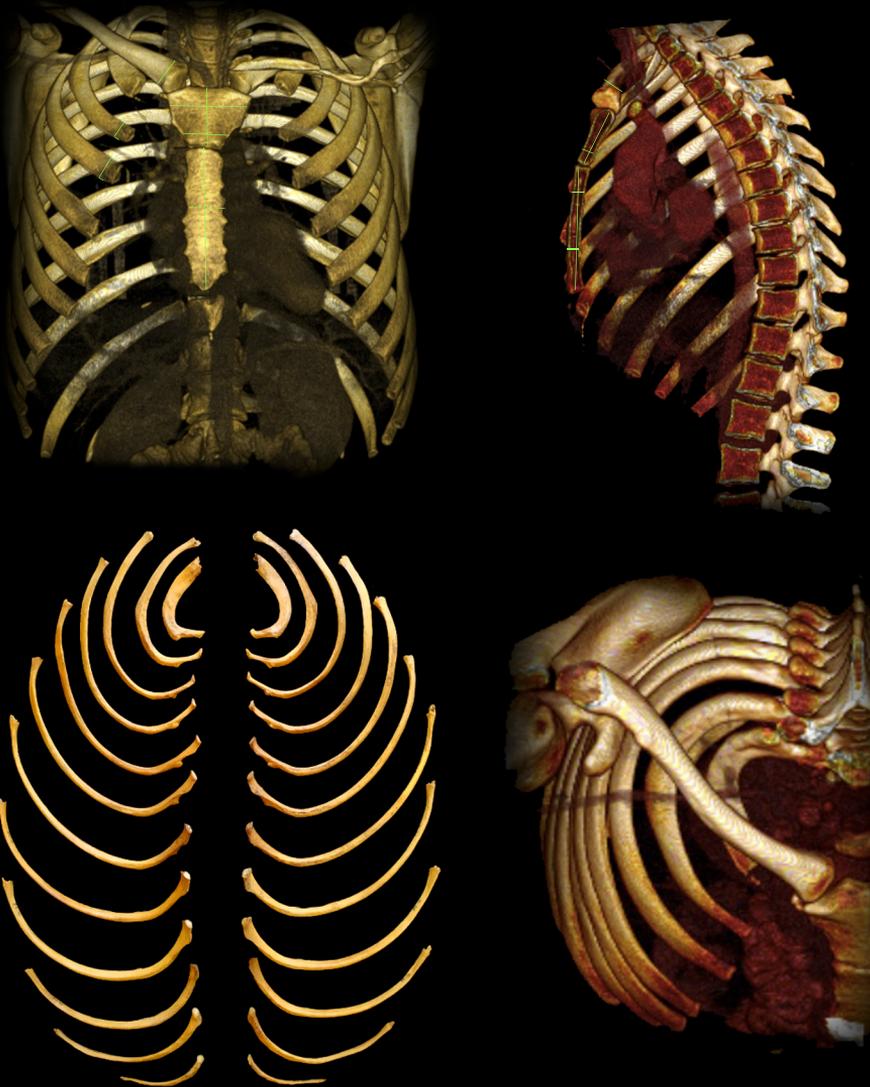


DIAGNÓSTICO DE SEXO Y EDAD EN LA CAJA TORÁCICA MEDIANTE ANÁLISIS ÓSEO Y DE IMÁGENES 3D

TESIS DOCTORAL



Manuel Partido Navadijo
Directora: Inmaculada Alemán Aguilera
Programa de Doctorado en Biomedicina
Granada, 2023



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Manuel Partido Navadijo
ISBN: 978-84-1117-871-6
URI: <https://hdl.handle.net/10481/82163>



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

FACULTAD DE MEDICINA

Dpto. de Medicina Legal, Toxicología y Antropología Física

Área de Antropología Física

DIAGNÓSTICO DE SEXO Y EDAD EN LA CAJA TORÁCICA MEDIANTE ANÁLISIS ÓSEO Y DE IMÁGENES 3D

Tesis Doctoral

Doctorando: MANUEL PARTIDO NAVADIJO

Directora: DRA. INMACULADA ALEMÁN AGUILERA

Programa de Doctorado en Biomedicina

Línea de Investigación:

Evolución Humana. Antropología Física y Forense

Programa de Ayudas para la Formación de Profesorado Universitario (FPU)
Convocatoria 2018. Referencia: FPU18/00669

AGRADECIMIENTOS

¡Pues ya está! Tesis doctoral terminada. Ese momento que parece que nunca llega, pero que tarde o temprano, llega. Y ahora estoy aquí, delante del ordenador, con la mente bloqueada porque no sé qué escribir. Yo, que hablo por los codos, y no sé qué decir. La paradoja. Hay tanta gente a la que tengo que agradecer su apoyo, ayuda, ánimos... que por miedo a dejarme a alguien atrás, me bloqueo. De hecho, me estoy dando cuenta de que los agradecimientos son el “capítulo” más difícil de escribir... Vamos allá.

Aviso a posibles lectores: me enrolló más que las persianas, puede que esto sea largo.

En primer lugar, tengo que agradecer al Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, mi segunda casa, por todos estos años de acogida, desde que llegué en 2016 para cursar el máster, hasta este momento, en el que termino el doctorado. Desde el primer día que llegué, todos los miembros del mismo han hecho de mi estancia todo un gusto, y me han hecho sentir como en casa, haciendo que todo resulte mucho más fácil.

A la profesora Inma Alemán, directora y tutora de este trabajo. Inma, profesora, compañera, amiga. No sé ni por dónde empezar a darte las gracias. Desde aquel primer correo electrónico que te mandé, allá por 2014, porque tenía mucho interés en entrar en el máster, hasta ahora, siempre apoyándome, siempre animándome, siempre aguantándome, tutorizando mis dos TFMs, dirigiendo esta tesis. Cualquier cosa que pueda decir para expresar mi agradecimiento y admiración por ti se quedan cortos. En ti esperé encontrar una profesora, una directora, y encontré mucho más. Encontré una compañera, una amiga, siempre dispuesta a echarme una mano, a escucharme, a tenderme una mano cuando no podía más, cuando la tesis me sobrepasaba, a darme valiosos consejos, a enseñarme todo lo que sé. Mi querida Inma, este trabajo es tan tuyo como mío, espero haber alcanzado las expectativas que pudieses tener de mí como doctorando y alumno. Para mí ha sido y es todo un orgullo haber sido tu doctorando, haber aprendido tantísimo de ti, y espero seguir aprendiendo más y más, y llegar a saber, en un futuro, la mitad de lo que sabes tú. Infinitas gracias siempre por acompañarme en este camino, que no se acaba, solo cambia de etapa.

A Margarita Alcaraz, nuestra técnica de laboratorio, una de las personas más generosas que he conocido. Ay Marga, desde aquellas veces que no era capaz de subirme a la escalera a coger las cajas porque me daba pánico... ¡Lo que ha llovido! Muchas gracias siempre por esos ratos de charla, esos momentos en los que “Margaaa, ¿me abres la osteoteca que voy a coger costillas?”, todos esos ratos pasados durante estos años. Una cosa tengo muy clara, el laboratorio no sería lo mismo sin ti.

A Javi Irurita, el “profesó”. Siempre dispuesto a echar una mano, a revisar un texto, a darme consejo, a explicarme conceptos de estadística, a darme trucos para entender los esqueletos infantiles, a echar un rato pa una cervecita post-curro. Ejemplo de una persona currante donde las haya, muchas gracias siempre por tu inestimable ayuda y amistad. Eres un grande, ¡y no solo por lo alto!

A Fernando Navarro, Nandouu, por las horas compartidas de estudio de imágenes, bien amenizadas por tu exquisito gusto musical (no es irónico xd), la paciencia tenida a la hora de enseñarme cómo usar la estación 3D, el OsiriX, el cedarme parte de tu despacho para poder ponerme a mirar TACs, e igualmente por echarme una mano (y dos) a la hora de diseñar la portada y maquetación de esta tesis.

A la profesora Sylvia Jiménez, por el buen trato y respeto que siempre me ha brindado, por compartir sus amplios conocimientos sobre paleopatología, estar dispuesta a resolver cualquier duda, atenderme siempre que he llamado a su puerta con alguna duda, o contar cualquier anécdota antropológica, arqueológica, o del tipo que sea.

A la profesora Rosa Maroto, por los buenos ratos de cháchara, su amabilidad y cariño, su generosidad y su disponibilidad para dar un buen consejo cada vez que hace falta, y por su alegría. ¡Y por sus magdalenas! Yo solo dejo caer que esas magdalenas están mu buenas pero aparecen poco por el departamento...

A la profesora Carmen García, por su infinita amabilidad, sus buenos consejos y todo el cariño que me ha demostrado en todo este tiempo que hemos compartido departamento.

Y al profesor Miguel Botella, por compartir toda su experiencia, por sus buenos consejos y por su ayuda cuando ha sido necesaria.

Tengo que hacer una especial mención a mis compañeras y compañeros de laboratorio durante esta aventura del doctorado, algunos con quienes llevo recorriendo camino desde el máster, otros que comenzaron antes, otros que se incorporaron después, pero que han sido, son y serán grandes referentes y grandes amistades por mucho tiempo. A mis compañeros Erik Borja, Jose Muñoz, Adriana Martín, Nacho Fombuena y Chari Guimarey, por los sinsabores y las alegrías que hemos compartido durante el máster y durante el doctorado, ¡ánimo que los siguientes sois vosotros! Igual a mis compañeras Lydia Sánchez-Barba y Laura Gutiérrez, grandes antropólogas y mejores compañeras, un orgullo poder considerarlas referentes, un espejo en el que mirarse y grandes personas de las que aprender. Tampoco puedo pasar por alto a mis compañeros Ramón López y Jesús Úbeda-Portugués, quienes se nos unieron a las filas “doctorandiles” un poco más tarde, pero ahí están, al pie del cañón. Y no puedo pasar por alto al ya doctor Ángel Rubio, gran persona y mejor maruja, siempre disponible para un consejo o un cotilleo. Tengo clara una cosa, y es que con personas y amigos como vosotros, el futuro de la Antropología Física y Forense en nuestro país es muy brillante.

PD: Erik, Jose, Adri, Nacho, Lydia, Chari, Ramón y Jesús, sois los próximos, ¡espero vuestras tesis! ;)

Durante los años que he pasado haciendo el doctorado en el laboratorio, son varias las promociones del máster que han ido pasando, habiendo hecho muchos conocidos y amigos en el transcurso de dichos años. No obstante, tengo que destacar una en particular, un grupito de chicas y chicos que nos alegraban mañanas y tardes, con los que hemos compartido muchos estreses, trabajos, lágrimas, pero sobre todo muchísimas risas y cotilleos. Ese “equipo putas”, al que fue todo un gusto mentorizar, no con cualquiera, sino junto con mi compañero Jose Muñoz: Mari Nieves (mi bb), Irene, Lydia, Aila, Arnau, Victoria y Vero. Un grupito de personas que no dudó en recurrir a “cualquiera” y a “otro sujeto” cuando necesitaban ayuda en sus TFMs. No tengo palabras para expresar los meses tan apañaos, las maratonianas jornadas de mañanas y tardes que nos hemos pegado en el laboratorio, y los buenos ratos fuera de él.

no tienes palabras, pero bien que llevas unos pocos párrafos ya, jodío

Al Laboratório de Antropología Forense de la Universidade de Coimbra, así como a todo el departamento de Ciências da Vida, por acogerme durante mi estancia internacional, abrimme todas las puertas y ayudarme en todo

lo que me ha hecho falta. Especial mención a mi orientadora de Coimbra, la profesora Maria Teresa Ferreira, cuya amabilidad, buena disposición, consejos y ayuda en todo momento han sido claves para la realización de parte de este trabajo. También a la profesora Sofia Wasterlain por el acceso a la colección CISC de la Universidade, e igualmente a las profesoras Ana Maria Silva, Claudia Umbelino, Ana Luisa Santos, y demás profesorado, por los consejos brindados cuando ha sido necesario.

También merece especial mención mi boricua, mi amiga la no-gringa, Gabriela, mi compañera de fatigas durante mi estancia. Sevilla y Puerto Rico se unieron en Granada en 2016, y lo que son las cosas, volvieron a unirse en Coimbra en 2021. Todo un gusto haber compartido mi experiencia internacional contigo, por esos viajes, charlas, marujeos, cotilleos y demás. Ah, recuerda, tal y como dice la Dra. Ana María Polo: SEA CORTÉS, ANDE CON CUIDADO, EDÚQUESE LO MÁS QUE PUEDA, RESPETE PARA QUE LO RESPETEN, Y QUE DIOS NOS AMPARE. HE DICHO, ¡CASO CERRADO!

