico cuyo objetivo es estimar si un individuo es mayor de edad, es decir, si posee más de 18 años:

- La sensibilidad se define como la capacidad del método para detectar positivos, es decir, para identificar aquellos individuos que son mayores de 18 años.
- La especificidad se define como la capacidad del método para detectar negativos, es decir, para identificar aquellos individuos que son menores de 18 años.

Aunque parezcan similares, ambos conceptos son complementarios y cada uno informa sobre una característica diferente del método. A continuación se muestran las 4 combinaciones posibles que se pueden obtener, aplicadas al ejemplo anterior de un método cuyo fin es estimar la mayoría de edad:

- Método muy sensible y muy específico:

Posee una alta capacidad para detectar tanto positivos como negativos, por lo que es capaz de separar de manera muy eficiente a los individuos mayores de edad de los menores.

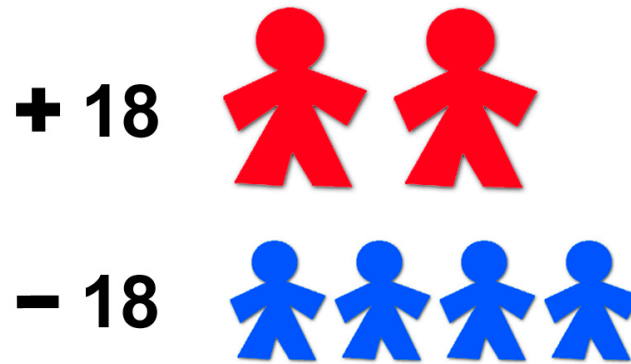


Figura 27: método muy sensible y muy específico.

- Método muy sensible y poco específico:

Alta capacidad para detectar positivos pero poca capacidad para detectar los negativos; es decir, clasifica de manera muy fiable a todos los individuos mayores de edad, pero es posible que también incluya como mayores de edad a individuos que no lo son, clasificando a estos como “falsos positivos”.

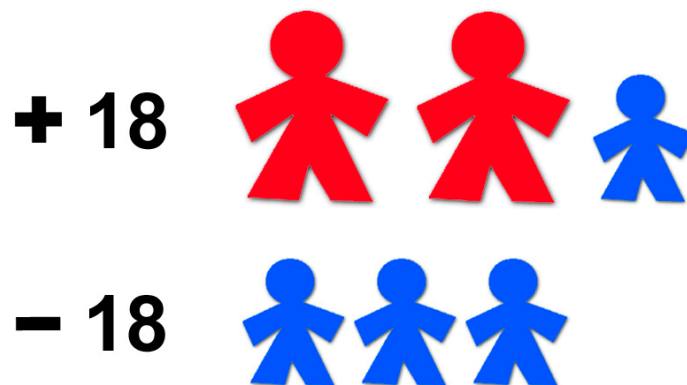


Figura 28: método muy sensible y poco específico.



- Método poco sensible pero muy específico:

En este caso, posee poca capacidad de detectar positivos, pero alta capacidad para detectar a los negativos; es decir, no es un método muy fiable para detectar a los individuos mayores de edad, pero sí lo es para detectar a aquellos individuos que no lo son. Estos métodos tienen una elevada probabilidad de ofrecer “falsos negativos”.

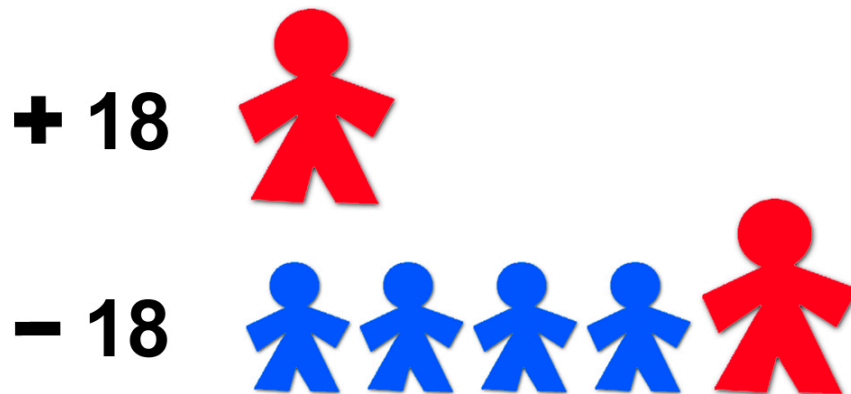


Figura 29: método poco sensible y muy específico.

- Método poco sensible y poco específico:

Posee poca capacidad para detectar tanto a los negativos como a los positivos, por lo que se trata de un método ineficaz para estimar la mayoría de edad.

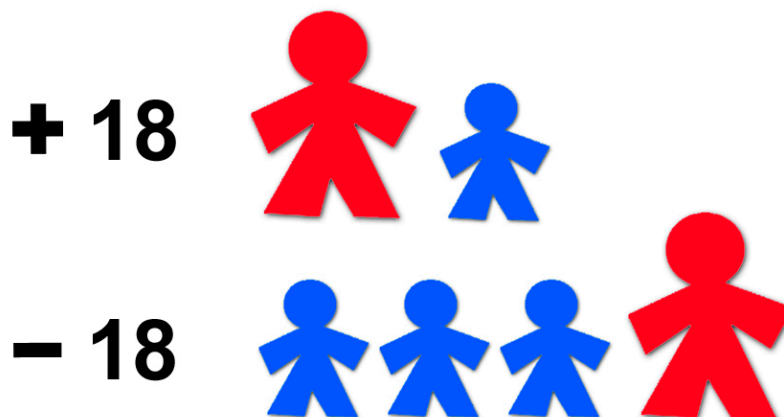


Figura 30: método poco sensible y poco específico.

En el contexto de las Ciencias Forenses, en general, no importa lo bueno que, hipotéticamente, pueda ser un método dadas sus características o las de las variables que analice, si previamente no ha sido calculado el error que lleva asociado. Como ejemplo, Christensen *et al.* (2009) exponen en una revisión sobre el tema, el caso de un experto dactiloscopista que en un juicio afirmó que *"la tasa de error de la técnica dactiloscópica es cero, ya que después 100 años de investigación no habían concluido que la huella dactilar de cada persona es única y que, debido a su naturaleza, nunca se repetirá su estructura en otro individuo"*. En este caso, el investigador cometió el grave error de no tener en cuenta la posibilidad de que fuera él mismo el que cometiera un error a la hora de evaluar una huella dactilar, o bien, los problemas que se pueden presentar cuando las condiciones del material de estudio no sean las adecuadas.

En el contexto de la Antropología Forense, el cálculo del error asociado a un método es un parámetro de igual importancia, o mayor, que el sistema empleado para diseñar el propio método. La metodología empleada es compleja y extensa, debido al elevado número de parámetros que pueden ser utilizados y a la variabilidad de los métodos de estimación. En los siguientes apartados se muestra una pequeña revisión sobre los requisitos necesarios para describir de forma correcta el error que lleva asociado un método, los principales análisis que se pueden llevar a cabo y malas prácticas que deben ser evitadas.

### 3.3.3 Cálculo del error intra- e interobservador

La variabilidad de los resultados obtenidos por un método depende, por una parte, de la propia variabilidad del proceso, y por otra, del error de medición asociado. Este último se denomina también confiabilidad, fiabilidad o concordancia de la medida (*reliability* en inglés), y su valor expresa en qué medida el estudio es repetible por el mismo observador o por otro diferente obteniendo resultados similares (Madrigal 1998, Ferrante 2009). Este concepto está directamente relacionado con la precisión del método. Podemos distinguir entre dos tipos de error de medida:

- Error intraobservador: este término hace referencia a la **repetitividad** de los análisis, es decir, a la posibilidad de obtener los mismos resultados si el proceso de medida es repetido por el mismo observador.

### Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

- Error interobservador: en este caso se hace referencia a la **reproducibilidad** de los análisis, es decir, a la posibilidad de obtener los mismos resultados si el proceso de medida es llevado a cabo por un observador diferente.

En ambos casos las discrepancias pueden ser debidas a diversos factores, como pequeñas variaciones en los hábitos de medida, falta de un entrenamiento previo en el uso del instrumental de medida, empleo de herramientas de baja calidad o poco precisas, a una definición confusa de la variable que se está cuantificando, etc.

El sistema empleado para calcular ambos errores, está basado en la repetición de la toma de datos por parte del mismo observador y por un observador independiente, para luego comparar estadísticamente los nuevos valores con los resultados originales. En cuanto a la repetición de las medidas se deben tener en cuenta los siguientes requisitos metodológicos:

1. La repetición de medidas por parte del mismo observador no debe realizarse inmediatamente después de la primera toma de datos; es necesario que pase un tiempo prudencial para perder los posibles hábitos adquiridos durante el proceso.
2. Se debe emplear el mismo instrumento de medida para evitar el efecto de posibles diferencias de precisión.
3. La muestra empleada debe ser aleatoria.
4. La muestra empleada debe ser lo suficientemente representativa para cada uno de los morfotipos o subgrupos de las categorías que la compongan; por ejemplo, para ambos sexos, diferentes grupos de edad, etc.

Una vez repetida la toma de medidas, los resultados deben analizarse estadísticamente para calcular la concordancia entre las repeticiones. Existen multitud de modelos estadísticos que permiten comparar las series de datos. Algunos de ellos se emplean para decidir si las diferencias son significativas o no y otros son más útiles cuando el objetivo es describir y cuantificar esas diferencias. La elección del método de análisis también dependerá del tipo de distribución que sigan los datos y de las características de la variable que se está cuantificando. En ocasiones, métodos muy similares pueden ser complementarios, por lo que en lugar de escoger uno de ellos, se pueden emplear varios análisis para interpretar por separado los resultados de cada uno. En resumen, la elección de un determinado método estadístico y la interpretación de los resultados obtenidos requiere amplios conocimientos de los métodos estadísticos que se pueden emplear. La calidad y veracidad de los resultados y de las conclusiones dependerá de que se apliquen bien estos conocimientos.

En los siguientes apartados se hace una pequeña revisión de los principales análisis utilizados para calcular el error intra- e interobservador, distinguiendo entre aquellos que se aplicarán sobre variables cualitativas y cuantitativas. Han sido seleccionados para describir los

casos más habituales empleados en el diseño de métodos para la estimación de la edad en Antropología Forense; no obstante, reincidiendo en la importancia de la correcta elección e interpretación de los análisis, éstos deben ser planteados únicamente como orientativos, ya que existen numerosos factores que pueden condicionar la elección del método de análisis (Cortés-Reyes 2010).

### 3.3.1 Cálculo del error con variables cualitativas

Para simplificar la exposición, se pueden representar en una tabla los valores obtenidos en un estudio hipotético, en el que se ha clasificado una muestra de acuerdo a una variable que puede presentar 2 categorías (cat1 y cat2) por parte de dos observadores independientes (obs1 obs2). Los valores de la diagonal, mostrados en negrita, representan las coincidencias entre ambas observaciones:

		Obs1		
		cat1	cat2	
Obs2	cat1	<b>15</b>	5	20
	cat2	2	<b>18</b>	20
		17	23	40

Muchos autores han empleado el **porcentaje de concordancia** entre ambas observaciones, calculado como el porcentaje de casos en los que ambos autores han coincidido con respecto al total. Dado el ejemplo anterior:

$$\left(\frac{15 + 18}{40}\right) \times 100 = 82,5\%$$

No obstante, este método puede verse afectado por la distribución aleatoria de los datos, de tal forma que, por azar, el resultado final puede ser superior o inferior al % de concordancia real (Ferrante *et al.* 2009). El **coeficiente de Cohen Kappa**, o índice de Kappa, es un sistema que también mide este porcentaje, pero luego ajusta este valor para minimizar los efectos sobre la

Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

concordancia atribuibles al azar dados por la distribución de los datos, de tal forma que el resultado obtenido permite valorar de forma más realista el error asumido (Ferrante *et al.* 2009). La fórmula necesaria para calcular el índice de Kappa es la siguiente:

$$K = \frac{a + d - (p_1 p_2 + q_1 q_2)}{1 - (p_1 p_2 + q_1 q_2)}$$

Para identificar los valores de dicha fórmula, a continuación se muestran los resultados adaptados de la tabla anterior como probabilidades individuales de cada casilla, así como una tabla similar donde cada casilla ha sido nombrada con las letras correspondientes de la fórmula.

		Obs1					Obs1		
		cat1	cat2		cat1	cat2			
Obs2	cat1	<b>0,375</b>	0,125	0,5	Obs2	cat1	<b>a</b>	b	p <sub>1</sub>
	cat2	0,05	<b>0,45</b>	0,5		cat2	c	<b>d</b>	q <sub>1</sub>
		0,425	0,575	1			p <sub>2</sub>	q <sub>2</sub>	1

De esta forma:

$$\begin{aligned}
 K &= \frac{a + d - (p_1 p_2 + q_1 q_2)}{1 - (p_1 p_2 + q_1 q_2)} = \\
 &= \frac{0,375 + 0,45 - (0,5 \times 0,425 + 0,5 \times 0,575)}{1 - (0,5 \times 0,425 + 0,5 \times 0,575)} = \\
 &= \frac{0,825 - 0,5}{1 - 0,5} = 0,65
 \end{aligned}$$

Como puede observarse, los valores que pueda tomar el coeficiente Kappa son siempre menores que 1, siendo este el valor para la correlación perfecta. En ocasiones, el índice Kappa

puede tomar valores negativos, lo que indicaría que el número de ocasiones en las que ambos observadores han coincidido es inferior al esperado por el azar.

A continuación se muestra una interpretación orientativa de los posibles valores que puede tomar el coeficiente kappa (Ferrante 2009):

Interpretación de los posibles valores del coeficiente Kappa para la correlación entre dos variables cualitativas apareadas (Ferrante *et al.* 2009).

Valor de K	Interpretación
$K < 0,4$	poca concordancia
$0,4 \leq K < 0,6$	concordancia moderada
$0,6 \leq K < 0,8$	buena concordancia
$0,8 \leq K < 1$	muy buena concordancia

### 3.3.4 Cálculo del error con variables cuantitativas

Este caso puede plantearse cuando la variable analizada es métrica, como por ejemplo, la longitud máxima de los huesos largos o en estudios de odontometría. A continuación se muestran las características de los principales métodos que se pueden emplear para evaluar el error:

#### 3.3.4.1 Coeficiente de Correlación de Concordancia.

En estos casos el método más recomendado será el **Coeficiente de Correlación de Concordancia (CCC)** (Ferrante *et al.* 2009) propuesto por Lin (1989, 2000; visto en Viciano 2012). Si se representaran gráficamente los valores enfrentados obtenidos en las dos repeticiones, este análisis evalúa el grado en el que los pares de observaciones caen sobre una línea recta que parte desde el origen y tiene pendiente igual a uno (inclinación de 45°), llamada bisectriz o línea de concordancia. En la siguiente representación gráfica se muestra cómo se distribuirían los datos en un ejemplo hipotético.

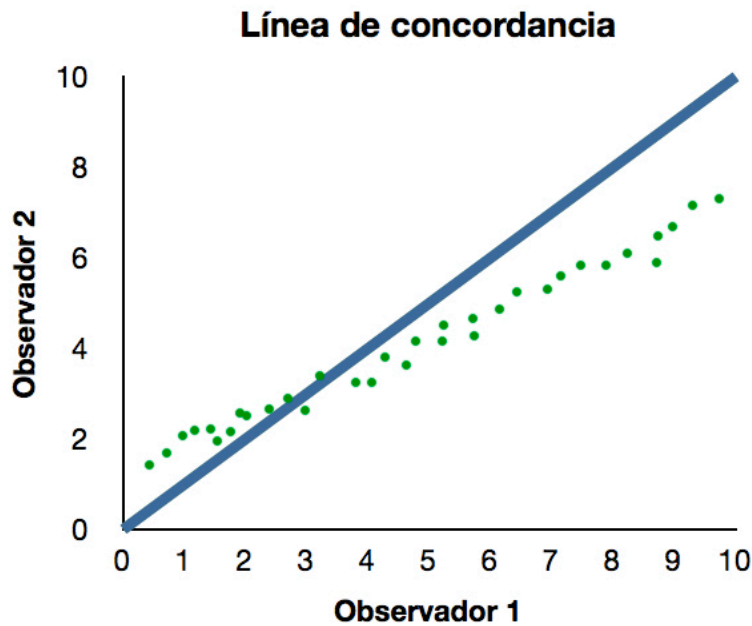


Figura 31: Ejemplo hipotético. Línea de concordancia

Si la correlación es perfecta, todos los valores del observador 1 sería iguales a los del observador 2, por lo que todos los puntos de la representación caerían sobre la línea de concordancia y el CCC tendría valor 1.

La fórmula que se debe aplicar para calcular el CCC es la siguiente:

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

donde:

- $\sigma_{12}$  es la covarianza del observador 1 y el observador 2
- $\sigma_1^2$  es la desviación estándar del observador 1.
- $\sigma_2^2$  es la desviación estándar del observador 2.
- $\mu_1$  es el promedio de las mediciones del observador 1.
- $\mu_2$  es el promedio de las mediciones del observador 2.

El valor máximo que puede tomar este coeficiente es 1, el cual equivaldría a una correlación perfecta. A continuación se muestra una posible interpretación de los valores que puede tomar el CCC:

Interpretación de los posible valores del CCC para la correlación entre dos variables cualitativas apareadas según McBride (2005, visto en Viciano 2012).

Valor de CCC	interpretación
$CCC < 0,90$	Pobre
$0,90 \leq CCC < 0,95$	Moderada
$0,95 \leq CCC < 0,99$	Buena
$0,99 \leq CCC < 1$	Casi perfecta

#### 3.3.4.2 Coeficiente de Correlación Intraclase.

Una posible alternativa para evaluar la concordancia entre dos variables cuantitativas es el denominado Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI), el cual, además de poder ser empleado para comparar series de medidas apareadas, también permite analizar grandes conjuntos de mediciones no apareadas, es decir, el grado de concordancia absoluto entre mediciones seleccionadas al azar (Prieto *et al.* 1998, Ferrante *et al.* 2009). Este método ha sido ampliamente utilizado en investigación, ya que, para ciertos casos en los que las características y distribución de las variables analizadas son las adecuadas, está considerado como el método más apropiado para valorar la reproducibilidad; no obstante, plantea serias limitaciones para evaluar de la concordancia (Cortés-Reyes *et al.* 2010).

En relación al diseño de métodos para la estimación de la edad, este coeficiente plantea una importante limitación, ya que el CCI está inversamente relacionado con la variabilidad de las observaciones comparadas. Por este motivo cuando se analizan variables relacionadas con la edad, en las cuales habrá grandes diferencias entre los individuos más jóvenes y los de mayor



edad, el CCI indicará por defecto una mala correlación. Por este motivo no será explicado aquí con mayor detalle.

#### 3.3.4.3 Otros sistemas

Existen otros métodos que habitualmente se han empleado para calcular el error intra- e interobservador, como la el Coeficiente de Correlación de Pearson, el análisis de la  $t$  de Student para variables apareadas u otros métodos no paramétricos; no obstante, ninguno de ellos permite evaluar plenamente las características de la concordancia.

En cuanto al análisis de Pearson, éste comprueba si existe una relación lineal entre ambos grupos de datos, por lo que nos permite cuantificar o describir la correlación entre las variables; no obstante, no permite detectar si esta relación se desvía de la línea de correlación, por lo que no informa sobre la concordancia entre las variables analizadas.

En cuanto al análisis de la  $t$  de Student, éste método es utilizado para comparar las diferencias entre el promedio de los valores de las dos distribuciones muestrales, por lo que únicamente permite identificar diferencias sistemáticas; es decir, aquellas en las que el promedio de las diferencias muestre una tendencia clara. Visto desde un punto de vista esquemático, si hacemos referencia a la representación gráfica anterior, la  $t$  de Student permitiría identificar si los valores apareados forman una línea recta distinta y paralela a la línea de concordancia.

Por último, es importante tener en cuenta que los análisis mostrados hasta el momento, son todos pruebas paramétricas, por lo que únicamente podrán ser utilizados cuando se cumplan los requisitos necesarios, como la distribución normal de los datos o la igualdad de varianzas. Cuando éstos no se cumplan, el análisis del error deberá estar limitado a pruebas no paramétricas que describan las diferencias observadas.

### 3.4 VALIDACIÓN DEL MÉTODO

Por último, antes de implementar cualquier modelo estadístico, diseñado para relacionar la edad en función de la cuantificación de otra variable, como método para la estimación de la edad, es necesario llevar a cabo la validación del mismo; es decir, ponerlo a prueba con el fin de comprobar su eficacia (Liversidge 2008, Ferrante 2009). Este proceso cada vez adquiere mayor prioridad en el entorno de la Antropología Forense; prueba de ello es el elevado número de revisiones publicadas en los últimos años, en referencia a su importancia y forma correcta de llevarlo a cabo (*Olze et al.* 2006, *Schmeling et al.* 2006, *Rösing et al.* 2007, *Dirkmaat et al.* 2008, *Liversidge* 2008, *Schmeling et al.* 2008, *Ubelaker* 2008, *Ferrante* 2009, *Christensen et al.* 2009, *Cunha et al.* 2009, *Franklin* 2010, *Liversidge et al.* 2010a, *Thevissen et al.* 2012, *SWGANTH* 2013a, b, e, d, e).

Validar un método comprende llevar a cabo una serie de análisis destinados a cuantificar la exactitud de sus resultados, de tal forma que se pueda comprobar si son fiables, repetibles y estadísticamente robustos, como para cumplir los compromisos éticos requeridos en las Ciencias Forenses (*Madrigal* 1998, *Christensen et al.* 2009, *Ferrante et al.* 2009, *Davies* 2013b).

En la mayoría de los contextos relacionados con la Antropología Forense, no existe un nivel aceptado de exactitud (*Liversidge* 2008); se trata de un parámetro que deberá ser evaluado por los organismos judiciales pertinentes. El investigador, por tanto, tiene que ser consciente de que revelar el error del método empleado puede hacer inadmisibles las conclusiones de su trabajo en un juicio; sin embargo, lo importante en estos casos, no es demostrar que la técnica que hemos empleado tiene una elevada exactitud, sino demostrar que estamos seguros, científica y estadísticamente, de cómo de exacta es la técnica que hemos empleado. Bajo este punto de vista, hay que tener en cuenta que un método, aunque presente unos márgenes de error elevados, como por ejemplo el grado de sinostosis de las suturas craneales en adultos (*Meindl et al.* 1985, visto en *Cunha et al.* 2009), puede ser un buen método dependiendo del material disponible y del estado del mismo. En Antropología Forense muchos de los métodos que se utilizan habitualmente están definidos por la interpretación subjetiva del investigador; no obstante, también hay que tener presente que la subjetividad no es equivalente a falta de fiabilidad. El reto, entonces, es realizar trabajos de investigación de calidad, que nos den medidas adecuadas de fiabilidad (*Christensen* 2009).

Los análisis que se pueden utilizar para la validación de un método son muchos y muy variados (unos más adecuados que otros), en parte, debido a la variabilidad de posibles métodos diferentes que se han mostrado en los apartados anteriores. El resultado de estos análisis no será

### Capítulo 3: Diseño de métodos para la estimación de la edad en individuos infantiles

una respuesta binaria (válido o no válido), sino que deberá estar expresado, por lo general, en términos de exactitud.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la exactitud hace referencia al grado en el que la edad estimada se asemeja a la edad cronológica; por lo tanto la forma más adecuada de describir la exactitud de un método es cuantificar las diferencias que hay entre la edad real y la estimada en una muestra amplia y aleatoria. Esto debe hacerse en términos de sobreestimación o infraestimación de la edad, expresando la media y la desviación estándar de las diferencias (Liversidge 2008)

Otros posibles análisis que se pueden utilizar para la validación de un método son los siguientes:

- La media y la mediana de las diferencias absolutas.
- Porcentaje de las estimaciones realizadas dentro de un margen de error determinado; por ejemplo, dentro de un margen de 6 meses de edad, de un año, o dentro de un error equivalente a 10% de la edad cronológica del individuo.
- En términos de sensibilidad y especificidad cuando se emplean métodos que clasifican a los individuos en categorías según su edad. Para conocer con mayor detalle el modo correcto de hacerlo y cómo interpretar los resultados, se puede consultar el trabajo llevado a cabo por Garamendi *et al.* (2005) para la estimación de la mayoría de edad.
- Dividir los resultados por grupos de edad; por ejemplo: el método sobreestima la edad en los menores de 2 años, la estima correctamente entre los 2 y los 8 y la infraestima entre los 8 y los 14.

Para llevar a cabo, de una forma correcta, los estudios de validación es necesario que se cumplan algunos requisitos metodológicos; muchos de los trabajos que han sido publicados describiendo diferencias entre grupos han obtenido conclusiones erróneas debido que no se cumplieron estos requisitos (Smith 1991, Liversidge 2008, Saunders 2008, SWGANTH 2013b). A continuación se mencionan los principales aspectos que habrá que tener en cuenta en referencia a la elección de la muestra de estudio y en cuanto a las características del método original:

#### 3.4.1 Requisitos de la muestra de estudio

Idealmente, las muestras de estudio que se deben emplear para validar métodos han de ser amplias, homogéneas para todos los grupos de edad y diferentes a la muestra que se empleó

para diseñar el método original. Pueden ser del mismo origen poblacional o diferente, cuantificando de este modo la variabilidad intrapoblacional e interpoblacional respectivamente.

Cuando se emplean muestras reducidas, es posible que el adelanto o el retraso en el desarrollo de los individuos que las componen sesguen los resultados (Liversidge 2008).

La distribución, la estructura y el tamaño de la muestra empleada son factores muy importantes en los estudios de validación, los cuales deben de asemejarse lo máximo posible a los de la muestra original. No sería correcto, por ejemplo, estimar la edad a individuos con una edad menor a la edad del individuo más joven de la muestra con la que se diseñó el método. La distribución por edades de la muestra original quedará reflejada en las futuras estimaciones de la edad y las futuras estimaciones de la edad podrán informar sobre las características de la muestra original. Esto es conocido como "mimetismo de la edad" (*age mimicry* en inglés) y ocurre cuando las muestras de referencia no son adecuadas. Cuando se valida un método, la edad estimada en la nueva muestra estará sesgada hacia las características de la muestra original (Liversidge 2010a).

Otros elementos que habrá que tener en cuenta pueden ser la distribución por sexos, por estatus social, que ambas muestras sean de épocas similares, etc.

Los métodos se deben validar bajo las mismas condiciones estrictas con los que fueron diseñados; si se realizan cambios se debe demostrar previamente que estos no alteran significativamente los resultados. En ocasiones, la validación de los estudios es problemática en este sentido, ya que los investigadores tienden a adaptar las condiciones del estudio a sus propias circunstancias específicas. Un ejemplo de esto podría observarse en la validación de estudios de maduración dental, en los que se analicen radiografías para aplicar un método diseñado a partir de la observación directa del diente; en este caso sería un error atribuir las posibles diferencias observadas a diferencias poblacionales o al error propio del método (Kuykendall 2001).

Sin embargo, como se mencionaba al principio de este documento, cuando se estudian individuos infantiles en el contexto de la Antropología Forense existe un problema asociado a la dificultad para obtener muestras adecuadas para la investigación, principalmente para los primeros grupos de edad, debido a la ausencia de colecciones osteológicas y a que los estudios radiográficos son muy limitados por el peligro que conllevan (Scheuer *et al.* 2004, Saunders 2008). Por este motivo, los estudios de validación para individuos infantiles no suelen permitir cumplir los requisitos citados. Una posible medida que se puede tomar para suplir la carencia de muestras de referencia con las que comparar los resultados tras diseñar un método, será dejar fuera del estudio algunos individuos que no se emplearán para diseñar el método y posteriormente emplearlos para su validación (SWGANTH 2013b).

3.4.1 Características del método que se empleó para diseñar el método

También será muy importante tener en cuenta qué sistema se empleó para obtener los resultados en el método original antes de realizar las comparaciones; por ejemplo, si se realizó a partir de un estudio longitudinal o transversal, si se calculó la edad de inicio de cada fase de maduración o fue la edad promedio de los individuos que se encontraban en esa fase, conocer el método de análisis estadístico que se empleó, etc. (Smith 1991, Liversidge 2008, Harris 2011, Liversidge 2010a, b).

Uno de los contextos en los que más se ha podido observar las consecuencias de no considerar estas diferencias, es en los estudios de validación del método de Demirjian *et al.* (1973). Liversidge *et al.* (2010a) comprobó que cuando utilizaba este método para comparar el desarrollo dental entre varias poblaciones, pero lo hacía de forma individual para cada diente, no observaba diferencias significativas, mientras que si los comparaba utilizando las puntuaciones ponderadas a partir de todos los dientes de cada individuo, éstas diferencias si eran significativas. Las diferencias que han observado multitud de autores (ver Jayaraman *et al.* 2013), por tanto, pueden ser debidas a errores metodológicos y de planteamiento en sus estudios.

El empleo de métodos específicos para cada grupo poblacional ha mostrado ser necesario para la estimación de la edad en adultos; no obstante, es posible que las numerosas adaptaciones realizadas al método de Demirjian para la estimación de la edad en subadultos, no sean necesaria, ya que validación de este método aún no se ha realizado correctamente (Liversidge *et al.* 2010b).

Mantener las mismas condiciones originales para la validación de un método es, por tanto, un requisito de gran importancia; no obstante, pueden existir excepciones. La Antropología Forense está sujeta a unos requisitos éticos que pueden requerir que el método que se desea validar sea adaptado para que éste los cumpla, ya que, probablemente, no fue diseñado bajo este propósito. Un ejemplo de esto último puede observarse en el estudio realizado por Davies *et al.* (2013b), en el cual, si estimaba la edad bajo los criterios propuestos por el método obtenían resultados positivos, no obstante, cuando empleaban la versión adaptada del método para su aplicación en contextos forenses, los márgenes de edad eran demasiado amplios para su validación.





## **Capítulo 4**

# **CRITERIOS PARA LA ELECCIÓN DEL MÉTODO ADECUADO**





Si resumimos de forma muy general el contexto global en el que se encuentran actualmente los estudio de individuos infantiles dentro de la Antropología Forense, podemos hacer referencia a dos cuestiones fundamentales:

En primer lugar, como se ha visto hasta ahora, cuando se estudian individuos infantiles en Antropología Física, prácticamente cualquier elemento del esqueleto es susceptible de ser analizado para ofrecer una estimación de la edad, ya sea a partir de los estándares de inicio de la osificación, cambios de tamaño o procesos de sinostosis; así como a partir de la evaluación del desarrollo dental, incluyendo en este caso la dentición decidual y permanente y los procesos de mineralización y erupción asociados a cada diente. Además, el abanico de posibles análisis estadísticos que se pueden utilizar para diseñar los diferentes métodos también es muy elevado, respondiendo en cada caso a los objetivos concretos de cada estudio. Por este motivo, en la actualidad, el número de métodos disponibles para estimar la edad de individuos infantiles es enormemente elevado.

En segundo lugar, el estudio de individuos infantiles lleva asociado un gran problema en cuando a la disponibilidad de muestras adecuadas para la investigación, principalmente para los individuos de edades más tempranas, ya que las colecciones osteológicas, por lo general, son muy escasas, poseen pocos individuos, están mal identificadas o están mal conservadas; los estudios radiográficos, además, son muy infrecuentes debido al daño potencial que podrían significar para individuos de edades tan tempranas.

Dadas ambas premisas se puede deducir que, actualmente, pese a que el número de métodos disponibles es muy elevado y a que potencialmente la estimación de la edad de individuos infantiles puede llevarse a cabo con un elevado grado de precisión, será habitual que muchas de las técnicas disponibles no cumplan con los requisitos mínimos exigidos en las Ciencias Forenses.

## Capítulo 4: Criterios para la elección de un método adecuado

En todo trabajo que implique analizar restos humanos se deben exigir unos principios éticos, principalmente centrados en el respeto hacia los restos, y por los sentimientos e intereses de otras personas implicadas. En contextos forenses, estos principios cobran una mayor importancia, ya que los resultados de la investigación están orientados a fines judiciales. No incluir el margen de error de forma correcta, por ejemplo, puede conducir a no identificar a una persona desaparecida (Ubelaker 2008).

Bajo esta perspectiva, los métodos diseñados para la identificación forense deben cumplir una serie de requisitos científicos y estándares de calidad y el antropólogo debe ser capaz de decidir que método o métodos serán los más apropiados (Rösing *et al.* 2007). Por mencionar un ejemplo, existen métodos que fueron diseñados para ser aplicados en un contexto arqueológico, en el cual posiblemente ofrezcan resultados válidos; no obstante, su aplicación en contextos forenses será inadecuada (Cunha 2009). Esto puede ser una práctica altamente compleja cuando se trabaja con individuos infantiles, por lo que el examinador debe tener un profundo conocimiento teórico sobre el fundamento de los métodos y experiencia en cuanto a su aplicación; sin embargo, actualmente son escasos los organismos institucionales que permitan asegurar una garantía de calidad en la actividad de la Antropología Forense (Rösing *et al.* 2007).

La importancia de estos aspectos ha quedado demostrada a lo largo de la historia a raíz de casos judiciales en los que se requería un criterio para evaluar el testimonio de los científicos en casos judiciales (Christensen 2009). Una de las primeras guías de buenas prácticas fue elaborada en Estados Unidos; ésta fue denominada Estándar de Daubert, en reconocimiento a uno de los afectados en el juicio que dio lugar a su implementación. En esta guía se recogen los siguientes criterios mínimos que permitían a los jueces decidir sobre la admisibilidad de los argumentos científicos (Christensen *et al.* 2009):

- El método debe haber sido puesto a prueba previamente.
- Se debe conocer el margen de error asumido.
- Debe haber sido publicado, y revisado por otros científicos.
- Debe haber sido aceptado por otros científicos.

Desde entonces, cada vez se ha prestado más atención a la importancia y a la rigurosidad de estos criterios necesarios para considerar admisibles las conclusiones de un informe forense.

