

## REVISIÓN

# Determinación de la edad mediante la radiología

Pedro Manuel Garamendi González<sup>a,\*</sup> y María Irene Landa Tabuyo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Servicio de Patología Forense, IML de Huelva, Huelva, España

<sup>b</sup> Servicio de Clínica Médico Forense, IVML, Subdirección de Vizcaya, España

Recibido el 30 de mayo de 2009; aceptado el 16 de septiembre de 2009

### PALABRAS CLAVE

Edad ósea;  
Edad dental;  
Estimación forense de la edad;  
Radiodiagnóstico

### Resumen

Desde el descubrimiento de los rayos X en 1895 y el desarrollo de las primeras técnicas de radiodiagnóstico médico, la medicina forense ha utilizado este medio de diagnóstico en sujetos vivos y cadáveres para la estimación de la edad. Para dicha estimación se han aplicado las técnicas diagnósticas virtualmente en todas las regiones anatómicas óseas y especialmente en la dentición. El presente trabajo pretende realizar una revisión somera de los distintos métodos de diagnóstico utilizados y exponer el estado actual en relación, específicamente, con la estimación forense de la edad en sujetos vivos en torno a los 18 años, que es una de las principales aplicaciones actuales de estos métodos diagnósticos en medicina forense.

© 2010 Asociación Nacional de Médicos Forenses. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

### KEYWORDS

Bone age;  
Dental age;  
Forensic age estimation;  
Radiodiagnostics

### Estimating age using radiology

### Abstract

Since X-rays were discovered in 1895 and radiological methods were developed in medical sciences, these techniques have been applied in forensic medicine for estimating age in living and dead subjects. Virtually all of the skeletal and dental areas have been used to perform this estimation. This paper presents a short review of some of these methods and, more precisely, the state of the art in relationship to forensic age estimation in living subjects of around 18 years old by radiological means. This last topic is currently one of the most routine applications of radiodiagnostics in forensic medicine.

© 2010 Asociación Nacional de Médicos Forenses. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

\*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: imanolgaramendi@gmail.com (P.M. Garamendi González).

## Introducción

El 28 de diciembre de 1895 Wilhelm Conrad Röntgen publicó su artículo "Über eine neue Art von Strahlen" que entregó al presidente de la Sociedad Físico-Médica de Würzburg incluyendo la primera radiografía de la que se tiene registro en la historia, donde aparecía la mano izquierda de su esposa (fig. 1). Desde ese momento, la relación entre radiología y medicina forense comenzó su desarrollo. Durante 1896, todos los usos posibles de esta nueva técnica diagnóstica habían sido ya practicados o se habían insinuado de una forma al menos rudimentaria<sup>1</sup>. Su uso en antropología física también fue precoz. Ya en 1896 Angerer en Munich propuso su uso en la región del carpo y la aplicación de los resultados como indicadores de edad ósea<sup>2</sup>. En 1897, Albert Londe publicó en Francia un estudio sobre radiografías realizadas en el brazo de una momia<sup>3</sup> y destacó el hecho de que en las radiografías obtenidas se apreciaban datos que permitían estimar el estadio de maduración ósea del sujeto. Propuso, además, explícitamente que los rayos X podrían ser un instrumento útil en antropología física y en medicina forense para realizar diagnósticos de edad de los sujetos sin alterar ninguna "pieza de convicción".

Durante los primeros 40 años de vida de este nuevo método diagnóstico, se generalizaron los estudios sobre sujetos vivos destinados a valorar y confirmar los estándares de maduración de distintas regiones de la anatomía humana y se publicaron estudios sobre series amplias de población que analizaban parámetros ya estudiados en osteología,



**Figura 1** Radiografía de la mano izquierda de Bertha Röntgen, esposa de W.C. Röntgen. Primera radiografía de un ser humano de la historia.

pero desde la perspectiva específica que aportaba el nuevo método radiológico<sup>4-13</sup>. La falta de una conciencia clara de la no inocuidad de este medio diagnóstico facilitó un uso, en cierto modo, indiscriminado con fines de investigación.

El diagnóstico de la edad basado en técnicas de radio-diagnóstico se orienta de forma distinta en función del margen de edad del sujeto de estudio. De acuerdo con Krogman e Isçan, el proceso de osificación en el ser humano sigue una secuencia de acontecimientos fisiológicos en los huesos reconocibles tanto en el examen morfológico directo como en el examen radiológico.

En condiciones ideales, se puede reconocer el esqueleto fetal en radiografías abdominales desde la décima semana de gestación. No obstante, lo habitual es que entre las semanas 18 y 20 se pueda evidenciar la presencia de los núcleos de osificación de los elementos posteriores de la columna vertebral como una cadena de densidades óseas en el abdomen de la mujer gestante. Entre las semanas 20 y 25 puede evidenciarse la base del cráneo y los huesos largos. A las semanas 24 a 26 se evidencia el núcleo de osificación del calcáneo y dos semanas después, el del astrágalo. Entre las semanas 36 y 40 se desarrollan la epífisis distal del fémur y la proximal de la tibia. En el 90% de los fetos a término se puede encontrar osificado el centro distal del fémur y en el 85%, el proximal de la tibia. Al nacimiento se pueden identificar, en las radiografías los centros de osificación primarios de los huesos largos, incluidos manos y pies, así como los cuerpos vertebrales y elementos posteriores vertebrales, escápula, clavícula, pelvis, base del cráneo, calota y huesos faciales<sup>2</sup>.

Siguiendo nuevamente a Krogman e Isçan, el proceso de maduración ósea posnatal, que puede evidenciarse radiológicamente, sigue las siguientes fases<sup>14</sup>:

1. Desde el nacimiento a los 5 años de edad. En esta fase, aparecen todos los centros de osificación que no se habían desarrollado antes del nacimiento. Los núcleos de osificación pueden ser de dos tipos: centros primarios o diafisarios y centros secundarios o epifisarios. La mayoría de los centros primarios de osificación se hallan en el ser humano en el momento del nacimiento al haberse formado durante el periodo embrionario y fetal. Estos centros primarios suelen iniciarse como centros de osificación amorfos, redondeados y de pequeño tamaño. En el momento del nacimiento, sin embargo, algunos centros secundarios de osificación son identificables: cabeza humeral, epífisis distal del fémur y epífisis proximal de la tibia. Los centros secundarios suelen desarrollarse tras el nacimiento en las epífisis y durante ese periodo hasta los 5 años (tabla 1). Paralelamente, los dientes deciduales van erupcionando y los definitivos se van calcificando.
2. Desde los 5 a los 12 años de edad. Durante este periodo, los centros de osificación ya formados van creciendo y van conformando la forma de los huesos adultos. El periodo termina con la fusión de los componentes del acetábulo y la epífisis medial de la clavícula (tabla 2). Paralelamente, los dientes definitivos van sustituyendo a los deciduales hasta completar la fórmula dentaria adulta, con la excepción de los terceros molares, de erupción más variable y tardía.
3. Desde los 12 a los 20 años de edad. Éste es el periodo de la fusión de las epífisis con las diáfisis de los huesos largos