Y si hablamos de menciones especiales de Coimbra, no puedo pasar a quienes fueron mi familia durante esos tres meses de aventuras portuguesas. A mis queridos Maria Joao Coelho y al doctor Álvaro Monge, por acogerme en su casa durante mi periodo en Coimbra, por su amabilidad, por enseñarme portugués, por los buenos ratos echados, de cenas, series, cotilleos, bajones... ¡por todo! En especial a Álvaro por echarme una mano en materia antropológica cuando me hacía falta, dejando incluso de lado la presentación de su tesis para ayudarme sin dudar.

A Carmen, David y Anna, mis niñas de Portugal. Este grupo, surgido de la mayor de las improvisaciones, en el que uníamos España, Italia y Bélgica-Portugal, y que en cuestión de horas se afianzó hasta ser un grupo de amigos que nos íbamos de viaje, de cenas, de excursiones... Por las estafas sufridas en Lisboa, los jajas en Leiria, los paseos por Guimaraes, las rutas por la Serra do Açor... Y por muchas aventuras más que estarán por llegar. Mil gracias por hacer de mi estancia predoctoral una fantasía de viaje por Portugal.

A mis dos familias de aikido: Aikido Sierra Norte de Constantina y Aikido Shiai Institute de Armilla, con las que empecé mi andadura en las artes marciales, al mismo tiempo que el doctorado. En especial a mis chiquis: Alberto, Lola, Espe, Julio, Miguelillo, Álvaro, Alba, Juanca, Héctor, Izan... por

todos los ukemis, tenchi nages, kotegaeshis, ikkyos, sankyos imposibles... y también por todas esas tapitas en La Bota, nuestras quedadas, las fiestas de navidad, barbacoas, y todos los buenos ratos compartidos. Gracias por acogerme desde el primer día como una familia.

A mis compañeras/os del grado en Criminología, con quienes he compartido multitud de eventos y ocasiones, no solo durante el grado, sino también a posteriori. Juanma, Lucía, Irene, Laura, Juanra, Eva, Paula, Marta, Natalia, Carlos, Carmen... El grado fue un punto de unión para todos, pese a que luego cada uno siguió su camino, unos en IIPP, otros en FCSE, otros por la academia, o incluso dentro de la política. Gracias por ser grandes amigos y compañeros, dentro y fuera de la carrera. Inclusive a mis profesores, y luego compañeros del Área de Medicina Legal y Forense de la Universidad de Sevilla, Dra. Luz Marina Hernández, Dr. Luis Montes Palma y Dr. José Antonio Pozas Escobar, con quienes tuve la oportunidad de compartir un par de meses durante mi estancia como profesor sustituto.

A Sandra, mi hermana de diferentes padres, mi mejor amiga, confidente de toda la vida. Son ya muchos los años juntos, las vivencias compartidas, las alegrías y las penas. Gracias por estar ahí, tanto en la cercanía como en la distancia. Podemos estar semanas sin hablar, y luego como si nada, es lo que tiene conocernos de toda una vida.

Y, como los últimos serán los primeros, este párrafo final va dedicado a las personas más importantes de mi vida, mis padres, Manuel y Rafi, pues sin ellos este trabajo no hubiese sido posible. Gracias siempre por haber estado ahí, por haberos esmerado tanto en ayudarme a salir adelante, en cada una de las diferentes etapas de la vida, por no haber dudado nunca de mí, incluso cuando yo mismo no sabía por dónde seguir, por celebrar cada uno de mis pequeños éxitos y por apoyarme en mis innumerables sinsabores. Os lo debo todo. Este trabajo es tan mío como vuestro, vuestro apoyo ha sido clave para levantarme cuando las fuerzas flaqueaban. Cada día que pasa me siento súper afortunado de haber tenido unos padres como vosotros. Os quiero hasta el infinito.

A todos, ¡muchas gracias!

Resumen

Introducción: La estimación de sexo y edad resultan esenciales para la reconstrucción del perfil osteobiológico en Antropología Forense. En este aspecto, la caja torácica ha sido objeto de diferentes estudios en esta materia en diferentes poblaciones. No obstante, el hecho de que, en numerosas ocasiones, los restos óseos aparecen muy dañados y fragmentados, hace necesario el desarrollo de metodologías específicas para la estimación de sexo y edad en fragmentos óseos. Con todo, la amplia variabilidad humana hace necesario que los diferentes métodos desarrollados sean validados en otras poblaciones.

Material: Para la elaboración de este trabajo, se han estudiado huesos procedentes de individuos adultos de cuatro colecciones osteológicas identificadas: la Colección Osteológica de San José (Granada) y la Colección de Lucena (Córdoba), ambas depositadas en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada; la Colección Esquelética de Coimbra y la Colección de Esqueletos del Siglo XXI, ambas depositadas en el Dpto. de Ciências da Vida de la Universidad de Coimbra. Asimismo, también se ha estudiado una serie de imágenes torácicas 3D de individuos adultos, perteneciente a la Colección de Imágenes 3D que posee el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, cedida por el Servicio de Salud de Castilla-La Mancha.

Métodos: En primer lugar, se ha realizado el estudio métrico del cuello de las costillas primera a cuarta de la Colección de Granada, con el propósito de desarrollar funciones discriminantes para la estimación del sexo en población española. Posteriormente, estas funciones discriminantes han sido testadas en la Colección de Lucena, para comprobar su utilidad. En segundo lugar, para comprobar su utilidad en la estimación sexual en población portuguesa, las funciones discriminantes han sido testadas en las dos colecciones portuguesas referenciadas. En tercer lugar, se ha comprobado la utilidad de la sinostosis de los segmentos esternales en materia de estimación etaria en la Colección de Granada. Finalmente, utilizando la Colección de Imágenes 3D, se han estudiado diferentes variables métricas para el desarrollo de funciones discriminantes para la estimación del sexo, así como la osificación de los diferentes cartílagos torácicos para comprobar su correlación con la edad, y así desarrollar fórmulas de regresión que permitan la estimación etaria.

Resultados: Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto la existencia de dimorfismo sexual en el cuello de las costillas primera a cuarta en población española, presentando diferencias significativas entre ambos sexos. Ello ha permitido la construcción de una serie de funciones discriminantes, que permiten la estimación del sexo con hasta un 93,2% de acierto, porcentaje que se eleva hasta el 96,4% en la validación de las funciones en la Colección de Lucena. Con respecto a la validación en las diferentes colecciones portuguesas, se han encontrado grandes discrepancias a la hora de aplicar los resultados en la Colección CISC, donde los resultados indican que existen grandes diferencias en las costillas primera y segunda con la Colección de Granada. Por su parte, a la hora de aplicar las funciones en la Colección portuguesa del Siglo XXI, los resultados son más positivos, permitiendo la estimación sexual con hasta un 93% de acierto. Por su parte, la sinostosis de los segmentos esternales en relación con la estimación etaria no arrojó resultados significativos, presentando rangos de edad muy elevados, que no permiten una estimación certera. Por otro lado, con respecto a la estimación del sexo mediante imágenes 3D, los resultados mostraron diferencias significativas entre sexos en las variables estudiadas, lo que permitió diseñar funciones discriminantes univariantes y multivariantes, con las que se consiguió la estimación sexual con hasta un 85,1% de acierto en las funciones univariantes y un 89,6% en las funciones multivariantes. Finalmente, con respecto a la estimación de la edad mediante imágenes 3D, el grado de osificación de los diferentes cartílagos costales presentó una correlación buena con la edad real de los individuos, lo que permitió diseñar modelos predictivos para la estimación de la edad, empleados para el desarrollo de fórmulas de regresión que permiten estimar la edad con buenos resultados.

Conclusiones: A modo de síntesis, los datos sugieren: 1) La utilidad del cuello de las costillas para la estimación del sexo en población española mediante funciones discriminantes; 2) la validez de dichas funciones para la estimación sexual en poblaciones portuguesas; 3) la ineficacia del estudio de la sinostosis esternal para la estimación de la edad en adultos; 4) la utilidad del análisis de imágenes 3D para la estimación del sexo mediante fórmulas discriminantes; y 5) el potencial del estudio de la osificación de los cartílagos torácicos mediante imágenes 3D para la estimación de la edad.

Abstract

Introduction: Sex and age estimation are essential for the reconstruction of the osteobiological profile in Forensic Anthropology. In this aspect, the rib cage has been the subject of different studies in this field in different populations. However, given that, on numerous occasions, bone remains are very damaged and fragmented, it is necessary to develop specific methodologies for the estimation of sex and age in bone fragments. However, the wide human variability makes it necessary for the different methods developed to be validated in other populations.

Material: For the present work, bones from adult individuals taken from four identified osteological collections have been studied: the San José Osteological Collection (Granada) and the Lucena Collection (Córdoba), both deposited in the Anthropology Laboratory of the University of Granada; the Skeletal Collection of Coimbra and the 21st Century Skeletal Collection, both deposited in the Dept. of Life Sciences of the University of Coimbra. In addition, a series of 3D thoracic images of adult individuals, belonging to the 3D Image Collection held by the Anthropology Laboratory of the University of Granada, on loan from the Castilla-La Mancha Health Service, have also been studied.

Methods: First, a metric study of the neck of the first to fourth ribs of the Granada Collection was carried out to develop discriminant functions for the sex estimation in a Spanish population. Subsequently, these discriminant functions have been tested in the Lucena Collection to check their usefulness. Secondly, in order to check their usefulness in sex estimation in the Portuguese population, the discriminant functions have been tested in the two Portuguese collections referenced. Thirdly, the usefulness of sternal segment synostosis for age estimation has been tested in the Granada Collection. Finally, using the 3D Image Collection, different metric variables have been studied for the development of discriminant functions for sex estimation, as well as the ossification of the different thoracic cartilages to check their correlation with age, and thus develop regression formulae for age estimation.

Results: The obtained results have shown the existence of sexual dimorphism in the neck of the first to fourth ribs in the Spanish population, presenting significant differences between both sexes. This has allowed the construction of a set of discriminant functions, which allow the estimation of sex with up to 93,2% accuracy, a percentage that rises to

96,4% in the validation of the functions in the Lucena Collection. With respect to the validation in the different Portuguese collections, large discrepancies were found when applying the results in the CISC Collection, where the results indicate that there are large differences in the first and second ribs with the Granada Collection. On the other hand, when applying the functions in the Portuguese 21st Century Collection, the results are more positive, allowing sex estimation with up to 93% accuracy. On the other hand, the synostosis of the sternal segments in relation to age estimation did not yield significant results, presenting very high age ranges, not allowing an accurate estimation. On the other hand, with regard to sex estimation using 3D images, the results showed significant differences between sexes in the variables analysed, allowing the design of univariate and multivariate discriminant functions, with which sex estimation was achieved with up to 85,1% accuracy in the univariate functions and 89,6% in the multivariate functions. Finally, with respect to age estimation using 3D images, the degree of ossification of the different costal cartilages showed a good correlation with the real age of the individuals, thus enabling the design of predictive models for age estimation, used for the development of regression formulae that allow age estimation with good results.

Conclusions: In conclusion, the results suggest: 1) the usefulness of rib necks for sex estimation in the Spanish population using discriminant functions; 2) the utility of these functions for sex estimation in Portuguese populations; 3) the ineffectiveness of the study of sternal synostosis for age estimation in adults; 4) the value of 3D image analysis for sex estimation using discriminant formulas; and 5) the potential of the study of thoracic cartilage ossification using 3D images for age estimation.