A continuación se muestra una revisión de los criterios que se deben tener en cuenta para la elección de métodos adecuados, así como una selección de buenas prácticas para llevar a cabo la estimación de la edad en Antropología Forense; éstos serán de especial importancia cuando se trabaje con individuos infantiles. Han sido recopilados a partir de los empleados por La Sociedad Europea de Antropología Forense (FASE) (Cunha 2009), el Scientific Working Group for

Forensic Anthropology (SWGANTH) y las recomendaciones ofrecidas por otros investigadores vinculados con la Antropología Forense:

- El método empleado debe haber sido presentado a la comunidad científica a través de su publicación en los medios de divulgación habituales.
- Debe definir claramente las limitaciones que presenta, principalmente definiendo los grupos de edad para los que es adecuado, los grupos poblacionales, influencia de factores como el sexo o ambientales, en qué casos emplearlo y en cuales no, etc.
- En su publicación debe incluir todas las etapas del proceso llevadas a cabo para su elaboración, de tal forma que permita su interpretación, replicación y verificación por parte de investigadores independientes.
- Los métodos se deben escoger por estrictas razones científicas, no por preferencia personal. Para ello se evaluarán los objetivos del estudio, el grupo de edad al que pertenezca el individuo, la naturaleza de la muestra y el estado de conservación.
- Características de la muestra empleada para desarrollarlo:
  - Deben estar perfectamente detalladas en el estudio, especificando el número de individuos por grupos de edad y sexo, origen poblacional, criterios de exclusión empleados y naturaleza de la muestra (hueso seco, radiografía, TC, etc.)
  - Deberá estar compuesta por individuos identificados, de los cuales se conozca, al menos, la edad exacta, el sexo y la causa de muerte.
  - Deberá ser lo más contemporánea posible.
  - Debe ser grande y aleatoria para el rasgo que se está midiendo, de tal forma que cumpla con los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas de la mayoría de los métodos estadísticos empleados.
- Características del análisis estadístico empleado:
  - Deben incluir información detallada sobre el error asumido, tanto intra- como Inter-observador.
  - Debe incluir intervalos de predicción. No se deben emplear nunca métodos que ofrezcan un valor de la edad exacto.
  - Debe incluir indicadores de certeza, como intervalos de confianza o la tasa de clasificación correcta. Este será uno de los criterios prioritarios para la elección del método. Aquí hay que remarcar que el valor de "p" no es uno de estos indicadores.

#### Capítulo 4: Criterios para la elección de un método adecuado

- El método debe haber sido validado a partir de otra muestra de estudio independiente con características similares a la original; si se realizan cambios se debe demostrar previamente que éstos no alteran significativamente los resultados.
- El antropólogo deberá conocer y entender claramente las limitaciones y las asunciones del método estadístico que se ha empleado, como la normalidad de la distribución, igualdad de varianzas, aleatoriedad de la muestra, etc.
- Se deben emplear métodos que ofrezcan resultados específicos para cada sexo.
- Nunca se deben usar métodos que ofrezcan una predicción de la edad exageradamente precisa.
- Se deben tener en cuenta los factores que condicionan la incertidumbre de medida: cómo puede influir el estado de conservación, el tipo de muestra (hueso fresco, hueso seco, TCs, radiografía, etc.), el instrumento de medida, etc.
- Siempre que sea posible se emplearán estándares obtenidos de la misma población que el individuo de estudio; si esto no es así, se deberá indicar en el informe correspondiente.
- Se deben emplear métodos cuya muestra de origen fuera de la misma naturaleza: por ejemplo, si se desarrolló a partir de radiografías solo deberá emplearse para el estudio de radiografías.
- Aplicar varios métodos puede suponer un aumento en la exactitud de los resultados; no obstante, esto debe hacerse comprendiendo las limitaciones de cada uno y siguiendo un orden de prioridad en función de los parámetros hasta ahora mencionados.

No siempre será posible emplear métodos con estas características; dependerá de los restos óseos disponibles, el estado de conservación, los objetivos concretos de la investigación, etc. En estas circunstancias se empleará el método más apropiado y se especificarán de forma detallada las limitaciones que conlleva.





**Capítulo 5**  
**OBJETIVOS**





El objetivo principal de esta tesis ha sido establecer un punto de partida para el estudio de la Colección Osteológica de Granada de Individuos Infantiles Identificados, de tal forma que este documento pueda ser empleado como punto de partida para los futuros estudios que se deriven de esta colección.

Dadas sus características demográficas y de conservación, así como el considerable volumen de información antemortem de la que se puede disponer, esta muestra de estudio es idónea para desarrollar proyectos de investigación centrados en el campo de la Antropología Forense, la cual, en la actualidad, muestra un sesgo importante en cuanto a la metodología disponible para la identificación de individuos infantiles. Por este motivo, además de preparar esta muestra para su estudio, se pretende comenzar su análisis en esta línea, ofreciendo resultados para la puesta a prueba y readaptación de dos sistemas para la estimación de la edad dental en individuos infantiles para población mediterránea.

A continuación se desglosa este objetivo general, indicando cuales han sido los objetivos concretos planteados para este trabajo:

1. Dar a conocer a la comunidad científica las características demográficas y de conservación de la colección de Colección Osteológica de Individuos Infantiles Identificados de Granada, así como el contexto histórico en el que se enmarca.
2. Describir la metodología llevada a cabo para preparar esta muestra para su estudio y conservación, y para la recopilación de toda la información antemortem disponible.
3. Comprobar la aplicabilidad de las fórmulas presentadas por Liversidge et al. (1993) y por Deutsch et al. (1983) para la estimación de la edad dental mediante el análisis métrico de la dentición decidua, en individuos infantiles de origen mediterráneo.

## Capítulo 5: Objetivos

---

4. Desarrollar nuevas fórmulas específicas para el desarrollo de la dentición decidua de la población mediterránea, que cumplan con los requisitos necesarios para su aplicación en contextos forenses.
5. Comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas en el desarrollo de la dentición decidua, entre ambos sexos, y entre las diferentes hemiarquadas, que justifiquen la necesidad de diseñar estándares específicos para cada grupo.
6. Evaluar la reproducibilidad y repetibilidad de las fórmulas presentadas mediante el análisis del error intra- e interobservador.
7. Estudiar la cronología de los procesos de mineralización y emergencia alveolar de los dientes deciduales, con el fin de ofrecer un método eficaz para la estimación de la edad en Antropología Física a través de la observación directa del diente.
8. Modificar los sistemas habituales de clasificación para los estados de maduración dental, ya que se ha considerado posible aumentar el número de fases empleadas por Demirjian (1973), considerado el sistema que ofrece mejores resultados, sin comprometer la precisión con la que son definidas las fases.
9. Calcular el error intra- e interobservador al utilizar este sistema y compararlo con estudios similares, para comprobar si supone una mejora con respecto a las clasificaciones habituales.
10. Comparar los resultados de este trabajo con los obtenidos por otros autores en estudios similares.





## **Capítulo 6**

**Historia y composición demográfica de la Colección osteológica de individuos subadultos identificados de San José, Granada, España.**



## PRESENTACIÓN

El primer artículo científico que se ha publicado sobre la Colección Osteológica de Individuos Infantiles de Granada, ha dado a conocer al resto de la comunidad científica y se utilizará para establecer vínculos con otros grupos de investigación afines a la materia. Esto permitirá iniciar proyectos de colaboración internacionales, tan necesarios en la investigación antropológica.

En él se incluye un pequeño resumen sobre las características de esta colección, cómo y porqué se ha formado, metodología utilizada para la preparación de los individuos y las tareas llevadas a cabo para localizar y recopilar la información antemortem disponible. Ha consistido, por tanto, en una tarea lenta y meticulosa, para la que han sido necesarios más de 3 años de trabajo, y en la que ha participado un amplio número de personas. Los coautores del artículo constituyen el equipo de investigación principal; no obstante, el extenso trabajo realizado no habría sido posible sin la colaboración adicional de otros profesionales vinculados, entre los que se incluyen antropólogos, arqueólogos, y alumnos de grado y postgrado, vinculados al Laboratorio de Antropología de Granada.

El doctorando Javier Irurita ha participado de manera directa en este proyecto durante toda su duración y todas las labores realizadas, gracias a lo cual ha adquirido amplios conocimientos sobre Osteología y Antropología infantil. Así mismo ha sido responsable de la coordinación de las tareas realizadas por todo el equipo y de la redacción final de la publicación, todo ello siempre bajo la tutela y respaldo de la autora principal del artículo, Dra. Inmaculada Alemán, directora de tesis del doctorando y una de las responsables principales de la adquisición de esta colección, junto al Dr. Miguel Botella.





## ÍNDICES DE CALIDAD DE LA REVISTA EN LA QUE HA SIDO PUBLICADO.

La elección de esta revista para la publicación del artículo se basa en que es la primera de su grupo que engloba, en su totalidad, todos los campos de estudio de la Antropología Física, por lo que constituye la mejor opción para dar a conocer la Colección a todos los profesionales de este campo, independientemente del área de conocimiento específica al que se dediquen.

**Full Journal Title:** AMERICAN JOURNAL OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY  
**ISO Abbrev. Title:** Am. J. Phys. Anthropol.  
**JCR Abbrev. Title:** AM J PHYS ANTHROPOL  
**ISSN:** 0002-9483  
**Issues/Year:** 12  
**Language:** ENGLISH  
**Journal** UNITED STATES  
**Country/Territory:**  
**Publisher:** WILEY-BLACKWELL  
**Publisher Address:** 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ,  
**Subject Categories:** ANTHROPOLOGY

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
AM J PHYS ANTHROPOL	0002-9483	9359	2.481	2.851	0.690	187	>10.0	>10.0

Category Name	Total Journals in Category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
ANTHROPOLOGY	83	7	Q1



## Brief Communication: The Granada Osteological Collection of Identified Infants and Young Children

Inmaculada Alemán,\* Javier Irurita, Alba R. Valencia, Argia Martínez, Sandra López-Lázaro, Joan Viciano, and Miguel C. Botella

Laboratory of Anthropology, Department of Legal Medicine, Toxicology and Physical Anthropology, Medicine Faculty, University of Granada, Granada 18012, Spain

**KEY WORDS** forensic anthropology; skeletal sample; antemortem data; age estimation

**ABSTRACT** The objective of this study is to present the characteristics of a collection of identified infants and young children housed in the Laboratory of Anthropology of the University of Granada, Spain. The sample, which is still being enlarged, is currently composed of 230 complete skeletons aged from 5 months of gestation to 8 years, with a majority below 1 year. It mainly dates from the mid-20th century. The state of preservation is

very good, and antemortem information is available from burial and death certificates, among other documents. Our sample makes an important contribution to the relatively few collections available in the world for investigating the osteological development of the skeletons of infants and young children from a physical anthropological perspective. *Am J Phys Anthropol* 149:606–610, 2012. ©2012 Wiley Periodicals, Inc.

Osteological collections are a major source of information for physical anthropologists, especially in the fields of forensic anthropology, bioarchaeology, paleopathology, and human paleontology. Research is vital to develop methodologies that yield a high degree of certainty and offer optimal discriminating capacity, notably in the forensic setting, given the major legal and emotional consequences that findings can have, but also in bioarchaeology, where an adequate methodology can improve our understanding of the health and demographics of past populations (Lewis, 2007). However, the study of infants and young children has been hampered by the lack of adequate data from reference samples.

To estimate the age at death, it is crucial to have access to data from skeletal collections for which reliable information is available on the sex and age of individuals and the cause of their demise. However, the collection and study of an adequate sample of human remains are not simple tasks for evident cultural and religious reasons. Existing osteological collections on which physical anthropological methods have been based for infant skeletal studies (Schaefer et al., 2009) include 25 well-preserved children below 8 years old of known sex and age from Christ Church, Spitalfields, in London (Molleson et al., 1993); 49 identified children below 10 years old from Lisbon (Cardoso, 2006); 138 fetuses from autopsies in Hungary (Fazekas and Kósa, 1978); and 42 identified children below 10 years old from South Africa (Dayal et al., 2009). The limitations of available collections include the lack of representation of some age groups; the possible non-applicability of results to populations of different origins (Koshy and Tandon, 1998; Schmeling et al., 2006); the chronology, which should be as recent as possible for forensic purposes; and, in many cases, the poor preservation state of the remains (Wilson et al., 2008). The lack of fully representative samples currently limits the physical anthropological study of infants and young children. In this study, we present the Granada osteological collection of a Mediterranean population of infants and young children, a hitherto little-studied group, which has the

potential to make a major contribution to physical anthropology methods in these age groups.

The aims of this study were a) to make the research community aware of the preservation and demographic characteristics of this collection and its historical context, and b) to report the methodology used to study and preserve the sample. A further purpose was to present our collection to researchers who may have an interest in helping to complete its study in the most effective and comprehensive manner, participating in ongoing investigations or developing projects related to a wide possible range of disciplines, e.g., osteopathology, pediatrics, histology, and dentistry, among many others.

### HISTORY OF THE COLLECTION

This osteological sample of infants and young children is part of a large and expanding collection of identified individuals of all ages from the Granada municipal cemetery (San Jose). It was started in 1991, when the San Jose cemetery board granted our Laboratory of Anthropology permission to hold and investigate bone remains that were otherwise destined for incineration or interment in a communal plot. The present article only reports data on the 230 young children in the complete collection of 542 skeletons, because cleaning and analysis of the adult skeletons is ongoing, and no individuals

Additional Supporting Information may be found in the online version of this article.

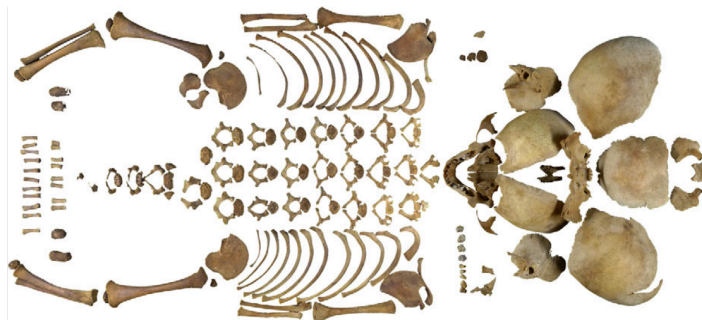
\*Correspondence to: Inmaculada Alemán, Laboratory of Anthropology, School of Medicine, University of Granada, Granada 18012, Spain. E-mail: ialeman@ugr.es

Received 27 June 2012; accepted 11 September 2012

DOI 10.1002/ajpa.22165  
Published online 6 November 2012 in Wiley Online Library  
(wileyonlinelibrary.com).

## GRANADA COLLECTION OF INFANT SKELETONS

607



**Fig. 1.** Infant skeleton. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at [wileyonlinelibrary.com](http://wileyonlinelibrary.com).]

have yet been identified within the 8- to 20-years-old age group.

The cemetery is located in the outskirts of Granada, immediately above the renowned Alhambra Palace. It has a surface area of over 120,000 m<sup>2</sup> divided into 19 quadrangles (patios). It was established in 1805 for hygienic reasons after a yellow fever epidemic in 1804, providing a single municipal cemetery in an open and ventilated place outside the city (Sánchez and Martín, 2006). It has been in continuous use since that date and reflects the different historical and architectural phases of the 19th and 20th centuries (López and Muñoz, 2006).

Exhumations are routinely carried out at San Jose cemetery after the expiry of contracted burial rights or the failure to pay for them under articles 25 and 27 of the cemetery regulations. All steps are taken by Emucesa, the company responsible for the cemetery, to inform relatives and the public in due time of the names of individuals who are to be exhumed. If no one comes forward after a set time period, the remains or ashes in the burial unit are exhumed and taken for common burial, cremation, or incineration.

Around 90% of the skeletons are in an excellent state of preservation, which can be attributed to the relatively recent character of the collection, the climate in Granada, and the burial practices at the cemetery, in which the cadaver is placed in a coffin within a sealed niche and is completely isolated from the external environment. Furthermore, almost the entire skeleton is available for all individuals in the collection, thanks to the application of rigorous exhumation and cleaning methods that minimize bone losses. The only missing bones were some distal phalanges and tooth buds that can be confused with the substrate during exhumation and cleaning procedures.

The protocol for studying these bone remains was approved by the ethics committee of the University of Granada and complies strictly with national regulations (Law 14/2007, 3 July) on the protection of personal privacy and confidential treatment of personal data in biomedical research. The development of this collection is ongoing.

#### METHODOLOGY FOR THE GATHERING AND CLEANING OF OSTEOLOGICAL MATERIAL

The management of San Jose cemetery informs the Laboratory when exhumations are planned. Researchers

from the Laboratory of Anthropology are in charge of the exhumation of the skeletonized remains to avoid losing smaller bones that could go unnoticed by non-specialists. For various logistical reasons, exhumations are sometimes carried out by the cemetery personnel, who are all fully aware of the purpose of our research and take the greatest care possible of the skeletal remains and of all material found in the niche. Each individual skeleton with any associated material is placed in an opaque white bag labeled with the data necessary for its localization in the official records. Upon its reception in our laboratory, each skeleton is assigned a code comprising the letter G followed by a three-figure number corresponding to the order of its arrival. The information relating codes to the names of individuals is kept in a locked database in a single computer to which only the project leaders have access. The databases generated for studies of the collection, including the present investigation, do not include the names of the individuals in order to preserve the confidentiality of personal data.

Once in the laboratory, the contents of the bag are placed in a large tray on a work table to separate the bone structures from other materials (clothes, cloth, personal objects, etc.), which are returned to the labeled bag for future analyses. Next, the right ilium, femur, and 4th rib are taken (with no cleaning) and placed in a separate labeled hermetic bag to preserve them for future genetic and histological research. Then, all remaining bones of the skeleton are carefully washed, removing any adhered organic material and paying special attention to the teeth, due to their small size. Totally or partially mummified individuals are placed in hydrogen peroxide baths (or, when highly mummified, boiled) for 45 min and then immersed in 5% sodium hypochlorite for 15 min. The skeleton is then rinsed under running water for 1.5 h to stop the chemical action. Finally, the clean, washed bones are placed with their identification code in a special drying closet to extract all of the humidity.

After the bone material is dry, the skeleton is then arranged on a work table (Fig. 1), and each bone is labeled with the identification code of the skeleton. An inventory of the bone material is then carried out using a specially designed anatomical data card. The card contains boxes for noting each skeletal structure and the union stage of the different ossification centers. The card also features the drawing of a child skeleton for filling in the structures/bones present, providing a visual representation of the skeletal remains. The card has a final

TABLE 1. Distribution by age and sex

Age group	Unknown	Male	Female	Total
Fetus	8	25	23	56
<6 months	1	59	38	98
6 months to ≤ 1 yr	0	21	9	30
1 yr to ≤ 2 yrs	0	10	4	14
2 yrs to < 3 yrs	0	3	7	10
3 yrs to ≤ 4 yrs	0	2	2	4
4 yrs to ≤ 5 yrs	0	2	3	5
5 yrs to ≤ 6 yrs	0	0	1	1
6 yrs to ≤ 7 yrs	0	1	0	1
7 yrs to ≤ 8 yrs	0	1	0	1
Unknown	9	4	6	10
Total	9	128	93	230

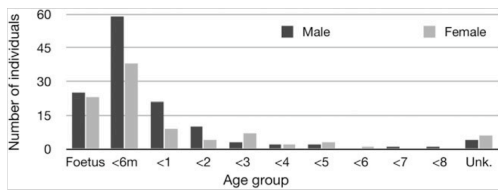


Fig. 2. Distribution by age and sex.

section for the examiner to indicate signs of disease, the state of preservation, and any features that may warrant further study. After completion of the card, the bones are introduced by anatomical unit (e.g., skull, trunk, limbs) into hermetic bags of appropriate sizes, which are duly labeled with permanent ink. The aim is to facilitate the localization and retrieval of specific bone structures and to avoid the future handling of bones not under study in any given investigation, thereby optimizing the preservation of the sample. The bags corresponding to each individual are placed in a box bearing the reference code of the skeleton and stored in the laboratory warehouse set aside for this purpose. The particular characteristics of the cemetery have favored the mummification of numerous individuals. The five best preserved mummies have been kept whole for exhibition purposes and other research projects (Fig. 1).

**ANTEMORTEM DATA GATHERING**

Reliable antemortem information has been obtained from burial records of the San Jose municipal cemetery, death certificates in the Registry Office (Supporting Information Fig. S1) and, in cases of judicial death, from forensic reports in the Granada Institute of Legal Medicine. Key data available from these records include the sex, dates of birth and death, immediate and underlying cause of death, last address, and burial ceremony details (Supporting Information Fig. S1).

**CHARACTERISTICS OF THE COLLECTION**

**Demographic composition**

The collection of (unborn and born) infant and child skeletons from Granada is currently formed by 230 individuals, who are all identified; 128 are male (56%), 93 female (40%), and 9 are fetuses of unknown sex (4%). Table 1 and Figure 2 depict the distribution by age at death and by sex. The age at death ranges between 5

TABLE 2. Distribution by date of birth and death

Decades	Births	Deaths
1870–1879	1	2
1880–1889	0	10
1890–1899	1	1
1900–1909	1	3
1910–1919	3	5
1920–1929	4	4
1930–1939	14	14
1940–1949	29	39
1950–1959	16	22
1960–1969	63	76
1970–1979	44	55
1980–1989	4	4
1990–1999	1	1
2000–2009	1	1
Total	182	228

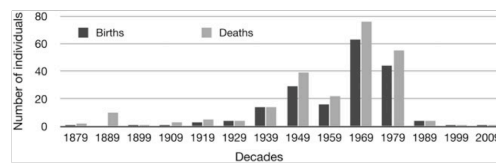


Fig. 3. Distribution by dates of birth and death.

TABLE 3. Distribution by cause of death

Cause of death	N	Percentage
Peri-natal disease	1	0.6
Nutritional/metabolic disease	5	4.1
Hematological disease	9	5.3
Circulatory system disease	11	7
Digestive system disease	19	11
Genitourinary system disease	1	0.6
Nervous system disease	17	10
Respiratory system disease	50	30
Infectious disease	8	4.8
Judicial lesion	6	3.6
Congenital malformation	12	7.2
Prematurity	26	15.6

months of gestation and 8 years. The mean age at death is 0.56 years in males and 0.81 years in females; 56 individuals are fetuses (24%), 128 are aged between 0 and 1 year (56%), with information on age at death in days for 121 of these and in months for the remaining 7, and 36 are aged between 1 and 8 years (16%). The age at death is not available for 10 individuals (4%). Hence, the best-represented age group in the current collection is from birth to 1 year (Table 1 and Fig. 2).

Table 2 and Figure 3 show the distribution of the sample by year of birth and year of death. The date of death is missing for two individuals. Birth dates range from 1871 to 2000 (no birth dates for fetuses) and death dates range from 1871 to 2001. The great majority of these births (91%) and deaths (90%) took place during the five decades between 1930 and 1980, which means that this collection largely dates from the mid-20th century (Table 2 and Fig. 3).

**Analysis by cause of death**

Table 3 shows the distribution of the causes of death according to the International Classification of Diseases



(Ministry of Health, 2010); it does not include the 49 fetuses or the 14 individuals whose cause of death was not legible or did not appear in the death certificate. Prematurity was included as a cause of death in this classification because it is a key variable for our study of this collection (see below); in these cases (15.6% of the total sample), the age of death shown in the documents consulted cannot be related to their osteological development, because they had not reached full term at delivery.

The most frequent cause of death was respiratory disease (30% of individuals), mainly bronchitis, pneumonia, and influenza, followed by digestive and circulatory diseases, which were together responsible for a similar percentage of deaths (28%). If these conditions were chronic and delayed the growth of the individual, skeletal development and size may be affected, but none of them has a specific impact on the skeleton. Nervous system diseases were responsible for 10% of the deaths, including 12 cases of meningitis, which can give rise to a characteristic porosity on the skull surface. Finally, death was caused by congenital malformation or lesions in 10.8% of cases, including anencephaly, hydrocephaly, and Werding Hoffman Syndrome, which leave characteristic marks on the skeleton (Table 3).

#### ESTIMATION OF SOCIAL STATUS

Data already available for the individuals in this collection can serve to estimate their social status. Thus, it will be possible to analyze the last address of the family in terms of the prices of property and rentals and other characteristics of the particular neighborhood. Information from the cemetery on the specific burial ceremony, including the costs incurred and the type of coffin used, can also be used to classify the economic status of families. The clothes in which individuals were buried can also contribute relevant information in this respect.

All of this information can help to build a picture of the lives of the individuals, including their sanitary and nutritional conditions. Analysis of these data would be highly relevant for numerous potential research lines, e.g., on skeletal and dental development and the presence of disease.

#### DISCUSSION

This study presents an initial anthropological investigation of a large group of identified skeletons of young children, infants, and fetuses from 1871 to 2001. This collection continues to expand, with periodic additions from disinterments at Granada municipal cemetery. The gathering of antemortem data is also ongoing through searches of different city registries and other sources. However, the size of the collection (230 individuals) and the available data were already sufficient to warrant publication of the information gathered to date and to make researchers and students aware of its potential for further research.

We emphasize the potential importance of our collection for the development of a sound anthropology methodology in infants and young children based on adequate reference data and useful in the different fields of physical anthropology. Besides the difficulty of obtaining skeletons of any age, information on the skeletal development of infants and young children is especially scarce because of the lack of X-ray, CT, and ultrasound studies,

which are generally only performed in this age group when essential for clinical management purposes.

One research project in the planning stage is designed to establish the gestational age of newborns that did not survive due to prematurity and to explore related factors. This involves the examination of medical reports accompanying birth certificates at the registry to determine the weeks of gestation and to record any complications or incidents that led to the termination of pregnancy.

Numerous authors have affirmed the need to study identified collections to develop an effective forensic methodology (Bruzek et al., 1997; Dirkmaat et al., 2008; Liversidge, 2008; Saunders, 2008; Ubelaker, 2008; Cunha et al., 2009). It is also considered essential to compare data among different collections in order to detect any intra- or inter-population variability in skeletal development or morphological characteristics (Liversidge, 2008; Cunha et al., 2009). In fact, various authors of comparative studies have called for specific methodologies to be developed for Mediterranean populations (Alemán et al., 1997; Alemán et al., 1999; Schmeling et al., 2006; Olze et al., 2007; Viciano et al., 2011). There is a need to compare and combine our data with those obtained from other similar collections (Fazekas and Kósa, 1978; Molleson et al., 1993; Sutter, 2003; Hunt and Albanese, 2005; Cardoso, 2006; Dayal et al., 2009).

The strengths of the Granada collection of identified infants and young children include the state of preservation of the individuals and the fact that it is relatively recent. Therefore, in comparison to older collections, the life conditions of the individuals are closer to those of modern populations and there would be a lesser influence of differences in lifestyle, among other environmental factors (Dirkmaat et al., 2008).

Numerous projects based on our collection have already been initiated to develop novel methodologies for age and sex estimation, to report pathologic cases, and to carry out dental anthropology and histological studies, and their results will be published over the next few months and years. Nevertheless, considerable work remains to be completed to develop the full potential of our collection, and one of the functions of this article is to present its appealing research possibilities to the scientific community.

#### ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank D. Jose Antonio Muñoz, Managing Director, Maribel Martín, Service Coordinator, and all EMUCESA staff at the San Jose cemetery in Granada for their invaluable assistance and are grateful to the Magistrate Judge (Court of First Instance no. 5), responsible for the Registry Office of Granada.

#### LITERATURE CITED

- Alemán I, Botella MC, Ruiz L. 1997. Determinación del Sexo en el Esqueleto Postcraneal. Estudio de una Población Mediterránea Actual. *Arch Esp Morfol* 2:69-79.
- Alemán I, Botella MC, Souich P. 1999. In: Daltabuit M, Vargas L, editors. *Aplicación de las Funciones Discriminantes en la Determinación del Sexo en Estudios de Antropología Biológica Volumen IX*. Universidad Nacional Autónoma de México. p 221-230.
- Bruzek J, Sellier P, Tillier AM. 1997. Variabilité et incertitude de l'âge des non-adultes: la cas des individus morts en période

- périnatale. In: Buchet L, editor. *L'enfant, son corps, son histoire*. Sophia Antipolis: APDCA. p 187–200.
- Cardoso HF. 2006. Brief Communication: the collection of identified human skeletons housed at the Bocage Museum (National Museum of Natural History), Lisbon, Portugal. *Am J Phys Anthropol* 129:173–176.
- 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 Sci Int* 193:1–13.
- Dayal MR, Kegley ADT, Štrkalj G, Bidmos MA, Kuykendall KL. 2009. The history and composition of the Raymond A. Dart Collection of Human Skeletons at the University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa. *Am J Phys Anthropol* 140:324–335.
- Dirkmaat D, Cabo L, Ousley S, Symes S. 2008. New perspectives in forensic anthropology. *Yearb Phys Anthropol* 51:33–52.
- Fazekas IG, Kósa F. 1978. *Forensic fetal osteology*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Hunt DR, Albanese J. 2005. History and demographic composition of the Robert J. Terry Anatomical Collection. *Am J Phys Anthropol* 127:406–417.
- Koshy S, Tandon S. 1998. Dental age assessment: the applicability of Dermijian's method in South Indian children. *Forensic Sci Int* 94:73–85.
- Lewis ME. 2007. *The bioarchaeology of children: perspectives from biological and forensic anthropology*. New York: Cambridge University Press.
- Liversidge H. 2008. Dental age revised. In: Irish JD, Nelson GC, editors. *Technique and application in dental anthropology*. New York: Cambridge University Press. p 234–265.
- López JJ, Muñoz G. 2006. *El Cementerio Municipal de San José en Memoria de Granada*. Granada: EMUCESA. p 19–39.
- Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad. 2010. *Clasificación Internacional de Enfermedades, 9ª Revisión, Modificación Clínica*. Edición Electrónica de la CIE–9–MC. Agencia de Calidad del Sistema Nacional de Salud. 7ª edición. 2010. Versión 1.1.0. 19/02/2010.
- Molleson T, Cox M, Waldron AH, Whittaker DH. 1993. *The Spitalfields Project, Vol. 2—the anthropology, the middling sort*. Research Report 86. York: Council for British Archaeology.
- Olze A, Niekerk P, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Maeda H, Schmeling A. 2007. Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *Int J Legal Med* 121:445–448.
- Sánchez D, Martín M. 2006. *Historia y Contenido de un Lugar para la Memoria y Culto en Memoria de Granada*. Granada: EMUCESA. p 19–39.
- Saunders SR. 2008. Juvenile skeletons and growth-related studies. In: Katzenberg MA, Saunders SR, editors. *Biological anthropology of the human skeleton*. New York: Wiley-Liss. p 117–146.
- Schaefer M, Black S, Scheuer L. 2009. *Juvenile osteology: a laboratory and field manual*. Amsterdam: Elsevier.
- Schmeling A, Reisinger W, Geserick G, Olze A. 2006. Age estimation of unaccompanied minors. Part I. General considerations. *Forensic Sci Int* 159:61–64.
- Sutter RC. 2003. Nonmetric subadult skeletal sexing traits: I. A blind test of the accuracy of eight previously proposed methods using prehistoric known-sex mummies from northern Chile. *J Forensic Sci* 48:927–935.
- Ubelaker DH. 2008. *Forensic anthropology: methods and diversity of applications*. In: *Biological anthropology of the human skeleton*, 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Liss. p 41–71.
- Viciano J, Alemán I, D'Anastasio R, Capasso L, Botella MC. 2011. Odontometric sex discrimination in the Herculaneum sample (79 AD, Naples, Italy), with application to juveniles. *Am J Phys Anthropol* 145:97–106.
- Wilson LA, MacLeod N, Humphrey LT. 2008. Morphometric criteria for sexing juvenile human skeletons using the ilium. *J Forensic Sci* 53:269–278.





# Historia y composición demográfica de la colección osteológica de individuos subadultos identificados de San José, Granada, España.

Inmaculada Alemán Aguilera

Javier Irurita Olivares

Alba Rocío Valencia

Argia Martínez Egurcegui

Sandra López Lázaro

Joan Viciano Badal

Miguel Cecilio Botella López

*TÍTULO ABREVIADO:* Colección de esqueletos infantiles de Granada

*PALABRAS CLAVE:* Antropología Forense, Colección esquelética, información *antemortem*, estimación de la edad.

*PUBLICADO EN:* American Journal of Physical Anthropology 149: 606-610

*Am J Phys Anthropol* Índice de Impacto 2.481. Puesto 7 de 83 de su grupo (primer cuartil).

**Recibido** el 27 de junio de 2012

**Aceptado** el 11 de septiembre de 2012

**Publicado** online el 6 de noviembre de 2012

## Resumen

En este artículo se describen las características de la colección de individuos infantiles identificados ubicada en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, España. Se trata de una muestra de estudio aún en formación, que en el presente está compuesta por 230 esqueletos completos con edades comprendidas entre los 5 meses de gestación y los 8 años; la mayoría de ellos menores de 1 año. Las fechas de defunción pertenecen a mediados del siglo veinte. El estado de conservación es muy bueno y se dispone de información *antemortem* muy completa gracias a la existencia de actas de enterramiento y defunción entre otras. Con este artículo se da a conocer una de las escasas muestras disponibles a nivel mundial que permiten el estudio del desarrollo osteológico en esqueletos infantiles desde la perspectiva de la Antropología Física.

## Introducción

El estudio de colecciones osteológicas es la principal herramienta utilizada por los antropólogos para avanzar en los conocimientos de Antropología Física; principalmente en los campos de la Antropología Forense, Bioarqueología, Paleopatología y Paleontología Humana. La investigación en Antropología Forense se debe considerar como prioritaria para conseguir que la metodología empleada por el antropólogo tenga un elevado grado de certeza y capacidad discriminante, no dejando lugar a la duda, especialmente en contextos forenses, pues sus resultados implican una gran carga emocional para las personas implicadas, pero también en contextos de bioarqueología, en los cuales una metodología adecuada permitirá comprender el estado de salud y la demografía de las poblaciones del pasado (Lewis 2007). Sin embargo en el estudio de individuos infantiles, existe una gran dificultad para ofrecer datos con estas características, pues hasta ahora no se ha podido disponer de las muestras de estudio adecuadas para la investigación.

Para conseguir esta validez metodológica, la investigación forense debe estar sustentada bajo dos grandes premisas:

- En primer lugar se debe cuantificar en qué grado afectan cada uno de los factores de variabilidad y como paliarlos en la metodología, estudiando por ejemplo la aplicabilidad de cada método en función del origen geográfico de los restos y evaluando en qué medida el medio ambiente ha podido influir en el desarrollo del individuo.
- En segundo lugar un aspecto crucial para la investigación antropológica es el estudio de colecciones de esqueletos identificados, de los cuales se posean datos referentes al sexo, edad y causa de muerte. Según Bruzek (1997), desde un punto de vista metodológico, este tipo de poblaciones son la única solución para una estimación de la edad válida. Hasta la fecha han sido muy escasas las investigaciones realizadas sobre este tipo de muestras debido a la gran dificultad existente para obtenerlas, ya que la manipulación de restos humanos ha sido hasta hace escasas décadas una cuestión comprometida por razones culturales y religiosas.

En la actualidad la Antropología Física dispone de una amplia metodología para el estudio de esqueletos infantiles diseñada a partir del estudio de muestras identificadas como la de Spitalfields en Londres, con 25 individuos menores de 8 años bien conservados con sexo y edad conocidos (Molleson 1993); la de Lisboa con 49 niños esquelizados identificados menores de 10 años (Cardoso 2006), la de Fazekas y Kósa compuesta por los esqueletos de 138 fetos procedentes de estudios de autopsias (Fazekas 1978) y la colección de Raymon A. Dart en Sudáfrica con 42 individuos identificados menores de 10 años (Dayal 2009). A pesar de constituir una de las herramientas más valiosas para la investigación antropológica, estas colecciones

plantean como inconvenientes la falta de representatividad de determinados grupos de edad, en muchos casos el mal estado de conservación de los restos, la cronología, la cual debe ser lo más reciente posible para fines forenses (Willson 2008) y la no aplicabilidad de los resultados a poblaciones de origen diferente (Koshy 1998; Schmeling 2006); estas carencias han provocado que, a nivel mundial, en los casos de Antropología Física que conciernen al estudio de individuos infantiles, se tengan que emplear metodologías muy básicas, no contrastadas y en gran parte poco representativas.

