

Estudio radiológico de la fusión epifisaria clavicular por TC: utilidad para la estimación forense de la edad en menores no acompañados.

Alejandra del Carmen Plasencia Marrero, Paula Martín Martín

Hospital Universitario Nuestra Señora de la Candelaria, Santa Cruz de
Tenerife

• Objetivo docente

Revisar la utilidad y limitaciones de la tomografía computarizada (TC) en la estimación forense de la edad a través del estudio de la epífisis medial de la clavícula, destacando el protocolo óptimo de adquisición y su aplicación en contextos médico-legales, especialmente en menores no acompañados.

• Revisión del tema

La determinación de la mayoría de edad constituye un desafío médico-forense, particularmente en población migrante sin documentación fiable. La TC de clavícula medial representa una herramienta válida cuando los métodos dentales y carpianos han alcanzado su madurez completa. El protocolo recomendado incluye cortes finos de 1 mm, estudio bilateral de la articulación esternoclavicular y reconstrucciones multiplanares (axial, coronal y sagital). La clasificación de Schmeling permite valorar la fusión epifisaria en cinco estadios, correlacionados con intervalos de edad cronológica. Factores como el estado nutricional, enfermedades crónicas o variabilidad poblacional pueden interferir en la maduración ósea; sin embargo, la clavícula muestra escasas diferencias atribuibles al sexo o la raza, lo que refuerza su fiabilidad.

• Conclusiones

La TC de clavícula medial, realizada con técnica estandarizada y evaluación bilateral, ofrece alta precisión y reproducibilidad en la estimación de la mayoría de edad forense. Su integración en protocolos multidisciplinarios garantiza un abordaje objetivo, ético y respetuoso con el principio de mínima exposición radiológica, especialmente relevante en la valoración de menores no acompañados.

El desafío médico-forense de la determinación de la minoría de edad

En el ordenamiento jurídico español, el umbral de los 18 años constituye el límite que separa el sistema de protección del menor, del régimen jurídico aplicable a los adultos. En el caso de los menores extranjeros no acompañados (MENA), la determinación de la minoría de edad tiene importantes implicaciones legales, ya que activa mecanismos de protección específicos, como la tutela por parte de la administración pública, el acceso a recursos asistenciales y la suspensión de procedimientos de expulsión. No obstante, para transformar esta presunción inicial en una decisión jurídica fundamentada resulta necesario recurrir a métodos científicos objetivos de estimación de la edad.

Tradicionalmente, la estimación médico-forense de la edad se ha basado en la evaluación de la maduración ósea mediante radiografía de mano y muñeca, habitualmente interpretada según el atlas de Greulich y Pyle, así como en la valoración del desarrollo dentario mediante ortopantomografía, utilizando métodos como el de Demirjian. Sin embargo, ambos procedimientos presentan limitaciones relevantes en adolescentes mayores. La radiografía del carpo pierde capacidad discriminativa a partir de los 16–17 años, momento en el que la mayoría de los núcleos de osificación se encuentran completamente fusionados, lo que dificulta distinguir entre individuos cercanos al umbral legal de la mayoría de edad. Por su parte, el desarrollo dentario, particularmente el del tercer molar, presenta una elevada variabilidad interindividual, así como diferencias asociadas al sexo y al origen poblacional, lo que puede afectar a la precisión de la estimación cronológica. Diversos estudios han demostrado que las mujeres tienden a presentar una maduración esquelética y dentaria ligeramente más precoz que los varones, mientras que factores genéticos, ambientales y socioeconómicos pueden influir en el ritmo de desarrollo entre distintas poblaciones. Estas variaciones limitan la capacidad de estos métodos para establecer con precisión la frontera legal de los 18 años.

Debido a estas limitaciones biológicas, cuando la maduración esquelética de la mano y el desarrollo dentario han alcanzado su fase final, la evaluación de la epífisis medial de la clavícula mediante tomografía computarizada se ha consolidado como uno de los marcadores más útiles para valorar la transición entre la adolescencia tardía y la adultez temprana.