ÍNDICE

Agradecimientos	v
Resumen	xi
Abstract	xiii
<u>Índice de figuras, tablas y gráficos.....</u>	<u>xix</u>
Listado de figuras.....	xix
Listado de tablas.....	xxi
Listado de gráficos.....	xxix
Capítulo 1. Introducción histórica a la Antropología Física y Forense.....	1
<u>1.1. La Antropología Física y Forense. Definición y competencias.....</u>	<u>3</u>
<u>1.2. Breve historia de la Antropología Física y Forense, apuntes sobre la disciplina en España</u>	<u>6</u>
Capítulo 2. Estimación de sexo y edad en Antropología Física y Forense.....	13
<u>2.1. Estimación del sexo</u>	<u>15</u>
<u>2.1.1. Dimorfismo sexual.....</u>	<u>15</u>
<u>2.1.2. Métodos de estimación del sexo en adultos</u>	<u>18</u>
<u>2.2. Estimación de la edad</u>	<u>25</u>
<u>2.2.1. ¿Infantil o adulto? Diferencias en la estimación.....</u>	<u>25</u>
<u>2.1.1. Métodos de estimación de la edad en adultos.....</u>	<u>26</u>
<u>2.3. La cavidad torácica en la estimación de sexo y edad. Estado de la cuestión</u>	<u>34</u>
Capítulo 3. Objetivos	41

Capítulo 4. Anatomía y embriología de los huesos torácicos...45

<u>4.1. Introducción embriológica</u>	47
<u>4.2. La caja torácica: estructura y funcionalidad</u>	50
<u>4.3. Costillas</u>	52
<u>4.3.1. Anatomía de las costillas</u>	52
<u>4.3.2. Embriología de las costillas</u>	55
<u>4.3. Esternón</u>	59
<u>4.3.1. Anatomía del esternón</u>	59
<u>4.3.2. Embriología del esternón</u>	60

Capítulo 5. Los métodos de obtención de imágenes 3D y su aplicabilidad en la Antropología Física67

<u>5.1. Evolución histórica</u>	69
<u>5.2. El 3D: TACs</u>	71

Capítulo 6. Material y métodos77

<u>6.1. Material</u>	79
<u>6.1.1. Introducción: importancia de las colecciones identificadas</u>	79
<u>6.1.2. Colección del Cementerio de San José (Granada)</u>	81
<u>6.1.3. Colección del Cementerio de Nuestra Señora de Araceli (Lucena, Córdoba)</u>	83
<u>6.1.4. Colección de Esqueletos Identificados de Coimbra (CISC, Coimbra, Portugal)</u>	85
<u>6.1.5. Colección de Esqueletos Identificados del Siglo XXI (CEI/XXI, Santarém, Portugal)</u>	86
<u>6.1.6. Colección de Imágenes 3D del Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (SESCAM)</u>	87
<u>6.2. Métodos</u>	89

<u>6.2.1. Estimación del sexo a través de las costillas en hueso seco</u>	89
<u>6.2.2. Estimación de la edad mediante la sinostosis esternal en hueso seco</u>	93
<u>6.2.3. Estimación del sexo mediante métodos métricos en reconstrucciones 3D del tórax</u>	95
<u>6.2.4. Estimación de la edad mediante análisis 3D de costillas y esternón</u>	98
<u>6.2.5. Homogeneidad y reproducibilidad de los métodos: error intraobservador e interobservador</u>	101
<u>6.2.5.1. Métodos cuantitativos: Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin (CCC)</u>	103
<u>6.2.5.2. Métodos cualitativos: Coeficiente Kappa de Cohen</u>	103
Capítulo 7. Resultados	107
<u>7.1. Estimación del sexo mediante funciones discriminantes en las costillas</u>	109
<u>7.2. Validación de funciones discriminantes en población portuguesa</u>	141
<u>7.3. Estimación de la edad a través de la sinostosis de los segmentos esternales</u>	176
<u>7.4. Estimación del sexo mediante análisis de imágenes torácicas 3D</u>	181
<u>7.5. Estimación de la edad mediante análisis de imágenes torácicas 3D</u>	188
Capítulo 8. Discusión	221
<u>8.1. Estimación del sexo mediante funciones discriminantes</u>	223
<u>8.2. Estimación de la edad mediante la sinostosis esternal</u>	232
<u>8.3. Estimación del sexo mediante análisis de imágenes 3D</u>	237
<u>8.4. Estimación de la edad mediante análisis de imágenes 3D</u>	246
<u>8.5. Síntesis final</u>	253
Capítulo 9. Conclusiones	255
Referencias	261

ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICOS

Listado de figuras

Capítulo 1

Figura 1.1. Ejemplo de una fosa común. Imagen libre de derechos, disponible online en: https://www.shutterstock.com/es/image-photo/old-mass-burial-human-remains-on-2059617662	4
---	---

Capítulo 2

Figura 2.1. Representación gráfica del área de solapamiento. Tomado de: Krenzer (2006)	17
Figura 2.2. Diferencias en el cráneo: vista frontal. A) Varón; B) Mujer.....	19
Figura 2.3. Diferencias en el cráneo: vista lateral. A) Varón; B) Mujer	20
Figura 2.4. Diferencias en el pubis, según Phenice (1969): a) varón; b) mujer	22
Figura 2.5. Criterios de Ferembach <i>et al.</i> (1980) para la escotadura ciática. Tomado de: Krenzer (2006).....	23
Figura 2.6. Representación del arco compuesto (Genovés, 1959)	24
Figura 2.7. Esquema de la sinostosis de las suturas craneales. Tomado de: Krenzer (2006)	27
Figura 2.8. Puntos craneométricos del método de Meindl y Lovejoy (1985). Tomado de: Krenzer (2006).....	29
Figura 2.9. Estadios de degeneración de la sínfisis púbica según Suchey y Brooks (1990)	32
Figura 2.10. Representación de la degeneración de la carilla auricular. Tomado de: Krenzer (2006)	33
Figura 2.11. Degeneración de la extremidad esternal de la costilla según İşcan. Tomado de: İşcan (1991)	37

Capítulo 4

Figura 4.1. Representación de la caja torácica. Tomado de: Cunningham et al. (2016)	51
Figura 4.2. Cuarta costilla derecha típica.....	53
Figura 4.3. Primera costilla izquierda.....	54
Figura 4.4. Edades de aparición (A) y fusión (F) de los centros de osificación de las costillas. Tomado de: Cunningham et al. (2016)	58
Figura 4.5. Anatomía del esternón: manubrio y mesosterno	60
Figura 4.6. Edades de aparición (A) y fusión (F) de los centros de osificación del esternón. Tomado de: Cunningham et al. (2016)	64

Capítulo 5

Figura 5.1. La primera radiografía de la historia: la mano de Bertha Röntgen. Tomado de: López-Alcaraz (2012).....	70
---	----

Capítulo 6

Figura 6.1. Ubicación geográfica de la procedencia de las colecciones estudiadas....	81
Figura 6.2. Medidas tomadas del cuello de la costilla	90
Figura 6.3. Reborde de la extremidad esternal del cartílago calcificado de la primera costilla	91
Figura 6.4. Grados de sinostosis esternal: a) ausencia de sinostosis; b) fusión parcial; c) fusión total	94
Figura 6.5. Medidas tomadas en costillas, clavícula y esternón de imágenes 3D	97
Figura 6.6. Medidas tomadas del grosor esternal	98
Figura 6.7. Osificación de los elementos cartilagosos costales: a) ausencia de calcificación; b) calcificación total	100
Figura 6.8. Representación de los grados de exactitud y precisión	103

Capítulo 7

Figura 7.1. Gráfico box-plot de la sinostosis manubrio-esternal. Resultados para varones	177
---	-----

Figura 7.2. Gráfico box-plot de la sinostosis manubrio-esternal. Resultados para mujeres.....	178
Figura 7.3. Gráfico box-plot de la sinostosis xifo-esternal. Resultados para varones.	179
Figura 7.4. Gráfico box-plot de la sinostosis xifo-esternal. Resultados para mujeres.	180

Listado de tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1. Diferencias morfológicas del cráneo. Tomado de: Alemán et al. (2013) ...	21
Tabla 2.2. Diferencias morfológicas del coxal. Tomado de: Alemán et al. (2013).....	23
Tabla 2.3. Funciones discriminantes para la estimación del sexo a través del húmero en población mediterránea. Tomado de: Alemán et al. (1997)	25
Tabla 2.4. Sistema de la caja craneal (1-7), de Meindl y Lovejoy (1985)	28
Tabla 2.5. Sistema lateral anterior (6-10), de Meindl y Lovejoy (1985)	29
Tabla 2.6. Rangos de edad del método de Suchey y Brooks para la sínfisis púbica (1990)	32
Tabla 2.7. Cambios en la morfología del extremo esternal de la cuarta costilla en varones. Elaboración propia con datos de İşcan (1989)	35
Tabla 2.8. Cambios en la morfología del extremo esternal de la cuarta costilla en mujeres. Elaboración propia con datos de İşcan (1989)	36

Capítulo 4

Tabla 2.1. Inserciones musculares de las costillas primera y segunda. Tomado de: Testut y Latarjet (1921).....	54
Tabla 2.2. Edades de desarrollo de las costillas. Tomado de: Cunningham et al. (2016)	58
Tabla 2.3. Inserciones musculares presentes en el esternón. Tomado de: Testut y Latarjet (1921).....	60

Tabla 2.4. Edades de desarrollo del esternón. Tomado de: Cunningham et al. (2016)	63
--	----

Capítulo 7

Tabla 7.1. Resultados del error intraobservador e interobservador en las medidas del cuello de las costillas	109
Tabla 7.2. Resultados de la estadística descriptiva de la primera costilla	110
Tabla 7.3. Resultados de la estadística descriptiva de la segunda costilla	111
Tabla 7.4. Resultados de la estadística descriptiva de la tercera costilla	112
Tabla 7.5. Resultados de la estadística descriptiva de la cuarta costilla	113
Tabla 7.6. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la primera costilla	114
Tabla 7.7. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la segunda costilla	115
Tabla 7.8. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la tercera costilla	116
Tabla 7.9. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la cuarta costilla	116
Tabla 7.10. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la primera costilla	117
Tabla 7.11. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la segunda costilla	118
Tabla 7.12. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la tercera costilla	118
Tabla 7.13. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la cuarta costilla	119
Tabla 7.14. Funciones discriminantes para la primera costilla	120
Tabla 7.15. Lambda de Wilks para las funciones de la primera costilla	121
Tabla 7.16. Funciones discriminantes para la segunda costilla	121

Tabla 7.17. Lambda de Wilks para las funciones de la segunda costilla	122
Tabla 7.18. Funciones discriminantes para la tercera costilla.....	122
Tabla 7.19. Lambda de Wilks para las funciones de la tercera costilla.....	123
Tabla 7.20. Funciones discriminantes para la cuarta costilla	123
Tabla 7.21. Lambda de Wilks para las funciones de la cuarta costilla.....	124
Tabla 7.22. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la primera costilla	125
Tabla 7.23. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la segunda costilla	126
Tabla 7.24. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la tercera costilla	126
Tabla 7.25. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la cuarta costilla	127
Tabla 7.26. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – primera costilla	128
Tabla 7.27. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – segunda costilla.....	129
Tabla 7.28. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – tercera costilla	129
Tabla 7.29. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – cuarta costilla.....	130
Tabla 7.30. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Primera costilla derecha.....	131
Tabla 7.31. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Primera costilla izquierda	132
Tabla 7.32. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Segunda costilla derecha.....	133
Tabla 7.33. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Segunda costilla izquierda.....	134

Tabla 7.34. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Tercera costilla derecha	135
Tabla 7.35. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Tercera costilla izquierda	136
Tabla 7.36. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Cuarta costilla derecha.....	137
Tabla 7.37. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Cuarta costilla izquierda.....	138
Tabla 7.38. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Primera costilla.....	139
Tabla 7.39. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Segunda costilla	140
Tabla 7.40. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Tercera costilla.....	140
Tabla 7.41. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Cuarta costilla.....	140
Tabla 7.42. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la primera costilla de ambas poblaciones portuguesas	142
Tabla 7.43. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la segunda costilla de ambas poblaciones portuguesas.....	142
Tabla 7.44. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la tercera costilla de ambas poblaciones portuguesas	143
Tabla 7.45. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la cuarta costilla de ambas poblaciones portuguesas.....	144
Tabla 7.46. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Primera costilla derecha.....	145
Tabla 7.47. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Primera costilla izquierda.....	146
Tabla 7.48. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Segunda costilla derecha	147

Tabla 7.49. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Segunda costilla izquierda.....	148
Tabla 7.50. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Tercera costilla derecha.....	149
Tabla 7.51. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Tercera costilla izquierda	150
Tabla 7.52. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Cuarta costilla derecha.....	151
Tabla 7.53. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Cuarta costilla izquierda.....	152
Tabla 7.54. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Primera costilla derecha.....	153
Tabla 7.55. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Primera costilla izquierda.....	154
Tabla 7.56. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Segunda costilla derecha.....	155
Tabla 7.57. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Segunda costilla izquierda.....	156
Tabla 7.58. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Tercera costilla derecha.....	157
Tabla 7.59. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Tercera costilla izquierda	158
Tabla 7.60. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla derecha.....	159
Tabla 7.61. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla izquierda.....	160
Tabla 7.62. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Primera costilla	162
Tabla 7.63. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Segunda costilla	162

Tabla 7.64. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Tercera costilla	163
Tabla 7.65. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Cuarta costilla	163
Tabla 7.66. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Primera costilla	164
Tabla 7.67. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Segunda costilla	164
Tabla 7.68. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Tercera costilla	165
Tabla 7.69. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Cuarta costilla	165
Tabla 7.70. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Primera costilla derecha.....	166
Tabla 7.71. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Primera costilla izquierda.....	167
Tabla 7.72. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Segunda costilla derecha	168
Tabla 7.73. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Segunda costilla izquierda.....	169
Tabla 7.74. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Tercera costilla derecha.....	171
Tabla 7.75. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Tercera costilla izquierda	172
Tabla 7.76. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla derecha.....	173
Tabla 7.77. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla izquierda.....	174
Tabla 7.78. Funciones más útiles para la estimación del sexo en población portuguesa actual	175