La colección osteológica de individuos infantiles de San José ha sido formada con el fin de contribuir a la mejora de las técnicas empleadas en Antropología Física Infantil; de forma más específica, al estudio de la población mediterránea, hasta ahora no estudiada. No obstante, por sus características, se considera que es una herramienta muy valiosa para mejorar la metodología empleada en el estudio de poblaciones antiguas u otras áreas de estudio como la Osteopatología, Pediatría, Histología, Odontología, etc.

Los objetivos de esta publicación han sido 2: a) dar a conocer a la comunidad científica las características de conservación y demográficas de esta colección, así como el contexto histórico en el que se enmarca y b) describir la metodología que se está empleando en habilitar la muestra para su estudio y conservación y la orientación de los proyectos de investigación que se han iniciado en la actualidad. Pretendemos que con esta información los investigadores interesados en este área de trabajo puedan valorar la importancia de la colección osteológica de individuos infantiles de San José así como favorecer el trabajo conjunto con ellos, permitiendo así el estudio más eficaz y completo posible de esta colección.

## **Historia**

La colección osteológica de individuos infantiles de San José pertenece a otra colección mayor de individuos identificados que comprende todos los grupos de edad. De su formación son responsables el Dr. Miguel Cecilio Botella y la Dra. Inmaculada Alemán, pertenecientes al Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, España, quienes en el año 1991 solicitaron al cementerio San José la cesión para la investigación de aquellos restos óseos destinados a su incineración o acumulación en la fosa común del cementerio. En la actualidad, la colección completa está formada por 542 esqueletos; no obstante, en este artículo se presenta solo la información referente a los 230 individuos infantiles que la componen, ya que los adultos se encuentran aún siendo exhumados del cementerio y preparados para su

## Capítulo 6: Colección de Granada

estudio y el grupo de edad comprendido entre los 8 y los 20 años es aún poco representativo.

El cementerio municipal de la ciudad de Granada, llamado San José, está ubicado a las afueras de la ciudad, por encima de la Alhambra y el Generalife; tiene una superficie de más de 120.000m<sup>2</sup> distribuidos en 19 patios. Su origen se remonta a 1805, cuando, tras la epidemia de fiebre amarilla de 1804, por motivos de higiene, se optó por instaurar un solo cementerio a las afueras de la ciudad en un lugar abierto y ventilado (Sánchez 2006). Las progresivas ampliaciones y reformas que han sucedido desde entonces han quedado grabadas como huellas de las diferentes etapas históricas y arquitectónicas de los siglos XIX y XX. La riqueza artística que le otorgan las numerosas esculturas, testimonio de la cultura funeraria del siglo XIX, sus características arquitectónicas, justificadas por encontrarse en el entorno de La Alhambra, han convertido a este cementerio en un importante atractivo turístico de la ciudad y en uno de los más importantes de España (López 2006)



*Figura 1. Cementerio de San José. Granada.*

Como práctica habitual, en el Cementerio de San José se producen exhumaciones rutinarias de acuerdo al Artículo 27º de la normativa vigente de “Desocupación forzosa de unidades de enterramiento”. Este procedimiento se lleva a cabo en aquellas tumbas que reúnen las condiciones necesarias para la aplicación del artículo 25º que regula las condiciones necesarias para la “Extinción del derecho funerario”, como son, entre otras: “Transcurso del tiempo de su condición y en su caso de su ampliación o prórroga”, “falta de pago de los servicios o actuaciones realizadas por la empresa”, etc. Tras cumplirse dichas condiciones, EMUCESA, la

empresa responsable de los servicios funerarios del cementerio, pone en marcha un procedimiento riguroso para dar a conocer a la ciudadanía el nombre de aquellos difuntos que van a ser exhumados; además, conservan los restos cadavéricos un periodo de cautela conveniente para poder atender a futuras reclamaciones. Una vez transcurrido dicho tiempo se procede a la exhumación de los cadáveres, restos o cenizas que contenga la unidad de enterramiento y se procede a su traslado para enterramiento común, cremación o incineración.

La mayoría de los esqueletos

Los Drs. Botella y Alemán solicitaron el acceso a estos restos óseos y a la información personal de los mismos con el fin de emplearlos para la investigación antropológica. Dado el carácter personal de este material de trabajo así como de los datos *antemortem* necesarios para su estudio, se prestó especial importancia a la elaboración de una metodología específica que asegurara el cumplimiento de lo dispuesto en la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica para la protección de la intimidad personal y el tratamiento confidencial de los datos personales que resultaran de la actividad de investigación. Dicha metodología fue presentada al Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada obteniendo la aprobación del mismo. Una vez obtenida, el Laboratorio de Antropología comenzó un proceso lento y progresivo para la adquisición de los esqueletos identificados; dicho proceso se mantiene en la actualidad, regulado por la actividad del cementerio, por lo que se debe considerar que la colección que se presenta en este artículo se encuentra en un proceso continuo de formación.

### **Metodología para la recogida y limpieza del material osteológico**

En primer lugar, para la adquisición del material óseo, se acudió al cementerio de San José de Granada cada vez que se informó de la posibilidad de recoger material, lo cual se sigue haciendo en la actualidad. Cuando fue posible, fueron los propios investigadores del laboratorio de Antropología los encargados de la exhumación de los restos esqueletizados a fin de evitar la pérdida de aquellas estructuras y centros de osificación de menor tamaño que podían pasar desapercibidas ante personal no especializado; no obstante, en algunos casos, por motivos propios de la gestión del cementerio, la exhumación corrió a cargo de su personal, quienes conociendo la finalidad de estos restos, realizaron la labor con el mayor cuidado posible, incorporando todo el sustrato encontrado junto al ataúd. Cada individuo fue introducido en una bolsa opaca blanca donde aparecían rotulados los datos necesarios para su localización en los registros oficiales.

Una vez depositado el material en los almacenes del Laboratorio de Antropología, fueron anonimizados y dotados de un código de registro, constituido por la letra G seguida de un número de tres cifras asignado según el orden de llegada. En la actualidad existe una única base de datos, alojada en un ordenador privado, donde se pone en relación el nombre del sujeto con el número de registro asociado. Dado el carácter personal de estos datos, así como del material de trabajo, las bases de datos destinadas al estudio de la muestra, incluida la utilizada en este trabajo, no contienen el nombre de los individuos que la componen con el fin de preservar la confidencialidad de datos personales.

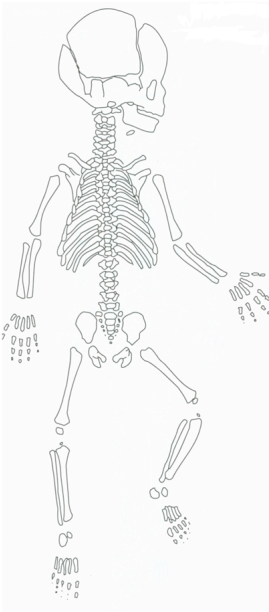
Una vez que se encontraban los restos ya en el laboratorio, en primer lugar se procedió a la extracción e higienización del material óseo, para lo cual cada individuo fue situado en una bandeja amplia sobre una mesa de trabajo para separar las estructuras óseas de los enseres con los que fue enterrado, como pueden ser, ropas, telas, objetos personales, etc. Todos estos objetos fueron devueltos a la bolsa de contenido, con el número de registro, para su estudio descriptivo en el futuro. Además se extrajo sin alterar el ilion, fémur y 4ª costilla derechos y se introdujeron en una bolsa hermética debidamente etiquetada. Estos tendrán como fin el estudio genético e histológico en otros proyectos de investigación futuros, evitando siempre el deterioro de la estructura ósea durante estas prácticas. Gracias al ritual de enterramiento seguido, consistente en la introducción del cadáver en un ataúd y posteriormente en un nicho sellado y aislado completamente del medio externo, así como el carácter relativamente reciente de la colección, el estado de conservación de los esqueletos es excelente en la gran mayoría de los casos; se dispone por tanto de la práctica totalidad del esqueleto en todos los individuos. La pérdida de huesos durante los procesos de exhumación y limpieza ha sido mínima gracias al empleo de una metodología rigurosa. Estas pérdidas se reducen a algunas falanges distales o a pequeños gérmenes dentales que pudieron ser confundidos con el sustrato durante los procesos de exhumación o limpieza. Las características climáticas del lugar donde se haya el cementerio han propiciado la momificación de un elevado número de individuos; las cinco momias mejor conservadas no han sido limpiadas con el fin de conservarlas para su exposición.

Cada hueso del esqueleto fue lavado y despojado de los restos de material orgánico que le pudieran quedar adheridos, prestando especial interés en las piezas dentales, ya que su reducido tamaño dificultaba su localización. En los casos en los que el individuo se encontraba total o parcialmente momificado, se hizo uso de baños en peróxido de hidrógeno o de la cocción del material durante 45 minutos. A continuación, se procedió a sumergir el total del esqueleto en hipoclorito sódico al 5% (concentración alcanzada al rebajar el producto con cantidades preestablecidas de agua) durante 15 minutos. Tras esto se hacen necesario 1,5 horas de un aclarado bajo agua corriente con el fin de evitar la perduración de la acción química. Por último se

introducían los huesos limpios, higienizados y junto con el código de identificación, en armarios de secado para extraer toda la humedad que contenían.

**FICHA RESTOS INFANTILES**

<b>Cementerio</b>	<b>Número</b>
<b>Sexo</b>	<b>Edad</b>



Hueso		Fase de unión	Hueso		Fase de Unión
Ver. Cervicales	Cuerpo	Arco Neural uno con otro	Costillas		
	Arco	Arco Neural con el cuerpo	Esternón		
Ver. Torácicas	Cuerpo	Arco Neural uno con otro	Occipital	Escama	
	Arco	Arco Neural con el cuerpo		Porción lateral	
Ver. Lumbares	Cuerpo	Arco Neural uno con otro		Porción basilar	
	Arco	Arco Neural con el cuerpo	Temporal	Porción petrosa	
Ver. Sacras	Cuerpo	Arco Neural uno con otro		Escama	
	Arco	Arco Neural con el cuerpo		Anillo timpánico	
Hiodes			Esfenoides	Cuerpo	
Escápula	Coracoides			Ala mayor	
	Acromion			Ala menor	
Clavícula	Epífisis Esternal		Parietal		
Húmero	Cabeza		Frontal		
	Distal		Maxilar		
	Epicóndilo medial		Mandibular		
Radio	Proximal		Dientes		
	Distal		Nasal		
Cúbito	Proximal		Étmoides	Laberinto	
	Distal			Lamina mediana	
Coxal	Ilión	Ilión-pubis	Concha nasal inferior		
	Pubis	Isquion-pubis	Lacrimal		
	Isquion	Isquion-Ilión	Vómer		
Fémur	Cabeza		Zigomático		
	Trocánter Mayor		Palatino		
	Trocánter Menor		Huesos del oído		
	Distal		Manos	Carpos	
Rótula				Metacarpos	
Tibia	Proximal			Falanges	
	Distal		Pies	Tarsos	
Peroné	Proximal			Metatarsos	
	Distal			Falanges	

Observaciones:

Figura 2. Ficha de contenido anatómico

Para el almacenaje, en primer lugar se diseñaron unas fichas de contenido anatómico para el inventariado del material óseo. Estas contienen información sobre las estructuras del esqueleto humano infantil, fase de unión de los diferentes centros de osificación, un esquema del esqueleto de un individuo subadulto para referenciar las estructuras y un apartado para comentarios del observador; este último destinado a señalar la presencia de patologías, estado de conservación o peculiaridades que pudieran ser de interés para su estudio en el futuro. En segundo lugar, una vez seco el material óseo, se sigló en cada hueso, de la forma más discreta posible, el código de identificación que tenía asociado el individuo. Posteriormente se dispuso el esqueleto de forma ordenada sobre una mesa de trabajo, se rellenó una ficha de contenido general previamente diseñada y se introdujeron los huesos por unidades anatómicas en bolsas herméticas de diferente tamaño y debidamente etiquetadas con tinta permanente. El objetivo de este procedimiento de



inventariado es, por un lado, que sean fácilmente localizables los diferentes huesos y, por otro, evitar en el futuro manipular las estructuras óseas que no sean objeto de estudio, favoreciendo así la conservación de la muestra. Las bolsas correspondientes de cada individuo fueron introducidas en una caja con el código de referencia escrito y fueron puestas en orden en los almacenes del laboratorio destinados a este fin.



Figura 3. Individuo infantil esqueletizado una vez preparado para su estudio.

### **Toma de datos *antemortem***

Para la obtención de la información *antemortem* se partió de la certeza de la existencia de actas de enterramiento en el Cementerio San José de la ciudad de Granada, actas de defunción en el Registro Civil e informes forenses en los casos de muerte judicial en el Instituto de Medicina Legal. En dichas actas se pueden obtener como datos más destacados el sexo, las fechas de nacimiento y de defunción, causa inmediata y fundamental de la muerte, nacionalidad, último domicilio y ritual de enterramiento como posibles indicadores del estatus social del individuo, etc.

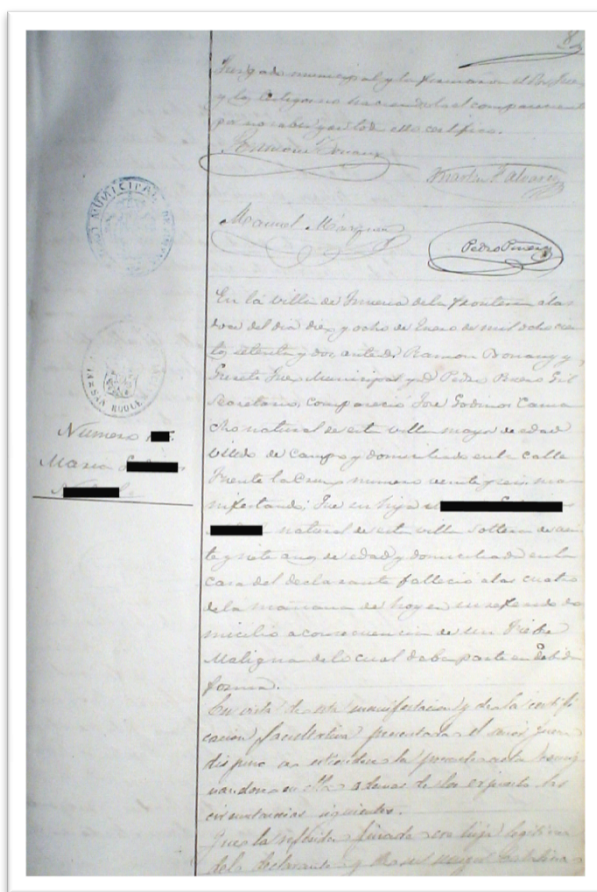


Figura 4. Acta de defunción con información ianmortem.

## Características de la colección

### Composición demográfica

En la actualidad, la colección de esqueletos infantiles de San José está compuesta por 230 individuos, todos ellos identificados, 128 masculinos (56%), 93 femeninos (40%) y 9 fetos de sexo desconocido (4%). No se trata de un valor definitivo, pues la colección se encuentra en un proceso continuo de formación, incrementándose de forma periódica el número de individuos que la componen.

En la tabla 1 y en la figura 5 está representada la distribución por grupos de edad de muerte y sexo. La edad de muerte está comprendida entre los 5 meses de gestación y los 8 años. En el sexo masculino la edad media de muerte es de 0,56 años y en el sexo femenino de 0,81

años. 56 individuos son no natos (24%), 128 tienen una edad comprendida entre los 0 y 1 años (56%). 121 de ellos poseen información de la edad de muerte en días y los 7 restantes en meses, 36 tienen una edad comprendida entre 1 y 8 años (16%) y por último, hay 10 individuos (4%) de los que, por ahora, se desconoce la edad de muerte.

**Tabla. 1 Distribución por grupos de edad y sexo**

Grupo de edad	Desconocido	masculino	femenino	Total
FETO	8	25	23	56
<6m	1	59	38	98
<1a	0	21	9	30
<2a	0	10	4	14
<3a	0	3	7	10
<4a	0	2	2	4
<5a	0	2	3	5
<6a	0	0	1	1
<7a	0	1	0	1
<8a	0	1	0	1
Desconocido	0	4	6	10
Total	9	128	93	,0

La tabla 2 muestra la distribución de la muestra por años de nacimiento y defunción; una representación gráfica de estos datos se muestra en la figura 6. El rango de fechas de nacimiento está comprendido entre los años 1871 y 2000, muy similares a las fechas de defunción, las cuales oscilan entre 1871 y 2001, lo que significa que la colección está datada a mediados del siglo 20. El número total de individuos con fechas de nacimiento es menor que el total de defunciones porque no han sido incluidos los fetos en este grupo. Falta la fecha de defunción de dos individuos, uno de ellos por tratarse de un caso de identificación (no procedente del cementerio) y el otro por tratarse de un traslado de lugar de enterramiento, por lo que la fecha del acta de enterramiento no coincide con la de defunción. Las décadas que mejor representadas están por la muestra son las comprendidas 1930 hasta 1980, dentro de las cuales encontramos el 91% de los nacimientos y 90% de las defunciones

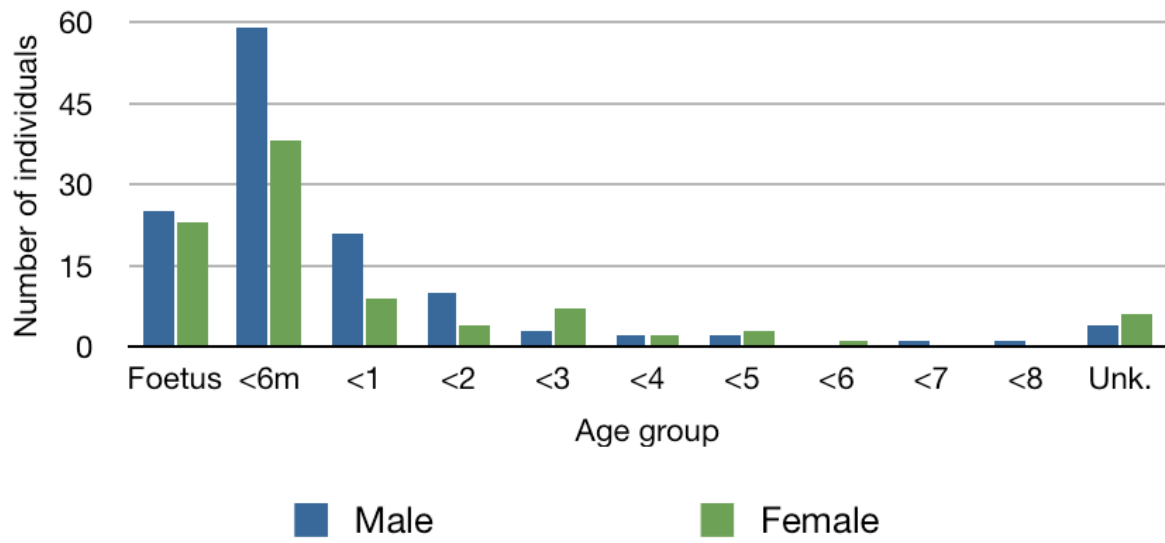


Figura 5 Distribución por grupos de edad y sexo.

**Tabla 2. Distribución por fechas de nacimiento y defunción**

Décadas	Nacimientos	Defunciones
1870-1879	1	2
1880-1889	0	10
1890-1899	1	1
1900-1909	1	3
1910-1919	3	5
1920-1929	4	4
1930-1939	14	14
1940-1949	29	39
1950-1959	16	22
1960-1969	63	76
1970-1979	44	55
1980-1989	4	4
1990-1999	1	1
2000-2009	1	1
Total	182	228

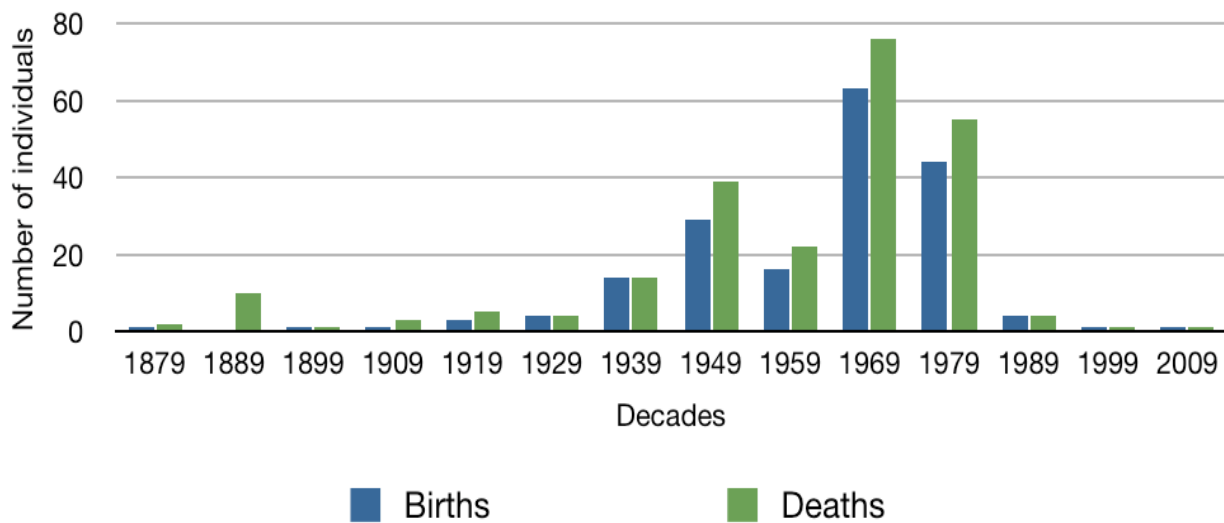


Figura 6 Distribución por fechas de nacimiento y defunción.

#### Análisis según causa de muerte

En la tabla 3 se muestra la distribución de las causas de muerte de acuerdo a la Clasificación Internacional de Enfermedades (Ministerio de Sanidad 2010). En esta tabla no se han recogido aquellos individuos cuya causa de muerte no era legible o no constaba en el acta de defunción. Ha sido incorporada a esta clasificación la prematuridad como causa de muerte ya que este dato será muy importante para el estudio de la colección; en estos individuos (15,6% del total de la muestra), la edad de muerte reflejada en los documentos consultados no puede ser comparada con su desarrollo osteológico, ya que en el momento del nacimiento no habían cumplido las 40 semanas de gestación normales.

La principal causa de muerte son las enfermedades del sistema respiratorio (30% de los individuos), en su mayoría por bronquitis, neumonías y gripe. Se trata de una causa de muerte que favorece el estudio óseo de los individuos ya que, salvo en casos excepcional, el desarrollo normal del esqueleto se ve menos afectado por esta condición, ya que transcurren periodos cortos de tiempo desde la afectación por la enfermedad y la muerte. Son destacables también las muertes por enfermedades del sistema digestivo, nervioso y circulatorio, sumando entre ellas un 28% del total; al igual que las anteriores, las enfermedades del sistema digestivo y circulatorio no afectan al desarrollo normal del esqueleto; no obstante, dentro de las afecciones del sistema nerviosos están incluidos 12 casos de meningitis, causa de muerte que podría afectar al desarrollo

normal del cráneo, dando lugar, en su superficie, a la aparición de una porosidad característica. Por último, es de destacar aquellas causas de muerte por malformaciones congénitas o lesiones en el 10,8% de los individuos; en estos casos podemos encontrar individuos con anencefalia, hidrocefalia, Síndrome de Werding Hoffman o lesiones características que, pese a no permitir su estudio en base al desarrollo osteológico, si permitirán poner en relación dichas afecciones con las huellas que han dejado en el esqueleto.

**Tabla 3. Distribución por causas de muerte**

<b>Causa de muerte</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
Afecciones durante el periodo perinatal	1	0,6
Enf. nutricional y metabólica	5	2,9
Enf. de la sangre y órganos hematopoyéticos	9	5,3
Enf. del sistema circulatorio	11	7
Enf. del sistema digestivo	19	11
Enf. del sistema genitourinario	1	0,6
Enf. del sistema nervioso	17	10
Enf. del sistema respiratorio	50	30
Enf. infecciosa	8	4,8
Enf. nutricional y metabólica	2	1,2
Judicial, lesiones	6	3,6
Malformaciones congénitas	12	7,2
Prematuridad	26	15,6

#### *Estimación del estatus social*

El estatus social es una variable que nos permite hacernos una idea de las condiciones de salud, higiene y nutrición que posea el individuo en vida. Esta información es de un elevado interés para el estudio osteológico de la colección, pues se podrá poner en relación con el desarrollo esquelético, dental, afectación por ciertas enfermedades, etc. Gracias a la incorporación de esta variable, los resultados que se deriven de la investigación de esta colección ofrecerán un mayor volumen de información y conclusiones.

Para la estimación del estatus social, se está recogiendo, de los documentos consultados, toda la información posible que pueda guardar relación con esta variable, entre ella, el último domicilio de la familia, que podrá ser categorizado en función de la capacidad adquisitiva necesaria para vivir allí, el ritual de enterramiento seguido, que incluye información sobre los costes del enterramiento, el tipo de ataúd empleado, el ajuar y las vestimentas con las que se

enterró al difunto. Esta información ya está disponible para los investigadores que empleen esta muestra, no obstante aún no se han establecido estas categorías pues no se han terminado los trabajos de investigación histórica necesarios.

### Discusión

Este trabajo representa el inicio de un extenso proyecto de investigación centrado en el estudio de una amplia muestra de esqueletos de individuos infantiles y fetos de mediados del siglo 20. La colección de individuos infantiles identificados de San José se encuentra aún en proceso de formación, incrementándose periódicamente el número de individuos que la componen y completándose la información *antemortem* a medida que se tiene acceso a los documentos oficiales de los diferentes registros de la ciudad. La intención de este equipo investigador es llegar a obtener una colección lo más representativa posible con toda la información *antemortem* que se pueda recopilar; no obstante el volumen de muestra actual y los datos que se poseen han sido considerados suficientes para la publicación de este artículo, por lo que pensamos que será de utilidad para aquellos investigadores que trabajen dentro del área de la Antropología Física Infantil.

Los trabajos destinados a completar la información *antemortem* de los individuos que componen esta muestra se centran en la actualidad en la búsqueda de otras bases de datos que puedan ser de utilidad y de las que aún no tenemos constancia de la posibilidad de acceder a ellas. Entre ellas destacamos las que custodian la historia médica de las madres de los fetos de la muestra para conocer las semanas de gestación posibles complicaciones que condujeran a la interrupción del embarazo; también el informe médico que acompaña a las actas de nacimiento del registro civil, pues en él se detallan las semanas de gestación con la que nacieron los individuos y los posibles incidentes durante el embarazo, resolviéndose así el problema de la edad de los niños que murieron por prematuridad antes mencionado.

Numerosos autores han reclamado la necesidad de emplear colecciones identificadas como herramientas imprescindibles para el desarrollo de una metodología eficaz desde una perspectiva forense (Dirkmaat 2008, Ubelaker 2008, Bruzek 1997, Saunders 2008, Liversidge 2008, Cunha 2009). El empleo de estas colecciones para la investigación debe ser conjunto, ya que un estudio destinado a describir un proceso de desarrollo o características morfológicas del esqueleto, no estará completo hasta estudiar a su vez la variabilidad del mismo, tanto intrapoblacional como interpoblacional (Liversidge 2008, Cunha 2009); por lo tanto las

metodologías empleadas en Antropología Forense deben siempre estar definidas en función de la población que se empleó para formarlas y los estudios que las hayan puesto a prueba en poblaciones diferentes. Dentro de las ventajas que presenta esta colección, así como otras similares, para la investigación antropológica, es el carácter relativamente reciente de la misma, pues las condiciones de vida de los individuos que las componen serán más próximas a las de las poblaciones modernas y, por consiguiente, los resultados se verán menos afectados por otros factores ambientales como consecuencia de modos de vida diferentes (Dirkmaat 2008); será preciso por tanto, poner a prueba las metodologías tradicionales en esta colección para conocer la influencia de estos factores de variabilidad.

La necesidad de establecer metodologías específicas para la población mediterránea ha quedado demostrada en numerosos trabajos que han comparado esta población con otras, ya sea por la puesta a punto de nuevas metodologías específicas como por la comparación de los resultados obtenidos en otras poblaciones con la población mediterránea u otras afines (Alemán 1997, Alemán 1999, Viciano 2011, Schmeling 2006, Olze 2007).

El rango de edades que comprende esta colección rompe con un importante obstáculo con el que se ha encontrado la Antropología a lo largo de su historia; esto es debido a que las muestras de estudio de niños con edades comprendidas entre el nacimiento y los 5 años que permitan estudiar el desarrollo del esqueleto plantean un gran problema para su adquisición. Las causas de este sesgo son, en primer lugar, la dificultad de obtener colecciones de esqueletos completos e identificados, siendo difícil la adquisición de esqueletos adultos y mucho más la de esqueletos infantiles; en segundo lugar se trata de un grupo de edad sobre el que son muy escasos los análisis clínicos que puedan ofrecer un soporte útil para la investigación osteológica, como por ejemplo radiografías, estudios TCs, ecografías en el caso de los fetos, etc. pues comprenden un importante riesgo al realizarlas en individuos tan jóvenes y no suelen ser necesarias salvo circunstancias excepcionales.

La publicación de este artículo pretende poner a disposición de la comunidad científica el potencial para la investigación que posee la colección de individuos infantiles identificados de San José; se suma a otras publicaciones (Molleson 1993, Cardoso 2006, Fazekas 1978, Dayal 2009, Hunt 2005, Sutter 2003) donde se detallan las características de otras colecciones similares. La importancia de estas publicaciones radica en que el estudio de estas colecciones debe ser conjunto, los investigadores responsables de estas colecciones deben tener conocimiento de las posibilidades de las que disponen para completar sus investigaciones así como de contrastar sus resultados.

Actualmente, ya se han iniciado numerosos proyectos para el desarrollo de nuevas metodologías destinadas a la estimación de la edad y el sexo, descripción de los casos



patológicos, estudios de antropología dental e histológicos, los cuales irán siendo publicados en los próximos meses y años. Sin embargo, aún queda un largo trabajo hasta desarrollar por completo todo el potencial que esta muestra posee para la investigación, por lo que una de las funciones de este artículo es presentar las posibilidades de estudio a la comunidad científica. Para acceder a la colección o ampliar información sobre ella se puede contactar con la Doctora Inmaculada Alemán (ialeman@ugr.es).

### **Agradecimientos**

Estamos muy agradecidos a Don José Antonio Muñoz, director de la empresa EMUCESA del Cementerio de San José, Granada; a Doña Maribel Martín, coordinadora de servicios y a todo el personal de dicha empresa por su participación en la formación de la colección; y al Ilustrísimo Señor Magistrado Juez del Juzgado de Instrucción Número 5 de Granada, responsable de los Servicios de registro Civil de esta ciudad.





## **Capítulo 7**

**Valoración de la longitud máxima de los dientes deciduales para la estimación de la edad de individuos infantiles.  
Propuesta de nuevas fórmulas de regresión.**



## PRESENTACIÓN

El siguiente artículo publicado surge para aportar a la comunidad científica lo que, según el amplia revisión bibliográfica realizada durante la primera publicación, es una cuestión prioritaria en el campo de la Antropología Forense en la actualidad, cuando ésta es referida a individuos infantiles. Esto es la publicación de métodos para la estimación de la edad que cumplan con las características mínimas exigidas por esta disciplina; como valores de precisión y exactitud adecuados, empleo para su desarrollo de una muestra representativa e identificada e inclusión en sus resultados de un margen de error bien definido.

Bajo este planteamiento se optó por elaborar un método métrico, dadas la ventajas de precisión y reducido error que se pueden obtener utilizando variables continuas, y que estuviera basado en el desarrollo dental, ya que, como se ha mencionado en la introducción, éste plantea una serie de ventajas con respecto al desarrollo del esqueleto.

El doctorando Javier Irurita, como primer firmante de este artículo, ha sido responsable de todas las tareas llevadas a cabo para su elaboración; no obstante, esto no habría sido posible sin el trabajo realizado por el resto de coautores, quienes han jugado un papel imprescindible en el diseño y ejecución del plan de trabajo, formación del doctorando y corrección de errores como expertos en Odontología y Antropología Forense, repetición de medidas para el cálculo del error, aportaciones esenciales en la revisión bibliográfica, etc.



## ÍNDICES DE CALIDAD DE LA REVISTA EN LA QUE HA SIDO PUBLICADO.

Para la publicación de este artículo se ha escogido la primera revista de su categoría que incluye en sus publicaciones temas relacionados con la Antropología Forense. En esta ocasión, los objetivos planteados están vinculados de forma específica a la Medicina Legal y a las Ciencias Forenses.

**Full Journal Title:** INTERNATIONAL JOURNAL OF LEGAL MEDICINE  
**ISO Abbrev. Title:** Int. J. Legal Med.  
**JCR Abbrev. Title:** INT J LEGAL MED  
**ISSN:** 0937-9827  
**Issues/Year:** 6  
**Language:** ENGLISH  
**Journal:** GERMANY  
**Country/Territory:**  
**Publisher:** SPRINGER  
**Publisher Address:** 233 SPRING ST, NEW YORK, NY 10013  
**Subject Categories:** MEDICINE, LEGAL

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
INT J LEGAL MED	0937-9827	2483	2.686	2.625	0.524	126	5.9	7.2

Category Name	Total Journals in Category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
MEDICINE, LEGAL	16	3	Q1





*Evaluation of the maximum length of deciduous teeth for estimation of the age of infants and young children: proposal of new regression formulas*

**Javier Irurita Olivares, Inmaculada Alemán Aguilera, Joan Viciano Badal, Stefano De Luca & Miguel Cecilio Botella López**

**International Journal of Legal Medicine**

ISSN 0937-9827

Int J Legal Med  
DOI 10.1007/s00414-013-0903-y



 Springer

## Evaluation of the maximum length of deciduous teeth for estimation of the age of infants and young children: proposal of new regression formulas

Javier Irurita Olivares · Inmaculada Alemán Aguilera ·  
Joan Viciano Badal · Stefano De Luca ·  
Miguel Cecilio Botella López

Received: 14 May 2013 / Accepted: 13 August 2013  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

**Abstract** The methodology used to identify individuals in *forensic anthropology* requires a minimum degree of precision and accuracy and should be based on identified and representative samples. Achievement of these objectives in infant skeletons is hampered by the scarcity of appropriate samples. The dental age estimation methods of Liversidge et al. (*Am J Phys Anthropol* 90: 307–313, 1993) and Deutsch et al. (*Growth* 49: 207–17, 1985) were applied to the Granada osteological collection of identified infants (Granada, Spain) in order to evaluate its applicability in a Mediterranean population. Significant differences were found between the estimated and real ages in both cases. Based on the measurements obtained in 140 fetuses and infants, new regression formulas were developed to estimate age from the metric study on deciduous teeth. Independent functions are provided for each deciduous maxillary and mandibular tooth in each sex, along with the margin of error (95 % confidence interval). These formulas appear to offer one of the best methods available for estimating the age of Mediterranean infants in forensic anthropology settings.