Fundamentos Biológicos: La Epífisis Medial de la Clavícula como Indicador Cronológico

La clavícula posee una ontogenia única: es el primer hueso en iniciar su osificación y el último en completarla, entre los 21 y los 25 años. Esta característica la convierte en el cronómetro biológico más fiable para el peritaje de la mayoría de edad y la plena madurez esquelética. A diferencia de otros indicadores, permite evaluar con mayor fiabilidad el intervalo crítico comprendido entre los 18 y los 21 años, incluso en poblaciones con distinta procedencia geográfica.

Clasificación de Schmeling

La comunidad forense internacional utiliza la Clasificación de Schmeling para estandarizar la interpretación de la madurez de la epífisis medial:

- **Estadio 1:** El núcleo de osificación epifisaria no es visible.
 - **Estadio 2:** Núcleo de osificación epifisaria visible; no hay fusión con la metáfisis.
 - **Estadio 3:** Estadio intermedio de fusión parcial entre la epífisis y la metáfisis.
 - **Estadio 4:** Fusión completa; persiste la cicatriz epifisaria visible radiológicamente.
 - **Estadio 5:** Fusión completa con desaparición total de la cicatriz epifisaria (madurez absoluta, invariablemente > 21 años).
-

Refinamiento de Kellinghaus

Para aumentar la precisión en la estimación de la edad alrededor de la frontera legal de los 18 años, Kellinghaus propuso un refinamiento de la clasificación de Schmeling que subdivide los **estadios 2 y 3** en subetapas, permitiendo un análisis más detallado del grado de osificación y fusión de la epífisis medial de la clavícula.

- **Estadio 2** – epífisis visible, sin fusión con la metáfisis:

2a: epífisis presente y cubre menos de un tercio de la superficie metafisaria. Suele asociarse a los 15–16 años.

2b: epífisis cubre entre un tercio y dos tercios de la superficie metafisaria. Se observa típicamente a los 16–17 años.

2c: epífisis cubre más de dos tercios de la superficie metafisaria, pero aún sin contacto con la metáfisis. Se relaciona con los 16–18 años.

- **Estadio 3** – fusión parcial entre epífisis y metáfisis:

3a: cierre de menos de un tercio de la placa epifisaria. Se estima entre los 17–18 años.

3b: cierre aproximado de entre un tercio y dos tercios de la placa. Se asocia a los 18–19 años.

3c: fusión prácticamente completa, aunque persiste una línea o muesca residual correspondiente a la antigua placa de crecimiento. Es común entre los 18–20 años.

ESTADIOS DE LA EPÍFISIS MEDIAL DE LA CLAVÍCULA Y RANGOS DE EDAD APROXIMADOS

Estadio 1

→ Epífisis no visible

14-16 años



Estadio 2: Epífisis visible, sin fusión

2a Epífisis <1/3 de metáfisis



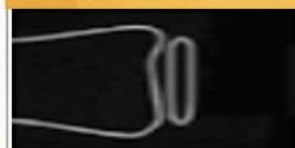
15-16 años

2b Epífisis 1/3-2/3 de metáfisis



16-17 años

2c Epífisis > 2/3 de metáfisis



16-18 años

Estadio 3: Fusión Parcial

3a Fusión <1/3



17-18 años

3b Fusión 1/3-2/3



18-19 años

3c Fusión >2/3, línea residual



18-20 años

Estadio 4

Fusión completa, línea visible

19-21 años



Estadio 5

Fusión completa, sin línea

21-25 años



Tabla: Estadio y subestadio de la epífisis medial de la clavícula, descripción y rangos de edad aproximados