**Tabla 1** Edad de aparición de los centros de osificación en población caucásica<sup>14</sup>

<b>VARONES</b>		
<b>Nacimiento</b>		
Calcáneo	Segunda falange del segundo dedo de la mano	4 años y 2 meses
Astrágalo	Segunda falange del tercer dedo de la mano	Trapezio
Proximal del fémur	Segunda falange del cuarto dedo de la mano	4 años y 4 meses
Proximal de la tibia	Quinto metacarpiano	Escafoides de la mano
Cuboides	20 meses	Trapezoide
Cabeza del húmero	Primera falange del primer dedo del pie	5 años y más
2 meses	Cuneiforme central	Epicóndilo medial del húmero
Hueso grande	21 meses	Distal del cúbito
Hueso ganchoso	Tercera falange del tercer dedo de la mano	Segunda falange del quinto dedo del pie
Cuneiforme lateral	Tercera falange del cuarto dedo de la mano	Mano
3 meses	Escafoides del pie	<b>MUJERES</b>
Cabeza del fémur	Primera falange del quinto dedo del pie	<b>Nacimiento</b>
Cóndilo del húmero	22 meses	Calcáneo
Distal de la tibia	Primer metacarpiano	Proximal del fémur
6 meses	Primer metatarsiano	Proximal de la tibia
Distal del peroné	23 meses	Cuboides
7 meses	Primera falange del primer dedo de la mano	Cabeza del húmero
Troquín	2 años	2 meses
Distal del radio	Segunda falange del quinto dedo de la mano	Hueso grande
10 meses	Semilunar	Hueso ganchoso
Piramidal	2 años y 2 meses	Cuneiforme lateral
11 meses	Segundo metatarsiano	3 meses
Primera falange del tercer dedo de la mano	2 años y 5 meses	Cabeza del fémur
Segunda falange del segundo dedo del pie	Tercera falange del segundo dedo de la mano	Cóndilo del húmero
12 meses	Tercera falange del quinto dedo de la mano	Distal de la tibia
Primera falange del segundo dedo de la mano	2 años y 11 meses	4 meses
Primera falange del cuarto dedo de la mano	Tercer metatarsiano	Troquín
Segunda falange del primer dedo de la mano	Proximal del peroné	6 meses
13 meses	3 años y 1 mes	Distal del peroné
Primera falange del tercer dedo del pie	Trocánter mayor del fémur	Distal del radio
Segundo metacarpiano	Rótula	7 meses
Cuneiforme medial	3 años y 3 meses	Segunda falange del primer dedo del pie
14 meses	Cuarto metacarpiano	Primera falange del tercer dedo de la mano
Primera falange del cuarto dedo del pie	3 años y 4 meses	Primera falange del cuarto dedo de la mano
Primera falange del segundo dedo del pie	Tercera falange del quinto dedo del pie	8 meses
Segunda falange del tercer dedo del pie	3 años y 7 meses	Primera falange del segundo dedo de la mano
15 meses	Tercera falange del tercer dedo del pie	Segunda falange del primer dedo de la mano
Tercer metacarpiano	Tercera falange del cuarto dedo del pie	Primera falange del tercer dedo del pie
Segunda falange del segundo dedo del pie	3 años y 8 meses	9 meses
Primera falange del quinto dedo de la mano	Quinto metacarpiano	Segunda falange del tercer dedo del pie
16 meses	Tercera falange del segundo dedo del pie	Primera falange del cuarto dedo del pie
Segunda falange del cuarto dedo del pie	3 años y 10 meses	Cuneiforme medial
Cuarto metacarpiano	Proximal del radio	10 meses
18 meses		Segundo metacarpiano
		Segunda falange del segundo dedo del pie
		Segunda falange del cuarto dedo del pie

(Continúa pág. siguiente)

**Tabla 1** Edad de aparición de los centros de osificación en población caucásica<sup>14</sup> (Continuación)

Tercer metacarpiano	Tercera falange del cuarto dedo de la mano	Tercera falange del tercer dedo del pie
Primera falange del segundo dedo del pie	Escafoides del pie	Tercera falange del cuarto dedo del pie
Piramidal	Cuneiforme central	Proximal del peroné
<b>11 meses</b>	Primer metatarsiano	Trocánter mayor del fémur
Cuarto metacarpiano	<b>15 meses</b>	<b>2 años y 2 meses</b>
Primera falange del quinto dedo de la mano	Primera falange del primer dedo de la mano	Tercera falange del segundo dedo del pie
<b>12 meses</b>	Segunda falange del quinto dedo de la mano	Cuarto metacarpiano
Segunda falange del cuarto dedo de la mano	<b>17 meses</b>	<b>2 años y 5 meses</b>
Segunda falange del tercer dedo de la mano	Tercera falange del segundo dedo de la mano	Quinto metacarpiano
<b>13 meses</b>	Tercera falange del quinto dedo de la mano	<b>2 años y 8 meses</b>
Quinto metacarpiano	<b>19 meses</b>	Trapecio
Segunda falange del segundo dedo de la mano	Segundo metatarsiano	<b>2 años y 9 meses</b>
<b>14 meses</b>	<b>21 meses</b>	Epicóndilo medial del húmero
Primer metacarpiano	Tercera falange del quinto dedo del pie	<b>3 años</b>
Primera falange del primer dedo del pie	<b>22 meses</b>	Proximal del radio
Primera falange del quinto dedo del pie	Tercer metatarsiano	Trapezoide
Tercera falange del tercer dedo de la mano	<b>23 meses</b>	<b>3 años y 2 meses</b>
	Rótula	Escafoides de la mano
	<b>2 años</b>	<b>4 años y 6 meses</b>
	Semilunar	Distal del cúbito
		<b>5 años y más</b>
		Segunda falange del quinto dedo del pie

**Tabla 2** Edad de aparición de los centros de osificación en población caucásica, después de los 5 años<sup>14</sup>

Centro	Varón	Mujer
Epicóndilo medial del húmero	5,2	
Distal del cúbito	5,6	
Tuberosidad del calcáneo	6,2	
Epífisis del astrágalo	8	6,1
Tróclea del húmero	8	6,1
Olécranon	8,8	6,8
Trocánter menor del fémur	9,4	7,7
Pisiforme	9,1	7,1
Sesamoideo (flexor corto del dedo gordo del pie)	10,4	8,2
Epicóndilo lateral del húmero	10,5	8,3
Tubérculo de la tibia	10,1	9
Proximal del quinto metatarsiano	11	8,7
Sesamoideo (flexor corto del pulgar de la mano)	11,8	9,4
Tubérculo de la primera costilla	13,3	10
Espina anter superior del ilion	13,4	9,3
Proceso transversal de la primera vértebra torácica	13,4	11,4
Acromion	13,5	11,4
Cresta iliaca	13,5	12,4
Apófisis coracoides	13,1	11,3
Tuberosidad isquiática	15	13,2
Medial de la clavícula	15+	14,6

(tabla 3). En la sínfisis púbica se producen los primeros cambios apreciables con la edad y en el extremo esternal de las costillas. Con la llegada de la pubertad, los huesos presentan ya rasgos de dimorfismo sexual que permiten diferenciar los huesos de los chicos y de las chicas.