**Keywords** Forensic anthropology · Deciduous dentition · Identified osteological collection · Age estimation

J. Irurita Olivares (✉) · I. Alemán Aguilera · M. C. Botella López  
Laboratory of Anthropology, Department of Legal Medicine,  
Toxicology and Physical Anthropology, University of Granada,  
Granada 18012, Spain  
e-mail: javieri@ugr.es

J. Viciano Badal  
University Museum, State University “G. d’Annunzio”  
Chieti-Pescara, Chieti, Italy

S. De Luca  
Calle Gran Canaria 19, 2<sup>a</sup>1<sup>a</sup>, 08205 Sabadell, Barcelona, Spain

### Introduction

The knowledge and techniques on *physical anthropology* are employed by forensic anthropologists in medical–legal settings, mainly for the identification of human remains [29]. Given the judicial implications of the results, the principal objective is to guarantee the accuracy and reproducibility of the methods used. The Forensic Anthropology Society of Europe [9] and other scientific groups related to *forensic anthropology* [8, 12] have proposed the following requirements for valid and effective age estimation methods: (1) their presentation to the scientific community, (2) an adequate degree of accuracy, (3) detailed information on the margin of error assumed, and (4) their testing in populations of different origins, including the target population.

However, it is challenging to develop methodologies with these characteristics for young children and infants due to the lack of representative osteological samples for which the sex, age, and cause of death is reliably documented [13, 23]. The paucity of data on this age group can in part be attributed to cultural factors and the worse preservation of the smaller and more fragile bones, which also have a higher content of organic material. In addition, besides with a lack of dental records, young children only undergo imaging studies (X-ray, computed tomography) if therapeutically necessary because of the risks involved [13, 23]. Therefore, wider studies on infant skeletons are needed to determine the variability of development processes and to create specific reference standards for each population group.

With this background, the objectives of this study were (1) to test the applicability of the formulas published by Liversidge et al. [14] and by Deutsch et al. [11] for dental age estimation in young children by analyzing the deciduous dentition of fetuses and infants of Mediterranean origin from the identified osteological collection of Granada, Spain [3];

(2) to develop new formulas for forensic application in Mediterranean infants and fetuses; and (3) to evaluate the reproducibility of these formulas by analysis of the intra- and interobserver variability.

**Material and methods**

This study was based on the Granada osteological collection of identified infants [3], which includes 230 identified individuals in a perfect state of preservation exhumed from the San Jose Granada Municipal Cemetery (Spain). Its relatively recent character (twentieth century) provides ready access to birth, death, and burial certificates, among other official documents, yielding detailed antemortem data on the sex, dates of birth and death, and the immediate and underlying causes of death, among other information.

Exclusion criteria were unknown age at death, premature birth (affecting the correspondence between age and degree of development), and the presence of disease that could affect dental development, such as anencephaly or amelogenesis imperfecta. After application of these criteria, 140 individuals (82 males and 58 females) aged between 5 months of gestation and 6 years formed the final study sample; Fig. 1 depicts their distribution by age group and sex.

Data were gathered on the maximum length of all preserved teeth without complete root formation, which were extracted when necessary without compromising the integrity of the bone. Teeth with signs of erosion, resorption, or advanced caries were excluded. A digital gauge (0.01 mm of margin of error) was used to measure a final total of 1,513 teeth (865 from males, 648 from females), applying the criteria of Liversidge et al. [14] to determine the maximal length of the tooth parallel to its longitudinal axis.

SPSS 16.0.1 (IBM, Chicago, IL) was used for the statistical analysis. No significant differences were found between the homologous teeth of right and left hemi-arches ( $p > 0.05$ ); therefore, the data were grouped by laterality, obtaining the mean value for the right and left teeth in each individual when both were available. Differences between upper and lower

hemi-arches were significant for all dental pairs ( $p < 0.05$ ). Table 1 exhibits the means, standard deviations (SDs), and significance values for the differences.

Measurements were repeated by a different examiner in 35 randomly selected individuals in order to calculate the interobserver error. Because the data distribution was non-normal (Kolmogorov–Smirnov test), the nonparametric Wilcoxon test for related samples was used to compare the results for 108 pairs of single-rooted teeth and 58 pairs of multi-rooted teeth, calculating the mean difference with SD.

In the whole study sample, which also showed a non-normal distribution, the nonparametric Wilcoxon test for related samples was used to compare the age of each tooth and infant/fetus estimated by using the formulas of Liversidge et al. [14] and Deutsch et al. [11] with the known age.

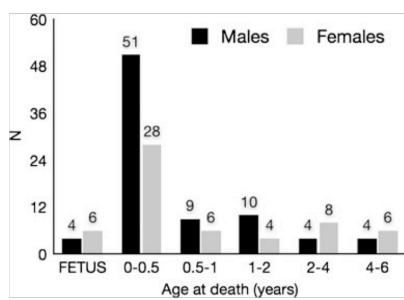
New regression formulas were obtained for the relationship between age and the maximal length of the deciduous teeth, establishing the exponential function as the most appropriate. Given that this function does not admit negative values for the dependent variable, the age was expressed as the gestational age (GA), estimated by adding 0.75 years (9 months) to the age of each individual.

In order to analyze differences between the sexes, the formulas obtained were linearized, and the slopes and heights at the origin were compared [15]. For this purpose, the Napierian logarithm of the gestational age was used as variable, and the regression analyses were repeated to obtain a linear function from the same data. Once the equality of variances was confirmed, the following *t* test was performed to compare the slopes:

$$T_{exp} = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{S_D^2 \left\{ \frac{1}{(xx)_1} + \frac{1}{(xx)_2} \right\}}}$$

where  $b_1$  and  $b_2$  are the values of the slopes of the linearized function,  $S_D^2$  is the mean of the regression variances, and  $xx_1$  and  $xx_2$  are the total sums of squares for the two functions.

The heights at the origin were only compared in those functions in which the difference between slopes was not significant (significance value of  $\alpha = 0.1$ ). The following *t* test was used in these cases:



**Fig. 1** Distribution of the sample by age and sex

**Table 1** Mean values with standard deviation and significance of the differences in tooth length between upper and lower hemi-arches

Tooth	Mean	SD	Significance
$i^1-i_1$	0.97	0.67	0.000*
$i^2-i_2$	0.22	0.59	0.004*
$c^*-c_*$	0.57	0.56	0.000*
$m^1-m_1$	0.44	0.43	0.000*
$m^2-m_2$	0.28	0.53	0.000*

\* $p < 0.05$  (significant differences between real and estimated age)

$$T_{exp} = \frac{|\bar{a}_1 - \bar{a}_2|}{\sqrt{\bar{S}_D^2 \left\{ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{(xx)_{1+} + (xx)_2} \right\}}}$$

where  $\bar{a}_1$  y  $\bar{a}_2$  are the values of the heights of the unified slopes, and  $\bar{S}_D^2$  is the mean regression variance assuming equal slopes.

**Results**

Significant differences between the real age and the estimated age were found for six of the ten teeth analyzed using the Liversidge formula and for four of the six teeth analyzed using the Deutsch formula. These data are given in Table 2; positive mean values indicate age overestimation, and negative values indicates age underestimation. The mean value of the differences found indicates an overestimation of 0.024 year (SD=0.27 year) for the method of Liversidge et al. (1993) and an underestimation of 0.10 year (SD=0.29 year) for the method of Deutsch et al. (11).

Interobserver error analysis showed no significant differences ( $p > 0.05$ ) between the measurements taken by the two observers in 35 of the infants, with a mean difference of -0.02 mm (SD=0.31 mm).

Table 3 includes the values of constants  $a$  and  $b$  obtained in the exponential regression analysis using the formula  $y = a \times e^{bx}$ , where the dependent variable  $y$  is the gestational age in years, and the independent variable  $x$  is the maximal length (Lmax) in millimeters of each tooth. Results are shown for each tooth, for each sex, and for both sexes combined, and the

95 % confidence interval is given for each function. Figure 2 depicts the curves obtained by plotting the GA against the maximum length.

Table 4 shows the results for the comparison between the regression functions corresponding to the two sexes. In all cases, the value of the slope was higher for the females than for the males, and this difference was significant ( $\alpha = 0.1$ ) in six of the ten teeth studied. With respect to the heights, these were greater for the males in all cases, and the difference was significant ( $\alpha = 0.1$ ) in two of the four teeth showing the same slopes.

**Practical example**

As a practical example, the application of the procedure in a randomly selected individual from the collection is outlined below. The male sex of this individual is known from the antemortem information.

After separating and identifying the dental germs, their Lmax was measured (see "Material and methods") and used to calculate the age of each tooth, based on the values of  $a$  and  $b$  constants for males (see Table 3). The regression formula for the first upper incisor, with an Lmax of 6.36 mm, was as follows:

$$GA = a \cdot e^{b \cdot Lmax} = 0.447 \cdot e^{0.11 \cdot 6.36} = 0.447 \cdot e^{0.70} \\ = 0.447 \cdot 2.01 = 0.90 \text{ years}$$

We obtained the mean value of the estimated ages for each tooth (Table 5) and then subtracted 0.75 year (equivalent to the gestational period) to yield an age estimation of 0.04–0.30 year with a 95 % confidence interval. The true age of the individual

**Table 2** Mean values with standard deviation and significance of the differences between real age (in years) and age estimated with the formulas of Deutsch et al. [11] and Liversidge et al. [14]

Tooth	Deutsch et al. [11]					Liversidge et al. [14]				
	Positive ranks	Negative ranks	Mean	SD	Significance	Positive ranks	Negative ranks	Mean	SD	Significance
i <sup>1</sup>	67	22	0.12	0.28	0.000*	18	71	-0.05	0.27	0.000*
i <sup>2</sup>	60	20	0.12	0.28	0.000*	22	58	-0.02	0.28	0.001*
c*	30	23	0.09	0.40	0.129	26	36	0.03	0.44	0.103
m <sup>1</sup>						23	49	-0.03	0.16	0.016*
m <sup>2</sup>						28	33	-0.03	0.18	0.525
i <sub>1</sub>	63	18	0.15	0.24	0.000*	46	35	0.08	0.26	0.033*
i <sub>2</sub>	61	22	0.09	0.23	0.000*	31	52	0.02	0.25	0.196
c*	47	23	0.05	0.29	0.072	41	29	0.10	0.34	0.133
m <sub>1</sub>						47	19	0.06	0.18	0.001*
m <sub>2</sub>						47	22	0.08	0.32	0.001*

\* $p < 0.05$  (significant differences between real and estimated age)

Author's personal copy

**Table 3** Regression analysis for the maximal length (in millimeters) of deciduous dentition and the gestational age (in years). The results are shown separately for males, females, and combined sexes. Gestational age (GA) is estimated by the function  $GA = a \cdot e^{-b \cdot L_{max}}$

	Sex	Number	$R^2$	$a$	$b$	95 % confidence interval			
						Lower		Upper	
						$a$	$b$	$a$	$b$
$i^1$	Combined	89	0.920	0.411	0.120	0.385	0.113	0.439	0.128
	Males	55	0.925	0.447	0.110	0.416	0.101	0.480	0.118
	Females	34	0.930	0.372	0.132	0.330	0.119	0.419	0.146
$i^2$	Combined	80	0.914	0.462	0.123	0.432	0.114	0.494	0.132
	Males	46	0.895	0.506	0.113	0.463	0.101	0.553	0.124
	Females	34	0.942	0.416	0.133	0.376	0.121	0.459	0.145
$c'$	Combined	62	0.959	0.550	0.124	0.518	0.117	0.584	0.130
	Males	38	0.946	0.577	0.115	0.536	0.106	0.620	0.124
	Females	24	0.971	0.524	0.131	0.471	0.121	0.583	0.141
$m^1$	Combined	72	0.887	0.446	0.154	0.414	0.141	0.480	0.167
	Males	43	0.838	0.487	0.141	0.437	0.122	0.543	0.161
	Females	29	0.931	0.411	0.163	0.371	0.146	0.456	0.181
$m^2$	Combined	61	0.713	0.474	0.179	0.418	0.149	0.539	0.208
	Males	39	0.557	0.541	0.153	0.445	0.107	0.657	0.198
	Females	22	0.882	0.416	0.201	0.358	0.167	0.483	0.236
$i_1$	Combined	81	0.915	0.457	0.122	0.427	0.114	0.488	0.131
	Males	51	0.913	0.493	0.114	0.453	0.104	0.535	0.124
	Females	30	0.935	0.404	0.137	0.363	0.123	0.450	0.151
$i_2$	Combined	83	0.935	0.492	0.118	0.465	0.111	0.520	0.125
	Males	49	0.919	0.521	0.111	0.483	0.101	0.563	0.120
	Females	34	0.957	0.460	0.126	0.425	0.116	0.498	0.135
$c$	Combined	70	0.951	0.544	0.131	0.515	0.124	0.576	0.138
	Males	42	0.954	0.573	0.124	0.540	0.115	0.610	0.132
	Females	28	0.952	0.509	0.139	0.455	0.126	0.568	0.152
$m_1$	Combined	66	0.844	0.505	0.139	0.469	0.125	0.544	0.154
	Males	39	0.796	0.557	0.122	0.503	0.101	0.616	0.142
	Females	27	0.912	0.450	0.159	0.405	0.139	0.500	0.180
$m_2$	Combined	69	0.935	0.505	0.168	0.480	0.157	0.530	0.179
	Males	45	0.931	0.519	0.165	0.486	0.151	0.555	0.179
	Females	24	0.963	0.477	0.176	0.448	0.160	0.508	0.191

known from the documented birth and death dates was 0.25 year.

**Discussion**

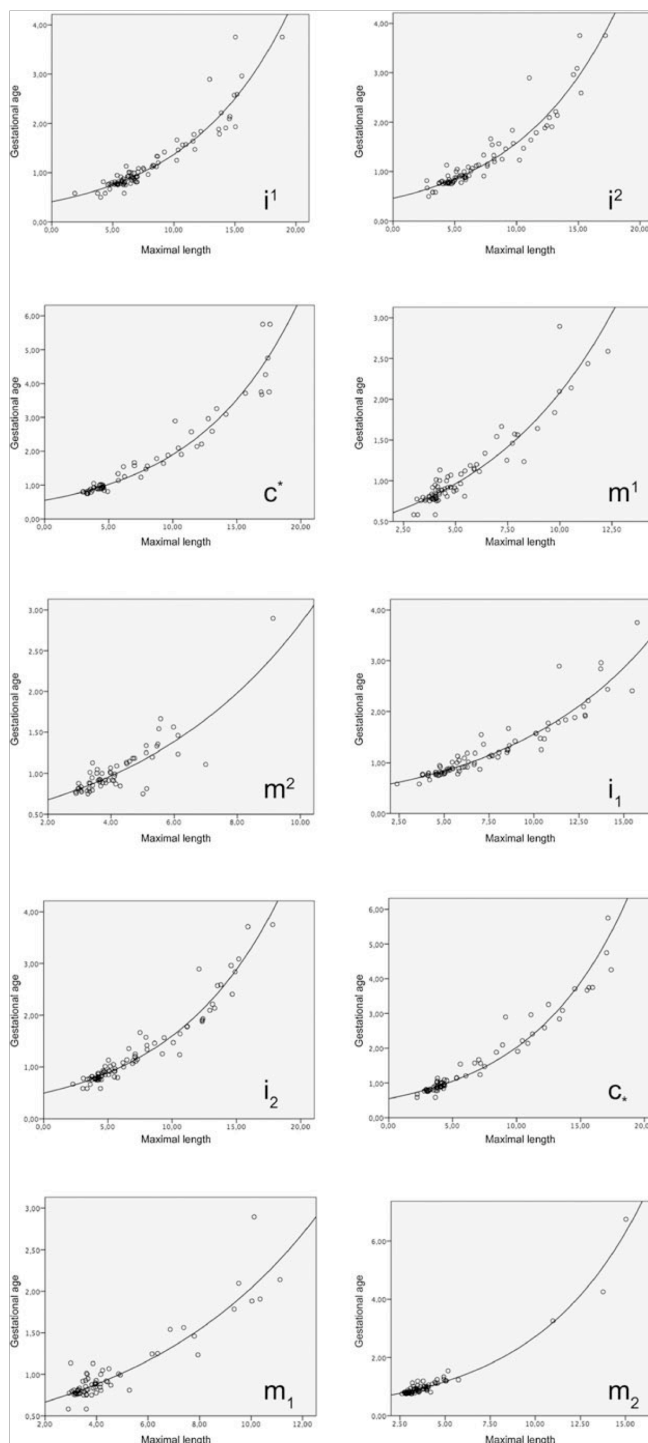
The formulas proposed by Liversidge et al. [14] for age estimation in infant individuals offered inadequate accuracy in this large Mediterranean sample. Significant differences between real and estimated age were found in six out of the ten tooth types analyzed, with an age overestimation in five of these and an age underestimation in the sixth. No significant age overestimation or underestimation was observed in the other four tooth types studied, but the mean error for the canines was  $\pm 0.4$  year, which is unacceptable for this age

group. The best results were obtained with the upper second molar and lower second incisor. The differences did not follow a uniform pattern that might indicate a difference in tooth maturation between British (17) and Mediterranean populations. Discrepancies may be influenced by several factors, including the small sample size of the study by Liversidge et al., their unification of the results for maxillary and mandibular teeth, and the different age and sex distributions of the two samples.

The formulas proposed by Deutsch et al. [11] also proved inappropriate for our sample; the differences between real and estimated age were significant for four out of the six teeth studied, showing an underestimation in all cases. The differences were greater than those obtained with the Liversidge formulas, which showed a consistent pattern of overestimation ( $0.1 \pm 0.29$ ). However, caution should be taken in attributing



**Fig. 2** Regression curves obtained by plotting maximal length (in millimeter) against gestational age (in years) for each deciduous maxillary and mandibular tooth in the whole sample (both sexes)



**Table 4** Significance of gender differences in the slope of the regression analysis. This analysis used the values of *b* obtained by the linearization of the results

Tooth	Female (N)	Male (N)	Comparison between slopes ( <i>t</i> )	Comparison between heights ( <i>t</i> )
i <sup>1</sup>	34	55	3.00**	
i <sup>2</sup>	34	46	1.69*	
c*	24	38	1.88*	
m <sup>1</sup>	29	43	0.46	1.84**
m <sup>2</sup>	22	39	1.10*	
i <sub>1</sub>	30	51	2.39**	
i <sub>2</sub>	34	49	1.50	0.65
c*	28	42	2.17**	
m <sub>1</sub>	27	39	1.25	1.23
m <sub>2</sub>	24	45	0.46	1.69**

\**p* < 0.1; \*\**p* < 0.05 (significant differences between sexes)

these differences to interpopulation variability, because they can be influenced by the distinct age and sex distributions of the two samples.

Cardoso [6] tested the formulas proposed by Liversidge et al. [14] in an identified osteological collection of infants in Portugal [5]. He reported on a tendency to age overestimation, which was significant for second molars, and noted the unification of maxillary and mandibular results as a limitation of the method. Other researchers have utilized the size of teeth to estimate the age of young children [1, 16, 19, 26]. In the present study, the variable “maximum length” alone was used to develop the regression formulas, including both the crown and root, preventing comparisons with many of the aforementioned studies. They employed other observation methods, different measurements, and formulas that considered distinct variables. However, as in the present study, all of these authors obtained high correlation values between age and dental dimensions, which generally offer more accurate age estimations than those derived from skeletal measurements [24].

The *R*<sup>2</sup> values obtained for each regression formula indicate a good fit for most of the functions obtained, which was always better for at least one sex when the sexes were analyzed separately. This may suggest a reduced variability of the growth process in deciduous dentition, explaining the high accuracy of this method to estimate the age of fetuses and infants. A significant gender difference (*α* = 0.1) was observed in the slopes for six of the ten teeth analyzed, indicating that the mean size of deciduous teeth was larger in males than in females at some ages and smaller in males at others. The heights at the origin were compared in the four teeth that showed no significant differences between the slopes, finding a significant difference in two of them. These results support the use of a distinct formula for each sex when this is known. Our interpretation of these results is that the consistently higher value of constant *a* for males in the regression functions can be attributed to a later initiation of tooth formation in comparison to females, while the higher value of *b* for females indicates a higher tooth growth rate than for males.

The advantages of dental versus skeletal age estimation in infants have been well documented in the forensic anthropology literature. The enamel is the hardest tissue of the human body, and teeth are therefore much more resistant to degradation processes. Moreover, tooth maturation is less influenced by environmental or pathological factors in comparison to the maturation of other skeletal elements [4, 7, 20, 22]. Phenotypic variations in dental maturation are better explained by the influence of additive genetic factors. Finally, because the development of deciduous teeth takes place in utero, it is much less affected by environmental factors in comparison to permanent teeth, whose growth is influenced by diet, health status, and the growth of adjacent cranial bones, among other causes of its greater variability [30].

Greater accuracy is offered by a metric approach that uses a continuous variable, as proposed here, in comparison to age estimation techniques based on the development stages of each tooth [10, 18] or on development atlases [2, 25, 28]. The possible subjectivity involved in defining development stages is also avoided with metric techniques.

**Table 5** Practical example

Tooth	Lmax	Constants for estimated age		Constants for lower limit		Constants for upper limit		GA	95 % confidence interval	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>		Lower	Upper
i <sup>1</sup>	6.36	0.447	0.110	0.416	0.101	0.48	0.118	0.90	0.79	1.02
i <sup>1</sup>	5.22	0.506	0.113	0.463	0.101	0.553	0.124	0.91	0.78	1.06
m <sup>1</sup>	4.28	0.487	0.141	0.437	0.122	0.543	0.161	0.89	0.74	1.08
c*	4.02	0.573	0.124	0.54	0.115	0.61	0.132	0.94	0.86	1.04
m <sub>1</sub>	3.64	0.557	0.122	0.503	0.101	0.616	0.142	0.87	0.73	1.03
m <sub>2</sub>	3.63	0.519	0.165	0.486	0.151	0.555	0.179	0.94	0.84	1.06
Mean GA								0.91	0.79	1.05
Estimated age (GA - 0.75)								0.16	0.04	0.30

GA minus gestational age



In common with the present paper, other recent studies have called for the adaptation of forensic anthropology methodology to meet the current needs of *forensic science* [16, 21, 27] by designing specific methods for different population groups, widening sample sizes, and taking advantage of new technologies.

The quality of the Granada osteological collection [3] endorses the validity of the results obtained. The representative nature of the sample was high for each sex, despite excluding premature births and infants with disease. This is very unusual in the study on infant bone remains in the physical anthropology setting and should be an indispensable requirement for the development of methodologies in forensic anthropology. The levels of precision and accuracy obtained with the formulas proposed here do not appear to have been achieved by other methods in this age group, suggesting that they can be considered for forensic anthropology applications in Mediterranean populations. Nevertheless, these new formulas should be tested in collections of different origins to determine any variability among populations. Given the lack of sufficiently representative samples, data from different collections need to be unified in order to develop formulas that are valid for general application in both sexes and all age groups.

These new regression formulas allow estimation (with 95 % confidence interval) of the age of fetal and infant individuals of Mediterranean origin of either sex (or of unknown sex) as a function of the growth of their deciduous teeth. The development of these equations was based on the examination of 140 identified individuals, the most representative sample to date for this type of study. Our findings indicate that these formulas may be an effective methodological instrument for determining the age of infant individuals in the forensic anthropology setting.

**Acknowledgments** The authors are grateful to D. Jose Antonio Muñoz, Managing Director; Maribel Martín, coordinator of services; and all EMUCESA staff at the San Jose cemetery in Granada for their invaluable assistance; to the Magistrate Judge (Court of First Instance no. 5), responsible for the Registry Office of Granada; to Armando González Martín for his collaboration; and to two anonymous reviewers for their insights and suggestions. This work has been supported by the European Commission under project MEPROCS (ref. FP7-SEC-2011-1, GA Number 285624), by the Spanish Ministerio de Economía y Competitividad under project SOCOVIF12 (ref. TIN2012-38525-C02-01/TIN2012-38525-C02-02), and by the Andalusian Dpt. of Innovación, Ciencia y Empresa (ref. P11-TIC-7745), including funding from the European Development Regional Funds.

**Conflict of interest** The authors declare that they have no conflict of interest.

**References**

1. Aka PS, Canturk N, Dagalp R, Yagan M (2009) Age determination from central incisors of fetuses and infants. *Forensic Sci Int* 184(1–3): 15–20

2. AlQahtani SJ, Hector MP, Liversidge HM (2010) Brief communication: the London atlas of human tooth development and eruption. *Am J Phys Anthropol* 142:481–490

3. Aleman I, Irurita J, Valencia AR, Martinez A, Lopez-Lazaro S, Viciano J, Botella MC (2012) Brief communication: the Granada osteological collection of identified infants and young children. *Am J Phys Anthropol* 149:606–610

4. Cameriere R, Flores-Mir C, Mauricio F, Ferrante L (2007) Effects of nutrition on timing of mineralization in teeth in a Peruvian sample. *Ann Hum Biol* 34(5):547–556

5. Cardoso HF (2006) Brief communication: the collection of identified human skeletons housed at the Bocage Museum (National Museum of Natural History), Lisbon, Portugal. *Am J Phys Anthropol* 129: 173–176

6. Cardoso HF (2007) Accuracy of developing tooth length as an estimate of age in human skeletal remains: the deciduous dentition. *Forensic Sci Int* 172:17–22

7. Cardoso HF (2007) Environmental effects on skeletal versus dental development: using a documented subadult sample to test a basic assumption in human osteological research. *Am J Phys Anthropol* 132:223–233

8. Christensen AM, Crodwer CM (2009) Evidentiary standards for forensic anthropology. *J Forensic Sci* 54:6

9. 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 Sci Int* 193:1–13

10. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973) A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 45(2):211–217

11. Deutsch D, Tam O, Stack MV (1985) Postnatal changes in size, morphology and weight of developing postnatal deciduous anterior teeth. *Growth* 49(2):207–217

12. Franklin D (2010) Forensic age estimation in human skeletal remains: current concepts and future directions. *Leg Med (Tokyo)* 12: 1–7

13. Lewis ME (2007) *The bioarchaeology of children*, 2nd edn. Cambridge University Press, Cambridge

14. Liversidge HM, Dean MC, Molleson TI (1993) Increasing human tooth length between birth and 5.4 years. *Am J Phys Anthropol* 90: 307–313

15. Martin AA, Luna JD (1989) *Bioestadística para las Ciencias de la Salud*, 2ath edn. Norma, Madrid

16. Minier M, Maret D, Dedouit F, Vergnault M, Mokrane FZ, Rousseau H, Adalian P, Telmon N, Rougé D (2013) Fetal age estimation using MSCT scans of deciduous tooth germs. *Int J Legal Med*. doi:10.1007/s00414-013-0890-z

17. Molleson T, Cox M, Waldron AH, Whittaker DH (1993) *The Spitalfields project, volume 2: the anthropology, the middling sort*. CBA research report 86. Council for British Archaeology, York

18. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE Jr (1963) Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res* 42:490–502

19. Mömstad H, Staaf V, Welander U (1994) Age estimation with the aid of tooth development: a new method based on objective measurements. *Scand J Dent Res* 102(3):137–143

20. Olze A, Niekerk P, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Maeda H, Schmeling A (2007) Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *Int J Legal Med* 121:445–448

21. Olze A, Hertel J, Schulz R, Wierer T, Schmeling A (2012) Radiographic evaluation of Gustafson's criteria for the purpose of forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 126(4):615–621

22. Pelsmaekers B, Loos R, Carels C, Derom C, Vlietinck R (1997) The genetic contribution to dental maturation. *J Dent Res* 76(7):1337–1340

23. Saunders SR (2008) Juvenile skeletons and growth-related studies. In: Katzenberg MA, Saunders SR (eds) *Biological anthropology of the human skeleton*. Wiley, New York, pp 117–146

24. Scheuer LY, Black S (2004) *The juvenile skeleton*. Elsevier, Londres

25. Schour IY, Massler M (1941) The development of the human dentition. *J Am Dent Assoc* 28:1153–1160
26. Stack MV (1967) Vertical growth rates of the deciduous teeth. *J Dent Res* 46(5):879–882
27. Thevissen PW, Galiti D, Willems G (2012) Human dental age estimation combining third molar(s) development and tooth morphological age predictor. *Int J Legal Med* 126(6):883–887
28. Ubelaker DH (1989) *Human skeletal remains: excavation, analysis, interpretation*. Taraxacum, Washington
29. Ubelaker DH (2008) *Forensic anthropology: methods and diversity of applications*. in: *biological anthropology of the human skeleton*, Secondth edn. Wiley, Hoboken, pp 41–71
30. van Waas HJ, Stöckli MPW (2002) *Atlas de Odontología Pediátrica*. Masson, Barcelona



# **Valoración de la longitud máxima de los dientes deciduales para la estimación de la edad de individuos infantiles. Propuesta de nuevas fórmulas de regresión.**

Javier Irurita Olivares

Inmaculada Alemán Aguilera

Joan Viciano Badal

Stefano De Luca

Miguel Cecilio Botella López

*PALABRAS CLAVE:* Antropología Forense, dentición decidual; colección osteológica identificada; estimación de la edad.

*PUBLICADO EN:* International Journal of legal medicine DOI 10.1007/s00414-013-0903-y

Int J Legal Med. Índice de impacto 2.686. Puesto 3 de 16 de su grupo (primer cuartil).

**Recibido** el 14 de mayo de 2013

**Aceptado** el 13 de agosto de 2013

**Publicado** online el 1 de septiembre de 2012

## **Resumen**

La metodología empleada para la identificación de personas en contextos de Antropología Forense debe poseer unas características mínimas de precisión y exactitud, así como haber sido diseñadas a partir de muestras identificadas y suficientemente representativas. Obtener resultados con estas características referidos a individuos infantiles entraña una gran dificultad debido a la escasez de muestras adecuadas para su estudio. En este trabajo se ha estudiado la colección osteológica de individuos infantiles identificados de Granada, España, para evaluar la aplicabilidad de los métodos desarrollados por Liversidge *et al.* (1993) y por Deutsch *et al.* (1983) para la estimación de la edad dental en población mediterránea. En ambos casos las diferencias entre la edad real y la estimada fueron estadísticamente significativas. Se han desarrollado nuevas fórmulas de regresión para la estimación de la edad dental a partir del estudio métrico de los dientes deciduales. Se ofrecen funciones independientes para cada diente decidual, maxilar y mandibular, y para cada sexo, así como los intervalos de confianza al 95% para definir el error asumido en la estimación.

## **Introducción**

La Antropología Forense se sirve de la aplicación de los conocimientos y técnicas de la Antropología Física para su aplicación en contextos médico-legales, principalmente para la identificación de restos humanos (Ubelaker 2008). Dado que sus resultados están orientados a fines judiciales, el principal objetivo es garantizar la precisión del método científico utilizado y su reproducibilidad. La Sociedad Europea de Antropología Forense (FASE) (Cunha 2009), así como otros colectivos científicos vinculados a la Antropología Forense (Franklin, 2010; Christensen 2009), sugieren que, para ofrecer una estimación de la edad válida y eficaz, los métodos empleados deben cumplir una serie de requisitos: (1) haber sido presentados a la comunidad científica, (2) poseer el suficiente grado de precisión, (3) incluir información detallada sobre el margen de error que asumen y (4) haber sido testados en poblaciones de origen diferente, entre ellas, aquella sobre la que se pretenda aplicar.

Sin embargo, en la actualidad existen problemas a nivel mundial respecto a la identificación de individuos infantiles, principalmente para los primeros grupos de edad, ya que hay una gran dificultad para ofrecer metodologías con las características anteriormente mencionadas. Esto es debido a que, hasta la fecha, no se ha podido disponer de muestras osteológicas suficientemente representativas e identificadas, es decir, de las que se conozca con certeza el sexo, la edad y la causa de muerte (Lewis 2007, Saunders, 2008). Las explicaciones para la escasez de muestras de este tipo son diversas; pueden deberse a motivos culturales, peor preservación de los huesos (más pequeños y frágiles) o a la composición química diferente; además, tampoco se dispone de otros recursos como estudios radiográficos, TC, o fichas dentales, ya que, al suponer un mayor riesgo, no son prácticas habituales en individuos de temprana edad (Lewis 2007, Saunders, 2008). Por estos motivos existe una necesidad de ampliar los estudios de esqueletos infantiles, siendo imprescindible conocer la variabilidad de los procesos de desarrollo y crear estándares específicos para cada grupo poblacional.

Bajo este planteamiento, los objetivos de este trabajo han sido: (1) comprobar la aplicabilidad de las fórmulas presentadas por Liversidge et al (1993) y por Deutsch *et al.* (1983) para la estimación de la edad dental mediante el análisis de la dentición decidual, en individuos infantiles de origen mediterráneo. Para ello que se ha empleado la colección osteológica identificada de Granada, España (Alemán 2012); (2) desarrollar nuevas fórmulas específicas de la población mediterránea, que cumplan con los requisitos necesarios para su aplicación en contextos forenses; (3) evaluar la reproducibilidad de las fórmulas presentadas, mediante el análisis de la variabilidad intra- e interobservador.

## Material y métodos

Para este trabajo se ha empleado la colección osteológica de individuos infantiles identificados de Granada (Alemán 2012). Está compuesta por 230 individuos identificados, en perfecto estado de conservación y exhumados del Cementerio San José de la ciudad de Granada, España. Su carácter relativamente reciente (siglo XX) ha permitido la posibilidad de acceder a documentos oficiales, como actas de enterramiento, defunción o nacimiento, por lo que se dispone de información *antemortem* muy detallada, entre la que destaca la fecha de nacimiento y de defunción, el sexo y causas inmediata y fundamental de la muerte.

Para el análisis dental se han empleado solo aquellos individuos que no presentaran alguno de los siguientes criterios de exclusión: desconocimiento de la edad de muerte, nacimiento prematuro (por lo que la correspondencia entre edad y grado de desarrollo sería incorrecta), presencia de alguna patología severa que pudiera afectar al desarrollo dental, como anencefalia o amelogénesis imperfecta. Tras este proceso de selección, se han podido analizar un total de **140** individuos, **82 niños y 58 femeninos**, con edades comprendidas entre los 5 meses de gestación y los 6 años. En la figura 1 se muestra la distribución por grupos de edad y sexo de la muestra utilizada.