Estadio (Schmeling)	Subestadios (Kellinghaus)	Descripción morfológica	Edad mínima aproximada (años)	Edad máxima aproximada (años)
1	–	Epífisis no visible	14	16
2	2a	Epífisis recién aparecida, cubre <1/3 de la superficie metafisaria; sin contacto con la metáfisis	15	16
	2b	Epífisis cubre entre 1/3 y 2/3 de la superficie metafisaria; crecimiento definido, sin fusión	16	17
	2c	Epífisis cubre >2/3 de la superficie metafisaria; aún sin contacto, pero en proximidad	16–17	18
3	3a	Fusión parcial <1/3 de la placa epifisaria; mayor parte separada	17	18
	3b	Fusión parcial entre 1/3 y 2/3 de la placa; contacto parcial evidente	18	19
	3c	Fusión casi completa; persiste línea o muesca residual de la placa de crecimiento	18–19	20
4	–	Fusión completa con línea epifisaria residual visible	19	21
5	–	Fusión completa; línea epifisaria ya no visible	21	25

“La tabla que resume los cinco estadios de Schmeling y los subestadios de Kellinghaus (2a–2c y 3a–3c), junto con los rangos de edad mínima y máxima, fue elaborada a partir de la evidencia publicada por **Schmeling et al., 2001**, **Kellinghaus et al., 2010** y **Wittschieber et al., 2016**, integrando los datos para ofrecer un esquema completo aplicable en la práctica forense y validado en población europea.”



Factores de interferencia en el estadiaje: asimetría y exclusión por variantes de forma y antecedente de fractura

En los casos en los que existe una discrepancia en el grado de maduración entre la clavícula derecha e izquierda (asimetría bilateral), fenómeno que se ha reportado con una incidencia que oscila entre el 0,6% y el 21,6% de los casos.

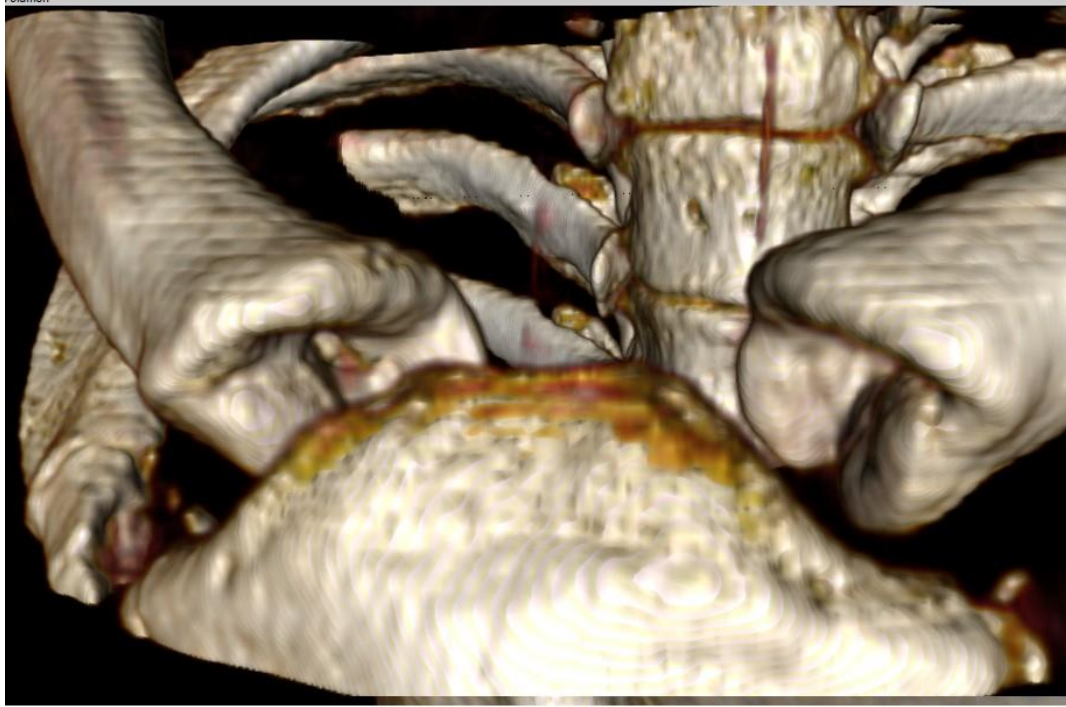
El procedimiento estándar en la mayoría de las guías internacionales y estudios forenses es utilizar el estadio más avanzado para realizar la estimación final de la edad. Por ejemplo, si una clavícula está en estadio 2 y la otra en estadio 3, el individuo se clasifica globalmente en estadio 3.