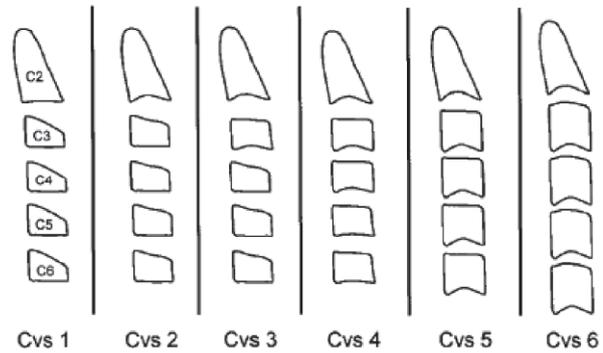
- Desde los 20 a los 25 años de edad. Durante este nuevo periodo, se producen cambios en la sínfisis púbica y en el extremo esternal de las costillas. Se culmina el cierre epifisario de los centros de las vértebras. Comienza el cierre de las suturas craneales. Los terceros molares erupcionan, se producen los primeros fenómenos de resorción alveolar, especialmente si hay pérdida de piezas dentarias, y aparecen los primeros datos de desgaste coronal en las piezas definitivas.
- Desde los 25 a los 36 años de edad. Se produce un cierre más activo de las restantes suturas craneales, así como cambios en la sínfisis púbica y las costillas.
- Desde los 36 a los 50 años de edad. Se mantienen y avanzan los cambios de la fase anterior. Se aprecian, además, cambios osteofíticos marginales localizados en regiones articulares, como la fosa glenoidea de la escápula, o en los cuerpos e interapofisarias de las vértebras. Hacia los 40 años suele desaparecer la llamada "cicatriz" epifisaria, residuo del cierre epifisario en los huesos largos que puede persistir tras la culminación del proceso de fusión epifisodiafisario desde los 20 años.
- Desde los cincuenta años al fallecimiento. En esta última fase, a los cambios de la fase anterior, se suman cambios degenerativos erosivos y osteoporóticos en los huesos

**Tabla 3** Fusión de los núcleos de osificación poscraneales<sup>14</sup>

Centro de osificación	Edad, intervalo (años)
<b>Escápula</b>	
Acromion	18-19
Margen vertebral	20-21
Ángulo inferior	20-21
<b>Clavícula</b>	
Extremo esternal	25-28
Extremo acromial	19-20
<b>Húmero</b>	
Cabeza	19,5-20,5
Extremo distal	14-15
Epicóndilo medial	15-16
<b>Radio</b>	
Extremo proximal	14,5-15,5
Extremo distal	18-19
<b>Cúbito</b>	
Extremo proximal	14,5-15,5
Extremo distal	18-19
<b>Mano</b>	
Metacarpianos	15,5-16,5
Primeras falanges	15-16
Segundas falanges	15-16
Terceras falanges	14,5-15,5
<b>Pelvis</b>	
Elementos primarios	13-15
Cresta	18-19
Tuberosidad	19-20
<b>Fémur</b>	
Cabeza	17-18
Trocánter mayor	17-18
Trocánter menor	17-18
Extremo distal	17,5-18,5
<b>Tibia</b>	
Extremo proximal	17,5-18,5
Extremo distal	15,5-16,5
Epífisis del calcáneo	14,5-15,5
<b>Pie</b>	
Metatarsianos	15-16
Primeras falanges	14,5-15,5
Segundas falanges	14-15
Terceras falanges	14-15

largos y planos. Estos cambios son progresivos y más acusados en los extremos epifisarios articulares. Se observan, además, cambios en las costillas y en la trabeculación ósea en estudios radiográficos.

Como en el resto de los métodos de diagnóstico de edad en antropología física y forense, la precisión disminuye de forma progresiva a medida que aumenta la edad del sujeto de estudio. Según los autores citados, la precisión de una estimación de edad basada en cambios osteológicos, en condiciones óptimas, tendría un margen de error aproximado de 3 meses para la fase 1, 6 meses para las fases 2 y 3, 9



**Figura 2** Sistema de estadios de maduración cervical según el método de Lamparski (1970), modificado por O'Reilly y Yannie-Ilo (1988).

meses para la fase 4, 2 años para las fases 5 y 6 y 5 años para la fase 7<sup>14</sup>.

Por lo tanto, en fetos y niños pequeños los métodos diagnósticos de edad se basan en la evidencia de desarrollo de núcleos de osificación epifisarios y diafisarios; en niños mayores, adolescentes y jóvenes, se utilizan los signos de fusión metafisodiafisaria como evidencia de maduración con la edad, así como los cambios producidos en la dentición en su paso de la fórmula decidua a la definitiva. En adultos y ancianos, son los procesos de degeneración ósea y los fenómenos de osteopenia progresiva los que marcan el diagnóstico de edad basado en técnicas de radiología. También se han aplicado técnicas de estudio radiográfico dental para la estimación de la edad en adultos basando sus principios en las alteraciones producidas por el deterioro dental con la edad.

En el contexto médico-legal, se han aplicado diversos métodos de diagnóstico radiográfico de edad basándose en la correlación con la edad de los fenómenos de osificación, fusión epifisaria y degeneración articular en diversas regiones anatómicas. Estos fenómenos parecen tener una correlación con la edad que es específica de cada región anatómica. Además, dicha correlación es, en ocasiones, específica de la población a la que corresponde el sujeto de estudio, por lo que el mismo método se ha validado en diversas poblaciones en función de factores raciales, geográficos y socioeconómicos. Un intento de enumerar exhaustivamente una lista completa de métodos basados en regiones anatómicas excedería los límites de esta revisión. Por ello, sin ánimo de ser exhaustivos, cabe destacar algunas regiones anatómicas en las que los métodos de diagnóstico de edad han sido mejor estudiados.

### Columna vertebral cervical

Lamparski, en 1972, desarrolló un sistema gráfico estandarizado para valorar la progresión con la edad de la fusión epifisaria de las vértebras cervicales en proyección radiológica<sup>15</sup> (fig. 2). Desde entonces, varios autores han reevaluado y modificado el método y han confirmado su eficacia en el diagnóstico de la edad ósea. Diversos autores han propuesto distintas modificaciones del método original con el fin de intentar simplificar el método gráfico y aumentar la eficacia diagnóstica<sup>16-19</sup>. El método ha demostrado, en las

series de estudio, una buena eficacia diagnóstica de edad hasta los 16 años, si bien su uso se ha centrado especialmente más allá del campo médico-legal en la maduración con la edad, con el fin de establecer el límite de crecimiento facial en ortodoncia.

## Codo

En 1979, Schwedewie et al<sup>20</sup> analizaron la utilidad del método de diagnóstico basado en la fusión de los núcleos epifisarios del codo en una población de niños alemanes y llegaron a la conclusión de que el método era tan útil como el de Greulich y Pyle para niños entre 6 y 15 años, con menor eficacia en edades mayores. A una conclusión similar llegaron Sahni et al<sup>21</sup> en 1994 sobre una población de niñas hindúes de 11 a 19 años.

## Rodilla

También se ha estudiado el esqueleto de la rodilla como método de estimación de la maduración ósea, incluso se han publicado versiones en atlas del método en 1954<sup>22</sup>, 1955<sup>23</sup>, 1957<sup>24</sup>, 1969<sup>25</sup> o 1975<sup>26</sup>. En España, en 1997, Jiménez Castellanos et al<sup>27</sup> desarrollaron el método para la población aragonesa. Otros autores han valorado la eficiencia relativa de este método en contraste con otros más estandarizados, como el método de Greulich-Pyle o Tanner-Whitehouse para la muñeca<sup>28-30</sup>, y llegan a la conclusión de su validez en la adolescencia.

## Pelvis

En la pelvis, uno de los signos clásicos más utilizados en el diagnóstico médico de la maduración ósea es el llamado signo de Risser o proceso de fusión de la cresta iliaca. Desde los estudios originales<sup>31</sup>, varios autores han utilizado y revisado este signo confirmando su utilidad como método de diagnóstico de la terminación del proceso de fusión epifisaria general hacia los 18 años.