Tabla 7.79. Resultados del error intraobservador e interobservador para la sinostosis esternal.....	176
Tabla 7.80. Porcentaje de individuos en cada fase de unión para cada grupo de edad. Fusión manubrio-cuerpo.....	177
Tabla 7.81. Resultados del análisis de chi-cuadrado de Pearson para la unión del manubrio y el cuerpo esternal.....	178
Tabla 7.82. Porcentaje de individuos en cada fase de unión para cada grupo de edad. Fusión cuerpo-xifoides.....	179
Tabla 7.83. Resultados del análisis de chi-cuadrado de Pearson para la unión del xifoides y el cuerpo esternal.....	180
Tabla 7.84. Rangos etarios por cada estadio de sinostosis esternal (en años)	181
Tabla 7.85. Estadística descriptiva de las variables estudiadas en el análisis métrico de imágenes 3D.....	181
Tabla 7.86. Resultados del error intraobservador e interobservador para las variables estudiadas en imágenes 3D.....	182
Tabla 7.87. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para las variables estudiadas en el análisis de imágenes 3D	183
Tabla 7.88. Resultados de la prueba t de Student para muestras independientes en imágenes 3D.....	184
Tabla 7.89. Resultados de la prueba t de Student para muestras relacionadas en imágenes 3D.....	185
Tabla 7.90. Funciones discriminantes univariantes de la cavidad torácica.....	185
Tabla 7.91. Lambda de Wilks para las funciones univariantes.....	186
Tabla 7.92. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para las funciones univariantes seleccionadas.....	186
Tabla 7.93. Funciones discriminantes multivariantes de la cavidad torácica	186
Tabla 7.94. Lambda de Wilks para las funciones multivariantes	187
Tabla 7.95. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para las funciones multivariantes seleccionadas	187

Tabla 7.96. Análisis descriptivo y de frecuencias de las diferentes variables estudiadas según estadios de osificación, desglosado por sexos	188
Tabla 7.97. Resultados del análisis de correlación de Spearman de las diferentes variables, separadas por sexos	190
Tabla 7.98. Resultados del error intraobservador e interobservador para la estimación de edad en imágenes 3D	191
Tabla 7.99. Resultados de la prueba t de Student para muestras independientes...192	
Tabla 7.100. Resultados de la prueba t de Student para muestras relacionadas.....192	
Tabla 7.101. Resultados del análisis de correlación de Spearman de los diferentes modelos, separados por sexos.....193	
Tabla 7.102. Comparativa de los coeficientes de determinación en los modelos lineal y exponencial (varones)	194
Tabla 7.103. Comparativa de los coeficientes de determinación en los modelos lineal y exponencial (mujeres)	195
Tabla 7.104. Fórmulas de regresión para la estimación de edad en varones.....196	
Tabla 7.105. Fórmulas de regresión para la estimación de edad en mujeres.....197	
Tabla 7.106. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 1	198
Tabla 7.107. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 2	200
Tabla 7.108. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 3	202
Tabla 7.109. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 4	204
Tabla 7.110. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 5	206
Tabla 7.111. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 6	208

Tabla 7.112. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 7	211
Tabla 7.113. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 8	214
Tabla 7.114. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 9	216
Tabla 7.115. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 10	218

Capítulo 8

Tabla 8.1. Resumen de los diferentes métodos de estimación sexual a través de las costillas	231
Tabla 8.2. Síntesis de las diferentes edades reportadas para la sinostosis de los segmentos esternales	236
Tabla 8.3. Síntesis de los métodos radiográficos explicados para la estimación del sexo	239
Tabla 8.4. Resumen de los diferentes métodos de estimación sexual mediante imágenes 3D a través de la cavidad torácica	245
Tabla 8.5. Resumen de los diferentes métodos de estimación etaria mediante análisis de imágenes a través de la cavidad torácica	251

Listado de gráficos

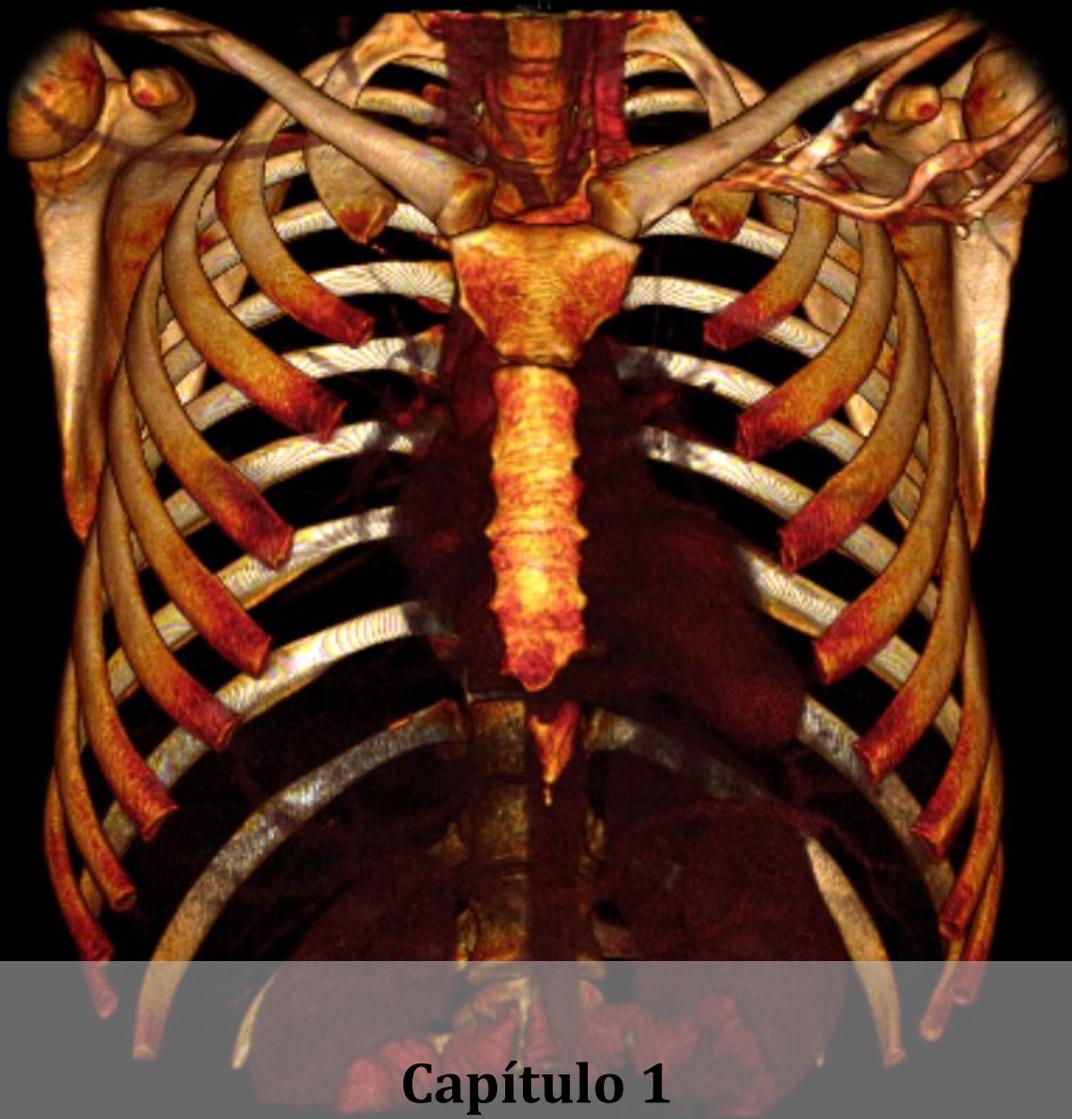
Capítulo 6

Gráfico 6.1. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección de San José	82
Gráfico 6.2. Distribución de sexo y edad de la muestra de esternones estudiados de la Colección de San José	83
Gráfico 6.3. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección de Lucena	84

Gráfico 6.4. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección CISC (Portugal)	85
Gráfico 6.5. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección CEI/XXI (Portugal)	87
Gráfico 6.6. Distribución de sexo y edad de la muestra de TACs torácicos estudiados de la Colección de Imágenes 3D del SESCAM	88

Capítulo 7

Gráfico 7.1. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 1. A) varones; B) mujeres	199
Gráfico 7.2. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 2. A) varones; B) mujeres	201
Gráfico 7.3. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 3. A) varones; B) mujeres	203
Gráfico 7.4. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 4. A) varones; B) mujeres	205
Gráfico 7.5. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 5. A) varones; B) mujeres	207
Gráfico 7.6. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 6. A) varones; B) mujeres	210
Gráfico 7.7. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 7. A) varones; B) mujeres	213
Gráfico 7.8. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 8. A) varones; B) mujeres	215
Gráfico 7.9. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 9. A) varones; B) mujeres	217
Gráfico 7.10. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 10. A) varones; B) mujeres	219



Capítulo 1

Introducción histórica a la Antropología Física y Forense

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN HISTÓRICA A LA ANTRPOLOGÍA FÍSICA Y FORENSE

1.1. La Antropología Física y Forense. Definición y competencias

La vida es un ciclo. Cada persona deja su huella en el mundo, desde que nace hasta que muere. Está rodeada de personas, sean familiares o amigos, lleva a cabo actividades que dejan su impronta en el mundo y, cuando fallece, es velada y despedida de diversas formas. Es un ciclo cerrado. Pero ¿qué ocurre cuando el ciclo no se acaba de cerrar? En no pocas ocasiones, por desgracia en muchas, desaparecen personas sin dejar rastro alguno salvo el pesar y la incertidumbre de sus seres queridos.

Y en no pocas ocasiones, el ciclo puede acabar de la manera menos esperada. No son pocas las ocasiones en las que aparece, tras años después de la desaparición, un cuerpo no identificado, unos restos óseos que no tienen quien los reconozca, ya que el tejido blando ha desaparecido y, con él, las facciones del rostro, o las huellas dactilares.

Algunos de estos casos pueden deberse a fosas comunes. España es, tristemente, el segundo país del mundo, solo por detrás de Camboya, en número de fosas comunes (Figura 1.1). Otros pueden ser los casos de personas desaparecidas que aparecen tras muchos años. Pero también hay que mencionar otro caso, que es de los migrantes desaparecidos, especialmente en el Mediterráneo, que, buscando una vida mejor, una vida de esperanza, acaban encontrando la muerte y el olvido en la frontera, sin nadie que les llore.

En este aspecto, según indicó la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense (AEAOF) en sus XII Jornadas (noviembre de 2020), desde 2018 hasta noviembre de 2020 se atendió a 14803 personas tan solo en el puerto de Motril (Granada), mientras que en ese periodo llegaron fallecidas 9 personas. Asimismo, solo en 2020 se constataron 804 personas

desaparecidas en el Mediterráneo, si bien el número de desaparecidos no se conoce a ciencia cierta (AEAOF, 2020).



Figura 1.1. Ejemplo de una fosa común. Imagen libre de derechos, disponible online en: <https://www.shutterstock.com/es/image-photo/old-mass-burial-human-remains-on-2059617662>

Así, tal y como cita Ramey Burns (2007):

“Lo inquietante del cuerpo no identificado es su silencio. Cabría pensar que todos los cadáveres son silentes, pero el cuerpo no identificado lo es más. Nadie inquiera o se lamenta ante el olvido. Nadie ejerce presión o poder político o financiero en ayuda de un desconocido, a la postre inhumado o eliminado cual desecho común”.

Pero no es cierto que a nadie le importe la identidad del cadáver. Los hay que sufren en silencio y no tienen dónde descargar sus angustias, sintiendo la agonía de desconocer el destino de sus seres queridos. De hecho, a pesar del fatal desenlace, los familiares de desaparecidos comentan experimentar algo de sosiego cuando los cuerpos de sus ausentes son, finalmente, identificados, ya que para ellos se cierra una dolorosa etapa de incertidumbre y falta de respuestas y se recupera algo de fuerzas con las exequias dedicadas al ser querido.

Así pues, la identificación es un elemento esencial para poder proporcionar dicho sosiego a los seres queridos. De hecho, fue recogida en el I Convenio de Ginebra (Comité Internacional de la Cruz Roja, 2012), redactado en 1864 y ampliado en 1949, el cual, en sus artículos 15 a 17, protege y regula el estatuto de los heridos, enfermos y fallecidos en el campo de batalla, extensible posteriormente a población civil.

Pero, si los restos se encuentran en tan mal estado que no es posible su reconocimiento visual, ¿cómo se puede llevar a cabo la identificación? En ocasiones, se oyen comentarios del tipo “si no lo identificamos en un par de semanas, ya no será posible”. Y es cierto que el trabajo de la identificación se dificulta, pero cabe dejar una ventana abierta al éxito.