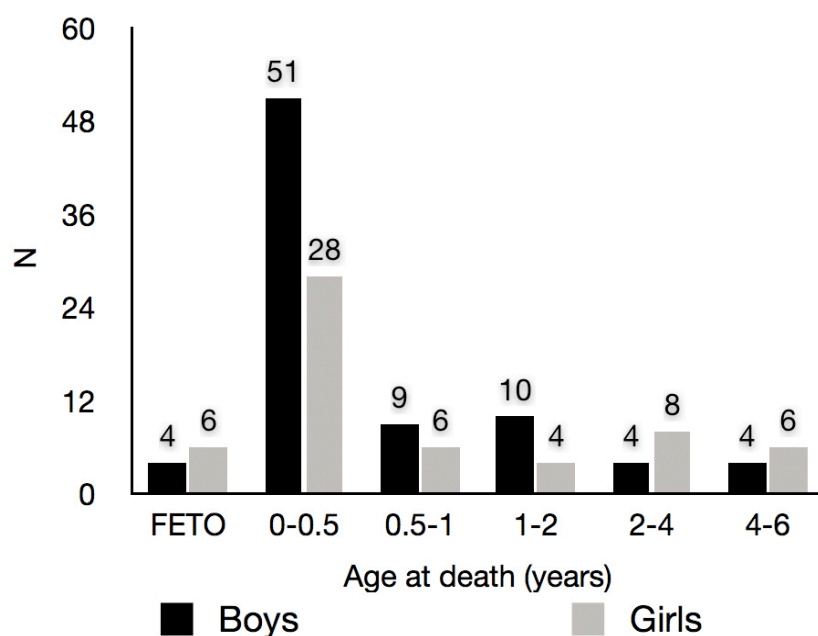


Figura 1: Distribución de la muestra por edad y sexo.

Se analizó la variable longitud máxima en todos los dientes conservados que no hubieran culminado su desarrollo, extrayéndolos muy gentilmente cuando fue preciso y siempre sin

## Capítulo 7: Fórmulas de regresión para la longitud máxima de la dentición decidual

comprometer la integridad de su cripta alveolar. Se han excluido del estudio aquellos que presentasen signos de desgaste, resorción, caries avanzada, o bien se encontraran retenidos en su cripta alveolar. Se han tomado medidas de un total de 1539 dientes, 877 masculinos y 662 femeninos. Para la toma de datos se empleó un calibre digital con un margen de error de 0.01 mm y se emplearon los criterios definidos por Liversidge *et al.* (1993), midiendo la longitud máxima del diente, paralela a su eje longitudinal.

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el programa SPSS 16.0.1. Las diferencias entre los dientes homólogos de las hemiarquadas derecha e izquierda no fueron significativas ( $p > 0.05$ ), por lo que los datos fueron unificados por lateralidad; para ello, cuando se realizó la medida de los dos dientes (derecho e izquierdo) se obtuvo el valor medio y, cuando únicamente se midió un diente, se empleó ese valor. Las diferencias entre las hemiarquadas superior e inferior sí fueron significativas para todas las parejas dentales ( $p < 0.05$ ). La tabla 1 muestra la media, la desviación estándar y la significación de las diferencias.

**Tabla 1: Media, desviación estándar y significación de las diferencias entre la longitud máxima de los dientes de las hemiarquadas superior e inferior.**

Dientes	Media	DS	Sig.
$i^1 - i_1$	0,97	0.67	0.000*
$i^2 - i_2$	0.22	0.59	0.004*
$c^* - c_*$	0.57	0.56	0.000*
$m^1 - m_1$	0.44	0.43	0.000*
$m^2 - m_2$	0,28	0.53	0.000*

\* Diferencias significativas ( $p < 0.05$ )

Para calcular el error inter-observador, las medidas se repitieron por un observador diferente en 35 individuos tomados al azar. Se realizó la comparación de 108 parejas de dientes monoradiculares y 58 multiradiculares mediante el test no paramétrico de Wilcoxon para muestras relacionadas, previo análisis de normalidad de la muestra.

Para comprobar el grado de ajuste de las fórmulas propuestas por Liversidge y Deutsch, se estimó la edad de cada individuo y para cada diente y se contrastó con la edad real, empleando para ello el test no paramétrico de Wilcoxon para muestras relacionadas, previo análisis de normalidad de la distribución muestral.

Se han obtenido nuevas fórmulas de regresión para la relación entre la edad y la longitud máxima de los dientes deciduales, desprendiéndose la función exponencial como la más

adecuada. Dado que esta función no admite valores negativos para la variable dependiente, la edad ha sido expresada como edad gestacional (en años), estimada mediante la suma de 0,75 años (9 meses) a la edad de cada individuo. No se han excluido los valores correspondientes a los dientes que ya han finalizado su formación ya que, al tratarse de una función exponencial, estos contribuyen a definir la “longitud máxima” para cada diente.

Para comprobar las diferencias entre ambos sexos se linealizaron las fórmulas obtenidas y se compararon las pendientes y las alturas en el origen entre ellas (Martin y Luna 1989). Para ello se utilizó como variable el logaritmo neperiano de la edad gestacional y se repitieron los análisis de regresión para obtener una función lineal a partir de los mismos datos. Una vez confirmada la igualdad de varianzas, se realizó el siguiente t-test para la comparación de las pendientes:

$$T_{\text{exp}} = \frac{|b_1 - b_2|}{\sqrt{S_D^2 \left\{ \frac{1}{(xx)_1} + \frac{1}{(xx)_2} \right\}}}$$

donde  $b_1$  y  $b_2$  son los valores de las pendientes de las funciones linealizadas,  $S_D^2$  es el promedio de las varianzas de regresión y  $(xx)_1$  y  $(xx)_2$  son la suma de cuadrados total en ambas funciones.

La comparación entre las alturas en el origen se realizó únicamente en aquellas funciones en las que la diferencia entre las pendientes no fue significativa para un valor de  $\alpha=0,1$ . En estos casos se realizó el siguiente t-test:

$$T_{\text{exp}} = \frac{|\bar{a}_1 - \bar{a}_2|}{\sqrt{\bar{S}_D^2 \left\{ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{(xx)_{1+} + (xx)_2} \right\}}}$$

donde  $\bar{a}_1$  y  $\bar{a}_2$  son los valores de las alturas con las pendientes unificadas y  $\bar{S}_D^2$  es el promedio de las varianzas de regresión asumiendo pendientes iguales.



## Capítulo 7: Fórmulas de regresión para la longitud máxima de la dentición decidual

### Resultados

han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la edad real y la estimada mediante las fórmulas propuestas por Liversidge *et al.*(1993) para 6 de los 10 dientes analizados y para 4 de los 6 dientes analizados en el caso de las fórmulas propuestas por Deutsch *et al.* (1983). En la tabla 2 se detallan los valores para las diferencias. Los valores positivos indican una sobreestimación de la edad y los negativos una infraestimación. La media de las diferencias indican una sobreestimación de 0,024 años con un error de  $\pm 0,27$  para el método de Liversidge *et al.* (1993) y una infraestimación de 0,10 años con un error de  $\pm 0,29$  para el método de Deutsch *et al.* (1983).

**Tabla 2: Valores para media, desviación estándar y significación de las diferencias entre la edad real (en años) y la edad estimada mediante las fórmulas propuestas por Liversidge *et al.* (1993) y Deutsch *et al.* (1983)**

Diente	Deutsch <i>et al.</i> 1985					Liversidge <i>et al.</i> 1993				
	Valores positivos	Valores negativos	Media	SD	Sig.	Valores positivos	valores negativos	Media	SD	Sig.
i1	67	22	0,12	0,28	0.000*	18	71	-0.05	0.27	0.000*
i2	60	20	0,12	0,28	0.000*	22	58	-0.02	0.28	0.001*
c*	30	23	0,09	0,40	0.129	26	36	0.03	0.44	0.103
m1						23	49	-0.03	0.16	0.016*
m2						28	33	-0.03	0.18	0.525
i1	63	18	0,15	0,24	0.000*	46	35	0.08	0.26	0.033*
i2	61	22	0,09	0,23	0.000*	31	52	0.02	0.25	0.196
c*	47	23	0,05	0,29	0.072	41	29	0.10	0.34	0.133
m1						47	19	0.06	0.18	0.001*
m2						47	22	0.08	0.32	0.001*

\* Diferencias significativas entre la edad real y la estimada ( $p < 0,05$ ).

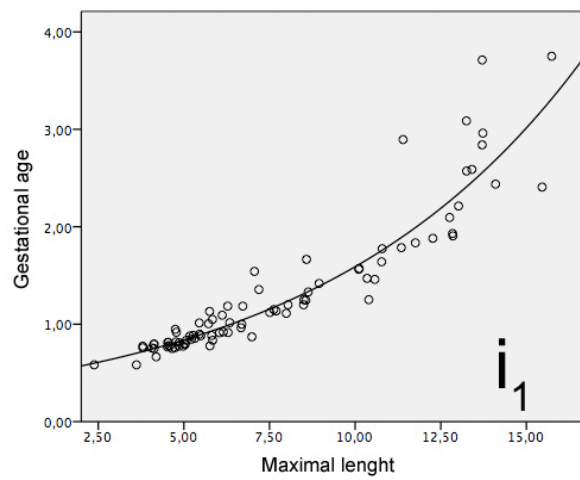
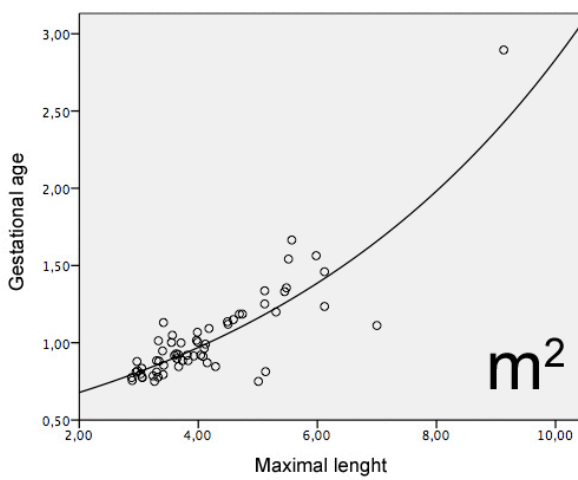
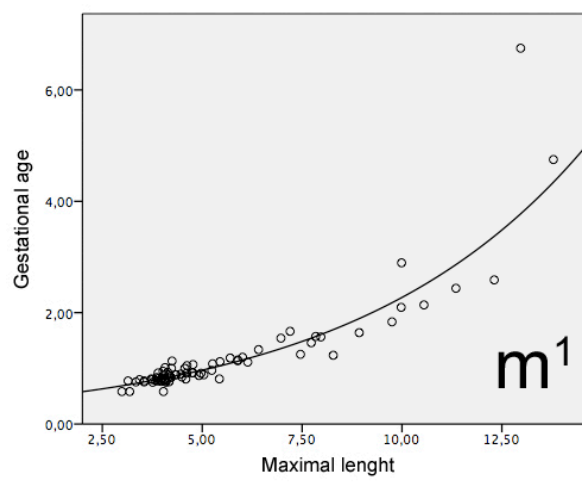
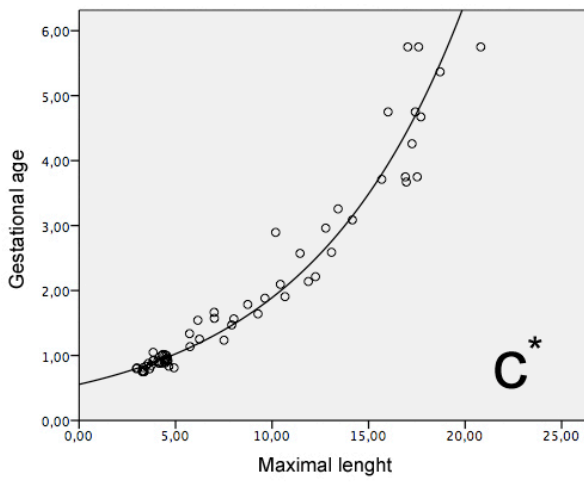
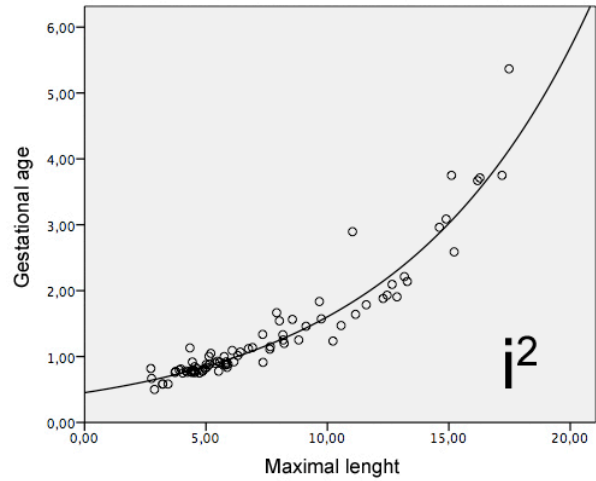
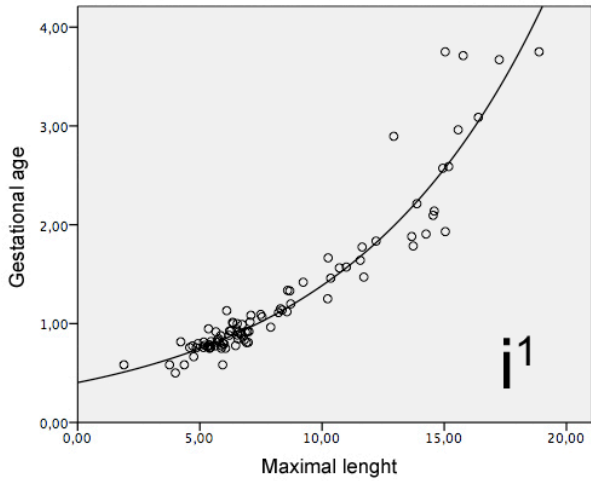
El análisis del error interobservador mostró que no existen diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) entre las medidas tomadas por ambos observadores, para todos los dientes analizados, obteniéndose una media para las diferencias de -0.02 mm y una desviación estándar de 0.31 mm.

En la tabla 3 se incluyen los valores de las constantes "a" y "b" desprendidos del análisis de regresión exponencial para a fórmula  $y = a \cdot e^{bx}$ , donde la variable dependiente "y" corresponde a la edad gestacional (Eg) en años y la variable independiente "x" a la longitud máxima (Lmax) de cada diente. Los resultados se ofrecen por cada diente y de forma independiente para el sexo masculino, femenino y para ambos combinados; se incluyen además, los intervalos de confianza al 95% para cada función. En la figura 2 se muestran las representaciones gráficas correspondientes.

**Tabla 2: Análisis de regresión para la longitud máxima (mm.) de la dentición decidual y la edad gestacional (años). Los resultados se muestran por separado para niños, para niñas y de forma combinada. La edad gestacional puede estimarse empleando la función  $Eg = a \cdot e^{b \cdot L_{max}}$ .**

	Sex	N	R <sup>2</sup>	a	b	Intervalo de confianza al 95%			
						Inferior		Inferior	
						a	b	a	b
i <sup>1</sup>	Combinado	89	0,920	0,411	0,120	0,385	0,113	0,439	0,128
	Masculino	55	0,925	0,447	0,110	0,416	0,101	0,480	0,118
	Femenino	34	0,930	0,372	0,132	0,330	0,119	0,419	0,146
i <sup>2</sup>	Combinado	80	0,914	0,462	0,123	0,432	0,114	0,494	0,132
	Masculino	46	0,895	0,506	0,113	0,463	0,101	0,553	0,124
	Femenino	34	0,942	0,416	0,133	0,376	0,121	0,459	0,145
c <sup>r</sup>	Combinado	62	0,959	0,550	0,124	0,518	0,117	0,584	0,130
	Masculino	38	0,946	0,577	0,115	0,536	0,106	0,620	0,124
	Femenino	24	0,971	0,524	0,131	0,471	0,121	0,583	0,141
m <sup>1</sup>	Combinado	72	0,887	0,446	0,154	0,414	0,141	0,480	0,167
	Masculino	43	0,838	0,487	0,141	0,437	0,122	0,543	0,161
	Femenino	29	0,931	0,411	0,163	0,371	0,146	0,456	0,181
m <sup>2</sup>	Combinado	61	0,713	0,474	0,179	0,418	0,149	0,539	0,208
	Masculino	39	0,557	0,541	0,153	0,445	0,107	0,657	0,198
	Femenino	22	0,882	0,416	0,201	0,358	0,167	0,483	0,236
i <sub>1</sub>	Combinado	81	0,915	0,457	0,122	0,427	0,114	0,488	0,131
	Masculino	51	0,913	0,493	0,114	0,453	0,104	0,535	0,124
	Femenino	30	0,935	0,404	0,137	0,363	0,123	0,450	0,151
i <sub>2</sub>	Combinado	83	0,935	0,492	0,118	0,465	0,111	0,520	0,125
	Masculino	49	0,919	0,521	0,111	0,483	0,101	0,563	0,120
	Femenino	34	0,957	0,460	0,126	0,425	0,116	0,498	0,135
c.	Combinado	70	0,951	0,544	0,131	0,515	0,124	0,576	0,138
	Masculino	42	0,954	0,573	0,124	0,540	0,115	0,610	0,132
	Femenino	28	0,952	0,509	0,139	0,455	0,126	0,568	0,152
m <sub>1</sub>	Combinado	66	0,844	0,505	0,139	0,469	0,125	0,544	0,154
	Masculino	39	0,796	0,557	0,122	0,503	0,101	0,616	0,142
	Femenino	27	0,912	0,450	0,159	0,405	0,139	0,500	0,180
m <sub>2</sub>	Combinado	69	0,935	0,505	0,168	0,480	0,157	0,530	0,179
	Masculino	45	0,931	0,519	0,165	0,486	0,151	0,555	0,179
	Femenino	24	0,963	0,477	0,176	0,448	0,160	0,508	0,191

Capítulo 7: Fórmulas de regresión para la longitud máxima de la dentición decidual



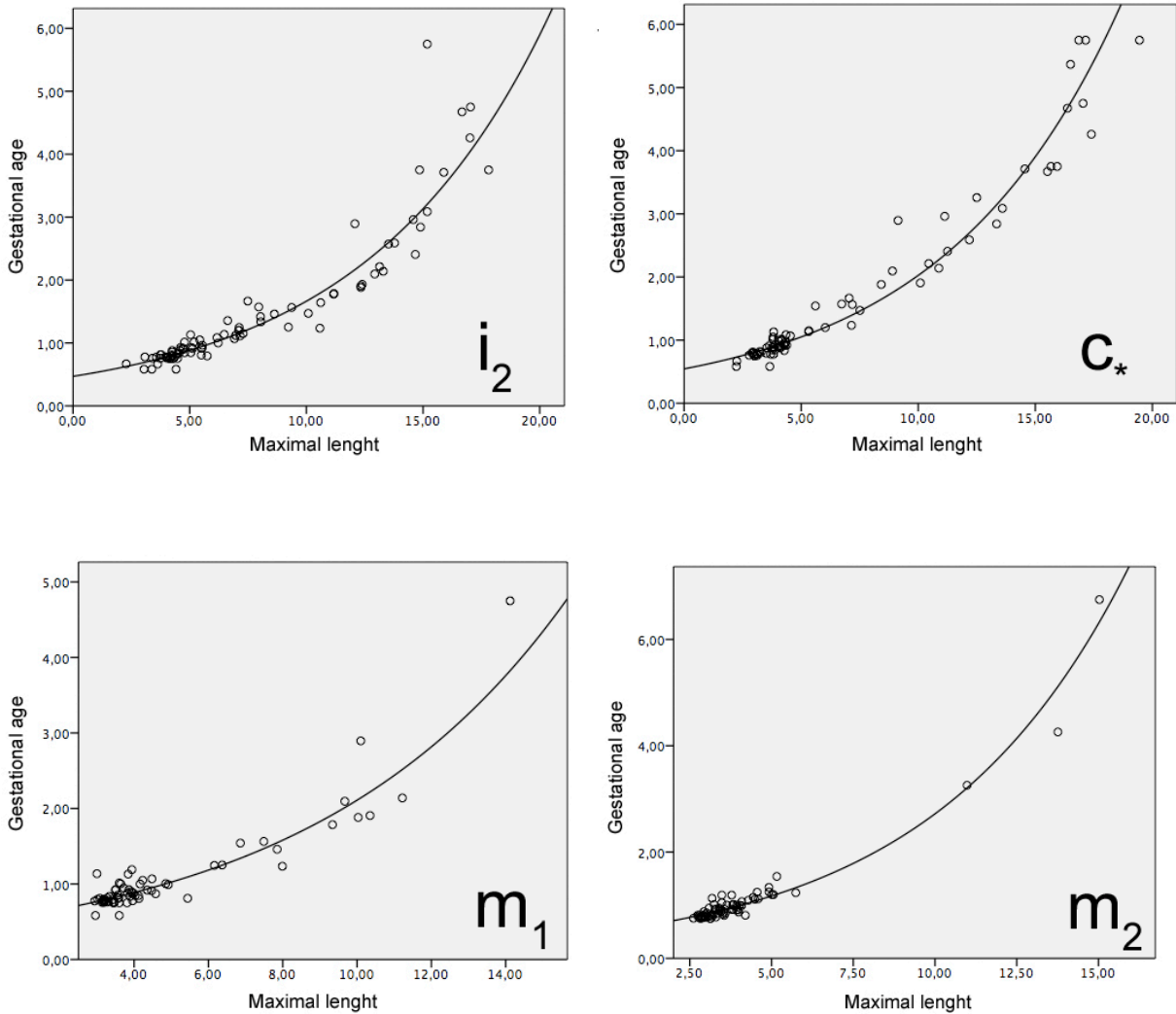


Figura 2: representación de las fórmulas de regresión obtenidas junto a los valores de longitud máxima (mm) y la edad gestacional (años) para cada diente decidua de las hemiarcadas superior e inferior. Los resultados se muestran combinados para ambos sexos.

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la comparación entre las funciones de regresión correspondientes a ambos sexos. En todos los casos el valor de la pendiente ha sido mayor en el sexo femenino que en el masculino, siendo estas diferencias significativas ( $\alpha=0,1$ ) en 6 de los 10 dientes estudiados. Con respecto a las alturas, en todos los casos han sido mayores en el sexo masculino, siendo significativa la diferencia ( $\alpha=0,1$ ) en 2 de los 4 dientes que mostraron pendientes iguales.

**Tabla 4: diferencias por sexo entre las pendientes de regresión. Este análisis emplea los valores de b obtenidos mediante la linealización de los resultados.**

Diente	Femeninos (N)	Masculinos (N)	Comparación entre las pendientes (t)	Comparación entre las alturas (t)
i1	34	55	3.00**	
i2	34	46	1.69*	
c*	24	38	1.88*	
m1	29	43	0.46	1.84**
m2	22	39	1.10*	
i1	30	51	2.39**	
i2	34	49	1.50	0.65
c*	28	42	2.17**	
m1	27	39	1.25	1.23
m2	24	45	0.46	1.69**

\* Diferencias significativas entre ambos sexos  $p < 0.1$ )

\*\* Diferencias significativas entre ambos sexos ( $p < 0.05$ )

### Ejemplo práctico

Como ejemplo práctico de la aplicación de los resultados obtenidos para la estimación de la edad dental, se muestra a continuación un resumen del proceso llevado a cabo en un individuo tomado al azar de la colección osteológica.

Una vez separados e identificados los gérmenes dentales, se toma el valor de la variable longitud máxima ( $L_{max}$ ) para cada uno de ellos, de acuerdo a la definición presentada en el apartado "material y métodos"; este valor se emplea para calcular la edad estimada por cada diente a partir de los valores de "a" y "b" mostrados en la Tabla 2. Gracias a la información *antemortem*, sabemos que se trata de un individuo de sexo masculino, por lo que se emplean los valores de "a" y "b" de la tabla correspondientes a este sexo. A continuación se muestra el proceso llevado a cabo para la aplicación de la fórmula de regresión al primer incisivo superior, el cual presenta una  $L_{max}$ . de 6.36 mm:

$$Eg = a \cdot e^{b \cdot L_{max}} = 0.403 \cdot e^{0.123 \cdot 6.36} = 0.428 \cdot e^{0.78} = 0.403 \cdot 2.19 = 0.88 \text{ años (gestacionales)}$$

Una vez obtenidos los resultados independientes para cada diente, se obtiene el valor promedio de la edad estimada (Tabla 3). Dado que este valor se ofrece como edad gestacional, se le restan 0.75 años equivalentes este periodo. Como resultado, se desprende una edad estimada comprendida entre 0.1 y 0.35 años, con un intervalo de confianza al 95%. La edad real del individuo, calculada a partir de su fecha de nacimiento y defunción es 0.25 años.

**Tabla 5. Ejemplo práctico**

Diente	Lmax	Constantes para la estimación		constantes para el límite inferior		Constantes para el límite superior		EG	Intervalo de confianza al 95%		
		a	b	a	b	a	b		Inferior	Superior	
i1	6.36	0,447	0,110	0,416	0,101	0,48	0,118	0,90	0,79	1,02	
i1	5.22	0,506	0,113	0,463	0,101	0,553	0,124	0,91	0,78	1,06	
m1	4.28	0,487	0,141	0,437	0,122	0,543	0,161	0,89	0,74	1,08	
c*	4.02	0,573	0,124	0,54	0,115	0,61	0,132	0,94	0,86	1,04	
m1	3.64	0,557	0,122	0,503	0,101	0,616	0,142	0,87	0,73	1,03	
m2	3.63	0,519	0,165	0,486	0,151	0,555	0,179	0,94	0,84	1,06	
								Mean GA	0,91	0,79	1,05
								Edad estimada (EG- 0.75)	0,16	0,04	0,30

EG = edad gestacional

## Discusión

Las fórmulas propuestas por Liversidge et. al (1993) para la estimación de la edad en individuos infantiles no ofrecen la validez requerida en esta población. Las diferencias encontradas entre la edad real y la estimada han sido estadísticamente significativas para 6 de los 10 dientes analizados, mostrando una tendencia a la sobreestimación de la edad en 5 de ellos; en los 4 dientes restantes, pese a no existir una tendencia significativa a sobreestimar o a infraestimar la edad, el error medio asumido por este método para los caninos es de  $\pm 0,4$  años, un valor que no es aceptable en relación al grupo de edad estudiado. Los mejores resultados se obtuvieron con el segundo molar superior y el segundo incisivo inferior. Las diferencias encontradas no responden a un patrón uniforme que permita obtener conclusiones respecto a las diferencias existentes entre la maduración dental de las poblaciones británica y mediterránea. Éstas podrían deberse, a diferentes factores, como al reducido volumen de la muestra con la que contó este autor, la

## Capítulo 7: Fórmulas de regresión para la longitud máxima de la dentición decidua

diferente distribución de los individuos con respecto a la edad y el sexo, o a la unificación de resultados de los dientes maxilares y mandibulares propuesta por Liversidge.

Las fórmulas propuestas por Deutsch et al. (1983) también han mostrado ser inadecuadas para nuestra muestra. Las diferencias entre la edad real y la estimada han sido significativas para 4 de los 6 dientes estudiados, mostrando una infraestimación en todos los casos. En este caso, las diferencias han sido mayores que las obtenidas con las fórmulas de Liversidge, mostrando un patrón uniforme de sobreestimación ( $0,1 \pm 0,29$ ), pero igualmente hay que ser precavido a la hora de atribuir dichas diferencias a las diferencias poblacionales, pues pueden estar influenciadas por diferencias en cuanto a la distribución por edades o sexo de las muestras de estudio.

Los resultados obtenidos también pueden ser comparados con los trabajos realizados por Cardoso (2007), quien también testó las fórmulas propuestas por Liversidge et al (1993) en una colección osteológica identificada de origen portugués (2006); en este caso se obtuvo una elevada correlación entre la edad estimada por este método y la edad real de los individuos, por lo que, o bien también existen diferencias significativas entre ambas poblaciones de estudio, o bien estas son debidas a una distribución de sexos y representatividad de las muestras de estudio diferentes; no obstante, este investigador también coincide en las limitaciones que supone la unificación de los datos de los dientes maxilares y mandibulares.

Otros investigadores han estudiado los cambios en el tamaño de los dientes con el objetivo de poder ofrecer estimaciones de la edad en individuos infantiles (Stack 1967, Mörnstad *et al.* 1994, Aka *et al.* 2009, Minier 2013). En este trabajo se ha empleado únicamente la variable "longitud máxima" para desarrollar las fórmulas de regresión, incluyendo el tamaño de la corona y la raíz juntas; por este motivo los resultados obtenidos no pueden ser comparados con muchos de los estudios anteriormente mencionados, en los que se emplean otros métodos de observación, diferentes medidas o fórmulas que incluyen diferentes variables; sin embargo, al igual que en este trabajo, en todo ellos se observan valores de correlación elevados entre las dimensiones dentales y la edad y, con carácter general permiten ofrecer estimaciones con una precisión mayor a la obtenida con los métodos de estimación de la edad esquelética (Scheuer 2004).

Otra diferencia importante con respecto al método propuesto por Liversidge *et al.* (1993) es la utilización en nuestro trabajo de la función exponencial para explicar el crecimiento dental. Esta tendencia no se debe solo a la inclusión de las medidas de los dientes ya formados, ya que, al excluirlos, la función exponencial sigue explicando mejor los resultados que la lineal (Fig. 2). Una vez demostrada la relación exponencial entre las variables "longitud máxima" y "edad gestacional", consideramos correcto incluir aquellas medidas de los dientes ya formados, ya que contribuyen a reducir el error de ajuste de la función al crecimiento de los dientes deciduales; no obstante, no sería correcto aplicar dichas fórmulas a dientes ya formados, ya que el error asumido sería

demasiado elevado. La interpretación de estos resultados sugiere una mayor tasa de crecimiento durante las primeras fases de formación del diente, coincidentes con la formación de la corona, y una tasa de crecimiento menor una vez formada la raíz y conforme ésta crece en longitud.

Los valores de  $R^2$  obtenidos para cada fórmula de regresión indican un nivel de ajuste elevado en la mayoría de las funciones obtenidas, en todos los casos superior cuando se analizan los sexos por separado, al menos, para uno de ellos. Esto se podría interpretar como un indicativo de la reducida variabilidad del proceso de crecimiento en la dentición decidua, lo cual explica la elevada precisión de este método como herramienta para la estimación de la edad en individuos fetales e infantiles.

La comparación entre ambos sexos muestra diferencias significativas ( $\alpha=0,1$ ) en las pendientes para 6 de los 10 dientes analizados, lo que indica que el tamaño medio de los dientes deciduales es mayor en el sexo masculino que en el femenino para unas edades y menor para otras; visto gráficamente, esto se representaría como el cruce de las rectas de regresión. En aquellos dientes que no mostraron diferencias para las pendientes, se compararon las alturas en el origen, mostrando diferencias significativas en 2 de ellos. Estos resultados justifican el uso de fórmulas independientes para cada sexo cuando este dato se conozca. Desde un punto de vista práctico, para la propuesta de las nuevas fórmulas de regresión, debemos considerar que el desarrollo de los dos dientes que no mostraron diferencias significativas también debe ser diferente entre ambos sexos y que, posiblemente, estas no hayan podido ser demostradas debido a la distribución muestral utilizada. La interpretación de los resultados obtenidos para la diferencia entre sexos es la siguiente: el valor de la constante "a" en las funciones de regresión siempre es superior en el sexo masculino, lo que se interpreta como un inicio de la formación de cada diente más tardío que en el sexo femenino. Por otro lado, con respecto al valor de "b", éste es superior en todos los casos para el sexo femenino, por lo que se le atribuye una tasa de crecimiento dental mayor que en el sexo masculino. Estos resultados justifican la utilización de fórmulas independientes para cada sexo cuando este sea conocido.

Han sido ampliamente demostradas las ventajas que supone la estimación de la edad dental frente a la esquelética cuando se estudian individuos infantiles en el contexto de la Antropología Forense. En primer lugar, los dientes son mucho más resistentes ante los procesos de degradación que deterioran el esqueleto, ya que el esmalte constituye el tejido más duro del cuerpo humano (Gómez, 2002); además, la maduración dental se ve menos afectada por factores ambientales o patológicos que otras regiones del organismo (Cameriere, 2007; Cardoso, 2007; Pelsmaekers, 1997), es decir, la variación fenotípica en el proceso de maduración dental está mejor explicada por la influencia de factores genéticos aditivos y no por factores ambientales. En concreto, cuando nos referimos a la dentición decidua, ésta muestra una menor dependencia de estos factores ambientales para su desarrollo que la dentición permanente ya que se desarrolla



## Capítulo 7: Fórmulas de regresión para la longitud máxima de la dentición decidual

durante la vida intrauterina, mientras que la dentición permanente guarda una mayor variabilidad en su desarrollo en relación con factores como la alimentación, estados de salud, crecimiento de los huesos del cráneo adyacentes, etc. (Van Waes, 2004).

Dentro de las técnicas empleadas para la estimación de la edad dental, los métodos métricos también presentan una serie de ventajas con respecto a otros sistemas, como los que utilizan fases de desarrollo para cada diente (Demirjian 1973; Moorrees 1973), o los atlas de desarrollo que muestran esquemas generales del grado de mineralización y erupción dental a diferentes edades como los realizados (Schour 1941; Ubelaker 1989; AlQahtani 2010). Al utilizar una variable continua, los métodos métricos, como el que aquí se propone, ofrecen resultados con una mayor precisión que otros sistemas; además, se reduce el error interobservador al eliminar la subjetividad de los criterios empleados para la definición de las fases de desarrollo.

Al igual que este trabajo, otros estudios recientes ponen de manifiesto la necesidad de adaptar la metodología habitualmente empleada en Antropología Forense a las necesidades actuales de las Ciencias Forenses (Olze *et al.* 2013; Thevissen *et al.* 2012; Minier 2013), diseñando métodos específicos para diferentes grupos poblacionales, ampliando muestras de estudio o haciendo uso de las nuevas tecnologías para mejorar los resultados obtenidos.

La validez de los resultados obtenidos está avalada por la calidad de la colección osteológica empleada. Gracias a sus características, ha sido posible excluir a los individuos patológicos y prematuros y ofrecer resultados independientes para ambos sexos, sin comprometer con ello la representatividad de la muestra. Esto es una circunstancia altamente inusual cuando se estudian restos óseos infantiles en el contexto de la Antropología Física y, sin embargo, debería ser un requisito indispensable para el desarrollo de metodologías en el contexto de la Antropología Forense. Consideramos que las formulas propuestas poseen grados de precisión y exactitud no logrados hasta ahora por otras metodologías en este grupo de edad, y que tienen validez para su aplicación en contextos de Antropología Forense en población mediterránea. Este trabajo no puede considerarse completo, pues la investigación sobre restos óseos infantiles continúa siendo uno de los principales puntos débiles de la Antropología Física, dada la escasez de muestras osteológicas disponibles para su estudio. Los resultados que aquí se han obtenido deberán ser puestos a prueba en colecciones de origen diferente para conocer con la mayor exactitud posible la variabilidad del proceso y, así, demostrar su posible aplicación en otras poblaciones. Además de estos estudios de variabilidad, será importante unificar los datos obtenidos a partir de diferentes colecciones, a fin de subsanar la escasez de muestras suficientemente representativas, y completar el estudio del desarrollo dental para ambos sexos y todos los grupos de edad, con el objetivo de encontrar fórmulas con mayor validez para su aplicación general.