## Fémur

En el fémur, aparte de trabajos clásicos, como los de Acsádi y Nemeskéri sobre la involución trabecular de la epífisis proximal<sup>14</sup>, algunos estudios recientes han retomado esta región anatómica para el diagnóstico de la edad en adultos, e inciden en su discreta eficacia como método diagnóstico.

## Tobillo y pie

Whitaker et al<sup>32</sup>, en 2002, han utilizado el esqueleto del pie y elaboraron un atlas para diagnóstico de edad para varones de hasta 200 meses de edad y en mujeres hasta 150 meses. Hernández et al<sup>33</sup>, en 1991, también presentaron un estudio en población española sobre la utilidad de radiografías del pie en el diagnóstico del ritmo de la maduración. Banerjee

y Agarwal, en 1998, publicaron un estudio en el que analizaron la correlación con la edad de la fusión epifisaria de las epífisis distales de tibia y peroné, valorando su eficacia como método diagnóstico de edad hasta los 16-17 años en población hindú<sup>34</sup>, con resultados similares a los descritos por Crowder y Austin en 2005 sobre una población multirracial americana<sup>35</sup>.

## Costillas y peto esternal

Desde que en 1934 Michelson propuso un primer sistema de estadios para la cuantificación de la maduración de la primera costilla en relación con la edad, han sido múltiples los estudios referidos a esta región anatómica<sup>36</sup>. No obstante, la precisión del análisis ha sido habitualmente baja y centrada en cambios que resultan más significativos en sujetos maduros<sup>37</sup>.

## Carpo y mano

Sin duda, la región anatómica más estudiada para el diagnóstico de edad, en particular antes de la culminación de la maduración a los 18 años, es el carpo y la mano<sup>38</sup>.

Entre las series primitivas que analizaron la maduración epifisaria del carpo como objeto principal de estudio o en el contexto de una serie general de huesos largos, se encuentran las de Stevenson de 1924, Galstaun de 1930, Sidhom y Derry de 1931, Borovansky y Hnevkovsky de 1929, Davies y Parsons de 1927, Paterson de 1929, Meenes y Holly de 1932, Adair y Scammon de 1921, Francis y Werle de 1939 y Pryor en trabajos publicados entre 1908 y 1933<sup>4,6-11,13</sup>. Este último autor fue uno de los primeros en apuntar que la osificación de las mujeres se adelanta a la de los varones incluso durante el periodo fetal.

No obstante, es necesario esperar a los proyectos de grandes series longitudinales de población que se desarrollaron a principios del siglo xx bajo los auspicios de fundaciones privadas, tanto en Europa como en Estados Unidos, para que el estudio del carpo acabe adoptando un papel preferente entre las regiones anatómicas estudiadas para el diagnóstico de la edad, especialmente durante la adolescencia<sup>39</sup>.

En 1937, Todd recopiló las radiografías de la mano realizadas a los individuos de un estudio desarrollado en la Western Reserve University de Cleveland, Ohio, y, junto con comparaciones de una serie de esqueletos que analizó, publicó su *Atlas of Skeletal Maturation*<sup>40</sup>, basado en la selección de una radiografía de la mano representativa para cada edad y sexo. Dicha radiografía debía cumplir dos premisas: tener igual grado de desarrollo para los 28 huesos y núcleos de osificación objetos de estudio y debía corresponder a un individuo con un grado de desarrollo corporal situado en la media de lo que correspondería a su edad y sexo.

El Atlas de Todd se usó como referencia hasta que en, el año 1950, fue revisado por Greulich y Pyle dando lugar al famoso atlas que se sigue usando de forma habitual hoy en día: *Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist*, publicado en dos ediciones en 1951 y en 1959<sup>41</sup>. La serie de Greulich y Pyle se basó en una muestra total de

6.879 niños sanos de origen norteamericano y de clase media-alta. El método, de forma esencial, valora la edad del sujeto mediante la obtención de un valor "promedio" de edad ósea por similitud de la radiografía problema con las radiografías estándar recogidas en el atlas y, desde ellas, se hacen estimaciones de normalidad basadas en horquillas de resultados mediante valores de desviación estándar.

Durante la Segunda Guerra Mundial comienza el Oxford Child Health Survey, llevado a cabo por Ryle en 470 niños. Entre las mediciones realizadas se incluía la toma de una radiografía del carpo, que fue analizada por Roy Acheson. Este autor intentaba mejorar el rendimiento de los atlas del sistema Todd mediante un aumento en las precisiones del análisis, para lo cual propuso:

- Que cada hueso o núcleo de osificación se estudiara por separado.
- Que cada hueso o núcleo de osificación tuviera asignado previamente un estadio discontinuo de maduración, al que se le asignaba una puntuación progresiva.
- Que se obtuviera una puntuación final de madurez total a partir de la suma de las puntuaciones parciales de cada hueso por separado.

De esta forma se obtiene del estado de maduración esquelética un valor continuo que puede ser utilizado en los cálculos de crecimiento como la talla o el peso.

El procedimiento de Acheson posteriormente fue refinado por Tanner y Whitehouse en la forma de las tablas Tanner-Whitehouse (TW)<sup>42</sup>. El estudio de cada mano ofrece, con este método, una puntuación total que puede ser procesada para proporcionar un grado de madurez general que se ha de comparar con tablas y distribuciones de resultados por edades y sexos basados en distribuciones por percentiles.

Fundamentalmente, por lo tanto, existen dos grandes tipos de métodos destinados al estudio de la edad ósea en el carpo, los métodos de atlas, de los que el Atlas de Greulich y Pyle (GP) es la principal referencia internacional, y los métodos numéricos, de los que las tres ediciones del método de Tanner-Whitehouse son la principal referencia. Hay algunos métodos mixtos, como el de Thieman-Nitz basado en población alemana. Existen virtualmente adaptaciones de estos métodos para todas las poblaciones en prácticamente todos los países. En España, disponemos de una adaptación de ambos métodos basada en población del País Vasco y publicada en 1991 por Hernández et al<sup>33</sup>.

Podría parecer en principio que un método numérico como el Tanner-Whitehouse debería ser más fiable, pero en la práctica se halla sometido a errores intraobservador e interobservadores similares a los del GP y se halla influido negativamente por fallos técnicos derivados de una posición incorrecta de la mano en el momento de realizar la radiografía, que pueden ser solventados de forma más correcta por los métodos gráficos. Algunos autores recomiendan la aplicación de GP en lugar de TW3 con fines clínicos basándose en un criterio de economía de medios al haber comprobado que TW3 es mucho más costoso en tiempo y que sus resultados son similares a GP<sup>38</sup>.

Se han hecho intentos de desarrollar aplicaciones informáticas sobre el sistema numérico TW2 y TW3 para valora-

ción automatizada de las placas radiográficas. Teóricamente, permitirían cuantificar los resultados de forma uniforme y sin interferencia de los factores de distorsión derivados del observador. Sin embargo, sus resultados todavía no son equiparables con los del método manual y aún es necesaria la colaboración entre radiólogos e informáticos para mejorar los sistemas de *hardware* y *software*.