Es ahí donde entra en juego la Antropología Física y Forense. La Antropología Física se define como la rama de la Antropología y de la Biología cuyo objeto de estudio es la evolución y variabilidad humanas, tanto en poblaciones antiguas como actuales. Por su parte, la Antropología Forense no es sino la derivación de los conocimientos generales de la Antropología Física hacia el terreno judicial.

En este sentido, mediante el estudio de la variabilidad humana, se recurre al conjunto de los huesos del esqueleto para la reconstrucción del perfil osteobiológico de la persona: sexo, edad, talla, grupo poblacional, patologías... bien sea para estudios poblacionales en esqueletos arqueológicos, o bien para la identificación individual de la persona y las causas de su muerte en casos forenses. De acuerdo con Krogman (1962), el trabajo del antropólogo consistiría en la “reconstrucción de la biografía biológica *antemortem*, incluyendo el intento de reconstrucción de la forma de vida de la víctima hasta el momento de su muerte”.

En el contexto forense, la identificación de personas es de gran importancia, tanto por razones legales como humanitarias. Concretamente, en la investigación criminal es obligada para establecer el *corpus delicti* (identidad de la víctima de un hecho delictivo), pero también para hallar evidencias relacionadas con la causa de la muerte y con el victimario que eviten precisamente la impunidad de éste y ayuden al esclarecimiento del caso.

1.2. Breve historia de la Antropología Física y Forense, apuntes sobre la disciplina en España

De acuerdo con Kelso (1978), antes de la publicación de “El Origen de las Especies” (1859), de Charles Darwin, la Antropología física no existía como tal. Sin embargo, existía un interés manifiesto por las cuestiones que, posteriormente, constituirían su objeto de estudio. En este sentido, las primeras investigaciones en biología se centraron en la naturaleza de la vida.

En pleno siglo XVII, François Bernier (1684) estableció la génesis de la clasificación de los seres humanos en grupos poblacionales o razas. Si bien su postulado, hoy día, resulta carente de valor, puesto que dividió la Tierra según las características físicas de los grupos humanos que habitaban las diferentes regiones, estableciendo cuatro razas distintas, sentó las bases de la variabilidad poblacional (Bernier, 1684).

Fue durante la Ilustración cuando en Europa se despertó el interés por los humanos desde el punto de vista racional de su integración dentro de la Naturaleza, con la clasificación de las formas vivientes de Linneo (1707-1778), y su coetáneo Buffon. Posteriormente, Johann Blumenbach, considerado uno de los padres de la Antropología física, clasificó las variedades del hombre en su obra “*Collectionis suae craniorum diversarum Gentium illustratae decades*” (1790), estableciendo el origen etológico único del ser humano, pero manteniendo la existencia de diferentes grupos poblacionales que diferían físicamente entre ellos, insertando al hombre dentro del mundo animal, si bien con notorias diferencias respecto a los demás, como situarlo en la cúspide de la creación. Entonces vino a ser la Antropología la Historia Natural del Hombre (Botella López, 2022).

En España, no es hasta la década de 1860 cuando da comienzo el denominado “periodo científico” de la Antropología, por la influencia del francés Paul Broca y la creación, en 1859, de la Société d’Anthropologie de Paris (Reverte Coma, 1999). Será en 1865 cuando nace la Sociedad Española de Antropología, la cuarta de Europa, de la mano del doctor Pedro González de Velasco, médico y anatomista, y del doctor Francisco A. Delgado Jugo, oftalmólogo (Botella López, 2022).

Asimismo, en Estados Unidos, la primera aplicación del estudio del esqueleto a un caso judicial en un tribunal de justicia se dio en el año 1850, en el juicio Webster-Parkman. Oliver Wendell-Holmes y Jeffries Wyman, dos anatomistas de Harvard, fueron requeridos para el examen de unos

restos humanos, en principio atribuidos al doctor George Parkman, médico desaparecido. Las sospechas recayeron sobre John W. Webster, profesor de Química de la Universidad de Harvard. Las pruebas circunstanciales y forenses acabaron con una sentencia de culpabilidad de Webster, quien fue acusado del asesinato de Parkman y ahorcado (Ramey Burns, 2007).

Volviendo a España, tras la desaparición de la Sociedad Española de Antropología después de la muerte de González de Velasco, nace en 1882 la Academia Española de Ciencias Antropológicas, de la mano del doctor Rafael Martínez Molina, contando posteriormente con el apoyo del profesor Federico Olóriz Aguilera. Olóriz publicó una serie de obras de gran relevancia para la Antropología Física en España, como “La distribución del Índice Cefálico en España” (1894) o “La talla Humana en España” (1896), así como gran cantidad de trabajos sobre identificación humana.

No obstante, su mayor contribución fue la puesta a punto de un método de identificación a partir de las huellas dactilares que aún se emplea en sus líneas maestras. En este aspecto, creó y dirigió el primer Gabinete de Identificación de la policía española, y aplicó la Antropología a casos de interés forense. Ahí partió la primera aplicación de la Antropología Física al terreno judicial y fue por tanto el arranque en España de la Antropología Forense (Botella López, 2022).

Por su parte, el doctor Manuel Antón y Ferrándiz fundó en 1885 una Cátedra Libre de Antropología en el Museo de Ciencias Naturales, que desapareció en 1893 al crearse la primera Cátedra universitaria de Antropología de España, en la Facultad de Ciencias Naturales de Madrid. Con él se formaron los profesores Telesforo de Aranzadi, Luis de Hoyos Sainz y Francisco de las Barras de Aragón (Botella López, 2022).

Así las cosas, el panorama de la Antropología Física española no era el más favorable, pues se vio confinada exclusivamente en las Facultades de Ciencias, dado que solo Madrid y Barcelona contaron con cátedras específicas durante un periodo prolongado. Ello implicó el aislamiento de la Antropología Física del resto de disciplinas antropológicas en España, y los pocos antropólogos físicos del momento se vieron resignados a moverse únicamente en dicho entorno cerrado.

En 1921 se fundó la Sociedad Española de Antropología, Etnografía y Prehistoria, que hasta el inicio de la Guerra Civil publicó la única revista de Antropología española. No obstante, una vez acabada la guerra, el

empobrecimiento cultural del momento hizo muy difícil la continuación de la disciplina en la Universidad, que se mantuvo a duras penas. La Sociedad Española de Antropología, Etnografía y Prehistoria languidecía, llegando a desaparecer 30 años después, en 1951 (Reverte Coma, 1999).

En este panorama de empobrecimiento cultural de posguerra, no fueron pocos los intelectuales que trataron de mantener viva la disciplina en el país, incluso desde el exilio. Ejemplo de ello es el caso del doctor Juan Comas, quien, desde México, contribuyó de forma significativa a la puesta en valor de la Antropología Física española ante el mundo. Su “Manual de Antropología Física” (1957) ha sido muy influyente en América y en España.

El sector más forense de la disciplina antropológica, orientado y aplicado a la identificación humana y a la resolución de necesidades en el campo de la Justicia, ha seguido una línea bastante paralela a la del mundo universitario, refugiándose en muchas ocasiones en los departamentos de Medicina Legal y Forense de las universidades. Por desgracia, y como apunta Botella (2022), el discurrir de la Antropología Forense, durante mucho tiempo, ha sido independiente y alejado del de la Medicina Legal. Las investigaciones en Antropología Forense no tuvieron apenas eco entre los médicos legistas, al ser desconocidas, lo que propició que el aislamiento fuese la norma.

Fue gracias al profesor José M. Reverte que se produjo un cambio importante en la aplicación de los conocimientos de la Antropología Física y Forense al terreno judicial, desde la Universidad Complutense de Madrid. Reverte fundó el primer Laboratorio de Antropología en un Departamento de Medicina Legal, fundó la Sociedad Española de Paleopatología, impartió cursos de Antropología Forense, y además escribió el primer libro español de Antropología Forense para funcionarios del Ministerio de Justicia (Reverte, 1999). Así, con su figura, se puede decir que comenzó en realidad el verdadero impulso de la Antropología Forense en España (Botella López, 2022).

En el año 1976 nació la Sociedad Española de Antropología Biológica, cuyo nombre cambió por el de Sociedad Española de Antropología Física en el año 2003. Asimismo, el importante incremento de la actividad en Antropología Forense durante los últimos años llevó a la creación en 2006 de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense (AEAOF).

Por Acuerdo de 3 de Abril de 2000 de la Comisión Académica del Consejo de Universidades, se reconoce a la Antropología Física como Área de Conocimiento (Código 028). En las clasificaciones científicas reguladas por la UNESCO, la Antropología Física tiene el carácter de Área Científica y su código de identificación es el 2403.

Pero no fue hasta 2009 cuando se logró crear una cátedra de Antropología Física en una Facultad de Medicina española, en Granada, a pesar de la fuerte oposición de algunos antropólogos biólogos. Igualmente, no fue hasta 2007 cuando, en la Universidad de Granada, se incluyeron asignaturas relacionadas con la Antropología Física en la titulación de Antropología Social y Cultural, rompiendo así el aislamiento ya secular entre “las dos Antropologías”, consiguiendo una transversalidad más real (Botella López, 2022). Igualmente, otras universidades españolas han roto también esta barrera, por lo que el panorama actual resulta más razonable.

En la actualidad, la Antropología Física tiene lugar en los planes de estudio de quince universidades españolas, como la Universidad de Granada, la Universidad de Santiago de Compostela, la Universidad Autónoma de Barcelona o la Universidad de Alcalá de Henares, entre otras. No obstante, según apunta Botella (2022), el panorama dista de ser alentador por diferentes factores, como la falta de reemplazo en los profesores que se jubilan, la presencia de personalismos separadores de unos respecto a otros, o los problemas inherentes a la grave crisis que padece el conjunto de la universidad española en este momento.

En la Universidad de Granada, el Laboratorio de Antropología, fundado en 1971 en la Facultad de Medicina, se dedicó en sus inicios a la Antropología Física, dado que se hizo con el respaldo de las facultades de Medicina, Ciencias, y Filosofía y Letras, que necesitaban apoyo en Evolución Humana, Paleopatología y Bioarqueología. No obstante, fue a partir de 1985 cuando amplió sus campos de acción y estudio hacia la Antropología Forense, con investigaciones de métodos y técnicas aplicables a la identificación de restos humanos procedentes de casos judiciales (Botella López, 2022).

Así, en la actualidad, se da la circunstancia de que, por diversos motivos, entre los que se puede señalar a los medios de comunicación y las series televisivas, la Antropología Forense ha experimentado un crecimiento exponencial que, según los expertos, hace tan solo unos años era algo inimaginable. Lo que fue ignorado durante tanto tiempo, es ahora uno de los campos de interés más demandado por los estudiantes y docentes de

Antropología Física en España. Solo queda esperar a ver qué depara el futuro.



Capítulo 2

**Estimación de sexo y edad en
Antropología Física y Forense**

CAPÍTULO 2

ESTIMACIÓN DE SEXO Y EDAD EN ANTROPOLOGÍA FÍSICA Y FORENSE

El trabajo antropológico, a la hora de estudiar restos humanos, busca responder a una serie de preguntas, entre ellas (Ramey Burns, 2007):

- ¿Se trata de huesos humanos o animales?
- ¿Son huesos de un individuo o de varios?
- ¿Cuál era su perfil osteobiológico? Sexo, edad, ancestría, talla...
- ¿Presentaba rasgos distintivos que permitiesen la identificación? Patologías, rasgos anatómicos específicos...

Así pues, la estimación del sexo y de la edad se torna como elementos imprescindibles a la hora de elaborar el perfil biológico de unos restos óseos, ya procedan de contextos arqueológicos o de casos forenses. A continuación, se sintetizan brevemente los diferentes métodos clásicos de estimación de sexo y edad aplicados en Antropología Forense, con especial mención a aquellos centrados en los huesos del tórax.

2.1. Estimación del sexo

2.1.1. *Dimorfismo sexual*

El dimorfismo sexual se define como la expresión de un conjunto de caracteres genéticamente codificados que se manifiesta de forma diferencial en individuos de ambos sexos de una misma especie (Fruyer y Wolpoff, 1985). Este dimorfismo se hace patente en la naturaleza, en todas las especies animales, ya sea exhibiendo un pelaje más frondoso, un mayor tamaño, plumaje más colorido, una dentición más fuerte, etc. (Cox, 2010; Fairbairn, 2016). Al igual que en el resto de especies, este dimorfismo también se manifiesta en los diferentes grupos poblacionales que constituyen la especie humana (Ruff, 2002; Jackson y Jackson, 2011). Ya en poblaciones de homínidos del Pleistoceno existen evidencias de un gran

dimorfismo sexual, tanto en tamaño como morfología corporal (Jungers, 1988; Ruff, 1991; Aiello, 1992; McHenry, 1992).