En este trabajo se han ofrecido fórmulas de regresión para el crecimiento de los dientes

deciduales, separadas por sexo y combinadas, como metodología para la estimación de la edad de individuos fetales e infantiles de población mediterránea, hasta ahora no estudiada. Cada fórmula está acompañada del intervalo de confianza al 95% como indicativo del error asumido al aplicarlas. La muestra empleada (N=140) constituye la muestra de estudio más representativa empleada para este tipo de estudios. Por ello, consideramos que constituyen una herramienta metodológica eficaz para la determinación de individuos infantiles en contextos de Antropología Forense.

### **Agradecimientos**

Estamos muy agradecidos a Don José Antonio Muñoz, director de la empresa EMUCESA del Cementerio de San José, Granada; a Doña Maribel Martín, coordinadora de servicios y a todo el personal de dicha empresa por su participación en la formación de la colección; al Ilustrísimo Señor Magistrado Juez del Juzgado de Instrucción Número 5 de Granada, responsable de los Servicios de registro Civil de esta ciudad; a Armando González Martín por su colaboración y a los dos revisores anónimos por sus comentarios y sugerencias.







## **Capítulo 8**

### **Cronología del desarrollo de la dentición decidua en población mediterránea.**



## PRESENTACIÓN

El último artículo presentado en este documento coincide con el anterior en cuanto a que aporta a la metodología habitual empleada en Antropología Forense, una nueva herramienta para la estimación de la edad. En este caso también se ha optado por estudiar el desarrollo dental, pero se ha diseñado un sistema completamente diferente, que permita al antropólogo ofrecer estimaciones de la edad en un mayor número de circunstancias diferentes, habituales en contextos de Antropología Forense, como restos quemados o mal conservados que impidan la evaluación métrica de los dientes.

Este sistema emplea criterios más subjetivos para la evaluación del desarrollo dental, con el consecuente detrimento de la precisión de sus estimaciones; no obstante, constituye un sistema mucho más sencillo, versátil y económico de aplicar que otros similares.

En este caso, el doctorando Javier Irurita también ha diseñado, coordinado y llevado a cabo las principales tareas desempeñadas para esta publicación. Uno de los principales pilares de este artículo ha consistido en el diseño de un nuevo sistema de clasificación por fases de maduración del desarrollo dental, para lo cual, la participación de los coautores expertos en Odontología Forense ha sido fundamental; así mismo, el análisis estadístico de los resultados, muy específico de este tipo de estudios, ha requerido del trabajo conjunto de los coautores. Otras tareas compartidas por todo el equipo han consistido en la repetición de medidas para el cálculo del error, revisión bibliográfica y correcciones en la redacción de la publicación.





## ÍNDICES DE CALIDAD DE LA REVISTA EN LA QUE HA SIDO PUBLICADO.

La elevada versatilidad del sistema diseñado en este artículo, implica que, además se constituir una herramienta de gran utilidad en contextos de Antropología Forense, también resulta de gran interés para otras muchas subdisciplinas relacionadas con la Antropología Física, como la Bioarqueología o la Paleontología. Por este motivo, para la publicación de este trabajo se ha optado de nuevo por la primera revista de su grupo especializada en Antropología Física en todos sus contextos, de tal manera que la difusión de los resultados sea la mayor posible.

Este artículo se encuentra actualmente siendo reevaluado por los revisores de la revista, los cuales han reconocido la importancia y calidad de los resultados obtenidos y han avalado a éste para su publicación; no obstante, en su primera evaluación propusieron modificaciones menores en el artículo que ya han sido incorporadas en este documento y que han supuesto una mejora considerable del trabajo.

**Full Journal Title:** AMERICAN JOURNAL OF PHYSICAL ANTHROPOLOGY  
**ISO Abbrev. Title:** Am. J. Phys. Anthropol.  
**JCR Abbrev. Title:** AM J PHYS ANTHROPOL  
**ISSN:** 0002-9483  
**Issues/Year:** 12  
**Language:** ENGLISH  
**Journal:** UNITED STATES  
**Country/Territory:**  
**Publisher:** WILEY-BLACKWELL  
**Publisher Address:** 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ,  
**Subject Categories:** ANTHROPOLOGY

Journal Title	ISSN	Total Cites	Impact Factor	5-Year Impact Factor	Immediacy Index	Citable Items	Cited Half-life	Citing Half-life
AM J PHYS ANTHROPOL	0002-9483	9359	2.481	2.851	0.690	187	>10.0	>10.0

Category Name	Total Journals in Category	Journal Rank in Category	Quartile in Category
ANTHROPOLOGY	83	7	Q1



# Cronología del desarrollo de la *dentición* decidual en población mediterránea.

Javier Irurita Olivares

Inmaculada Alemán Aguilera

Sandra López Lázaro

Joan Viciano Badal

Miguel Cecilio Botella López

*TÍTULO ABREVIADO:* desarrollo de la dentición decidual

*PALABRAS CLAVE:* dentición decidual; estados de desarrollo; colección osteológica identificada, estimación de la edad.

*PENDIENTE DE PUBLICACIÓN EN:* American Journal of Physical Anthropology

*Am J Phys Anthropol* Índice de Impacto 2.481. Puesto 7 de 83 de su grupo (primer cuartil).

## Resumen

En este estudio se describe el proceso de maduración de la dentición decidual, para ofrecer un nuevo método para la estimación de la edad específico para la población mediterránea. Para ello se ha analizado la colección osteológica de individuos infantiles identificados, ubicada en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, España. Una vez excluidos los individuos prematuros y patológicos, se dispuso de una muestra de estudio compuesta por 138 individuos infantiles (80 niños y 58 niñas), con edades comprendidas entre las 24 semanas de gestación y los 6 años, de los cuales se pudo analizar un total de 1.303 dientes deciduales. Para describir el proceso de maduración dental se definieron 11 fases de mineralización y se estudió el proceso de emergencia alveolar. Para ello se modificaron y combinaron los criterios empleados por Demirjian *et al.* en 1973, Moorrees *et al.* en 1963 y Liversidge *et al.* en 2004, ya que se consideró que éstas planteaban ciertas limitaciones o carencias. La replicabilidad del método está avalada por el reducido error intra- e interobservador cometido al emplear estas fases de desarrollo. Los resultados ofrecen información de la edad de inicio y edad media cada fase de desarrollo, para cada diente decidual, para ambos sexos por separado y de forma combinada.

### Introducción

Los mejores métodos para estimar la edad de un individuo infantil —menor de 6 años— dentro del contexto de la Antropología Física, son aquellos que evalúan el grado de maduración dental, longitud diafisaria de los huesos largos y la presencia/ausencia de núcleos de osificación (Cunha 2009).

Dentro de este conjunto de métodos, la estimación de la edad dental ofrece una serie de ventajas respecto a la edad esquelética: (1) es el único sistema que puede ser empleado de forma uniforme desde la edad prenatal hasta la adolescencia; (2) el esmalte constituye el tejido más duro y resistente del cuerpo humano (Gómez 2002, Ferreira *et al.* 2008, Ubelaker 2009), siendo en muchos casos el único elemento que podrá ser estudiado, sobre todo en contextos arqueológicos; y (3) la maduración dental se ve menos afectada por factores ambientales o patológicos que otras regiones del organismo (Cameriere 2008, Pelsmaekers 1997, Demirjian 1985); es decir, la variación fenotípica en el proceso de maduración dental está mejor explicada por la influencia de factores genéticos aditivos y no por factores ambientales, lo que contribuye a aumentar la precisión de los métodos dentales. En concreto, cuando nos referimos a la dentición decidual, ésta muestra una menor dependencia de estos factores ambientales para su desarrollo que la dentición permanente ya que se produce durante la vida intrauterina (con excepción del primer molar permanente), mientras que la dentición permanente guarda una mayor variabilidad en su desarrollo en relación con factores como la alimentación, estados de salud, crecimiento de los huesos del cráneo adyacentes, etc. (Van Waes 2002).

El grado de maduración dental, por lo tanto, puede ser considerado el método más eficaz para estimar la edad de individuos infantiles. Para evaluarlo, muchos métodos emplean una serie de fases discretas de desarrollo y erupción para cada diente; en este caso destacan autores como Demirjian (1973, 1976), Moorrees y col. (1963a, 1963b), Crétot (2009), Gustafson y Koch (1974), Haavikko (1970), Kronfeld *et al.* (1935) o Liversidge (2004). Estos métodos, presentan como elemento en común el uso de un número concreto de estadios de desarrollo que definen las diferentes etapas de la maduración dental, ya sea en función de la mineralización, erupción o proceso de resorción del diente y cada una de estas fases se pone en relación con la edad del sujeto. Cada diente, por lo tanto, ofrecerá información referente a la edad del individuo; cuanto mayor sea el número de dientes estudiados, mayor precisión y exactitud se podrá obtener en la estimación de la edad.

Con respecto a la definición de los estadios de desarrollo, cada autor establece el número de fases y la descripción de las mismas que considera más apropiadas para los objetivos que plantea en su trabajo; por ejemplo, Demirjian (1973, 1976) estableció 8 estadios de desarrollo por

cada diente y empleó principalmente criterios radiográficos para su identificación; Moorrees y col. (1963a, 1963b) emplearon 17 fases de desarrollo definidas principalmente en función de la fracción de raíz o corona formados, Gustafson y Koch (1974) utilizaron únicamente 4 fases fácilmente distinguibles entre sí, por lo que el error producido al identificarlas se reduce considerablemente. Por otro lado, otros autores, como Liversidge (2004) o AlQahtani (2010), optan en sus investigaciones por emplear modificaciones de las fases establecidas por otros investigadores.

La importancia que tiene la definición de los estadios de desarrollo radica en que de ella depende la precisión del resultado que se obtendrá al aplicar el método. Esta precisión, por un lado, está directamente relacionada con el número de fases en las que se divide el proceso total de maduración dental, y por otro, con los criterios empleados para su definición, ya que de estos dependerá la certeza con la que el investigador pueda discriminar entre una fase u otra. Se han realizado diversos trabajos en los que se ha llevado a cabo la comparación de diferentes sistemas empleados para la descripción de la maduración dental (Dhanjal *et al.* 2006, Maber *et al.* 2006) los cuales han concluido que, en general los resultados más precisos se obtendrían con el sistema de clasificación diseñado por Demirjian (1973). Estos estudios, además, concluyen que aumentando el número de fases se puede aumentar la precisión de los resultados, siempre y cuando estas fases estén claramente definidas; en caso contrario, aumentar el número de fases reduce la exactitud, como sucede con el método de Moorrees *et al.* (1963a, 1963b).

Una revisión bibliográfica referente a este tipo de metodologías muestra un claro sesgo en los estudios de maduración dental relacionados con la dentición decidual, sobre todo debido a la escasez de muestras adecuadas para su estudio. Los trabajos más destacados que describen la cronología del proceso de maduración dental decidual son los presentados por Liversidge *et al.* (2004), Gustafson *et al.* (1974), Moorrees *et al.* (1963b) y Kronfeld *et al.* (1937), en los que cada autor empleó un número de fases y una definición propia de las mismas, así como muestras de diferente origen poblacional y naturaleza —estudios radiográficos, población arqueológica, colecciones osteológicas actuales, etc.—. No obstante, la dificultad de acceso a muestras de estudio adecuadas (Franklin 2010, Saunders, 2008, Lewis 2007), ha provocado que estos estudios ofrezcan estimaciones de la edad orientativas, comprometiendo la posibilidad de comprobar la fiabilidad de sus resultados, ya que, dependiendo del método concreto, presentan problemas como no distinguir en sus resultados entre individuos masculinos y femeninos, la unificación de los datos de los dientes maxilares y mandibulares o la utilización de muestras compuestas por individuos no identificados.

En otro contexto, han sido demostradas las diferencias que pueden existir en las tasas de desarrollo entre diferentes poblaciones (Holman 1998, Olze 2007, Reid and Dean 2008) por lo que, como numerosas revisiones aconsejan (Schmeling *et al.* 2006, Cunha *et al.* 2009, Franklin

## Capítulo 8: Cronología del desarrollo de la dentición decidual

2010, Rissech *et al.* 2013) es necesario emplear métodos específicos diseñados a partir de la misma población que se desea estudiar, o bien, que hayan sido previamente testados en ella. No obstante, dada la dificultad de acceder a muestras de estudio de individuos infantiles suficientemente representativas, este tipo de estudios se encuentran actualmente muy limitados.

Los objetivos planteados en este trabajo han sido los siguientes: (1) estudiar la mineralización y la emergencia alveolar decidual en una colección identificada de origen mediterráneo, con el fin de ofrecer una metodología eficaz para la estimación de la edad en Antropología Física basada en la observación directa del diente; y (2) modificar los sistema de clasificación para los estadios de maduración dental, ya que se ha considerado posible aumentar el número de fases empleadas por Demirjian (1973) sin comprometer la precisión con la que son definidas.

El Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada, España, garantiza la aprobación ética y el cumplimiento con la Legislación de Protección de Datos de este estudio.

### **Material y métodos**

Se ha estudiado el grado de mineralización y a emergencia alveolar de la dentición decidual de 138 esqueletos infantiles identificados pertenecientes a la colección osteológica del laboratorio de Antropología de Granada, España (Alemán *et al.* 2012). La distribución por grupos de edad y sexo puede observarse en la Tabla 1. Esta colección procede del cementerio de San José de esta ciudad; en la actualidad está compuesta por 230 individuos infantiles y, gracias a la existencia de documentos oficiales como actas de nacimiento, defunción y enterramiento, se dispone de información precisa sobre la edad, sexo y causa de muerte de los sujetos que la componen, además de encontrarse en un estado de conservación excelente. Para seleccionar los individuos que han formado parte de este estudio se han tenido en cuenta los siguientes criterios de exclusión: (1) individuos cuya causa de muerte fuera "prematuridad", "debilidad congénita" o "falta de desarrollo", ya que su edad cronológica no está relacionada con la fisiológica; (2) desconocimiento de la edad o el sexo (3) presencia de alguna patología que pudiera alterar el desarrollo dental, como individuos con anencefalia, hidrocefalia, amelogénesis imperfecta, etc.

**Tabla 1: Distribución de la muestra por edad de muerte y sexo.**

Edad	Niños	Niñas	Total
Fetos	5	6	11
0-0,99	56	34	90
1-1,99	9	5	14
2-2,99	2	5	7
3-3,99	4	2	6
4-4,99	1	2	3
5-6	3	4	7
Total	80	58	138

El grado de desarrollo de todos los dientes deciduales (N = 1.303) fue evaluado macroscópicamente mediante la observación directa por el primer autor. La gran mayoría de los dientes estudiados se recuperaron del sustrato sobre el que se encontraban los individuos o entre sus restos de ropa, ya que, debido a su desarrollo incompleto, no quedaron retenidos tras el proceso de esqueletización; no obstante; no obstante, en aquellos casos en los que el diente se encontraba alojado dentro de la cripta alveolar, éste fue extraído cuidadosamente, siempre que para ello no se comprometiera la integridad del diente o del alveolo. Como norma general, los molares cuya raíz se encontraba en avanzado estado de desarrollo, fueron los únicos dientes que quedaron recluidos y, por lo tanto, no incluidos en su totalidad en el estudio.

En la Figura 1 se muestran las nuevas fases de desarrollo en las que ha sido dividido el proceso maduración dental; se han utilizado 11 fases diferentes, definidas a partir de la modificación y combinación de los criterios empleados por Demirjian (1973, 1976) y Moorrees (1963a, 1963b), además de añadir otros propios. Los objetivos perseguidos con esta nueva tabla de fases han sido los siguientes: (1) aumentar al máximo el número de fases de desarrollo en las que se puede dividir la maduración dental, sin comprometer la precisión con la que el investigador pueda distinguir entre ellas; (2) ofrecer criterios que permitan su identificación a través de la observación directa del diente, condición más habitual cuando se estudian restos infantiles esqueletizados; (3) eliminar criterios de estimación subjetivos, como el empleo de fracciones de raíz o corona formadas, los cuales son imposibles de identificar con exactitud si no se conoce el tamaño total que tendrá dicha estructura. Las principales modificaciones han sido las siguientes: (1) utilización de la profundidad de la fosa oclusal en molares para poder dividir en 2 fases la formación de la corona (ver fases 3 y 4 en Fig. 2); éste es un rasgo variable entre individuos y entre poblaciones, no obstante, esta variación quedará reflejada en la desviación estándar de los resultados; (2) "la mitad de la altura de la corona" para las fases 6 y 7; éste es un valor muy concreto y fácilmente cuantificable (altura de la corona dividida entre 2), pero debido a sus reducidas dimensiones es necesario utilizar un calibre.



**MACROSCOPIC CRITERIA FOR EVALUATING THE DEGREE OF TOOTH MATURATION**








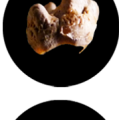



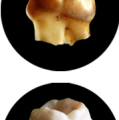









Stage	Description	Molars	Incisors/canines
1	- Molars: partially fused cusps. Incomplete external occlusal line.		
2	- Molars: coalescence of cusp tips. Occlusal surface incomplete. - Incisors and canines: maximum mesiodistal diameter* not yet reached.		
3	- Molars: complete occlusal surface. - Incisors and canines: complete maximum mesiodistal diameter.		
4	- Molars: depth of sulcus between principle cusps less than the minimum height of the germ. - Incisors and canines: complete lingual fossa. - General: no root formation observed.		
5	- Initial evidence of root formation. The cementoenamel junction is incomplete.		
6	- Complete crown. Cementoenamel junction visible around the tooth circumference. - The length of the root is less than half the height of the crown (use caliper).		
7	- The length of the root** is equal to or more than half of height of the crown (caliper).		
8	The length of the root is equal to or more than height of the crown (caliper).		
9	- Apex $\leq$ 1 mm but divergent edges remain present.		
10	- Very small apex with convergent edges.		
11	- Initiation of root resorption.		

Figura 1. Criterios macroscópicos empleados para asignar las fases de mineralización dental.

\* Distancia entre dos planos paralelos, tangenciales a los puntos más mesial y distal de la corona (Hillson, 2005)

\*\* Desde el punto medio de la línea sagital de la superficie bucal de la raíz. entre la línea cervical y el extremo de la raíz en desarrollo (Hillson et al. 2005). En dientes multiradiculares observar siempre la raíz mesiobucal, ya que en dientes deciduales es más larga y madura después (Liversidge 2004).

En la figura 2 se ilustra de forma esquemática cómo distinguir entre las fases 3 y 4 de la corona y las fases 6, 7 y 8 de la raíz, ya que estas fases pueden conllevar una mayor dificultad para su identificación. Las fases 6, 7 y 8 requieren la utilización de un calibre digital.

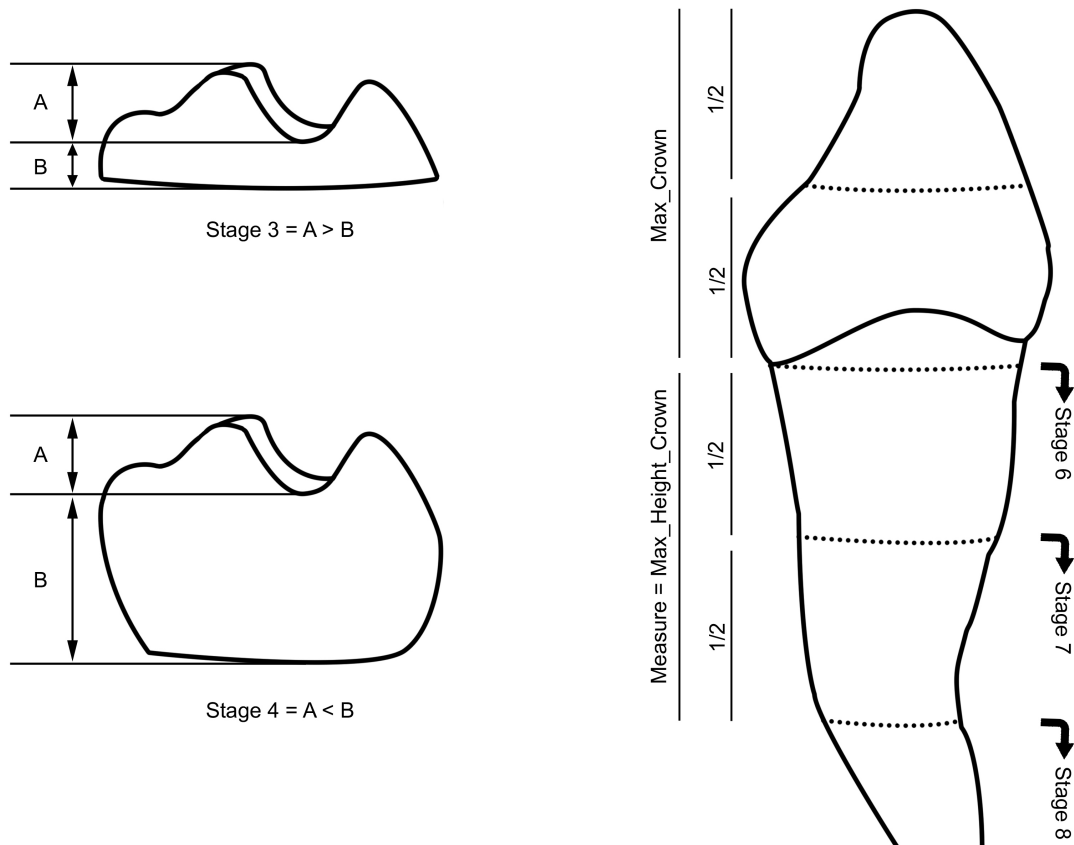


Figura 2. A la izquierda, representación esquemática para la identificación de las fases 3, 4; A: profundidad de la fosa oclusal; B: altura mínima de la corona. A la derecha, representación esquemática para la identificación de las fases 6, 7 y 8.

Para evaluar el proceso de erupción alveolar de cada diente, se llevó a cabo de forma directa mediante la observación lateral de la mandíbula o el maxilar; este proceso fue dividido en 3 fases fácilmente identificables (Fig 3): (1) el diente no ha comenzado la emergencia alveolar: ninguna fracción de la corona está expuesta fuera de la cripta alveolar (2) el diente ha comenzado la emergencia alveolar: al menos una pequeña cúspide se observa fuera de la cripta, pero la corona no está totalmente expuesta y (3) emergencia alveolar completa: la corona se encuentra totalmente expuesta.

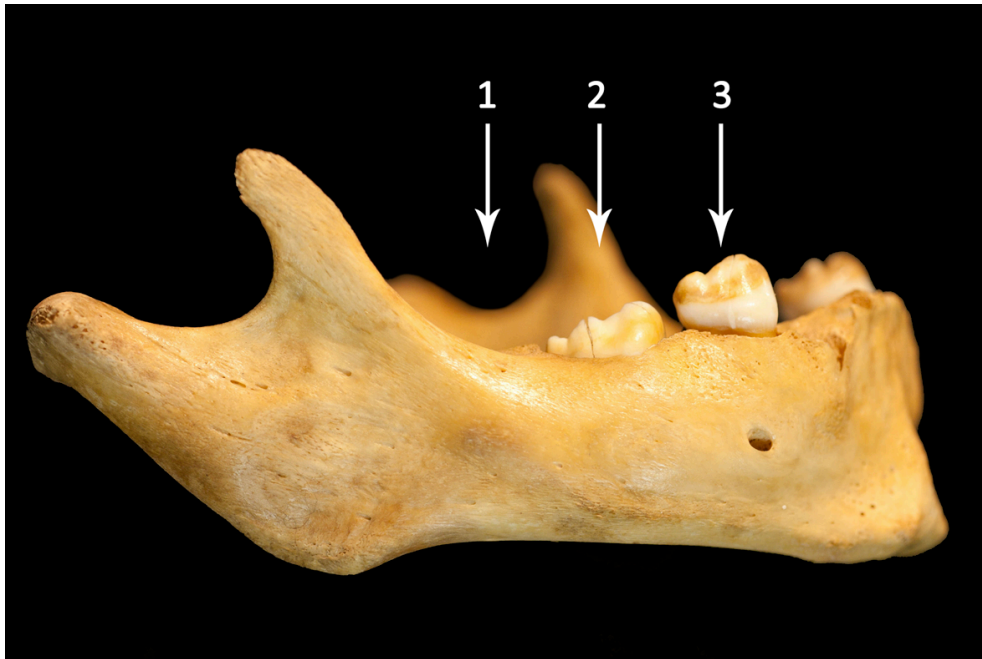


Figure 3. Estados de erupción utilizados. 1: la emergencia alveolar no ha comenzado. 2: La emergencia alveolar ha comenzado. 3: emergencia alveolar completa.

El error intra- e interobservador cometido al emplear las nuevas fases de desarrollo, fue evaluado un mes después de la primera toma de datos; para ello se repitió el proceso en 25 individuos tomados al azar, por parte del primer observador y por un observador diferente y se calculó el coeficiente Kappa (Ferrante *et al.* 2009) y el porcentaje de asignaciones coincidentes en ambos casos. Se evaluó la simetría derecha-izquierda entre el desarrollo de todos los dientes deciduales usando el test de Wilcoxon, y resultó que no existen diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0.05$ ), por lo que para el resto de los análisis se unificaron los datos de las hemiarquadas derecha e izquierda. La simetría superior-inferior no fue evaluada, ya que existen diferencias morfológicas entre los dientes maxilares y mandibulares que impiden una comparación correcta.

Se utilizaron dos métodos de análisis independientes y complementarios para describir, de la forma más completa posible, el proceso de maduración dental decidual (Smith 1991). Las diferencias en el desarrollo dental entre ambos sexos ya han sido demostradas en esta misma colección en estudios previos (Irurita *et al.* 2013), por lo que en ambos casos los resultados se ofrecen de forma independiente para cada sexo y cada diente maxilar y mandibular:

1. En primer lugar, para conocer la cronología del proceso de maduración dental, se ha calculado la edad media de inicio para cada fase de desarrollo. Para ello se ha partido de la base de que el cambio de una fase a otra se produce según una función logística de frecuencia acumulada y se ha calculado el punto medio de esta curva como valor más

aproximado a aquel en el que el 50% de los individuos han alcanzado la fase (Smith 1991). En condiciones ideales la regresión probit es el método más adecuado para calcular este valor (edad de inicio), no obstante, dado que en este estudio las observaciones fueron reducidas para algunos de los cambios de fase (Tabla 2), se ha optado por calcular en todos los casos la media de las edades de los individuos que se encontraban entre el individuo de mayor edad que no hubiera alcanzado la fase y el más joven que sí la hubiera alcanzado (Smith 1991).

2. En segundo lugar, con la intención de ofrecer una herramienta para la estimación de la edad, se ha calculado la edad media y la desviación estándar de los individuos que presentaron cada fase de desarrollo. Con distribuciones de muestra más adecuadas, la edad media por fase también puede ser calculada como el punto medio entre la edad de inicio de una fase y la siguiente (Smith 1991), no obstante, al igual que en caso anterior, este valor podría ser incorrecto para varias de las fases analizadas.

## **Resultados**

La edad medio y desviación estándar para el inicio de cada fase de mineralización y para el proceso de erupción alveolar se muestran en la Tabla 2. En la Figura 4 se muestran los mismos resultados representados de forma esquemática. Los valores de edad media y desviación estándar para cada fase de desarrollo y para el proceso de erupción dental se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 2. Edad (años) (con desviación estandar) de inicio de las fases de desarrollo para cada diente decidual y ambos sexos**

Sex	Fase	i <sup>1</sup>			i <sup>2</sup>			c*			m <sup>1</sup>			m <sup>2</sup>			i <sub>1</sub>			i <sub>2</sub>			c.			m <sub>1</sub>			m <sub>2</sub>						
		N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS				
masculino	2												13	0.17	0.07											6	0.01	0.01	16	0.16	0.07				
	3							2	0.03	0.03	4	0.01	0.01	20	0.23	0.10										6	0.03	0.01	7	0.01	0.01	23	0.23	0.10	
	4	16	0.02	0.04	2	-0.08	0.12	14	0.18	0.08	20	0.15	0.06	22.0	0.24	0.11				4	-0.02	0.05	10	0.26	0.06	10	0.12	0.05	4	0.37	0.01				
	5	24	0.07	0.06	9	0.20	0.06	9	0.69	0.15	13	0.28	0.07	10	0.66	0.16				22	0.08	0.05	13	0.24	0.10	7	0.72	0.16	4	0.36	0.03	7	0.68	0.17	
	6	20	0.21	0.11	11	0.24	0.08	3	0.85	0.06	11	0.45	0.09	2	1.00	0.12				18	0.26	0.12	11	0.44	0.09	2	0.98	0.09	10	0.45	0.09	2	1.00	0.12	
	7	7	0.43	0.08	11	0.52	0.17	2	1.14	0.02	2	1.06	0.03							16	0.59	0.20	9	0.67	0.15	2	1.14	0.02	2	0.98	0.09				
	8	2	1.06	0.03	3	1.08	0.05	2	2.19	1.03										9	0.73	0.13	2	1.14	0.02	2	2.19	1.03							
	9	2	2.19	1.03	2	2.19	1.03	2	3.25	0.36										2	1.58	0.16	2	2.19	1.03	2	3.25	0.36							
	10	4	2.97	0.04	4	2.97	0.04	2	4.06	0.78										4	2.97	0.04	2	3.00	0.00	2	4.06	0.78				2	4.75	1.76	
	11	2	4.81	0.27	2	4.81	0.27													2	4.81	0.27													
	Ei	6	0.7	0.14	9	0.77	0.16	6	0.91	0.12	5	0.88	0.09	4	1.37	0.25	8	0.74	0.14	10	0.78	0.19	3	1.16	0.02	6	0.91	0.12							
Ee	2	1.11	0.03	2	1.11	0.03	2	2.19	1.03	2	1.17	0.02	2	2.30	0.87	2	1.05	0.04	2	1.11	0.03	2	2.19	1.03	2	1.17	0.02	2	2.30	0.87					
femenino	1																																		
	2									3	-0.17	0.00	8	0.04	0.03														4	0.05	0.02				
	3	2	-0.21	0.06	4	-0.15	0.04	2	0.11	0.03	2	-0.17	0.00	16	0.09	0.06				4	-0.15	0.04	11	0.04	0.10	10	0.00	0.06	13	0.12	0.05				
	4	2	-0.17	0.00	2	-0.04	0.06	2	0.38	0.29	5	0.15	0.02	5	0.18	0.03	2	-0.17	0.00	10	-0.03	0.08	2	0.25	0.11	10	0.10	0.05	2	0.35	0.14				
	5	17	0.05	0.08	10	0.10	0.05							2	0.48	0.04	11	0.10	0.05	4	0.17	0.00	2	0.58	0.19	2	0.37	0.18	5	0.61	0.19				
	6	11	0.12	0.06	4	0.15	0.02	2	0.72	0.01	2	0.31	0.20	2	0.92	0.04	5	0.15	0.14	2	0.29	0.06	2	0.83	0.16	2	0.50	0.00	2	0.92	0.04				
	7	2	0.52	0.09	4	0.56	0.11	3	1.06	0.25	2	1.12	0.32				2	0.35	0.14	2	0.72	0.01	3	1.79	0.38	2	0.83	0.17	2	1.93	0.82				
	8	2	1.12	0.32	2	0.92	0.04	2	2.42	0.12	2	1.99	0.22				2	0.72	0.01	2	1.15	0.28	2	2.42	0.12	2	2.33	0.26							
	9	6	2.23	0.43	3	1.91	0.21	4	4.23	0.51							2	1.55	0.29	6	1.86	0.30	2	3.46	0.65										
	10	2	2.67	0.47	2	3.46	0.65	5	4.38	0.56							4	1.89	0.17	2	2.67	0.47	4	4.23	0.51										
	11	5	4.38	0.56	5	4.78	0.86										2	5.00	0.00							2	4.5	0.71							
Ei	2	0.65	0.09	2	0.65	0.09	2	1.15	0.28	2	0.65	0.09	2	1.83	0.01	2	0.65	0.09	2	0.72	0.01	2	1.12	0.32	3	0.77	0.10	2	1.99	0.22					
Ee	2	0.81	0.12	2	0.92	0.04	6	2.14	0.27	2	1.12	0.32	2	2.42	0.12	3	0.77	0.10	2	1.12	0.32	2	2.42	0.12	2	1.15	0.28	5	2.21	0.25					
Combinados	1																																		
	2									3	-0.17	0.00	35	0.12	0.08											25	0.01	0.06	36	0.13	0.07				
	3	4	-0.19	0.04	5	-0.15	0.04	5	0.06	0.02	12	-0.02	0.07	41	0.16	0.11				5	-0.13	0.05	26	0.05	0.07	25	0.01	0.06	44	0.17	0.11				
	4	29	0.00	0.07	2	-0.04	0.06	20	0.17	0.07	29	0.19	0.10	32	0.21	0.10	2	-0.17	0.00	17	-0.02	0.06	13	0.26	0.07	28	0.10	0.05	4	0.37	0.01				
	5	46	0.05	0.09	32	0.16	0.11	13	0.70	0.14	13	0.28	0.07	15	0.65	0.16	26	0.09	0.05	22	0.22	0.09	8	0.72	0.15	4	0.36	0.03	12	0.65	0.17				
	6	39	0.16	0.11	23	0.21	0.10	6	0.83	0.07	13	0.46	0.09	2	0.93	0.02	22	0.21	0.10	14	0.44	0.09	6	0.84	0.08	12	0.46	0.08	2	0.93	0.02				
	7	9	0.45	0.09	16	0.54	0.16	7	1.06	0.16	2	1.06	0.03				23	0.60	0.18	13	0.68	0.15	6	1.56	0.37	2	0.93	0.02	2	1.93	0.82				
	8	2	1.06	0.03	6	1.00	0.10	2	2.42	0.12	2	1.99	0.22				13	0.73	0.12	2	1.14	0.02	2	2.42	0.12	2	2.33	0.26							
	9	9	2.60	0.46	3	1.91	0.21	6	4.17	0.54							3	1.50	0.17	7	1.80	0.31	2	3.25	0.36										
	10	6	2.87	0.26	4	2.97	0.04	6	4.42	0.51							9	2.33	0.51	2	3.00	0.00	7	4.51	0.52							2	4.75	1.76	
	11	6	4.42	0.51	7	4.79	0.71										3	4.87	0.22							2	5.50	0.71							
Ei	9	0.66	0.12	14	0.77	0.15	14	1.93	0.60	9	0.83	0.10	7	1.43	0.25	12	0.74	0.13	14	0.77	0.17	3	1.16	0.02	11	0.87	0.12	2	1.99	0.22					
Ee	8	0.89	0.12	2	1.11	0.03	8	2.34	0.44	2	1.17	0.02	2	2.42	0.12	13	0.76	0.15	2	1.11	0.03	2	2.42	0.12	2	1.17	0.02	5	2.21	0.25					

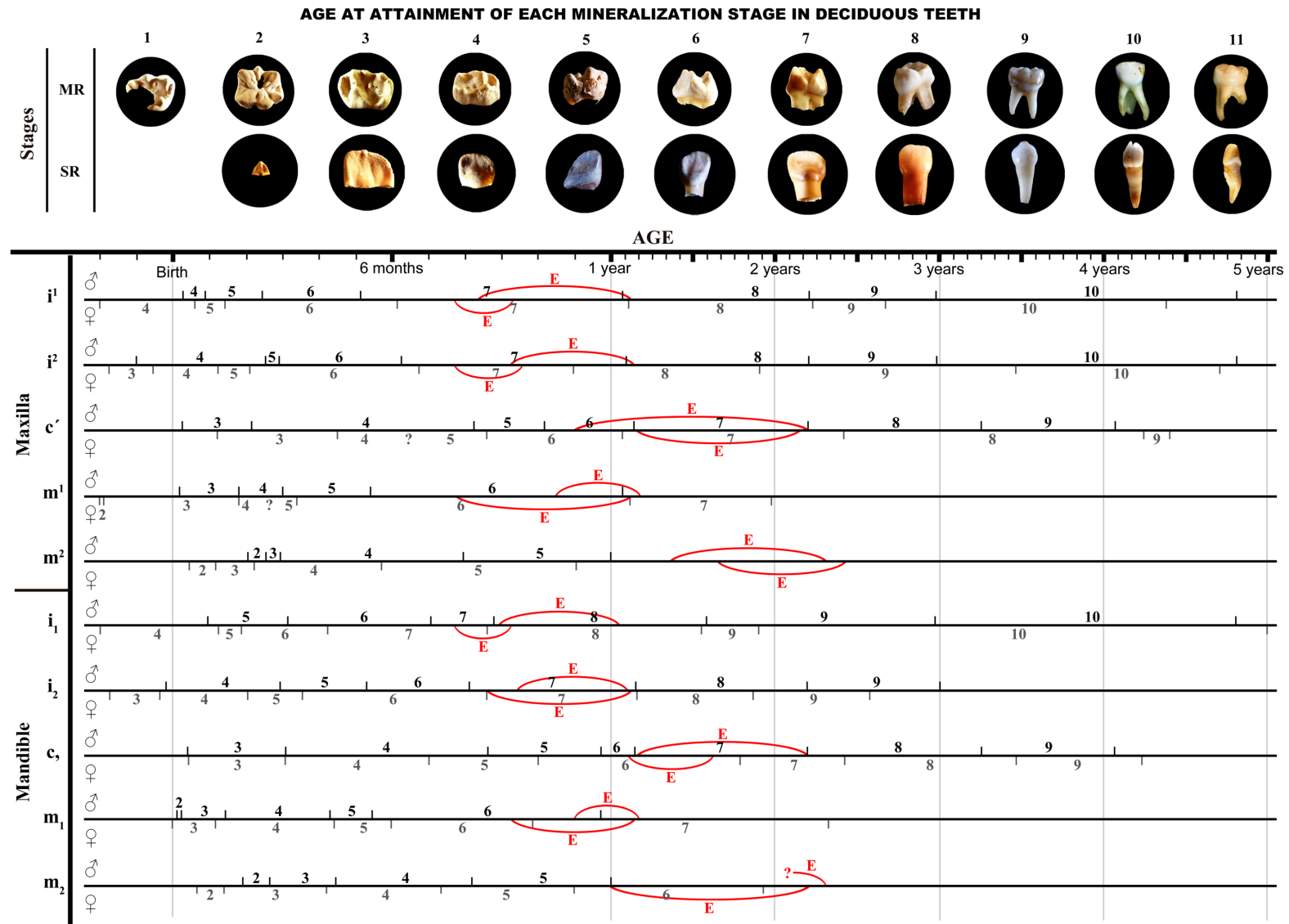


Figura 4. Edad de inicio de las fases de mineralización y erupción de la dentición decidua. MR: dientes monoradiculares; UR: dientes uniradiculares; E: proceso de erupción.