La interpretación de los resultados obtenidos de la edad ósea por cualquiera de los métodos disponibles debe adaptarse a las características de la población del sujeto de estudio. Los factores que podrían modificar la evolución de la edad ósea en un sujeto determinado no están perfectamente definidos, aunque se han identificado diferencias en diversos estudios en relación con factores patológicos, raciales y socioeconómicos. La impresión general de las investigaciones más recientes es que serían los factores socioeconómicos, que influyen en la forma de nutrición y condiciones higiénico-sanitarias del sujeto, los más significativos en cuanto a su capacidad de modificar los resultados<sup>43,44</sup>. Diversos autores, en distintos estudios, han discutido los factores raciales y, aunque parece ser que por sí mismos no serían capaces de justificar diferencias significativas en la edad ósea, no hay datos indubitables que permitan de forma absoluta afirmar o descartar la influencia específica de este factor.

Por el contrario, en los estudios realizados, resulta definitivo el hecho de que ciertas condiciones patológicas pueden afectar a los resultados de la edad ósea, si bien la lista de éstas no puede considerarse ni mucho menos completa. En el contexto de la influencia étnica y racial, hay múltiples estudios, algunos de ellos con bases metodológicas discutibles y con resultados a menudo contradictorios, que principalmente se han realizado en poblaciones de europeos caucásicos, caucásicos norteamericanos, otros grupos étnicos norteamericanos (incluido el genéticamente dudoso grupo racial de los hispanos), distintas poblaciones mongoloides y caucásicas de Asia, y algunos estudios incompletos en poblaciones negroides centro y sudafricanas.

Los estudios en Europa más recientes parecen indicar que los caucásicos europeos se acercan a los ritmos de maduración marcados por el sistema GP y el TW2 o se hallan ligeramente retrasados o adelantados frente a éstos. En algunos casos, las diferencias con los métodos originales han sido pequeñas pero estadísticamente tan significativas que se ha propuesto la necesidad de elaborar tablas y atlas específicos para estas poblaciones.

Los estudios clásicos de los años setenta y ochenta en población mongoloide de Asia indicaban que los chinos y japoneses presentaban un retraso en su edad ósea frente a la cronológica en la fase prepuberal, pero en la fase pospuberal existía una aceleración hasta culminar la maduración a una edad similar a la de los europeos y americanos caucásicos. En las series más actuales sobre poblaciones modernas con mejores condiciones socioeconómicas, se aprecia una tendencia a ajustar aún más los resultados con los ritmos de maduración de la edad ósea de las poblaciones occidentales. En India y Pakistán los hallazgos han sido similares, se aprecian adelantos en la edad ósea frente a la cronológica durante la fase pospuberal, más evidentes en sujetos de clase social alta<sup>38</sup>.

En Estados Unidos los estudios indican que los sujetos caucásicos se ajustan bien a los estándar de GP y TW2 o

suelen presentar un cierto adelanto madurativo. Por el contrario, los resultados en sujetos negroides arrojan resultados contradictorios en las series. Para Gross et al<sup>45</sup> la raza negra se ajusta mejor que la blanca al estándar de GP. En las series de Ontell et al y de Lodler et al la raza negra se halla adelantada para el estándar de GP<sup>46,47</sup>. La serie de Marshall et al<sup>48</sup> en negros jamaicanos, comparada con el UK60 del TW2, indica un retraso de la edad ósea desde los 13 años de edad con independencia de factores socioeconómicos. Finalmente, Gilsanz et al<sup>49</sup>, en un estudio entre sujetos de raza negra y blanca en Estados Unidos, no aprecian diferencias significativas entre la edad ósea y la edad cronológica en ambas razas cuando se igualan los factores socioeconómicos.

Hasta donde llegan nuestros conocimientos, no se ha estudiado sistemáticamente a los habitantes de los países musulmanes de Oriente Próximo y del Norte de África y las poblaciones de estos países emigradas a países desarrollados y no se puede afirmar si su ritmo de maduración ósea sigue o no la evolución marcada en otras poblaciones<sup>50</sup>. Los únicos estudios disponibles son los de Koc et al<sup>51</sup>, Büken et al<sup>52</sup> y Garamendi et al<sup>53</sup>. Koc et al realizaron un estudio en población turca moderna, el cual indica un retraso en la edad ósea hasta los 13 años y un adelanto discreto desde esa edad para el GP. El inconveniente principal de este estudio deriva de que su muestra de población sólo llega hasta los 17 años de edad cronológica. Este inconveniente ha sido solventado en un estudio reciente por Büken et al, quienes han analizado radiografías del carpo de 409 niños y niñas de entre 11 y 19 años de edad de origen caucásico en Turquía. Su estudio, de forma análoga al de Koc et al, indica que su población presenta un adelanto de la edad ósea entre los 13 y 17 años y un retraso relativo en el grupo de edad de 18 a 19 años. Garamendi et al publicaron en 2005 un estudio sobre una población de 114 inmigrantes marroquíes con una edad confirmada de 12 a 25 años, elaborando un análisis conjunto tanto de las variaciones en relación con el estándar de Greulich y Pyle para las radiografías de carpo como para la edad dental estimada mediante ortopantomografías.

Las características socioeconómicas de cada población serían, para algunos autores, los factores más significativos en cuanto a su capacidad para influir en las variaciones en el ritmo de maduración de la edad ósea. Otros estudios, por el contrario, no parecen confirmar esta hipótesis. Así, Marshall et al<sup>48</sup>, en población negra jamaicana, no apreciaban variaciones en función de la clase social alta o baja de los sujetos. Sin embargo, estudios modernos y específicos sobre esta variable de autores como Jahari et al<sup>54</sup>, sobre población indonesia, Fleshman<sup>55</sup>, sobre población africana, o Melsen et al<sup>56</sup>, sobre población de menores extranjeros adoptados en Dinamarca, identifican claramente los factores socioeconómicos y la pobreza como productores de retrasos significativos en el ritmo de la secuencia de la maduración ósea durante la fase prepuberal.

Entre los procesos patológicos identificados claramente como factores de alteración del ritmo de evolución de la edad ósea se hallan, entre otros, la enuresis nocturna<sup>57</sup>, el déficit de GH<sup>58</sup>, la obesidad<sup>59</sup>, los hábitos deportivos de alta competición<sup>60</sup> o las malformaciones óseas y la exposición a agentes físicos, como en el caso de las congelaciones<sup>61</sup>.

## Dentición

La utilización de los dientes como un indicador para la estimación de la edad se remonta a la primera mitad del siglo XIX. El desarrollo de la dentición comienza en la sexta semana de la vida intrauterina y se extiende aproximadamente hasta los 20 años.

La determinación de la edad dental mediante la valoración de los diferentes estadios de mineralización de los dientes puede utilizarse para estimar la edad cronológica de una persona. No obstante, la precisión que puede obtenerse a la hora de realizar una estimación de edad dental no es uniforme desde el nacimiento a la madurez; se alcanza un grado mayor de precisión cuando un número elevado de dientes se encuentra en formación y el crecimiento del individuo es rápido, tal como sucede durante los primeros años de la vida. Después de los 14 años, una vez finalizada la formación de los premolares y caninos, la estimación de la edad se hace más difícil ya que la mayoría de los dientes han completado su desarrollo, salvo los terceros molares, los cuales, al continuar su formación, se convierten en el único indicador útil<sup>62</sup>.