Según Ruff (2002), la apreciación de la variación sexual en los ancestros humanos es importante por diferentes razones:

1. El tamaño corporal (así como la variación intra-taxón) se relaciona con muchas otras características de la especie, como su ecología u organización social (Calder, 1984; Schmidt-Nielson, 1984).
2. El tamaño corporal es el “denominador” habitual para la evaluación de las tendencias evolutivas clave en el linaje de los homínidos, entre ellas la encefalización o el tamaño de los dientes y la robustez y fortaleza ósea (Pilbeam y Gould, 1974; McHenry, 1976; Ruff *et al.*, 1993, 1997; Aiello y Wheeler, 1995; McHenry y Coffing, 2000).
3. Las diferencias en el tamaño corporal se han utilizado como marcadores taxonómicos o poblacionales entre homínidos, así como para identificar eventos migratorios o posibles casos de mestizaje (Trinkaus, 1981; Duarte *et al.*, 1999).
4. El tamaño y morfología corporal de los humanos arcaicos puede servir como puntos de referencia para la evaluación de variaciones temporales o geográficas más recientes, como por ejemplo los efectos de los cambios en la estrategia de subsistencia y la importancia de tendencias seculares recientes (Fruyer, 1984; Tobias, 1985; Ruff *et al.*, 1997).

Igualmente, de acuerdo con Fruyer y Wolpoff (1985), estas diferencias pueden manifestarse en que, por lo general, los varones tienden a tener una estatura mayor, estructuras craneales y faciales más robustas, y una musculatura más desarrollada. Expresan también que el tamaño dental tiende a ser mayor en varones, al igual que documentan un mayor acúmulo de grasa subcutánea en las mujeres, las tasas de crecimiento varían entre sexos, y algunas patologías afectan a los sexos de forma diferente (Glücksman, 1981; Stini, 1985). No obstante, el hecho de que muchas de esas diferencias acontecen mayormente en la edad adulta, y no en la infancia, indican que muchos de esos efectos son resultado de eventos hormonales que ocurren en la pubertad (Beach, 1978).

Ese dimorfismo también se hace patente en el esqueleto, con un tamaño de los huesos generalmente mayor en varones que en mujeres (Krenzer, 2006). Es gracias a este dimorfismo sexual presente en los huesos del

esqueleto humano que la estimación del sexo en Antropología Forense se torna posible, pues permite la dicotomización de los individuos según su sexo biológico (varón y mujer) (Jackson y Jackson, 2011). Igualmente, esta diferenciación permite una aplicación más precisa de los diferentes métodos para estimación de edad, afiliación biogeográfica o estimación de la talla (Jackson y Jackson, 2011), con el propósito de maximizar la identificación positiva del/los individuo/s (Dirkmaat *et al.*, 2008).

No obstante, no siempre es fácil realizar la estimación del sexo a través de los restos óseos, pues en ocasiones pueden darse casos en que las características dimórficas no están bien definidas, o se pueden dar características de ambos sexos que dificulten la tarea de la estimación (Reverte Coma, 1999). En este sentido, la variación sexual puede ser representada mediante una curva de distribución normal en cada uno de los sexos, dándose un punto en el que ambas convergen, denominada área de solapamiento (Figura 2.1). Estos son casos en los que el dimorfismo sexual no es lo suficientemente claro, por lo que el resultado de la estimación será de alofiso, término que indica que hay características mixtas y que no se puede llegar a una estimación lo suficientemente certera. Es importante conocer este término y diferenciarlo del término “indeterminable”, pues este último indica que el estado de los restos óseos impide alcanzar una estimación (Krenzer, 2006; Gaya Sancho, 2019).

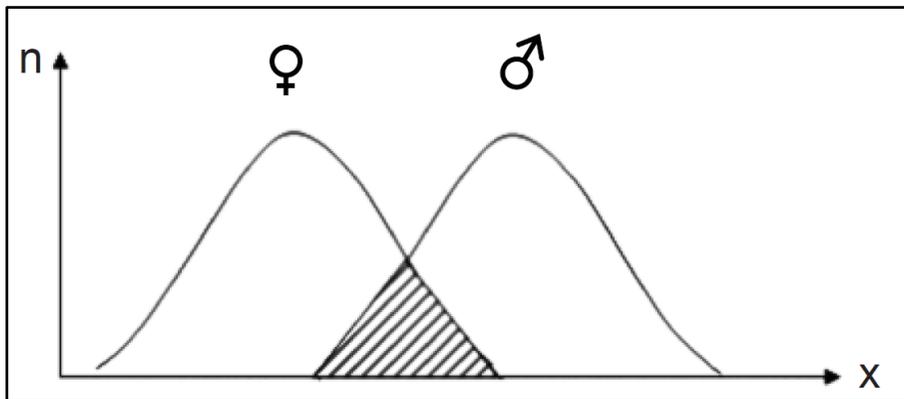


Figura 2.1. Representación gráfica del área de solapamiento. Tomado de: Krenzer (2006)

Esta tarea, además, puede verse también dificultada por el estado de conservación de los huesos, sobre todo cuando no se conservan completos, y en especial cuando la cantidad de hueso conservado es mínima y ha sufrido alteraciones tafonómicas. Con todo, si bien en ocasiones esta labor

se ve dificultada, en la práctica existen elementos clave, cuyo estudio pormenorizado permite la estimación del sexo con gran certeza (Alemán *et al.*, 2013).

2.1.2. Métodos de estimación del sexo en adultos

A la hora de estimar el sexo a través del esqueleto, podemos hablar de dos grandes conjuntos de métodos: los métodos morfognósticos o cualitativos, que se basan en la morfología, tamaño y robustez de los huesos para la estimación, y los métodos morfométricos o cuantitativos, que a través de funciones discriminantes o fórmulas de regresión, permiten la estimación del sexo a través de las medidas del hueso.

2.1.2.1. Cráneo

El cráneo es una de las regiones estudiadas para la estimación del sexo en el esqueleto. No es la región más útil para esta labor, pues ello corresponde al coxal, pero mediante el estudio del cráneo, la estimación del sexo puede alcanzar hasta el 92% de exactitud.

En líneas generales, la morfología del cráneo varía según el sexo. Así, los cráneos masculinos tienden a ser más grandes y robustos que los de mujer, que tienden a ser más gráciles y pequeños. Asimismo, las inserciones musculares suelen estar más desarrolladas en los varones, cuyos cráneos tienden a tener una capacidad craneana alrededor de 150-200 cc mayor que los femeninos (Brothwell, 1987; Alemán *et al.*, 2013).

Vistos de perfil, los cráneos de varón tienden a manifestar un perfil de la frente más oblicuo que los de mujer, con una glabella y arcos supraorbitales más definidos, al igual que las crotáfites. Igualmente, las apófisis mastoides son más grandes y rugosas. La región occipital tiende a ser rugosa, con un inion prominente y definido. Las órbitas suelen ser bajas y de morfología cuadrangular, con el borde supraorbital romo (Brothwell, 1987; Alemán *et al.*, 2013).

Por su parte, los cráneos de mujer tienden a poseer un frontal bastante recto y verticalizado, con protuberancias frontales y parietales, y con la glabella y el arco supraorbital poco definidos. Las apófisis mastoides son de tamaño más pequeño y más lisas. Por su parte, las órbitas suelen ser más ovaladas, con el borde supraorbital más afilado (Brothwell, 1987; Alemán *et al.*, 2013).



Figura 2.2. Diferencias en el cráneo: vista frontal. A) varón; B) mujer



Figura 2.3. Diferencias en el cráneo: vista lateral. A) varón; B) mujer

De forma resumida, las características más útiles para la estimación sexual a través del cráneo se sintetizan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Diferencias morfológicas del cráneo. Tomado de: Alemán *et al.* (2013)

Característica	Hombre	Mujer
Frontal	Más inclinado	Abombado y alto
Arcos superciliares	Fuertes	Mínimos
Órbitas	Más bien bajas, cuadrangulares	Más altas y redondeadas, con el borde superior afilado
Arcos cigomáticos	Fuertes	Menos desarrollados
Apófisis mastoides	Fuertes	Menos desarrolladas, puntiagudas
Mandíbula	Masiva, alta y robusta	Menos robusta, de aspecto grácil; ángulo mandibular más obtuso y cóndilos reducidos
Dientes	Más voluminosos	Menos voluminosos

2.1.2.2. Coxal

El coxal es el hueso que presenta los indicadores más fiables para la estimación del sexo (Buikstra y Ubelaker, 1994), pudiendo alcanzarse hasta el 96-98% de exactitud en la estimación del sexo únicamente analizando este hueso (Krenzer, 2006). Por lo general, la pelvis de mujer tiende a ser más baja y ancha que la de varón, con una proyección lateral de los huesos iliacos más pronunciada, permitiendo una salida hacia el canal del parto más ancha.

Utilizando el coxal, el método más útil para la estimación es el desarrollado por Phenice (1969), basado en el estudio de la región púbica (Figura 2.4). Así, las características estudiadas por el autor son (Buikstra y Ubelaker, 1994):

- Arco ventral: cresta ósea ligeramente elevada en la superficie ventral del pubis. Aparece en las mujeres. Para facilitar su estudio, el pubis debe estar orientado con su cara ventral directamente hacia el observador.
- Concavidad subpúbica: esta característica se encuentra en la rama isquiopúbica, lateral a la cara sinfisaria. En varones, el borde inferior tiende a ser convexo, mientras que en mujeres tiende a ser

cóncavo. Se debe analizar observando la superficie dorsal del hueso.

- Cresta de la rama isquiopúbica: la superficie medial de la rama isquiopúbica, justo debajo de la sínfisis, forma una cresta en mujeres, mientras que en los varones permanece plana.



Figura 2.4. Diferencias en el pubis, según Phenice (1969). A) varón; B) mujer

Por su parte, la morfología de la escotadura ciática mayor tiende a ser muy abierta en las mujeres y bastante cerrada en los varones, si bien su morfología no es un indicador tan fiable como la región púbica, dados diferentes factores. Según Ferembach *et al.* (1980), se puede clasificar la morfología de la escotadura ciática mayor según el siguiente criterio (Figura 2.5).

Finalmente, combinando los bordes de la faceta auricular y la escotadura ciática mayor, se puede observar el criterio del arco compuesto (Genovés, 1959; Bruzek, 2006). Según Rodes Lloret (2016), si pueden trazarse dos arcos imaginarios, uno continuando el borde anterior de la articulación sacroilíaca y otro sobre el borde de la escotadura ciática, se considera como arco compuesto, característico del coxal femenino, mientras que si ambos arcos imaginarios coinciden en un solo trazo, se considera de varón (Figura 2.6) (Rodes Lloret, 2016).

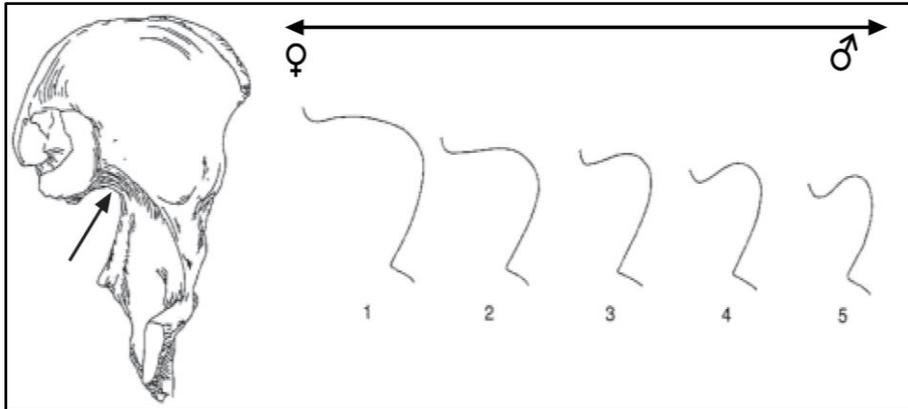


Figura 2.5. Criterios de Ferembach *et al.* (1980) para la escotadura ciática. Tomado de: Krenzer (2006)

En síntesis, los rasgos dimórficos que pueden estudiarse en el coxal se resumen a continuación en la tabla 2.2.

Tabla 2.2. Diferencias morfológicas del coxal. Tomado de: Alemán *et al.* (2013)

Característica	Hombre	Mujer
Escotadura ciática mayor	Estrecha, con tendencia a adoptar forma de V. Por lo general su ángulo no excede los 30º	Ancha y abierta; con forma de U. Describe un ángulo de alrededor de 60º
Surco preauricular	Generalmente está ausente; si en algún caso aparece está marcado de manera muy leve.	No tiene por qué aparecer siempre, pero si se encuentra, y está bien definido, suele ser rasgo de mujer.
Acetábulo	Grande y profundo, con tendencia a estar dirigido lateralmente.	Más pequeño y situado antero-lateralmente.
Foramen obturador	Grande y de forma ovoide.	Más pequeño y triangular
Pubis	Más estrecho y alto.	Más bajo y ancho.
Arco subpúbico	Forma un ángulo más cerrado; en forma de V	Forma un ángulo más abierto.
Rama isquiopúbica	Zona amplia y plana.	Estrecho y con una cresta medial.
Articulación sacroiliaca	Grande.	Pequeña y oblicua.
Hueso iliaco	Alto y con tendencia a la verticalidad. La cresta iliaca es sinuosa y adopta una forma de S pronunciada	Más bajo y divergente en sentido lateral. La cresta iliaca es menos sinuosa.