Entre el 10% y el 20% de las clavículas presentan variantes anatómicas como las formas en "boca de pez", calcificaciones periarticulares o la presencia de núcleos de osificación múltiples. Estas morfologías a menudo imposibilitan una asignación clara a los estadios clásicos de Schmeling o Kellinghaus.

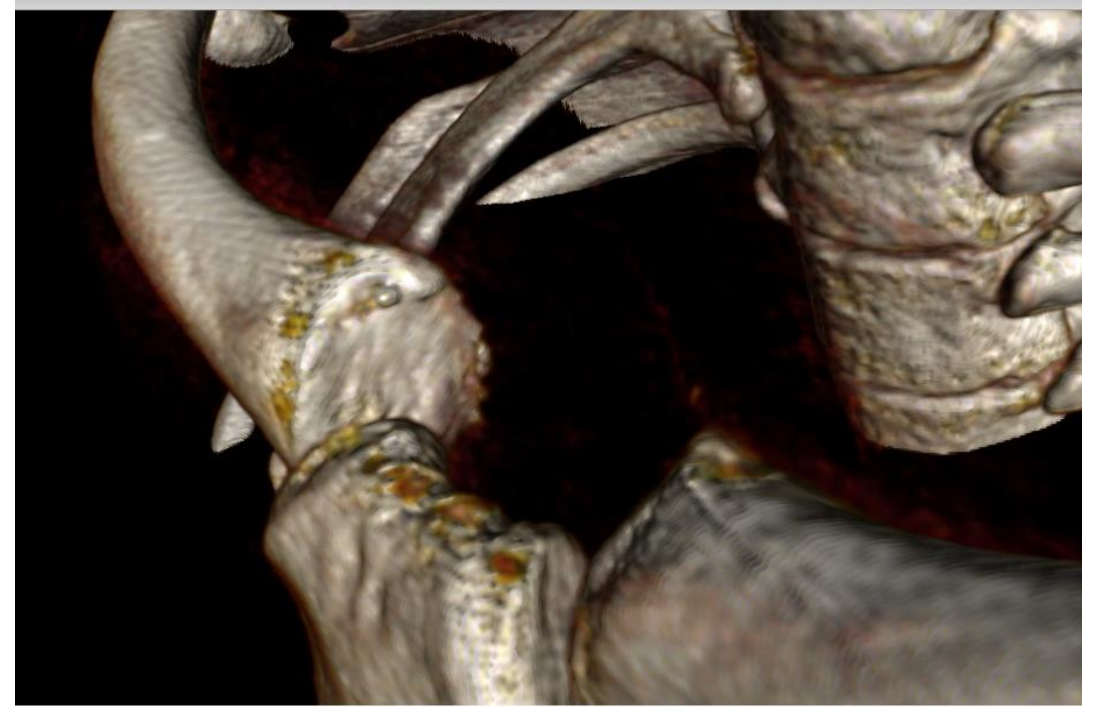
Cuando la diferencia entre ambos lados se debe a que una clavícula presenta una forma normal y la otra una variante anatómica, se debe proceder de la siguiente manera:

- Asimetría Unilateral (Una normal y una variante): Si solo uno de los lados presenta la variante (como una concavidad bífida), se debe utilizar la clavícula de morfología normal para asignar el estadio de osificación y realizar la estimación de la edad.
 - Variante Bilateral (Ambas con anomalía): Si ambos lados presentan variantes anatómicas (ej. ambas en "boca de pez"), el consenso científico establece que la prueba debe descartarse para la estimación de la edad. Esto se debe a que no existen estudios suficientes sobre la correlación entre la velocidad de desarrollo de estas variantes y la edad cronológica
-