Para la estimación de la edad dental durante este primer periodo de la vida se han propuesto múltiples métodos orientados a valorar mediante la utilización de imágenes radiográficas los estadios de mineralización de los gérmenes dentarios de la dentición permanente, tales como el método de Nolla<sup>63</sup> o el de Moorrees et al<sup>64</sup>. Sin embargo, el método más ampliamente utilizado con este fin ha sido el desarrollado por Demirjian et al<sup>65</sup> basado en radiografías panorámicas de 1.446 chicos y 1.482 chicas de entre 2 y 20 años, de origen franco-canadiense. Este método consiste en asignar una puntuación a cada uno de los siete dientes mandibulares del lado izquierdo, según su estadio de desarrollo (estadios A-H), siguiendo unos criterios descritos para cada uno y por comparación con diagramas e imágenes radiológicas. Las puntuaciones de los siete dientes se suman para dar una puntuación de maduración, la cual se convierte directamente en una edad dental usando unas tablas específicas. Numerosos trabajos han adaptado el sistema propuesto por Demirjian et al a diferentes poblaciones, elaborándose estándares específicos de la secuencia de mineralización dental para las diferentes poblaciones estudiadas, ya que la mayoría de los investigadores coinciden en señalar la necesidad de crear bases de datos específicas para cada población a fin de obtener una mayor precisión en la estimación de la edad.

La valoración del grado de maduración radiológica del tercer molar se ha realizado según diferentes métodos propuestos por autores como Kullman et al<sup>66</sup> y Gleiser et al<sup>67</sup>, entre otros, pero principalmente el método gráfico original de Demirjian et al<sup>65</sup> o sus variantes, como la desarrollada por Solari y Abramovitch<sup>68</sup>, han sido los más empleados con dicha finalidad. En la literatura médica hay múltiples publicaciones orientadas al estudio de la secuencia de mineralización del tercer molar en diferentes poblaciones, con objeto de obtener datos de referencia con aplicaciones forenses, principalmente en relación con la posibilidad de predicción de una edad mayor o menor de 18 años.

Otro enfoque en este campo ha sido propuesto por Olze et al<sup>69</sup> cuyo método, basado en la evaluación combinada de varias características radiológicas y morfológicas dentales

valoradas en ortopantomografías, podría proporcionar información útil para la estimación de la edad dental y permite llegar a conclusiones respecto a si una persona ha alcanzado los 21 años de edad. Sin embargo, la utilización de estos criterios de forma aislada no permite obtener la precisión requerida para estos casos, por lo que estos autores recomiendan utilizar un examen radiológico de la epifisis medial clavicular.

Una vez que todos los dientes están formados, los métodos de estimación de la edad dental han de enfocarse en el estudio de los cambios regresivos relacionados con la edad, los cuales son menos precisos que los basados en las fases de desarrollo, ya que son parcialmente influidos por la función y por procesos patológicos. En 1950, Gustafson<sup>70</sup> publicó el primer método científico para la valoración de los cambios relacionados con la edad en los dientes que ya habían completado su proceso de calcificación. Sin embargo, la mayoría de estos métodos generalmente requieren la extracción y, algunos de ellos, la preparación de secciones de al menos un diente. En contraste, el estudio radiográfico de los dientes consiste en un método no destructivo y simple, además de constituir una técnica empleada ampliamente en las clínicas dentales, lo que la convierte en una herramienta de gran utilidad ya que puede aplicarse a casos de identificación, tanto en sujetos vivos como en cadáveres de edad desconocida, así como en investigaciones arqueológicas, lo que obliga a aplicar técnicas no invasivas.

Entre los parámetros dentales potencialmente relacionados con el proceso de envejecimiento valorados mediante técnicas radiográficas destaca el fenómeno de la deposición de la dentina secundaria, proceso lento que gradualmente va reduciendo el tamaño de la cavidad pulpar y cuya cuantificación puede utilizarse como un posible indicador de edad. De los primeros autores que emplearon las técnicas radiográficas para evaluar la influencia del desgaste dental y la edad en la formación de la dentina destaca el trabajo publicado por Philipps<sup>71</sup>. En 1995, Kvaal et al<sup>72</sup> elaboraron un nuevo método para la estimación de la edad cronológica de adultos mediante el examen de la relación existente entre la edad y el tamaño de la pulpa evaluada sobre radiografías periapicales. Otros trabajos se han centrado en analizar la reproducibilidad de este método de cálculo de edad dental sobre muestras independientes mediante la utilización de otras técnicas radiológicas como la ortopantomografía. Asimismo, diferentes estudios han focalizado sus investigaciones en la evaluación radiográfica de otros parámetros morfológicos, como la reducción del canal radicular con la edad<sup>73</sup> y del índice coronal<sup>74</sup>, así como en el estudio de la relación entre la edad y la ratio área pulpa/diente<sup>75</sup>.

## Clavícula

Hay algunas referencias en la literatura médica del uso de la clavícula con fines de diagnóstico de edad tanto en sujetos jóvenes como en adultos. En los últimos años, sin embargo, han proliferado los estudios de gran rigor metodológico y basados en métodos de diagnóstico radiográfico convencional, tomográfico y ecográfico de esta región anatómica en sujetos en torno a los 21 años de edad, en consonancia con las recomendaciones del AGFAD<sup>43,77,78</sup>.

## Recomendaciones europeas del AGFAD y recomendaciones en España

En la actualidad, en la práctica médico-forense, quizá el caso que más comúnmente demanda la colaboración de la radiología para el diagnóstico de edad es en supuestos menores indocumentados.

En septiembre de 2000, el grupo multidisciplinario del Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (AGFAD) elaboró las primeras guías europeas para la estimación de la edad en individuos vivos sometidos a procedimientos criminales<sup>43,79</sup>. Las guías establecían la necesidad de realizar una serie de pruebas diagnósticas que incluyeran exámenes radiográficos y antropométricos y, una vez practicadas, interpretar los resultados en función de estudios previos en poblaciones adecuadas al sujeto de estudio.

Siguiendo el espíritu de estas guías, en España, en marzo de 2004, durante las jornadas monográficas organizadas sobre determinación de edad en menores indocumentados, se propusieron unas guías para aplicar en estos menores con el amplio consenso de los profesionales implicados<sup>80</sup>.

Ambas recomendaciones proponen la aplicación de los siguientes medios diagnósticos en los casos de estimación forense de la edad en supuestos menores de 18 años y mayores de 14 años:

- Examen físico: obtención de medidas antropométricas (peso, talla, tipo constitucional); inspección de signos de madurez sexual; identificación de enfermedades que puedan alterar el desarrollo madurativo.
- Examen radiográfico de la mano izquierda.
- Examen externo del estado de la dentición y radiografía dental.
- Examen radiográfico de la clavícula, en el caso de que interesase confirmar si la edad cronológica es mayor o menor de 21 años.

Al interpretar los resultados, las mismas guías recomiendan que los datos obtenidos de las anteriores pruebas sean contrastados con estudios de referencia adecuados al sujeto específico estudiado. Al seleccionar dichos estudios debieran considerarse como factores significativos de corrección de los resultados las variables étnicas, socioeconómicas y patológicas, así como el grado de error intraobservador e interobservadores. Recomiendan, finalmente, al realizar la valoración pericial definitiva, que se especifique el resultado por separado de cada una de las pruebas realizadas y que la estimación de edad se establezca como la más probable, indicando el grado de probabilidad del resultado estimado.

En todo caso, para un buen servicio a la Administración de Justicia, debe resaltarse en los informes periciales que los resultados de estas pruebas son siempre una mera orientación sobre la edad real de los sujetos estudiados. Se ha podido comprobar reiteradas veces la no despreciable probabilidad de error de estos estudios y ello ha dado lugar a desgraciadas situaciones en las que la actividad pericial se ha revelado inadecuada a los fines de una buena administración de la justicia<sup>81</sup>.