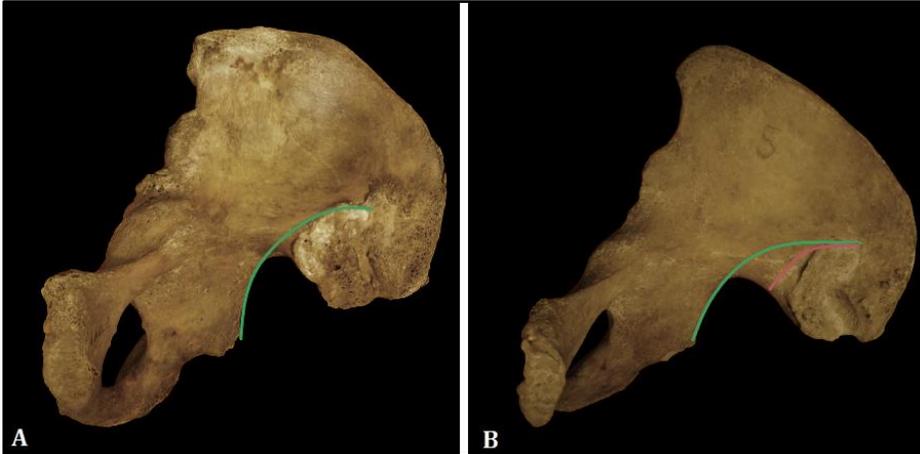


Figura 2.6. Representación del arco compuesto (Genovés, 1959)

2.1.2.3. Huesos largos

La práctica totalidad de huesos del esqueleto muestran diferencias de tamaño, generalmente con valores promedio más pequeños para las mujeres y más grandes para los varones (Krenzer, 2006). Ello resulta de utilidad cuando lo que llega al laboratorio no es un esqueleto completo, sino fragmentos de huesos largos o restos aislados cuyas condiciones no son las adecuadas para la óptima observación de los rasgos dimórficos clave para la estimación sexual (Gaya Sancho, 2019). Es por ello que ha de recurrirse a otro tipo de métodos alternativos, basados en aspectos métricos, para poder realizar la estimación del sexo (Stewart y Kerley, 1979).

Así, desde 1950 se han ido desarrollando funciones discriminantes y fórmulas de regresión que permiten la estimación del sexo con un alto grado de fiabilidad. No obstante, las funciones discriminantes, si bien son muy sencillas de aplicar, requieren haber sido desarrolladas en una población similar a la de estudio, tanto en procedencia como en cronología.

Un muy buen ejemplo de funciones discriminantes en población mediterránea lo tenemos en el trabajo de Alemán *et al.* (1997), quien diseñó una serie de funciones discriminantes para la estimación del sexo a través del esqueleto poscranial en población mediterránea, con tasas de acierto superiores al 80%, en ocasiones llegando a alcanzar valores de hasta el 98% (Alemán *et al.*, 1997) (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Funciones discriminantes para la estimación del sexo a través del húmero en población mediterránea. Tomado de: Alemán *et al.* (1997)

<i>Húmero derecho</i>			<i>Húmero izquierdo</i>		
Medidas	Funciones	%	Medidas	Funciones	%
HANCHD	0,1611815	91,67%	HANCHD	0,1942838	96,72%
HDVC	0,2784763		HDVC	0,2553405	
Constante	-20,7144816		Constante	-21,4663382	
P. Corte	0,11595		P. Corte	-0,066495	
HDVC	0,2972574	92,98%	HDVC	0,3013011	92,00%
HDTRC	0,2197563		HDTRC	0,2203650	
Constante	-21,2554621		Constante	-21,3930828	
P. Corte	0,07595		P. Corte	-0,108665	
HDVC	0,4136169	83,08%	HDVC	0,4679099	91,30%
Constante	-17,5369729		Constante	-19,6851745	
P. Corte	-0,05569		P. Corte	-0,057465	
HANCHD	0,3022333	90,91%	HANCHD	0,3176395	90,41%
Constante	-16,6640438		Constante	-17,3679211	
P. Corte	0,01487		P. Corte	0,01569	
HPV	0,2480896	84,09%	HPV	0,6874048	81,40%
Constante	-14,6330603		HPER	-0,4208571	
P. Corte	0,066125		Constante	-14,918934	
			P. Corte	0,06574	

HANCHD: Anchura de la epífisis distal
 HDVC: Diámetro vertical de la cabeza
 HDTRC: Diámetro transversal de la cabeza
 HPV: Perímetro en la V deltoidea
 HPER: Perímetro en la mitad de la diáfisis

2.2. Estimación de la edad

2.2.1. ¿Infantil o adulto? Diferencias en la estimación

Al igual que en la estimación del sexo, la estimación de la edad presenta una serie de diferencias, según se aplique a restos óseos infantiles o a restos óseos adultos. No obstante, ocurre el fenómeno contrario: mientras que la estimación del sexo resulta más sencilla en individuos adultos, dada la maduración ósea, la estimación de la edad resulta más sencilla en individuos infantiles.

Ello tiene una explicación: en individuos infantiles, la estimación de la edad se realiza en base a la maduración de las piezas dentales y al desarrollo de los diferentes huesos del cuerpo. Por el contrario, en individuos adultos, esta estimación no se puede realizar en relación con el desarrollo óseo, pues ya ha culminado su proceso. Es por ello que la estimación etaria solo puede llevarse a cabo en función de la degeneración del esqueleto humano.

En relación con lo anterior, diversos estudios han puesto de manifiesto que, mientras que el desarrollo óseo suele seguir un patrón más fiable, salvo excepciones, la degeneración del esqueleto humano puede llegar a ser mucho más variable. Es el ejemplo típico de “personas que no aparentan su edad”, ya sea para más o para menos, pero aplicado al esqueleto.

Es aquí donde entran en juego los conceptos de edad cronológica y edad biológica. La edad cronológica hace referencia a la edad que aparece reflejada en los documentos de identidad, el número de años que tiene la persona. Por su parte, la edad biológica es la edad que viene dada por los patrones de maduración y envejecimiento de la persona, y no siempre tiene por qué corresponderse con la edad cronológica del individuo. Es por ello por lo que no podemos hablar de “determinación”, sino de “estimación” de la edad, ya que esta se realiza a través de rangos etarios, poseyendo cada técnica sus propios rangos.

No obstante, existen numerosas propuestas de rangos etarios generales para la clasificación de los restos esqueléticos. Una de ellas es la de Thillaud *et al.* (1994), que establece los siguientes rangos:

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

Así, en este aspecto, la importancia de la investigación en Antropología Forense en materia de desarrollo y validación de métodos de estimación etaria viene dada por la necesidad de diseñar metodologías que permitan estimar la edad, manteniendo una correlación lo más certera posible entre la edad cronológica y la edad biológica.

2.2.2. Métodos de estimación de la edad en adultos

2.2.2.1. Sinostosis de las suturas craneales

Las técnicas más empleadas en el cráneo para la estimación de la edad se centran en el estudio de la sinostosis u obliteración de las suturas

craneales. Ya Vallois en 1937 estudió el patrón de cierre de las suturas craneales, estableciendo una serie de rangos etarios para cada tramo de las diferentes suturas, y estableciendo una diferenciación por sexos. Este trabajo fue modificado por Olivier (1960), quien simplificó los rangos propuestos por Vallois (1937) a la hora de la estimación por la sinostosis sutural (Figura 2.7).

No obstante, el estudio del cierre de las suturas craneales ha demostrado ser muy errático y variable a la hora de estimar la edad del individuo, por lo que no resulta ser de gran utilidad para ello (Key *et al.*, 1994; Rodríguez Cuenca, 1994). Solo una sutura, la sutura esfeno-basilar, cuya obliteración se produce en torno a los 18-22 años, ha demostrado ser fiable para este propósito (Reverte Coma, 1999).

Meindl y Lovejoy (1985) desarrollaron un método en el que se seleccionan diversas regiones de las suturas, de un centímetro de longitud, y se valora el cierre de la siguiente manera (Meindl y Lovejoy, 1985):

- **Grado 0.** Abierto. No hay evidencia de cierre ectocraneal
- **Grado 1.** Sinostosis mínima. Formación de un puente óseo mínimo alrededor de la sutura, que puede alcanzar hasta el 50% de sinostosis del sitio
- **Grado 2.** Sinostosis significativa. Grado marcado de obliteración (más del 50%), aunque sin alcanzar el cierre completo
- **Grado 3.** Cierre completo

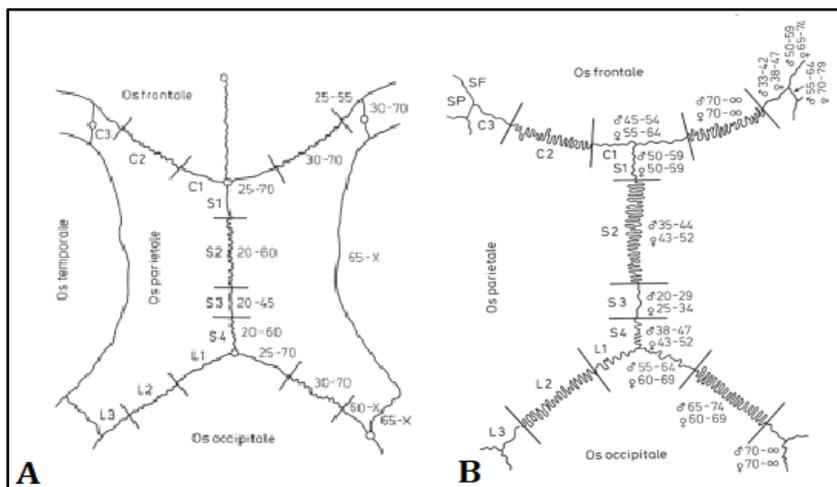


Figura 2.7. Esquema de la sinostosis de las suturas craneales. Tomado de: Krenzer (2006). A): Olivier; B) Vallois.

A cada punto se le otorga un grado de cierre, y se obtiene la suma total de cada uno de los grupos. Las regiones son (Figura 2.8):

- **SISTEMA DE LA CAJA CRANEAL (Puntos 1-7)**
 - **MEDIOLAMBDOIDEA.** Punto medio de la sutura lambdoidea izquierda (1)
 - **LAMBDA.** Intersección de la sutura sagital y lambdoidea (2)
 - **OBELION.** Intersección de la línea que une los dos agujeros parietales con la sutura sagital (3)
 - **SAGITAL ANTERIOR.** Punto en la intersección del tercio anterior y dos tercios posteriores de la sutura sagital (4)
 - **BREGMA.** Intersección de la sutura sagital y coronal (5)
 - **MEDIOCORONAL.** Punto medio de la sutura coronal (6)
 - **PTERION.** Intersección de las suturas parietoesfenoidal con la coronal (7)
- **SISTEMA LATERAL ANTERIOR (Puntos 6-10)**
 - **MEDIOCORONAL.** Punto medio de la sutura coronal (6)
 - **PTERION.** Intersección de las suturas parietoesfenoidal con la coronal (7)
 - **ESFENOFONTAL.** Punto medio de la sutura esfenofrontal izquierda (8)
 - **ESFENOTEMPORAL INFERIOR.** Punto en la intersección entre la sutura esfenotemporal izquierda y una línea que une los dos tubérculos articulares de la unión temporomandibular (9)
 - **ESFENOTEMPORAL SUPERIOR.** Punto en la sutura esfenotemporal 2cm por debajo de su unión con el parietal (10)

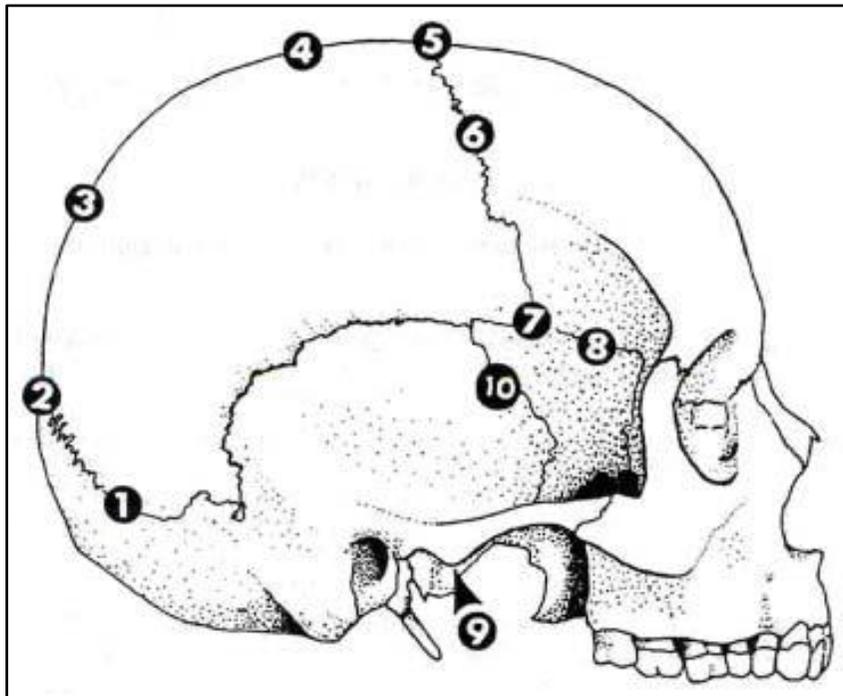
Una vez obtenidas las puntuaciones, estas se llevan a la siguiente tabla para obtener la edad estimada (Tablas 2.4 y 2.5).