La presencia de antecedentes de fractura clavicular o la observación de un callo de fractura en las pruebas de imagen constituyen un criterio de exclusión técnica para el uso de ese hueso en el peritaje. Las fracturas se consideran patologías que afectan directamente al desarrollo óseo normal. Dado que los métodos de estimación de la edad se basan en la observación de procesos fisiológicos naturales y cronológicos, una lesión traumática altera la morfología y la velocidad de fusión de la epífisis medial. Si el antecedente de fractura o el callo se observa en una sola clavícula, se podría, basar su estimación en el lado sano y de morfología normal.



Variante boca de pez



Variante calcificaciones periarticulares

Figuras: Estimación forense de la edad basada en el estudio de la epífisis proximal de la clavícula. Adaptado de **Garamendi, et al. (2023)**.

Protocolo Óptimo de Adquisición por TC y Reconstrucción Multiplanar

La estandarización de los parámetros técnicos es el único camino para garantizar la reproducibilidad de los resultados y su validez como prueba pericial.

Parámetro Técnico	Práctica Recomendada (Estandarizada)	Práctica No Recomendada
Espesor de corte	≤ 1 mm (corte fino para visualización epifisaria)	Cortes > 2 mm (pérdida de detalle)
Extensión del estudio	Bilateral (estudio de ambas articulaciones)	Unilateral (impide comparación side-by-side)
Longitud de escaneo	Limitada a 4 cm (zona esternoclavicular)	Escaneos extensos de tórax (> 10 cm)
Potencial de tubo	120 - 140 kVp	< 100 kVp (insuficiente penetración ósea)
Corriente de tubo	70 - 130 mAs (referencia o efectiva)	Dosis fijas excesivamente altas
Planos de análisis	Reconstrucciones Multiplanares (Axial, Coronal, Sagital)	Solo proyección axial simple
Posición de los brazos	Brazos elevados (fuera del campo)	Brazos a los lados (ruido y artefactos)

Seguridad Radiológica y Principio ALARA

El principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) rige nuestra praxis ética. El posicionamiento de los brazos fuera del campo de exploración ("brazos arriba") no solo reduce el ruido de imagen causado por el húmero, sino que permite optimizar la dosis efectiva por debajo de 1 mSv sin comprometer la calidad diagnóstica.

Bibliografía

- **Rudolf, E., Kramer, J., Schmidt, S., et al. (2019).** "Anatomic shape variants of extremitas sternalis claviculae as collected from sternoclavicular thin-slice CT-studies of 2,820 male borderline-adults". *International Journal of Legal Medicine*.
 - **Garamendi-González, P. M., et al. (2023).** "Estimación forense de la edad basada en el estudio de la epífisis proximal de la clavícula. Actualización y factores de interferencia". *Cuadernos de Medicina Forense*
 - **Kellinghaus, M., Schulz, R., Vieth, V., et al. (2010).** Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme. *International Journal of Legal Medicine*, 124(4), 321-325.
 - **Schmeling et al., 2001:** Schmeling, A., Olze, A., Reisinger, W., Geserick, G. "Age estimation of living people undergoing criminal proceedings". *The Lancet*, 2001; 358(9276): 89-90
 - **Ruder, T. D., Kuhnen, S. C., Zech, W. D., et al. (2023).** Standards of practice in forensic age estimation with CT of the medial clavicular epiphysis—a systematic review. *International Journal of Legal Medicine*, 137(6), 1757–1766.
 - **Tozakidou, M., Meister, R. L., Well, L., et al. (2021).** CT of the medial clavicular epiphysis for forensic age estimation: hands up? *International Journal of Legal Medicine*, 135(2), 651-657.
 - **Wittschieber et al., 2016:** Wittschieber, D., Ottow, C., Schulz, R., Püschel, K., et al. "Forensic age diagnostics using projection radiography of the clavicle: a prospective multi-center validation study". *International Journal of Legal Medicine*, 2016; 130(1): 213–219
-