Finalmente, un aspecto aparentemente marginal, pero esencial en esta materia, es que los estudios radiográficos

propuestos se deben realizar en sujetos posiblemente menores de edad y sin una clara indicación médica clínica para ello. El carácter estocástico, con independencia de la dosis, de los posibles daños mediados por las radiaciones ionizantes ha condicionado un intenso debate en la comunidad científica en los últimos años sobre la idoneidad del uso de la radiología sin indicación médica estricta y ha llevado a la conclusión de que este tipo de pruebas diagnósticas, en el contexto médico legal, deben realizarse de forma muy ocasional y limitándose a las pruebas estrictamente necesarias para un diagnóstico de edad con la suficiente fiabilidad diagnóstica. Las citadas guías, aplicadas de forma juiciosa y evitando las exposiciones reiteradas a los métodos de diagnóstico radiológico, son fieles a esta recomendación<sup>82-84</sup>.

## Bibliografía

- Garamendi PM. Análisis de parámetros de maduración ósea como indicadores de edad en estudios de radiología digital de tórax y estudios de radiología panorámica dental digital. Tesis doctoral. Universidad de Granada; 2007.
- Brogdon BG. Forensic Radiology. CRC Press; 1998.
- Londe A. Les rayons Roentgen et les momies. *La Nature*. 1897; 25:103-5.
- Stevenson PH. Age order of epiphyseal union in man. *Am J Phys Anthropol*. 1924;7:53-93.
- Flecker H. Roentgenographic observations of the times of appearance of epiphyses at the medial end of the clavicle. *J Anat*. 1933;67:118-64.
- Galstaun G. A study of ossification as observed in Indian subjects. *Indian J Med Res*. 1937;25:267-324.
- Sidhom G, Derry DE. Dates of union of some epiphyses in Egyptians from x-ray photographs. *J Anat*. 1931;65:196-211.
- Pryor JW. Chronology and order of ossification of the bones of the human carpus: x-ray method. *Bull State Coll Kentucky*. 1908;1.
- Borovansky L, Hněvkovsk? O. Growth of the body and process of ossification in Prague boys from 4 to 19 years. *Anthropologie Praha*. 1929;7:169-208.
- Davies DA, Parsons FG. Age order of appearance of epiphyses and their fusion with the diaphyses. *J Anat*. 1927;62:58-71.
- Paterson RS. Radiographic investigation of the epiphyses of the long bones. *J Anat*. 1929;64:28-46.
- Meenes TO, Holly LE. Ossification in extremities of the newborn. *Am J Roentegenol Rad Therapy*. 1932;28:389-390.
- Adair FL, Scammon RE. Ossification centers of the wrist, knee and ankle at birth with particular reference to the physical development and maturity of the newborn. *Am J Obst Gynec*. 1921;2:35-60.
- Krogman WM, Isçan MY. *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. 2.ª ed. Springfield: Charles C Thomas; 1986.
- Lamparski D. Skeletal age assesment utilizing cervical vertebra. MS Thesis, School of Dental Medicine, University of Pittsburgh, Pittsburgh; 1972.
- O'Reilly M, Yanniello GJ. Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae—a longitudinal cephalometric study. *Angle Orthod*. 1988;58:179-84.
- Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995;107:19.
- Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. An improved versión of the cervical vertebral maturation (CMV) method for the assesment of mandibular growth. *Angle Orthod*. 2002;72:316-23.
- San Roman P, Palma JC, Oteo MD, Nevado E. Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *Eur J Orthod*. 2002;24:303-11.
- Schwedewie H, Braselman A, Willich E, Lachman R. The determination of bone age in the elbow as compared to the hand. A study in 390 children. *Rev Interam Radiol*. 1979;4:11-7.
- Sahni D, Jit I, Sanjeev N. Time of fusion of epiphyses at the elbow and wrist joints in girls of Northwest India. *Forensic Sci Int*. 1995;74:47-55.
- Acheson RM. The Oxford meted of assessing skeletal maturity. *Clin Orthop*. 1957;10:19-24.
- Pyle SI, Hoerr NL. Radiographic atlas of skeletal development of the knee. Springfield: Charles C Thomas; 1955.
- Narayan D, Bajaj ID. Ages of epiphyseal union in long bones of the inferior extremity in UP subjects. *Indian J Med Res*. 1957;45:645-9.
- Pyle SI, Hoerr NL. A radiographic standard of reference for the growing knee. Springfield: Charles C Thomas; 1969.
- Roche AF, Wainer H, Thissen D. Skeletal maturity. The knee as a biological indicator. Plenum Press NY. 1975.
- Jiménez Castellanos J, Catalina Herrera CJ, Carmona A, Jiménez Castellanos R, Viñuales M. Estudio intersexual y comparativo de la maduración ósea del esqueleto de la rodilla en niños y niñas españoles. *Arch Esp Morfol*. 1997;1:45-9.
- Vignolo M, Milani S, Di Battista E, et al. Modified Greulich-Pye, Tanner-Whitehouse and Roche-Wainer-Thissen (knee) methods for skeletal age assessment in a group of italian children and adolescents. *Eur J Pediatr*. 1990;149:314-7.
- Aicardi G, Vignolo M, Milani S, Naselli A, Magliano P, Garzia P. Assessment of skeletal maturity of the hand-wrist and knee: a comparison among methods. *Am J Human Biol*. 2000;12:610-5.
- Xi H, Roche AF. Differences between the hand wrist and the knee in the assigned skeleal ages. *Am J phys Anthropol*. 1990;83:95-102.
- Risser JC. The iliac epiphysis: an invaluable sign in the management of scoliosis. *Clin Orthop*. 1958;11:111-8.
- Whitaker JM, Rousseau L, Williams T, Rown RA, Hartwig WC. Scoring system for estimating age in the foot skeleton. *Am J Phys Anthropol*. 2002;118:385-92.
- Hernández M, Sánchez B, Sobradillo B, Rincón JM. Maduración ósea y predicción de la talla. Atlas y métodos numéricos. Madrid: Díaz Santos; 1991.
- Banerjee KK, Agarwal BBL. Estimation of age from epiphyseal union at the wrist and ankle joints in the capital city of India. *For Sci Int*. 1998;98:31-9.
- Crowder Ch, Austin D. Age ranges of epiphyseal fusion in the distal tibia and fibula of contemporary males and females. *J Forensic Sci*. 2005;50. DOI: 10.1520/JFS2004542.
- Michelson N. The calcification of the first costal cartilage among whites and negroes. *Hum Biol*. 1934;6:543-57.
- Garamendi PM, Landa MI, Alemán I, Botella MC. Osificación del cartílago costal de la primera costilla en relación con la edad. Aplicaciones en la estimación forense de la edad. *Cuad Med For*. 2007;13.
- Garamendi PM, Landa MI. Estimación forense de la edad en torno a 18 años. Revisión bibliográfica. *Cuad Med For*. 2003;31:13-24.
- Bañón R. El estudio de la edad ósea en el carpo y en otras regiones anatómicas aplicado a la estimación de minoría de edad. Jornadas sobre Determinación de edad en menores indocumentados. Donostia; marzo de 2004.
- Todd TW. Atlas of skeletal maturation (Hand). St. Louis: Mosby; 1937.
- Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. ment of the hand and wrist. Stanford University Press; 1950-1959.
- Tanner JM, Whitehouse RH, Cameron N, Marshall WA, Healy M, Goldstein H. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2). 2.ª ed. London: London Academy Press; 1983.

43. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, et al. Age estimation of living people undergoing criminal proceedings. *Lancet*. 2001;358:89-90.
44. Schmeling A, Reisinger W, Loreck D, et al. Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimation. *Int J Legal Med*. 2000;113:253-8.
45. Gross GW, Boone JM, Bishop DM. Pediatric skeletal age: determination with neural networks. *Radiology*. 1995;195:686-95.
46. Lodler R, Estle DT, Morrison K, et al. Applicability of the Greulich and Pyle skeletal age standards to black and white children of today. *AJDC*. 1993;147:1329-33.
47. Ontell FK, Ivanovic M, Ablin DS, Barlow TW. Bone age in children of diverse ethnicity. *AJR*. 1996;167:1395-8.
48. Marshall WA, Ashcroft MT, Bryan G. Skeletal maturation of the hand and wrist in Jamaican children. *Human Biol*. 1970;42:419-35.
49. Gilsanz V, Skaggs DL, Kovanlikaya A, et al. Differential effect of race on the axial appendicular skeletons of children. *J Clin Endocrinol Metab*. 1988;83:1420-7.
50. Souguir MK, Ben Dhiab M, Masmoudi T, Zemni M. La détermination de l'âge chez le jeune tunisien. À propos de 200 cas. *Journal de Médecine Légale Droit Médical*. 2002;45:89-91.
51. Koc A, Karaoglanoglu M, Erdogan M, et al. Assessment of bone ages: is the Greulich-Pyle method sufficient for Turkish boys? *Pediatr Int*. 2001;43:662-5.
52. Büken B, Safak AA, Yazici B, Büken E, Mayda AS. Is the assessment of bone age by the Greulich-Pyle method reliable at forensic age estimation for Turkish children? *Forensic Sci Int*. 2007. DOI:10.1016/j.forsciint.2007.02.023.
53. Garamendi PM, Landa MI, Ballesteros J, Solano MA. 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*. 2005;154:3-12.
54. Jahari AB, Haas J, Husaini MA, Pollitt E. Effects of an energy and micronutrient supplement on skeletal maturation in undernourished children in Indonesia. *Eur J Clin Nutr*. 2000;54 Suppl 2:74-9.
55. Fleshman K. Bone age determination in a pediatric population as an indicator of nutritional status. *Trop Doct*. 2000;30:16-8.
56. Melsen B, Wenzel A, Miletic T, et al. Dental and skeletal maturity in adoptive children: assessment at arrival and after one year in the admitting country. *Ann Human Biol*. 1986;13:153-9.
57. Dundaroz MR, Sarici SU, Denli M, et al. Bone age in children with nocturnal enuresis. *Int Urol Nephrol*. 2001;32:389-91.
58. Vallejo-Bolaños E, España-López AJ, Muñoz-Hoyos A, Fernández-García JM. The relationship between bone age, chronological age and dental age in children with isolated growth hormone deficiency. *In J Pediatr Dent*. 1999;9:201-6.
59. Bueno M, Sarría A, Bueno M. Estudio de la maduración ósea en niños obesos aragoneses de ambos sexos. *An Esp Pediatr*. 1996;45:29-32.
60. Theintz GE, Howald H, Weiss U, et al. Evidence of reduction of growth potential in adolescent female gymnasts. *J Pediatr*. 1993;122:306-13.
61. Freyschmidt J, Brossmann J, Wiens J, Sternberg A. Borderlands of normal and early pathological findings in skeletal radiography. 5.ª ed. George Thieme Verlag; 2001.
62. Landa MI. Parámetros de maduración con la edad en Ortopantomografías digitales. Tesis doctoral. Universidad de Granada; 2007.
63. Nolla CM. The development of the permanent teeth. *J Dent Child*. 1960;27:254-66.
64. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE Jr. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res*. 1963;42:1490-502.
65. Demirjian A, Goldstein LH, Tanner JH. A new system of dental age assessment. *Human Biol*. 1973;45:211-27.
66. Kullman L, Johanson G, Akesson L. Root development of the lower third molar and its relation to chronological age. *Swed Dent J*. 1992;16:161-7.
67. Gleiser I, Hunt E. The permanent mandibular first molars: its calcification, eruption and decay. *Am J Phys Anthropol*. 1955;13:253-84.
68. Solari A, Abramovitch K. The accuracy and precision of third molar development as an indicator of chronological age in Hispanics. *J Forensic Sci*. 2002;47:531-5.
69. Olze A, Mahlowa A, Schmidt S, Wernecke KD, Geserick G, Schmeling A. Combined determination of selected radiological and morphological variables relevant for dental age estimation of young adults. *Homo*. 2005;56:133-40.
70. Gustafson G. Age determination on teeth. *J Am Dent Assoc*. 1950;41:45-54.
71. Phillipas GG. Influence of occlusal wear and age on formation of dentin and size of pulp chamber. *J Dent Res*. 1961;40:1186-98.
72. Kvaal SI, Kollveit KM, Thomsen IO, Solheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int*. 1995;74:175-85.
73. Morse DR, Esposito JV, Schoor RS. A radiographic study of aging changes of the dental pulp and dentin in normal teeth. *Quintessence Int*. 1993;24:329-33.
74. Drusini AG, Toso O, Ranzato C. The coronal pulp cavity index: a biomarker for age determination in human adults. *Am J Phys Anthropol*. 1997;103:353-63.
75. Cameriere R, Ferrante L, Belcastro G, Bonfiglioli B, Rastelli E, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in canines by periapical X-rays. *J Forensic Sci*. 2007;52:166-70.
76. Schmeling A, Schultz R, Reisinger W, Mühler M, Wernecke KD, Geserick G. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Leg Med*. 2004;118:5-8.
77. Schulz R, Mühler M, Mutze S, Schmidt S, Reisinger W, Schmeling A. Studies on the time frame for ossification of the medial epiphyses of the clavicle as revealed by CT scans. *Int J Legal Med*. 2005;119:142-5.
78. Garamendi PM, Botella MC, Alemán I, Landa MI. Fusión de la epífisis esternal de la clavícula en relación con la edad. Aplicaciones en la estimación forense de la edad. *Cuad Med For*. 2007;13:143-56.
79. Schmeling A, Kaatsch H-J, Marré B, Reisinger W, Riepert T, Ritz-Timme S, et al. Study Group of Forensic Age Estimation of the German Association of Forensic Medicine (2001). Guidelines for age estimation in living individuals in criminal proceedings [citado Jun 2009]. Disponible en: <http://rechtsmedizin.klinikum.uni-muenster.de/agfad/empfehlungen.htm>
80. Recomendaciones sobre métodos de diagnóstico forense de la edad de menores indocumentados en el entorno judicial. Conclusiones de la mesa redonda final. Jornadas sobre determinación de edad en menores indocumentados. San Sebastián; 5 de marzo de 2004.
81. Nambiar P, Yaacob H, Menon R. Third molars in the establishment of adult status. Case report. *J Forensic Odonto-Stomatology*. 1996;14:30-3.
82. European Commission. Radiation protection (2004). Medico-legal exposures, exposures with ionising radiation without medical indication. Proceedings of the International Symposium. Dublin, 4-6 September 2002.
83. Schmeling A. Forensic age estimation of live adolescents and young adults. En: Tsokos M, editor. *Forensic Pathology Reviews*. N.º 5. New York: Humana Press; 2008.
84. Ramsthaler F, Proschek P, Betz W. How reliable are the risks estimates for X-ray examinations in forensic age estimations? A safety update. *Int J Leg Med*. 2009;123:199-204.