Tabla 3. Valores para la predicción de la edad (años) (con desviación estándar) para cada fase de desarrollo, diente decidual y sexo.

Sex	Fase	i <sup>1</sup>			i <sup>2</sup>			c*			m <sup>1</sup>			m <sup>2</sup>			i <sub>1</sub>			i <sub>2</sub>			c.			m <sub>1</sub>			m <sub>2</sub>							
		N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS	N	Media	DS					
Masculino	1												10	0.09	0.09											1	0.02		16	0.10	0.11					
	2							4	0.08	0.15	2	0.02	0.01	6	0.20	0.11									4	0.02	0.02	2	0.02	0.02	4	0.21	0.12			
	3	3	-0.03	0.12	1	-0.17		13	0.16	0.08	18	0.12	0.11	10	0.31	0.07				1	0.01				18	0.16	0.11	13	0.06	0.06	12	0.23	0.10			
	4	13	0.05	0.07	15	0.08	0.11	10	0.55	0.27	6	0.27	0.08	9	0.55	0.25				9	0.04	0.08	22	0.10	0.12	10	0.51	0.27	12	0.22	0.10	9	0.58	0.20		
	5	10	0.16	0.14	5	0.21	0.09	1	0.48		7	0.34	0.18	4	0.64	0.19				13	0.19	0.14	5	0.33	0.20	2	0.65	0.23	6	0.37	0.18	2	0.58	0.13		
	6	11	0.27	0.16	13	0.46	0.27	3	0.99	0.16	11	0.68	0.22	1	1.08					10	0.49	0.29	7	0.56	0.24	2	1.08	0.07	7	0.64	0.21	2	1.11	0.03		
	7	8	0.77	0.25	6	0.73	0.33	2	1.31	0.22	2	1.36	0.46							6	0.62	0.20	8	0.78	0.26	2	1.31	0.22	4	1.25	0.29					
	8	5	1.19	0.16	4	1.21	0.18	4	2.97	0.04										8	1.10	0.32	3	1.27	0.17	4	2.97	0.04								
	9	1	3.00		1	3.00		1	3.51											2	2.23	1.09	3	2.96	0.04	1	3.51				1	3.51				
	10	6	3.67	0.92	6	3.67	0.92	3	5.21	0.71	1	6.00								7	3.59	0.86	4	4.28	1.33	3	5.21	0.71	1	6.00		1	6.00			
	11	2	5.31	0.98	2	5.31	0.98													1	4.62															
E	8	0.80	0.21	4	0.81	0.24	5	1.15	0.23	4	1.05	0.16	1	1.16					4	0.83	0.15	2	0.66	0.22	3	1.25	0.18	3	1.04	0.20						
Femenino	1									1	-0.17		7	0.05	0.06											1	0.06		8	0.03	0.03					
	2	1	-0.17		2	-0.17	0.12	5	0.03	0.04	1	-0.17		2	0.12	0.02				1	-0.08		5	-0.02	0.12	3	-0.05	0.11	4	0.11	0.05					
	3	1	-0.25		3	-0.17	0.00	5	0.16	0.01	15	0.03	0.07	7	0.14	0.07	1	-0.17		3	-0.10	0.11	9	0.07	0.11	11	0.03	0.08	9	0.16	0.07					
	4	8	0.01	0.09	8	0.04	0.06	2	0.65	0.09	5	0.15	0.02	3	0.22	0.26	11	0.02	0.08	14	0.05	0.09	2	0.39	0.08	7	0.15	0.07	3	0.63	0.23					
	5	9	0.06	0.10	7	0.10	0.05							4	0.66	0.19	3	0.11	0.02	3	0.19	0.05	1	0.95		1	0.50		2	0.58	0.18					
	6	6	0.23	0.15	3	0.33	0.33	3	1.00	0.32	4	0.66	0.19	2	1.55	0.85	5	0.14	0.08	4	0.50	0.16	3	1.40	0.71	2	0.60	0.15	2	1.15	0.28					
	7	4	0.73	0.13	5	0.64	0.20	8	1.82	0.50	3	1.63	0.45				5	0.55	0.10	3	0.85	0.12	4	1.99	0.48	4	1.46	0.50	1	2.51						
	8	4	1.97	0.78	5	1.52	0.48	3	3.45	1.39	1	1.84					5	1.21	0.57	4	1.88	0.40	3	3.45	1.39	1	2.51									
	9	3	1.96	0.22	4	2.33	0.51	2	4.50	0.71							1	2.21		4	1.83	0.39	2	4.00	0.00											
	10	7	4.18	0.96	4	4.98	0.85	4	4.73	0.98	1	4.00					8	3.08	1.28	7	4.42	0.98	4	4.98	0.85	2	4.50	0.71								
	11	4	4.73	0.98	3	4.31	0.60										1	5.00								1	5.00									
E	2	0.80	0.13	3	0.77	0.10	6	1.91	0.47	3	0.77	0.10	4	2.18	0.27	1	0.89		2	0.81	0.12	6	1.91	0.47	3	0.79	0.13	2	2.36	0.21						
Combinado	1									1	-0.17		17	0.07	0.08											2	0.04	0.03	24	0.07	0.10					
	2	1	-0.17		2	-0.17	0.12	9	0.05	0.10	3	-0.04	0.11	8	0.18	0.10				1	-0.08		9	0.00	0.09	5	-0.02	0.08	8	0.16	0.10					
	3	4	-0.09	0.15	4	-0.17	0.00	18	0.16	0.07	33	0.08	0.10	17	0.24	0.11	1	-0.17		4	-0.07	0.11	27	0.13	0.12	24	0.05	0.07	21	0.20	0.09					
	4	21	0.04	0.08	23	0.07	0.10	12	0.57	0.25	11	0.21	0.08	12	0.47	0.28	20	0.03	0.08	36	0.08	0.11	12	0.49	0.25	19	0.19	0.10	12	0.60	0.20					
	5	19	0.11	0.13	12	0.15	0.09	1	0.48		7	0.34	0.18	8	0.65	0.18	16	0.18	0.13	8	0.28	0.17	3	0.75	0.24	7	0.39	0.17	4	0.58	0.13					
	6	17	0.26	0.15	16	0.44	0.27	6	1.00	0.23	15	0.67	0.21	3	1.39	0.66	15	0.37	0.29	11	0.54	0.21	5	1.28	0.54	9	0.63	0.19	4	1.13	0.16					
	7	12	0.76	0.21	11	0.69	0.27	10	1.72	0.50	5	1.52	0.42				11	0.59	0.16	11	0.80	0.22	6	1.76	0.52	8	1.35	0.40	1	2.51						
	8	9	1.54	0.64	9	1.38	0.40	7	3.17	0.84	1	1.84					13	1.14	0.41	7	1.62	0.44	7	3.17	0.84	1	2.51		1	3.51						
	9	4	2.22	0.55	5	2.46	0.54	3	4.17	0.76							3	2.22	0.77	7	2.31	0.67	3	3.84	0.28											
	10	13	3.94	0.94	10	4.19	1.08	7	4.93	0.84	2	5.00	1.41				15	3.32	1.10	11	4.37	1.06	7	5.08	0.74	3	5.00	1.00	1	6.00						
	11	6	4.92	0.92	5	4.71	0.85							1	0.36		2	4.81	0.27							1	5.00									
E	10	0.80	0.19	7	0.79	0.18	11	1.56	0.54	7	0.93	0.20	5	1.97	0.51	5	0.84	0.13	4	0.73	0.17	9	1.69	0.50	6	0.92	0.20	2	2.36	0.21						

Los resultados obtenidos para la comprobación del error intra- e interobservador se muestran en las Tablas 4 y 5. En ningún caso se produjo una discrepancia entre las observaciones mayor de 1 fase de desarrollo.

**Tabla 4: Error intra- e interobservador: coeficiente Kappa (K) y % de concordancia para las fases de mineralización y el proceso de erupción**

		Intra-observer error			Inter-observer error	
		N	K	% concordancia	K	% concordancia
Mineralización	Monorradiculares	104	0.72	76.0	0.77	81.7
	Multirradiculares	64	0.83	85.7	0.85	87.5
	Combinados	168	0.78	81.5	0.82	85.1
Erupción		174	0.85	94.2	0.82	89.1

**Tabla 5: Error intra- e interobservador: % de correlación por cada fase de mineralización**

Fase	N	% concordancia	
		Error intraobservador	Error interobservador
1	18	88.9	88.9
2	15	73.3	93.3
3	39	89.7	74.4
4	45	80.0	91.1
5	11	81.8	72.7
6	11	90.9	90.9
7	21	76.2	85.7
8	4	50.0	75.0
9	1	100	100
10	3	33.3	100

### Cómo utilizar los resultados

Los resultados obtenidos en este trabajo podrán ser utilizados para la estimación de la edad siempre que se cumplan los siguientes requisitos: (1) el sujeto de estudio debe ser de población mediterránea; en caso contrario hay que considerar un posible incremento del error asumido; (2) las fases de desarrollo se deben asignar mediante la observación directa del diente; y (3) se deben considerar posibles factores que incrementen el error, como un nacimiento prematuro o condiciones patológicas del sujeto de estudio.

Para utilizar los resultados obtenidos como método para la estimación de la edad, hay que plantearse dos supuestos escenarios, dependiendo de los cuales se empleará el dato de “edad de



## Capítulo 8: Cronología del desarrollo de la dentición decidua

inicio de cada fase de desarrollo” (Figura 5) o el correspondiente al “intervalo de edad estimada correspondiente a cada fase de desarrollo” (Tabla 2):

1. Para obtener un valor de la edad estimada orientativo; por ejemplo, en muchos contextos arqueológicos, cuando se trabaja con poblaciones con un elevado número de individuos o cuando únicamente se precisa ubicar al sujeto en un grupo de edad amplio. En estos casos, se puede emplear el esquema de la Figura 4, obtenido a partir de los valores para el inicio de cada fase mostrados en la Tabla 2. Este sistema es que es fácil y rápido de aplicar.
2. Para obtener un intervalo de edad estimada lo más preciso y exacto posible. Esta situación puede plantearse en contextos forenses o cuando se establezcan comparaciones entre individuos dentro de un mismo grupo de edad. En estos casos se recomienda estimar la edad correspondiente a cada diente de forma independiente utilizando los valores de edad media y desviación estándar correspondientes a cada fase de desarrollo (Tabla 3) y después obtener el intervalo promedio cuando la media de los límites inferiores y la media de los límites superiores.

Es importante tener en cuenta, sobretodo en contextos forenses, que debido a la naturaleza de las variables estudiadas, este tipo de estudio no permite ofrecer intervalos de confianza para la estimación de la edad, por lo que deberá ser la experiencia del antropólogo la que evalúe los resultados obtenidos (Smith 1991).

### **Discusión**

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten conocer la cronología general del proceso de maduración de la dentición decidua desde las 24 semanas de gestación hasta los 6 años, mostrando la edad media a la que se produce el tránsito de una fase de desarrollo a la siguiente (Tabla 2; Figura 4); obviamente este tránsito no se produce de manera puntual, sino que es un cambio progresivo, por lo que se trata de un dato que debe ser utilizado únicamente de manera orientativa. Por otro lado, también se muestra el valor medio y la dispersión de las edades a las que se puede encontrar cada fase de desarrollo, permitiendo así conocer de manera más realista la duración de cada fase y la variabilidad intrapoblacional (Tabla 3). Esto permite que los datos obtenidos también puedan ser utilizados para ofrecer estimaciones de la edad más rigurosas, por ejemplo, en contextos forenses.

El reducido error cometido al asignar las fases de desarrollo avala la replicabilidad del método. Según la interpretación de los valores de Kappa mostrados en la Tabla 4 (Ferrante *et al.*

2009), se ha obtenido una buena concordancia para el error intraobservador para la evaluación del estado de mineralización y una muy buena concordancia para el interobservador; en ambos casos los resultados han sido mejores para la evaluación de los dientes multirradiculares que para los monoradulares. Para el proceso de erupción, en ambos casos se ha obtenido una muy buena concordancia. La evaluación del % de correlación por cada fase (Tabla 5) muestra que los peores resultados se obtienen en las fases 8 y 10, las cuales son difíciles de distinguir de la fase 9 en el periodo "interfase". Con respecto a las fases que han incluido más modificaciones en los criterios para su identificación (3,4,6 y 7), los resultados son muy positivos, indicando que estas nuevas definiciones permiten una buena repetibilidad y reproducibilidad de este sistema de clasificación. Si se comparan estos resultados con los obtenidos por otros sistemas de clasificación (Dhanjal *et al.* 2006, Maber *et al.* 2006), se puede concluir que el aumento en el número de fases, con respecto a otros métodos, como el de Demirjian *et al.* (1973), puede haber representado un aumento en la precisión de los resultados sin que ello comprometa la exactitud del método.

Uno de los objetivos de las nuevas definiciones de las fases de desarrollo propuestas en este estudio ha sido eliminar criterios empleados por otros autores que únicamente podían ser identificados mediante el uso de radiografías, como la forma de la cámara pulpar (Demirjian 1973, Liversidge 2004). Esto permitirá ampliar la aplicabilidad del método a partir de la observación directa del diente, lo cual es la condición más habitual cuando se estudian individuos infantiles esqueléticos, ya que los dientes deciduales, generalmente, no quedan reclusos en el alveolo; no obstante, los resultados obtenidos en este trabajo no permiten aplicarlos por ahora a estudios radiográficos, ya que aún no ha sido demostrada la posibilidad de asignar de forma correcta estas fases de desarrollo a un mismo diente, independientemente del método de observación (Beynon *et al.* 1998, Kuykendall 2001).

Una revisión de la literatura referida a la cronología de la maduración dental muestra una gran cantidad de métodos diferentes destinados a estimar la edad dental en individuos infantiles (AlQahtani 2010, Cameriere 2006, Crétot 2009, Demirjian 1973, Demirjian 1976, Gustafson 1974, Haavikko 1970, Liversidge 1993, Liversidge 2004, Moorrees 1963a, Moorrees 1963b, Schour 1941, Ubelaker 1989, Nolla 1960). Difieren unos de otros con respecto al sistema empleado — atlas, métricos, de conteo, observación directa, uso de radiografías, etc.—, número de estados de mineralización en los que dividen el proceso, definición de estos o la presentación de los resultados. Todos ellos presentan ventajas e inconvenientes en función de la población de estudio, rangos de edad u objetivos concretos de la investigación. Las principales desventajas que implica el tipo de análisis realizado en este trabajo, son la obtención de resultados menos precisos y un mayor error interobservador, en comparación con otros métodos que emplean variables métricas continuas (Liversidge 1993, Sema *et al.* 2009, Cameriere 2006); sin embargo, este trabajo presenta también como ventaja principal la posibilidad de ofrecer un método mucho más

## Capítulo 8: Cronología del desarrollo de la dentición decidual

flexible y versátil, es decir, con el que con cualquier diente y en cualquier situación (observación directa o radiográfica), el antropólogo pueda ofrecer una estimación de la edad y, si se aumenta el número de dientes analizados, obtener resultados más exactos. Esto último contrasta con otros trabajos que también emplean fases de desarrollo, como el sistema propuesto por Demirjian (1973, 1976), el cual necesita un número mínimo de dientes para poder ofrecer una estimación y emplea sobre todo criterios radiológicos para definir cada fase; este sistema, por ejemplo, no podría ser aplicado en el caso de ausencia de algún diente y supondría un coste demasiado elevado, tanto de tiempo como de recursos, en estudios arqueológicos que trabajen con un alto número de individuos.

Los principales trabajos con los que se pueden comparar los resultados obtenidos, son los realizados por Liversidge *et al.* (2004), Gustafson *et al.* (1974), Moorrees *et al.* (1963), Kronfeld *et al.* (1937) y Mahoney (2011, 2012), ya que éstos también estudian el desarrollo de la dentición decidual mediante el empleo de fases discretas de desarrollo. Pese a que todos ellos dividen el proceso de mineralización dental empleando un número de fases diferente y distintas definiciones, coinciden en describir la cronología de dos procesos concretos: formación completa de la corona y formación completa de la raíz. En la Tabla 6 se muestra la edad asignada a cada una de estas fases por cada uno de estos autores. Con respecto a la formación completa de la corona, los resultados obtenidos en este trabajo muestran, con carácter general, ser mayores en nuestro estudio que las obtenidas por Moorrees *et al.* (1963) y Kronfeld *et al.* (1935); fueron aproximadamente similares a la obtenidos por Liversidge *et al.* (2004) y Gustafson and Kock (1974) e inferiores a la ofrecida por Mahoney (2011, 2012). Con respecto a la formación completa de la raíz, en este trabajo se observa que es mucho más tardía para todos los dientes que la obtenida por el resto de autores.

Estas comparaciones hay que estudiarlas con cuidado, ya que pueden no deberse solo a diferencias poblacionales; afectan también otros factores como una diferente distribución de edades de las muestras utilizadas para diseñarlas (Smith 1991, Liversidge 2008) o el empleo de diferentes metodologías de estudio, como la observación directa, el uso de radiografías, o estudios histológicos (Beynon *et al.* 1998, Liversidge 2000, Kuykendall 2001). La principal conclusión que se puede desprender de los datos mostrados en la Tabla 5, en la que se observan diferencias demasiado acusadas entre los diferentes autores, es que éstas no se deben solamente a diferencias poblacionales, sino que también afectan en gran medida las diferencias metodológicas; por tanto, y coincidiendo con revisiones previas realizadas por otros autores (Cunha 2009, Franklin 2010, Rissech 2013, Schmeling 2006), se justifica la necesidad de emplear siempre cada método bajo los mismos criterios específicos que se emplearon para diseñarlo, es decir, siempre en el mismo tipo de muestra, método de observación, emplear la definición exacta de cada fase, mismo grupo poblacional, etc.

**Tabla 6. Resultados obtenidos por otros investigadores para la edad (años) de formación completa de la corona y la raíz en la dentición decidual.**

	Formación de la corona completa						Formación de la raíz completa						
	Moorrees <i>et al.</i> (1963)		Gustafson and Koch (1974)	Kronfeld <i>et al.</i> (1935)	Liversidge <i>et al.</i> (2004)	Mahoney (2011, 2012)	Este estudio	Moorrees <i>et al.</i> (1963)		Gustafson and Koch (1974)	Kronfeld <i>et al.</i> (1939)	Liversidge <i>et al.</i> (2004)	Este estudio
	♂	♀						♂	♀				
<b>i<sup>1</sup></b>			0.23		0.12		0.16			1.6		2.26	2.87
<b>i<sup>2</sup></b>			0.32		0.28		0.21			1.9		2.58	2.97
<b>c*</b>			0.74		0.83		0.83			3		3.33	4.42
<b>m<sup>1</sup></b>			0.49		0.35		0.46			2.4		2.87	
<b>m<sup>2</sup></b>			0.86		0.78		0.93			3		3.92	
<b>i<sub>1</sub></b>			0.24	0.15	0.10		0.21			1.7	1.5	1.98	2.33
<b>i<sub>2</sub></b>			0.37	0.2	0.32	0.48	0.44			1.8	1.75	2.39	3.00
<b>c<sub>1</sub></b>	0.7	0.7	0.71	0.7	0.81	0.97	0.84	3.1	3	3.2	3.25	3.51	4.51
<b>m<sub>1</sub></b>	0.4	0.3	0.49	0.5	0.48	0.75	0.46	2	1.8	2.3	2.25	2.91	
<b>m<sub>2</sub></b>	0.7	0.7	0.86	0.85	0.92	1.08	0.93	3.1	2.8	3	3.0	3.54	4.75

La dentición decidual se encuentra muy poco representada en los estudios de maduración debido a la escasez de muestras adecuadas para su estudio (Franklin 2010, Saunders 2008, Lewis 2007). Además de existir pocos estudios que la aborden, estos no poseen el rigor necesario para poder emplearlos como método fiable para la estimación de la edad, ya que, en la mayoría de los casos, no pueden ofrecer información sobre todos dientes, emplean muestras arqueológicas, no permiten excluir a los individuos patológicos o prematuros y se ven obligados a unificar los datos por sexo o entre los dientes superiores e inferiores, factores que, según numerosos estudios, afectan significativamente al desarrollo dental (Cameriere 2008, Cardoso 2006b, Schmeling 2006, Irurita 2013). En este trabajo se ha empleado la muestra más representativa y mejor documentada empleada hasta el momento para este tipo de estudios y grupo de edad específicos, lo que ha permitido superar las carencias anteriormente mencionadas.

Una de las labores más importantes de los investigadores en Antropología Física es la de cuantificar la variabilidad de los parámetros que estudian, para lo cual son indispensables los estudios que comparen los resultados de diferentes autores y en diferentes grupos humanos. Como cita Smith (1991), estas comparaciones deben hacerse bajo unos estrictos criterios metodológicos, principalmente en referencia a la distribución de edades de las muestras de los diferentes estudios y a los métodos de observación y análisis empleados; en caso contrario, las conclusiones que se pudieran obtener de dicha comparación no serían válidas. Como ejemplo de esto último, se puede citar la conclusión que obtiene Mahoney (2012) en su estudio, en la que afirma que sus resultados son mayores para la edad de formación de la corona (Tabla 6) porque los ha obtenido a partir del estudio histológico de su muestra, a diferencia del resto que emplearon radiografías. Otros estudios apoyan esta hipótesis (Kuykendall 2001); no obstante, nuestros resultados también son muy inferiores, en general, a los obtenidos por Mahoney (2012) y, sin embargo, no se han obtenido a partir de radiografías. En nuestra opinión, en este ejemplo, pudo tener más importancia el reducido volumen muestral empleado por Mahoney (2012), en comparación con el resto de estudios radiográficos. Su conclusión, por tanto, aunque puede que sea cierta, no es válida, ya que la comparación que la comparación no se realizó de forma correcta. Por este motivo, con los resultados obtenidos, actualmente no podemos realizar una correcta comparación estadística con otros estudios similares, que nos permita inferir, por ejemplo, si existen diferencias dependiendo del

método empleado, o conocer si la población mediterránea muestra una tasa de desarrollo diferente a otras poblaciones.

Con respecto a los resultados obtenidos para la emergencia alveolar, se han ofrecido las edades de inicio y final del proceso para cada diente decidual (Tabla 2), así como la edad media de los individuos que se encontraban en los que la erupción estaba ocurriendo (Tabla 3). El proceso de emergencia de la dentición decidual ha sido estudiado por diversos autores, destacando los trabajos realizados por Hägg *et al.* (1985), Hulland *et al.* (2000), Nyström *et al.* (2000), Liversidge *et al.* (2004), Folayan (2007) y Holman (1998, 2003, 2005). Éstos emplean diferentes criterios para describir el proceso de erupción, lo dividen en diferentes fases y emplean diferentes métodos para observarlo y estudiarlo (erupción gingival o alveolar, estudio de radiografías, observación directa en niños vivos, etc.). En cada caso, los autores se adaptan la metodología empleada a los objetivos de su estudio y a las características de su muestra, dificultando así la comparación de sus resultados con los obtenidos en este estudio, como ya se ha explicado anteriormente.

Uno de los principales inconvenientes en el estudio de la erupción dental es la dificultad de evaluar en que estado de emergencia se encuentra el diente, más aún cuando se estudia en individuos esqueletizados ya que el margen alveolar puede estar dañado, o bien, el diente puede que no haya quedado recluido tras el proceso de esqueletización, en cuyo caso habrá que estimar el grado de erupción aproximadamente, aumentando las posibilidades de error. Estos inconvenientes se van a presentar siempre que se estudien individuos esqueletizados, no obstante, por esa razón, los resultados que se presentan en este estudio únicamente deben ser aplicados en muestras con características similares, ya que la cronología del proceso, así como el margen de error asumido, será específico del estudio de individuos esqueletizados.

Cuando se trabaja con la dentición permanente, es más fácil acceder a un gran número de casos de estudio que permita estandarizar la metodología entre diferentes estudios; como ejemplo, se puede mencionar el método de Demirjian (1973, 1976), ampliamente testado en multitud de publicaciones (Cunha 2009). Con respecto a la dentición decidual, sin embargo, las muestras disponibles son escasas y con un reducido número de casos, lo que dificulta los estudios comparativos anteriormente citados. Para solventar este problema, en el futuro deberían llevarse a cabo estudios que analicen en conjunto las reducidas colecciones con sexo y edad

conocidos, mejorando así la uniformidad de las muestras, permitiendo llevar a cabo análisis con una adecuada robustez estadística, y ofreciendo métodos que puedan ser aplicados cuando se desconozca el origen poblacional (Franklin 2010). Hasta que este tipo de estudios se lleven a cabo, como concluyen los autores de varias revisiones sobre la temática (Cunha *et al.* 2009, Franklin 2010, Rissech *et al.* 2013, Schmeling *et al.* 2006), cada método debe ser aplicado bajo las estrictas condiciones y criterios que se emplearon para diseñarlo, por ejemplo, usando una muestra similar, mismo método de observación, definición de las fases o mismo grupo poblacional.

En el presente estudio se ha descrito el proceso de maduración de la dentición decidua, ofreciendo la edad media de inicio para 11 fases de desarrollo y para el proceso de emergencia alveolar, así como los intervalos de edad correspondientes para la estimación de la edad. Estos resultados se ofrecen para cada diente decidua mandibular y maxilar y de forma independiente para cada sexo. Este es uno de los estudios más extensos publicados que emplea individuos esqueletizados dentro de este grupo de edad. Una vez validado este método en futuros trabajos, éste constituirá una herramienta de gran utilidad, fácil y económica de utilizar, útil para la estimación de la edad en contextos de Antropología Física.

### **Agradecimientos**

Estamos muy agradecidos a Don José Antonio Muñoz, director de la empresa EMUCESA del Cementerio de San José, Granada; a Doña Maribel Martín, coordinadora de servicios y a todo el personal de dicha empresa por su participación en la formación de la colección; al Ilustrísimo Señor Magistrado Juez del Juzgado de Instrucción Número 5 de Granada, responsable de los Servicios de registro Civil de esta ciudad







## **Capítulo 9**

### **CONCLUSIONES**





1. The Granada osteological collection of identified infants and young children is the best current collection of this age group available for anthropological research, given its good state of preservation and the comprehensive demographic information available on the individuals.
2. The formulas proposed by Liversidge et al. (1993) and Deutsch et al. (1983) for age estimation in infant individuals from the metric study of deciduous teeth offered inadequate accuracy in this large Mediterranean sample. In both cases, significant differences were found between the estimated and real ages.
3. A significant sex difference ( $\alpha=0.1$ ) was observed in dental growth rates. Specifically, males showed a later initiation of tooth formation and females evidenced a lesser tooth growth rate in all teeth studied.
4. These results support the use of a distinct formula for each sex when this is known.
5. There were significant differences in morphology and development between maxillary and mandibular teeth for all homologous dental pairs, supporting the need to develop a separate development standard for each hemiarch.
6. No significant differences were found between the homologous teeth of right and left hemiarches
7. The low inter-observer error found when these metric methods were applied to estimate dental age in children, endorses their suitability for application in forensic contexts.
8. The exponential function offered the most appropriate explanation for the relationship between age and the maximal length of the deciduous teeth, unlike other similar methods using linear regression.
9. The high levels of precision and accuracy obtained with the regression formulas proposed here do not appear to have been achieved by other similar methods in this age group. Moreover, they were developed in the most representative sample available to date for this type of study, suggesting that they can be considered a priority choice for Forensic Anthropology applications in Mediterranean populations.
10. The low intra- and inter-observer errors obtained with the new classification system for dental maturation support the validity of the proposed development stages. This new system has allowed the number of phases to be increased

in comparison to other methods, improving the precision of the technique without impairing its accuracy.

11. This new classification system can be applied using direct observations of teeth, which is the usual procedure in the study of infant skeletal remains, given that deciduous teeth do not generally remain within the socket. Other systems depend on radiographic images.
12. The results obtained for the mineralization and alveolar emergence phases of deciduous teeth differ from those published by other authors. However, these comparative data should be interpreted with caution, given the influence of differences in the study populations, in the age distribution of samples, and in the methodologies applied
13. This new chronology of the development of deciduous dentition could be useful as a simple and economical system for age estimation in physical anthropology contexts. Given its characteristics, this method would be suitable for the analysis of large volumes of samples or when a poor preservation of the teeth does not allow metric measurements to be taken, among other situations.



**Capítulo 10**  
**BIBLIOGRAFÍA**





- Aka PS, Canturk N, Dagalp R, Yagan M (2009) Age determination from central incisors of fetuses and infants. *Forensic Sci Int* 184(1-3): 15–20
- AlQahtani, Hector MP, Liversidge HM (2010) Brief Communication: The London Atlas of Human Tooth Development and Eruption. *Am J Phys Anthropol* 142: 481–490
- Alemán I, Botella MC, Ruíz L. 1997. Determinación del Sexo en el Esqueleto Postcraneal. Estudio de una Población Mediterránea Actual. *Arch. Esp. Morfol.* 2: 69–79.
- Aleman I, Botella MC, Souich P. 1999. Aplicación de las Funciones Discriminantes en la Determinación del Sexo en Estudios de Antropología Biológica Volumen IX. Eds. Daltabuit M. Vargas L. Universidad Nacional Autónoma de México. p 221–230.
- Aleman I, Irurita J, Valencia AR, Martinez A, Lopez-Lazaro S, Viciano J, Botella MC (2012) Brief communication: The Granada osteological collection of identified infants and young children. *Am J Phys Anthropol* 149: 606–610
- Alemán I, Botella MC, Viciano J (2013) Estimación del sexo. En: Recomendaciones en Antropología Forense. Asociación Española de Antropología Y Odontología Forense. Coordinador: Serrulla F. Valpapeis. 59–69 pp.
- Aykroyd RG, Lucy D, Pollard AM, Solheim T (1997) Technical Note: regression análisis in adult age estimation. *Am j Phys Anthropol* 104: 259–265
- Baker BJ, Drupas TL, Tocheri MW (2005) *The Osteology of Infants and Children.* Texas A&M University Press. 178 pp.
- Bassed RB, Briggs C, Drummer OH (2010) Analysis of time of closure of the sphenoccipital synchondrosis using computed tomography. *Forensic Sci Int* 200: 161–164
- Beynon AD, Clayton CB, Ramirez Rozzy FV, Reid DJ (1998) Radiographic and histological methodologies in estimating the chronology of crown development in modern humans and great apes: a review, with some applications for studies on juvenile hominids. *J Hum Evol* 35 (4–5): 351–70
- Black, S.M. and Scheuer, J.L. (1996). Age changes in the clavicle: From the early neonatal period to skeletal maturity. *Int J Osteoarchaeol* 6: 425–434.
- Bolaños MV, Manrique MJ, Bolaños MJ, Briones MT (2000) Approaches to Chronological Age Assessment Based on Dental Calcification. *Forensic Sci Int* 110: 97–106.
- Bolaños MV, Moussa H, Manrique MC y Bolaños MJ (2003) Radiographic evaluation of third molar development in Spanish children and Young People. *Forensic Sci Int* 133: 212–219.
- Bogin B (1997) Evolutionary hypotheses for human childhood. *Yearbook of Physical Anthropology* 40:63–89

- Bruzek J, Sellier P, Tillier AM. 1997. Variabilité et incertitude de l'âge des non-adultes: la cas des individus morts en période périnatale. En: L'enfant, son corps, son histoire. Eds. Buchet L. Sophia Antipolis: Editions APDCA. p 187–200.
- Bush MA, Bush PJ, Miller RG (2006) Detection and classification of composite resins in incinerated teeth for forensic purposes. *J of Forensic Sci* 51: 636–642
- Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M (2006a) Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *Int J Legal Med* 120(1): 4–52
- Cameriere R, Ferrante L, Scarpino F, Ermenc B, Zeqiri B (2006b) Dental age estimation of growing children: comparison among various european countries. *Acta stomatol croat* 40(2): 256–62
- Cameriere R, Flores-Mir C, Mauricio F, Ferrante L (2007) Effects of nutrition on timing of mineralization in teeth in a Peruvian sample. *Ann Hum Biol* 34 (5): 547–556
- Cameriere R, Ferrante L, Liversidge HM, Prieto JL, Brkic H (2008) Accuracy og age estimation in children using radiograph of developing teeth. *Forensic Sci Int* 176: 173–177
- Cardoso HFV (2006a). Brief Communication: The Collection of Identified Human Skeletons Housed at the Bocage Museum (National Museum of Natural History), Lisbon, Portugal. *Am J Phys Anthropol* 129: 173–176
- Cardoso HFV (2006b) A Test of the Differential Accuracy of the Maxillary Versus the Mandibular Dentition in Age Estimation of immature Skeletal Remains Based on Developing Tooth Length. *J Forensic Sci* 52; No. 2
- Cardoso HF (2007a) Accuracy of developing tooth length as an estimate of age in human skeletal remains: The deciduous dentition. *Forensic Sci Int* 172: 17–22
- Cardoso HF (2007b) Environmental effects on skeletal versus dental development: using a documented subadult sample to test a basic assumption in human osteological research. *Am J Phys Anthropol* 132: 223–233
- Cardoso HF (2008) Epiphyseal Union at the Innominate and Lower Limb in a Modern Portuguese Skeletal Sample, and Age Estimation in Adolescent and Young Adult Male and Female Skeletons *American Journal of Physical Anthropology* 135: 161–170
- Cardoso HFV, Gomes J, Campanacho V, Marinho L (2013a) Age estimation of immature human skeletal remains using the post-natal development of the occipital bone. *Int J Legal Med.* 127(5):997–1004
- Cardoso HFV, Abrantes J, Hunphrey LT (2013b) Age estimation of immature human skeletal remains from the diaphyseal length of the long bone in the postnatal period. *Int J Legal Med.* DOI 10.1007/s00414-013-0925-5
- Christensen AM, Crodwer ChM (2009) Evidentiary Standards for Forensic Anthropology. *J Forensic Sci* 54: 6

- Centros para la Prevención y Control de Enfermedades (CDC) (2013) Clínical Growth Charts (En línea): Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2013. Disponible en web: <<http://www.cdc.gov/growthcharts/>>
- Cleveland Museum of Natural History (2013). (En línea). Fecha de consulta: 26 de octubre de 2013. Disponible en web: <<http://www.cmnh.org> >
- Conceição ELN, Cardoso HFV (2011) Environmental Effects on Skeletal Versus Dental Development II: Further Testing of a Basic Assumption in Human Osteological Research. *Am J of Physical Anthropol* 144: 463–470
- Comité Conjunto de Guías en Metrología (JCGM) (2009). Evaluación de datos de medición. Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. 3ª edición. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España.
- Comité de Bioética de España (2013) Recomendaciones del Comité de bioética de España con relación al impulso e implantación de buenas prácticas científicas en España (En línea). Consulta: 6 de noviembre de 2013. Disponible en web: <[http://www.comitedebioetica.es/documentacion/docs/buenas\\_practicas\\_cientificas\\_cbe\\_2011.pdf](http://www.comitedebioetica.es/documentacion/docs/buenas_practicas_cientificas_cbe_2011.pdf)>
- Cortés-Reyes E, Rubio-Romero JA, Gaitán-Duarte H (2010) Métodos estadísticos de evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Revista Colombiana de Obstetricia y Ginecología* 61: 247–255
- CSIC (Consejo Superior de investigaciones Científicas). Comité de Ética. Ministerios de Ciencia e Innovación. (2013) Código de buenas prácticas científicas del CSIC (en línea). Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2013. Disponible en web: [http://www.bioetica.unican.es/cbe\\_docs/cbp\\_CSIC.pdf](http://www.bioetica.unican.es/cbe_docs/cbp_CSIC.pdf)
- Crétot M (2009) *L'arcade dentaire humaine (Morphologie)* 7e edit. Wolters Kluwer, France. 93 pp.
- 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 Sci. Int.* 193: 1–13.
- Currey JD y Butler G (1975) The mechanical properties of bone tissue in children. *J Bone Joint Surg Am* 57:810–814.
- Davies CM, Hackman L, Black S (2013a) The Utility of the Proximal Epiphysis of the Fifth Metatarsal in Age Estimation. *J Forensic Sci.* doi: 10.1111/1556-4029.12069
- Davies C, Hackman L, Black S (2013b) A test of the Whitaker scoring system for estimating age from the bones of the foot. *Int J Legal Med* 127: 481–489
- Dayal MR, Kegley ADT, Štrkalj G, Bidmos MA y Kuykendall KL (2009) The History and Composition of the Raymond A. Dart Collection of Human Skeletons at the University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa. *Am J Phys Anthropol* 140:324–335.

- De Donno A, Roca R, Introna F, Santoro V (2013) A case of an adoptive girl with precocious puberty: The problem of age estimation. *Forensic Science International* 231: 400.e1-400.e4
- Dhanjal KS, Bhardwaj MK, Liversidge HM (2006) reproducibility of radiographic state assessment of third molars. *Forensic Sci Int* 159S: S74–S77
- Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM (1973) A new system of dental age assessment. *Hum Biol* 45(2): 211–217
- Demirjian A, Goldstein H (1976) New system for dental maturity based on seven and four teeth. *Ann Hum Biol* 3(5): 411–421
- Demirjian A, Buschang P. H, Tanguay R. Patterson D.K. (1985) Interrelationships among measures of somatic, skeletal, dental, and sexual maturity. *Am J Orthod* 88: 433–438
- Deutsch D, Tam O, Stack MV (1985) Postnatal changes in size, morphology and weight of developing postnatal deciduous anterior teeth. *Growth* 49(2): 207–17
- Dirkmaat D, Cabo L, Ousley S, Symes S. 2008. *New Perspectives in Forensic Anthropology. Yearb. Phys. Anthropol.* 51: 33–52.
- Elamin F, Liversidge HM (2013) Malnutrition has no effect on the timing of human tooth formation. *PLoS ONE* 8(8): e72274. doi:10.1371/journal.pone.0072274
- Eliopoulos C, Lagia A, Manolis S (2007) A modern, documented human skeletal collection from Greece. *HOMO-Journal of Comparative Human Biology*, 58: 221–228
- El-Yazeed A, Aboud M, Tawfik W (2008) Dental Maturation Assessment by Nolla's Technique on a Group of Egyptian Children. *Aus J Basic &Appl Sci* 2(4): 1418–1424.
- España. Artículo 29 del Código Civil. Real decreto publicado en Boletín oficial del estado, 25 de julio de 1989. número 206. páginas 249 a 259
- España. Ley Orgánica 5/2000, de 12 de enero de 2000, reguladora de la responsabilidad penal de los menores. Boletín Oficial del Estado, número 11, de 13 de enero de 2000. Última modificación: 28 de diciembre de 2012. Referencia: BOE-A-2000-641
- España. Ley orgánica 2/2010, de 3 de marzo, de salud sexual y reproductiva y de la interrupción voluntaria del embarazo. Boletín Oficial del Estado, número 55, de 4 de marzo de 2010. Sex. I. Página 21001.
- Fazekas IG y Kósa F (1978) *Forensic Fetal Osteology*. Ed. Akadémiai Kiadó. Budapest. 414 pp.
- Feijó G (2011) cronología de la odontogénesis de los dientes permanentes en niños de la comunidad de Madrid: aplicación a la estimación de la edad dentaria. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de odontología, Departamento de Profilaxis, Odontopediatría y Ortodoncia.

- Feldesman MF (1992) Femur/stature ratio and estimates of stature in children. *Am J of Physical Anthropol* 87: 447–459
- Fereira JI, Fereira AE, Ortega AI (2008) Methods for the analysis of hard dental tissues exposed to high temperatures. *Forensic Sci Int* 178: 119–124
- Ferembach D, Schwidetsky I, Stloukad M (1980) Recomendations for age and sex diagnoses of skeletons. Report of the Workshop of European Anthropologists (WEA). *J of Hum Evol* 9: 517–549
- Ferrante L, Cameriere R (2009) Statistical methods to assess the reliability of measurements in the procedures for forensic age estimation. *Int J Legal Med* 123: 277-283
- Fitzgerald ChM, Rose JC (2008) Reading between lines: dental development and subadult age assessment using the microstructural growth markers of teeth. En *Biological Anthropology of the Human Skeleton. Second Edition* Eds. M. A. Katzenberg y S. R. Saunders. New York: Wiley-Liss, pp. 237–264.
- Folayan M, Owotade F, Adejuyigbe E, Sen S, Lawal B, Ndukwe K (2007) The timin of eruption of the primary dentition in nigerian children. *Am J Phys Anthropol* 134: 443–448
- Franklin D (2010) Forensic age estimation in human skeletal remains: Current concepts and future directions. *Leg Med (Tokyo)* 12: 1–7
- Frucht S, Schnegelsberg Ch, Schulte-Mönthing J, Rose E y Jonas I (2000) Dental Age in Southwest Germany. *Journal of Orofacial Orthopedics*: 61:318-29 (n°5).
- Gapert R, Black S, Last J (2009) Sex Determination from the Occipital Condyle: Discriminant Function Analysis in an Eighteenth and Nineteenth Century British Sample. *Am J of Physical Anthropol* 138: 384–394
- Garamendi PM, Landa MI, Ballesteros J, Solano MA (2005) Reliability of the methods applied to assess age minority in living subjects around 18 years old. A survey on a Moroccan origin population. *Forensic Sci Int* 154 (1): 3–12.
- Gilsanz V, Ratib O (2005) *Hand Bone Age. A Digital Atlas of Skeletal Maturity.* Springer. Berling. 96 pp.
- Gleiser I, Hunt EE (1955) The permanent mandibular first molar: its calcification, eruption, and decay. *Am J Phys Anthropol* 13: 253–284
- Gómez de Ferraris ME, Campos A (2002) *Histología y Embriología Bucodental. 2ª Edición.* Ed. Médica Panamericana. 467 pp.
- Gonzalez A. Mito (2008) *Mitos y realidades en torno a la excavación, el tratamiento y el estudio de los restos arqueológicos no-adultos. E: Nasciturus, infans, puerulus vobis mater terra: la muerte en la infancia / coord. por Francesc Gusi Jener, Susanna Muriel, Carmen Rosa Olaria Puyoles.* ISBN 978-84-96372-62-7 , págs. 57–76
- Greulich WW, Pyle SI (1959) *Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist. (2nd ed.)* California: Stanford University Press

- Gustafson G, Koch G (1974) Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odontol Revy* 25: 297–306
- Guy H, Masset C, Baud CA. 1997. Infant taphonomy. *Int J Osteoarch* 7:221–229.
- Haavikko K (1970). The formation and the alveolar and clinical eruption of the permanent teeth. An orthopantographic study. *Proc Finn Dent Soc* 66: 101-170
- Halcrow SE, Tayles N (2008) The bioarchaeological investigation of childhood and social age: problems and prospects. *J Archaeol Method Theory* 15: 190–215
- Hägg U, Taranger J (1985) Dental development, dental age and tooth counts. A longitudinal study of the timing of tooth emergence in Swedish children from birth to 18 years, *Angle Orthod.* 55: 93–107.
- Harris EF (2011) Dental age: effects of estimating different events during mineralization. *Dental Anthropology* 24(2): 59–63
- Haseltine FP, Ohno S (1981) Mechanisms of gonadal differentiation. *Sci.* 211:1272-1278.
- Hegde RJ y Sood PB (2002) Dental Maturity as an Indicator of Chronological age: Radiographic evaluation of dental age in 6 to 10 years children of Belgaum using Demirjian Methods. *J Indian Soc Pedo Prev Dent.* 20(4): 132–138
- Hillewing E, De Tobel J, Cuche O, Vandermaele P, Piette M, Verstraete K (2011) Magnetic resonance imaging of the medial extremity of the clavicle in forensic bone age determination: a new four-minute approach. *Eur Radiol* 21: 757–767
- Hillson S, FitzGerald C, Flinn H (2005) Alternative Dental Measurements: Proposals and Relationships With Other Measurements. *Am J Phys Anthropol* 126: 413–426
- Holman DJ, Jones RE (1998) Longitudinal Analysis of Deciduous Tooth Emergence: II. Parametric Survival Analysis in Bangladeshi, Guatemalan, Japanese, and Javanese Children. *Am J Phys Anthropol* 105: 209–230
- Holman DJ, Jones RE (2003) Longitudinal análisis of deciduous tooth emergence: III. Sexual dimorphism in bangladeshi, guatemalan, japanese and javanese children. *Am J Phys Anthropol* 122: 269–278
- Holman DJ, Yamaguchi K (2005) Longitudinal analysis of deciduous tooth emergence: IV. Covariate effects in japanese children. *Am J Phys Anthropol* 126: 352–358
- Hsiao TH, Tsai ShM, Chou ST, Pan JY, Tseng YCh, Chang HP, Chen HS (2010) Sex determination using discriminant function analysis in children and adolescents: a lateral cephalometric study. *Int J Legal Med.* 124: 155-160
- Hulland SA, Lucas JO, Wake MA, Hesketh KD (2000) Eruption of the primary dentition in human infants: a prospective descriptive study. *Pediatr Dent* 22:415–421.

- Hunt E. and Gleiser I. (1955) The estimation of age and sex of pre-adolescent children. *Am J of Physical Anthropol* 13:79–87.
- Hunt DR y Albanese J (2005) History and Demographic Composition of the Robert J. Terry Anatomical Collection. *Am J Phys Anthropol* 127:406–417
- Humphrey, L.T. and Scheuer, L. (2006). Age of closure of the foramen of Huschke: An osteological study. *International Journal of Osteoarchaeology* 16: 47–60
- Huxley AK (1998) Analysis of shrinkage in human fetal diaphyseal lengths from fresh to dry bone using Petersohn and Köhler's data. *J Forensic Sci* 43(2): 423–6
- Huxley AK, Kósa F (1999) Calculation of percent shrinkage in human fetal diaphyseal lengths from fresh bone to carbonized and calcined bone using Petersohn and Köhler's data. *J Forensic Sci* 44(3):577–83
- Irurita J, Alemán I, Egurcegui A, De Luca S (2012) Estimación de la edad en individuos subadultos de origen mediterráneo mediante el método de maduración dental elaborado por Ubelaker. en *Biodiversidad humana y evolución. XVII congreso de la Sociedad Española de Antropología Física*. pp 335–338
- Irurita J, Aleman I, Viciano J, De Luca S, Botella MC (2013) Evaluation of the maximum length of deciduous teeth for estimation of the age of infants and young children: proposal of new regression formulas. *Int J Legal Med*. DOI 10.1007/s00414-013-0903-y
- Jayaraman J, Wong HM, King NM, Roberts GJ (2013) The French-Canadian data set of Demirjian for dental age estimation: a systematic review and meta-analysis. *Review. J Forensic Leg Med* 20(5): 373–81
- Jiménez-Castellanos J, Carmona A, Catalina-Herrera CJ, Viñuales M (1996) Skeletal maturation of wrist and hand ossification centers in normal Spanish boys and girls: a study using the Greulich-Pyle method. *Acta Anat* 155(3): 206–11
- Johnston FE y Zimmerman L (1989) Assessment of growth and age in the immature skeleton. En: *Reconstruction of Life from the Skeleton*. Eds. I'scan MY y Kennedy KAR. New York: Alan R. Liss. pp. 11–22.
- Jones E, Ubelaker DH. 2001. Demographic analysis of the Voegtly cemetery sample, Pittsburgh, Pennsylvania. [abstract]. *Am J Phys Anthropol* 32:86.
- Kahana T, Birkby WH, Goldin L, Hiss J (2003) Estimation of age in adolescents - The basilar sincondrosis. *J Forensic Sci*. Vol 48, No. 3
- Kamp KA (2001) Where have all the children gone?: the archaeology of childhood. *J Archaeol Method Theory* Vol.8, N° 1
- Kerley ER. (1965). The microscopic determination of age in human bone. *Am J Phys Anthropol* 23: 149–164.
- Kerley ER, Ubelaker DH. (1978) Revisions in the microscopic method of estimating age at death in human cortical bone. *Am J Phys Anthropol* 49:545–546.



- Koshy S, Tandon S. 1998. Dental Age Assessment: The Applicability of Demirjian's Method in South Indian Children. *Forensic Sci Int* 94: 73–85.
- Kronfeld R (1935) Development and calcification of the human deciduous and permanent dentition. *Bur* 15: 18-25
- Kuykendall KL (2001) On radiographic and histological methods for assessing dental development in chimpanzees: comments on Beynon *et al.* (1998) and Reid *et al.* (1998) *J Hum Evol* 40: 67–76
- Lampl M, Jeanty P (2003) Timing is everything: a reconsideration of fetal velocity patterns identifies the importance of individual and sex differences. *American Journal of Human Biology* 15: 667–680
- Leurs IH, Wattel E, Aartman IHA, Ety E, Prah-Andersen B (2005) Dental age in dutch children. *European Journal of Orthodontics* 27: 309–314
- Lewis ME (2007) *The Bioarchaeology of Children*. Second edition. Cambridge: Cambridge University Press. 255 pp.
- Lin L (1989) A Concordance Correlation Coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45: 255–268
- Lin L (2000) Correction: a note on the Concordance Correlation Coefficient. *Biometrics* 56: 324–325
- Liversidge HM, Dean MC, Molleson TI (1993) Increasing human tooth length between birth and 5.4 years. *Am J Phys Anthropol* 90: 307–313
- Liversidge HM, Speechly T, Hector MP (1999) Dental Maturation in British Children: Are Demirjian's Standards Applicable? *International Journal of Paediatric Dentistry* 9: 263–269.
- Liversidge HM (2000) Crown formation of human permanent anterior teeth. *Arch oral Biol* 45: 713–721
- Liversidge HM, Molleson T (2004) Variation in crown and root formation and eruption of human deciduous teeth. *Am J Phys Anthropol* 123: 172–180
- Liversidge HM, Chaillet N, Mörnstad H, Nyström M, Rowlings K, Taylor J, Willems G (2006) Timing of Demirjian's tooth formation stages. *Ann Hum Biol* 33(4): 454–70
- Liversidge H. (2008) Dental Age Revised. En: *Technique and Application in Dental Anthropology*. Eds Joel D, Irish y Grez C. Nelson. Ed. Cambridge University Press. p 234–265.
- Liversidge HM (2010a) Interpreting group differences using Demirjian's dental maturity method. *Forensic Sci Int* 201: 95–101
- Liversidge HM, Smith BH, Maber M (2010b) Bias and accuracy of age estimation using developing teeth in 946 children. *Am J of Physical Anthropology* 143: 545–554

- Liversidge HM (2013) Malnutrition has no effect on the timing of human tooth formation. *PLoS One* 8(8): e72274
- LoganWHG, Kronfield R (1933) Development of the human jaws and surrounding structures from birth to the age of fifteen years. *Journal of the American Dental Association* 20:379–427.
- López JJ, Muñoz G. 2006. *El Cementerio Municipal de San José en Memoria de Granada* ed. EMUCESA, Granada, p 19–39.
- Maber M, Liversidge HM, Hector MP (2006) Accuracy of age estimation of radiographic methods using developing teeth. *Forensic Sci Int* 159S: S68–S73
- Madrigal L (1998) *Statistics for Anthropology*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Mahoney (2011) human deciduous mandibular molar incremental enamel development. *Am J Phys Anthropol* 144: 204–214
- Mahoney (2012) Incremental enamel development in modern human deciduous anterior teeth. *Am J Phys Anthropol* 147: 637–651
- Mann DR y Fraser HM (1996) The neonatal period: a critical interval in male primate development. *J Endocrinol* 149:191–197.
- Marshall WA, Tanner JM (1969) Variation in the pattern of pubertal changes in girls. *Archives of Disease in Childhood*. 44: 291–303
- Marshall WA, Tanner JM (1970) Variation in the pattern of pubertal changes in boys. *Archives of Disease in Childhood*. 45: 13–23
- Martin AA, Luna JD (1989) *Bioestadística para las Ciencias de la Salud*, 2ª Ed. Norma. Madrid
- Martin S, García P, Ortega A, Zodocovich S, Valenzuela A (2008) Third molar development according to chronological age in populations from Spanish and Magrebian origin. *Forensic Sci Int* 174: 47–43
- McBride GB (2005) A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. National Institute of Water and Atmospheric Client Report: HAM2005-062, Hamilton, New Zealand
- Meindl RS, Lovejoy CO (1985) Ectocranial suture closure: a revised method for the determination of skeletal age at death based on the latero-anterior suture, *Am J Phys Anthropol* 68: 57–66.
- Mendonça MC (1998) *Contribución para la identificación humana a partir del estudio de las estructuras óseas: determinación de la talla a través de la longitud de los huesos largos*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología y Legislación Sanitaria
- Mincer HH, Harris EF, Berryman HE (1993) The ABFO study of third molar development and its use as an estimator of chronological age, *J Forensic Sci* 38 (1993) 379–390.

- Minier M, Maret d, Dedouit F, Vergnault M, Mokrane FZ, Rousseau H, Adalian P, Telmon N, Rougé D (2013) Fetal age estimation using MSCT scans of deciduous tooth germs. *Int J Legal Med*. DOI: 10.1007/s00414-013-0890-z
- Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad. 2010. Clasificación Internacional de Enfermedades, 9ª Revisión, Modificación Clínica. Edición Electrónica de la CIE–9–MC. Agencia de Calidad del Sistema Nacional de Salud. 7ª edición. 2010. Versión 1.1.0 – 19/02/2010
- Molleson T, Cox M, Waldron AH y Whittaker DH (1993) The spitallfields Project volume 2—the anthropology, the middling sort. Research Report 86. York: Council for British Archaeology. 232 pp.
- Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE Jr (1963a) Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res*. 42: 490–502
- Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE Jr. (1963b) Formation and resorption of three deciduous teeth in children. *Am J Phys Anthropol* 21: 205–213
- Mörnstad H, Staaf V, Welander U (1994) age estimation with the aid of tooth development: a new method based on objective measurements. *Scand J Dent Res* 102(3): 137–43
- Nolla CM (1960). The development of the permanent teeth. *J Dentistry Child* 27: 254–267
- Nyström M, Peck L, Kleemola-Kujala E, Evälahti M, Kataja M (2000) Age estimation in small children: reference values based on counts of deciduous teeth in Finns. *Forensic Sci Int* 110:179-188
- Olze A, Schmeling A, Taniguchi M, Maeda H, Van Niekerk P, Wernecke, Geserick G (2004) Forensic age estimation in living subjects: the ethnic factor in wisdom tooth mineralization, *Int J Legal Med* 118: 170–173.
- Olze A, Reisinger W, Feserick G, Schemeling A (2006) Age estimation of unaccompanied minors. Part II: Dental aspect. *Forensic Science International* 159: 65–67
- Olze A, Niekerk P, Ishikawa T, Zhu BL, Schulz R, Maeda H, Schmeling A (2007) Comparative study on the effect of ethnicity on wisdom tooth eruption. *Int J Legal Med* 121: 445–448.
- Olze A, Hertel J, Schulz R, Wierer T, Schmeling A (2012) Radiographic evaluation of Gustafson´s criteria for the purpose of forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 126(4): 615–21
- O´Rahilly R, Müller F (1998) Embriología y Teratología Humanas. Masson. Barcelona. 551pp
- Organización Mundial de la Salud (WHO) (2013) The WHO Child Growth Standars (En línea). Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2013. Disponible en web: <<http://www.who.int/childgrowth/standards/en/>>

- Ortner DJ (2003) Identification of Pathological Condition. In: Human Skeletal Remains. Academic Press, New York, pp 453–463.
- Prieto L, Lamarca R, Casado A (1998) La evaluacio de la fiabilidad en las observaciones clínicas: el coeficiente de correlacio intraclase. Medicina Clínica (Barcelona) 110: 142–145
- Prieto JR, Barbería E, Ortega R, Magaña C (2005), Evaluation of chronological age based on third molar development in the Spanish population. Int J Legal Med 119: 349–354
- Pelsmaekers B, Loos R, Carels C, Derom C, Vlietinck R (1997) The Genetic Contribution to Dental Maturation. J Dent Res 76(7): 1337–1340
- Reid DJ, Dean MC (2008) Variation in modern human enamel formation times. J Hum Evol 50: 329-346
- Rissech C, Márquez N, Turbón D (2013) A collation of Recently Published Western European Formulae for Age Estimation of Subadult Skeletal Remains: Recommendations for Forensic Anthropology and Osteoarchaeology. J Forensic Sci 58. No S1
- Robledo MM, Sánchez JA, Fernández FJ (2013) Estimación de la Edad. En: Recomendaciones en Antropología Forense. Asociación Española de Antropología Y Odontología Forense. Coordinador: Serrulla F. Valpapeis. 73–81
- Robling AG, Stout SD (2008) Hitomorphometry of human cortical bone: applications to age estimation. En Biological Anthropology of the Human Skeleton. Second Edition Eds. M. A. Katzenberg y S. R. Saunders. New York: Wiley-Liss, pp. 149-182.
- Rösing FW, Graw M, Marré B, Ritz-Timme S, Rothschild MA, Rötzscher K, Schmeling A, Schröder I, Geserick G (2007) Recommendations for the forensic diagnosis of sex and age from skeletons. HOMO 58: 75–89
- Sabel N, Johansson C, Kühnisch J, Robertson A, Steiniger F, Norén JG, Klingberg G, Nietzsche S (2008) Neonatal lines in the enamel of primary teeth. A morphological and electron microscopic investigation. Archives of Oral Biology 53: 954–963
- Salceda S, Desántolo B, García R, Plischuk M, Prat G, Inda AM (2009) Integración y conservación osteológica "Profesor Doctor Rómulo Lambre": avances y Problemáticas. Revista Argentina de Antropología Biológica 11(1): 133–141
- Sang Eon Lee, Sang-Hoon Lee, Joean-Yun Lee, Hee Kyung Park, Young-Ku Kim (2008) Age estimation of Korean children based on dental maturity. Forensic Science International 178: 125–131.
- Sánchez D, Martín M. 2006. Historia y Contenido de un Lugar para la Memoria y Culto en Memoria de Granada ed. EMUCESA, Granada. p 19–39.
- Saunders SR (2008) Juvenile skeletons and growth-related studies. En Biological Anthropology of the Human Skeleton. Second Edition Eds. M. A. Katzenberg y S. R. Saunders. New York: Wiley-Liss, pp. 117–146.

- Schaefer M, Black S (2007) Epiphyseal Union Sequencing: Aiding in the Recognition and Sorting of Commingled Remains. *J Forensic Sci.* 52: 2
- Schaefer M, Black S, Scheuer L (2009) *Juvenile Osteology. A Laboratory and Field Manual.* Elsevier. San Diego. 382 pp
- Scheuer JL, Musgrave JH, Evans SP (1980) The estimation of late fetal and perinatal age from limb bone length by linear and logarithmic regression. *Annals of Human Biology* 7(3): 257–265.
- Scheuer L, MacLaughlin-Black S (1994). Age estimation from the pars basilaris of the fetal and juvenile occipital bone. *The International Journal of Osteoarchaeology* 4: 377–380.
- Scheuer L, Black S (2000) *Developmental Juvenile Osteology.* Elsevier. San Diego, California.
- Scheuer L (2002) Brief Communication: A Blind Test of Mandibular Morphology for Sexing Mandibles in the First Few Years of Life. *Am J Physical Anthropol.* 119: 189–191
- Scheuer L, Black S (2004) *The Juvenile Skeleton.* Elsevier. London
- Schmelting A, Reisinger W, Geserick G, Olze A (2006) Age estimation of unaccompanied minors. Part I. General considerations. *Forensic Sci Int* 159S: S61-S64.
- Schmelting A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaastch HJ, Kneel B, Ramsthaler F, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S, Rösing FW, Rötzscher K, Geserick G (2008) Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med* 122: 457-460.
- Schour I y Massler M (1941) The development of the human dentition. *J Am Dent Assoc* 28: 1153–1160
- Schultz R, Mühler M, Mutze S, Schmidt S, Reisinger W, Schmelting 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.
- Schulz R, Mühler M, Reisinger W, Schmidt S, Schmelting A (2008) Radiographic staging of ossification of the medial clavicular epiphysis, *Int. J. Legal Med.* 122 (1) 55–58.
- Schutzkowski H. 1993. Sex determination of infant and juvenile skeletons: I. Morphognostic features. *Am J Phys Anthropol* 90: 199–205.
- Sema AP, Nergis C, Rukiye D, Murat Y (2009) Age determination from central incisors of fetuses and infants. *Forensic Sci Int* 184: 15–20
- Shirley NR, Jantz R (2008) Spheno-occipital synchondrosis fusion in the American population. *Proc Annu Meeting Am Acad Foren Sci* 14: 343

- Smith BH (1991) Standards of Human Tooth Formation and Dental Age Assessment en *Advances in Dental Anthropology*. Eds. Kelley MA and Larsen C. Wiley-Liss, Inc. 143–168
- Smith P, Avishai G (2005) The use of dental criteria for estimating postnatal survival in skeletal remains of infants. *Journal of Archaeological Sciences* 32: 83-89
- Specker BL, Brazero IW, Tsang RC, Levin R, Searcy J y Steichen J (1987) Bone mineral content in children 1 to 6 years of age. Detectable sex differences after 4 years of age. *Am J Dis Chile* 141: 343–344.
- Spiegel MR, Stephens LJ (2009) *Estadística*. Schaum. Mac Graw Hill. Santa Fe. Mexico D. F.
- Stack MV (1967) Vertical growth rates of the deciduous teeth. *J Dent Res* 46(5): 879–82
- Streeter M. (2005) *Histomorphometric Characteristics of the Subadult Rib Cortex: Normal Patterns of Dynamic Bone Modeling and Remodeling During Growth and Development*. Ph.D. Dissertation, University of Missouri, Columbia.
- Sutter RC (2003) Nonmetric subadult skeletal sexing traits: I. A blind test of the accuracy of eight previously proposed methods using prehistoric known–sex mummies from northern Chile. *J Forensic Sci* 48(5): 927–35.
- SWGANTH (Scientific Working Group for Forensic Anthropology) (2013a). Age Estimation (En línea). Fecha de consulta: 26 de octubre de 2013. Disponible en web: <<http://swganth.startlogic.com/Age%20Rev1.pdf>>
- SWGANTH (Scientific Working Group for Forensic Anthropology) (2013b). Statistical methods (En línea). Fecha de consulta: 26 de octubre de 2013. Disponible en web: <<http://swganth.startlogic.com/Statistical%20Methods%20Rev0.pdf>>
- SWGANTH (Scientific Working Group for Forensic Anthropology) (2013c). Personal identification (En línea). Fecha de consulta: 26 de octubre de 2013. Disponible en web: <<http://swganth.startlogic.com/Identification%20Rev0.pdf>>
- SWGANTH (Scientific Working Group for Forensic Anthropology) (2013d). Proficiency testing (En línea). Fecha de consulta: 26 de octubre de 2013. Disponible en web: <<http://swganth.startlogic.com/Proficiency%20Testing%20Rev0.pdf>>
- SWGANTH (Scientific Working Group for Forensic Anthropology) (2013e). Qualifications (En línea). Fecha de consulta: 26 de octubre de 2013. Disponible en web: <<http://swganth.startlogic.com/Qualifications%20Rev0.pdf>>
- Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H (1975) *Assessment of Skeletal Maturity and Prediction of Adult Height (TW2 Method)*, Academic Press, London.
- TeMoananui R, Kieser JA, Herbison GP, Liversidge HM (2008) Estimating Age in Maori, Pacific Island and European Children from New Zealand. *J Forensic Sci* Vol. 52, No 2.

- Thevissen PW, Galiti D, Willems G (2012) Human dental age estimation combining third molar(s) development and tooth morphological age predictor. *Int J Legal Med* 126(6): 883–7
- Tortora GJ, Derrickson B (2006) *Principios de Anatomía y Fisiología*. Panamericana. México D.F. 1154 pp.
- Trirakarn A, Tansuphasiri V (1991) Roentgenographic assessment of skeletal ages of Asian junior youth football players, *J Med Assoc Thai* 74 (10) 459–464.
- Tunc SE, Koyuturk AE (2008) Dental age assessment using Demirjian's method on northern Turkish children. *Forensic Sci Int* 175; 23-26
- Ubelake DH (1987) Estimating age at death from immature human skeletons: an Overview. *Journal of Forensic Sciences*. Vol 32. No. 5, pp 1254-1263
- Ubelaker DH (1989) *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation*. Taraxacum Press, Washington
- Ubelaker DH (2006) Introduction to Forensic Anthropology, in *Forensic Anthropology and Medicine, Complementary Sciences From recovery to Cause of Death*. Eds Schmitt A, Cunha E, Pinheiro J. Human Press, New Jersey
- Ubelaker DH (2008) *Forensic Anthropology: Methods and Diversity of Applications*. En: *Biological Anthropology of the Human Skeleton, Second Edition*. Ed. Wiley - Liss. Hoboken, New Jersey. Pp: 41–71
- Ubelaker DH (2009) The forensic evaluation of bourned skeletal remains: a syntesis. *Forensic Sci Int* 183:1–5
- Ulijaszek SJ, Jhonston FE, Preece MA (1998) *The Cambridge encyclopedia of human growth and development*. Cambridge University Press 497 pp.
- Van Waes HJ, M Stöckli PW (2002) *Atlas de Odontología Pediátrica*. Masson. Barcelona.
- Viciano J, Alemán I, D'Anastasio R, Capasso L, Botella MC. 2012. Odontometric Sex Discrimination in the Herculaneum Sample (79 AD, Naples, Italy), with Application to Juveniles. *Am J Phys Anthropol* 145: 97–106.
- Vlak D, Roksandic M, Schillaci MA (2008) Greater Sciatic Notch as a Sex Indicator in Juveniles. *Am J Physical Anthropol*. 137: 309–315
- Waldron T (2009) *Paleopatología*. Cambridge University Press. New York pp. 279
- Weaver D. 1980. Sex differences in the ilia of a known sex and age sample of fetal and infant skeletons. *Am J Phys Anthropol* 52: 191–195.
- Willems G, Van Olman A, Spiessens B, Carels C (2001) Dental age estimation in Belgian children: Demirjian's technique revisited. *J Forensic Sci* 46: 893–95.
- Wilson LA, MacLeod N, Humphrey LT. 2008. Morphometric Criteria for Sexing Juvenile Human Skeletons Using the Ilium. *J Forensic Sci* 53 (2): 269–278.

Zhang A, Sayre JW, Vachon L, Liu BJ, Huang HK (2009) Racial differences in growth patterns of children assessed on the basis of bone age. *Radiology*. 250(1): 228–35