Tabla 2.4. Sistema de la caja craneal (1-7), de Meindl y Lovejoy (1985)

Puntuación	Edad estimada (años)
0 (Abierta)	-
1-2	20,9 - 40,1
3-6	26,9 - 42,5
7-11	30,3 - 48,5
12-15	32,6 - 57,8
16-18	38,3 - 59,3
19-20	38,9 - 64,1
21 (Cerrada)	-

Tabla 2.5. Sistema lateral anterior (6-10), de Meindl y Lovejoy (1985)

Puntuación	Edad estimada (años)
0-1	23,7 - 40,3
2	30,0 - 42,4
3-5	31,1 - 51,1
6	32,7 - 54,1
7-8	36,3 - 54,4
9-10	39,4 - 64,4
11-14	47,7 - 64,7
15 (Cerrado)	-

**Figura 2.8.** Puntos craneométricos del método de Meindl y Lovejoy (1985). Tomado de: Krenzer (2006)

2.2.2.2. Cierre de la epífisis medial de la clavícula

La clavícula se configura como un hueso bastante atípico, pues según definen Garamendi *et al.*, (2011), si bien no posee una cavidad medular bien definida, se considera un hueso largo, y pese a poseer una función de inserción muscular y de transmisión de cargas al eje axial, su ausencia no supone restricciones funcionales (Garamendi *et al.*, 2011).

Se trata de un hueso con un proceso de osificación mixto: intramembranoso en sus fases iniciales y endocondral en la edad adulta (Ramey Burns, 2007). La metamorfosis de su epífisis esternal ha sido objeto de estudio para la estimación de la edad. Ya Todd y D'Errico (1928) adscribieron una serie de estudios, y establecieron que comienza a soldarse a los 21-22 años, completándose a los 25.

Szilvassy (1977) propuso una metodología para estudiar la osificación de la epífisis esternal de la clavícula, que acontece entre los 18-30 años. Las etapas propuestas fueron (Szilvássy, 1977; Krenzer, 2006):

- **Fase 1 (18-20 años).** Granulación significativa de la epífisis
- **Fase 2 (21-25 años).** Desaparece la granulación, la superficie está más lisa y se muestra una cresta en el borde
- **Fase 3 (26-30 años).** La superficie está totalmente lisa, con desaparición de la cresta del borde.

Asimismo, Garamendi *et al.* (2011) propusieron una validación del sistema de Schmeling *et al.* (2004), a través de los siguientes estadios:

- **Estadio 0.** No hay epífisis esternal
- **Estadio 1.** Epífisis incipiente
- **Estadio 2.** Epífisis que cubre la superficie de la copa diafisaria
- **Estadio 3.** Epífisis parcialmente fusionada
- **Estadio 4.** Fusión completa, con trazas de cicatriz metafisaria
- **Estadio 5.** Fusión completa, sin trazas de cicatriz metafisaria

Según Garamendi *et al.* (2011), los estadios 0 y 1 solo se observaron en sujetos de edades inferiores a 18 años; mientras que los estadios 4 y 5, los más abundantes en la muestra, han aparecido en edades mínimas de 19.7 y 20.6 años respectivamente.

2.2.2.3. Metamorfosis de la sínfisis púbica

Los cambios morfológicos acontecidos en la sínfisis púbica son considerados los más fiables para la estimación de la edad en individuos adultos (Buikstra y Ubelaker, 1994). Es por ello que esta región anatómica ha sido ampliamente estudiada con este propósito.

Ya Henle en 1872, observó que ocurrían cambios en la sínfisis púbica relacionados con la edad, pero fueron los estudios de Todd (1920) los que establecieron definitivamente una metodología precisa para el estudio de la sínfisis pubiana.

Así, numerosos autores como el propio Todd (1920), pero también McKern y Stewart (1957), Gilbert y McKern (1973), Meindl *et al.* (1985) o Suchey y Brooks (1990) han estudiado la metamorfosis de la sínfisis púbica en relación con la edad del individuo. En este aspecto, la literatura recomienda el empleo del método propuesto por Suchey y Brooks (1990), en el que se establecen seis estadios evolutivos de la carilla sinfisaria (Brooks y Suchey, 1990), diferenciando entre varones y mujeres (Figura 2.9.), los cuales se sintetizan a continuación (Krenzer, 2006):

- **Fase I:** La superficie de la cara sinfisial es ondulada, cubierta de crestas y surcos que se extienden hasta incluir el tubérculo púbico. Las crestas horizontales están bien definidas y comienza a formarse el biselado (ángulo oblicuo) ventral. Aunque pueden presentarse nódulos de osificación en la extremidad superior, la clave para diferenciar esta fase es la ausencia de delimitación en ambos extremos (superior e inferior)
- **Fase II:** La cara sinfisial aún puede presentar desarrollo de crestas. Comienza la delimitación de ambas extremidades (superior e inferior) que ocurre con o sin nódulos de osificación. La rampa ventral puede estar en sus fases iniciales como parte de la extensión de la actividad ósea en una o ambas extremidades
- **Fase III:** El borde inferior de la cara sinfisial y la rampa ventral se encuentran en proceso de acabado. Puede continuarse la fusión de los nódulos de osificación que forman el borde superior y a lo largo del ventral. La cara sinfisial es suave o puede continuar exhibiendo crestas definidas. Se completa el plano dorsal, no se observa labiación del borde dorsal sinfisial ni excrecencias ligamentosas óseas
- **Fase IV:** La cara sinfisial presenta habitualmente una granulosidad fina aunque persisten residuos de antiguas crestas y surcos. En este estado usualmente se completa el contorno oval, pero puede observarse una discontinuidad a nivel del borde ventral superior. El tubérculo púbico está completamente separado de la cara sinfisial por la definición del extremo superior; la superficie puede tener un borde definido. Ventralmente las excrecencias ligamentosas óseas pueden aparecer en la porción inferior del hueso púbico adyacente a la cara sinfisial. Si se llegase a presentar indicios de labiación éste será ligero y localizado en el borde dorsal

- **Fase V:** El borde de la cara sinfisial se completa con la existencia de algunas ligeras depresiones de la misma superficie, relacionadas con el reborde. La labiación es moderada y generalmente se localiza en el borde dorsal con excrecencias ligamentosas más prominentes sobre el borde ventral
- **Fase VI:** La cara sinfisial puede exhibir depresiones en la medida que se erosiona el reborde. Las inserciones ligamentosas ventrales son marcadas. En muchos individuos el tubérculo púbico aparece como una protuberancia ósea independiente. La cara puede cavitarse o tornarse porosa, brindando una apariencia desfigurada con procesos de osificación errática. El aspecto de la superficie es con frecuencia irregular

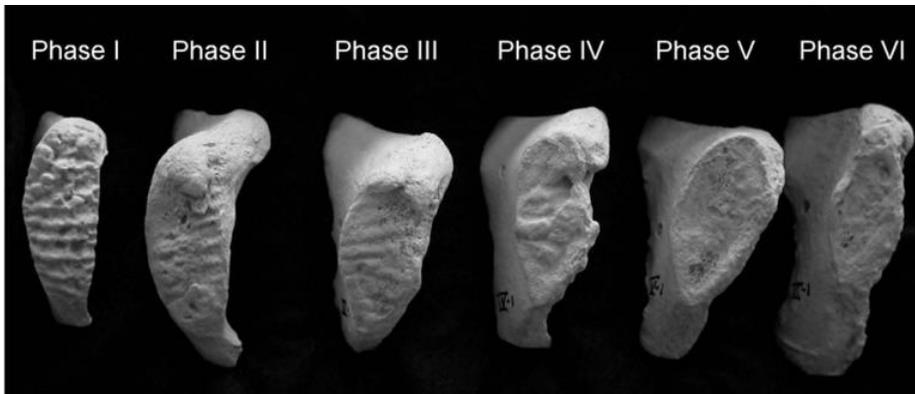


Figura 2.9. Estadios de degeneración de la sínfisis púbica según Suchey y Brooks (1990). Tomado de: https://ebrary.net/147129/health/estimation_adult_skeleton (24/01/2023).

La tabla 2.6 recoge las edades promedio de cada una de las fases, separadas por sexo.

Tabla 2.6. Rangos de edad del método de Suchey y Brooks para la sínfisis púbica (1990)

Fase	Mujer			Hombre		
	Promedio	d.s.	Rango	Promedio	d.s.	Rango
I	19,4	2,6	15 - 24	18,5	2,1	15 - 23
II	25,0	4,9	19 - 40	23,4	3,6	19 - 34
III	30,7	8,1	21 - 53	28,7	6,5	21 - 46

IV	38,2	10,9	26 - 70	35,2	9,4	23 - 57
V	48,1	14,6	25 - 83	45,6	10,4	27 - 66
VI	60,0	12,4	42 - 87	61,2	12,2	34 - 86

2.2.2.4. Metamorfosis de la carilla auricular

Finalmente, con respecto a la metamorfosis de la carilla o faceta auricular, Lovejoy *et al.* (1985) establecieron, de forma sintética, los siguientes cambios (Lovejoy *et al.*, 1985) (Figura 2.10):

- **Fase I (20-24 años):** Ondulación con granulación fina
- **Fase II (25-29 años):** Reducción de la ondulación, pero retención de aparición joven
- **Fase III (30-34 años):** Pérdida de ondulación, sustitución por estrías y distinta granulación gruesa
- **Fase IV (35-39 años):** Granulación gruesa uniforme
- **Fase V (40-44 años):** Transición de granulación gruesa hasta una superficie densa
- **Fase VI (45-49 años):** Término de densificación con ausencia completa de granulación
- **Fase VII (50-59 años):** Superficie irregular, de topografía áspera y actividades moderadas hasta pronunciadas en el área periauricular
- **Fase VIII (60 y más años):** Destrucción en la superficie con labios marginales, macroporosidad; irregularidad avanzada y actividades fuertes en al área periauricular

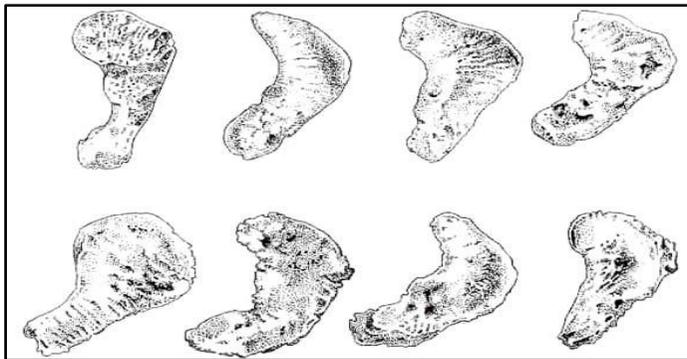


Figura 2.10. Representación de la degeneración de la carilla auricular. Tomado de: Krenzer (2006).

2.3. La cavidad torácica en la estimación de sexo y edad. Estado de la cuestión

No fue hasta los años 80 cuando se centró el interés en el estudio de la cavidad torácica en materia de estimación de sexo y edad. En este aspecto, los trabajos de Loth e İscan (1984, 1985) sobre la metamorfosis del extremo esternal de la cuarta costilla han sido altamente empleados para la estimación de la edad en casos forenses, dada la utilidad de las costillas para ello. Según los autores, la unión condrocostal se localiza en un lugar relativamente estable, poco sujeto a efectos de locomoción (salvo los movimientos respiratorios), embarazo, parto o peso de una persona (İscan *et al.*, 1984, 1985).

Así pues, los autores desarrollaron una metodología para la estimación de la edad, atendiendo a seis variables estudiadas en el extremo esternal de la cuarta costilla derecha, que son (İscan, 1989) (Figura 2.11):

1. Hendidura amorfa, que pasa de forma de V a forma de U
2. Superficie articular plana u ondulante, que evoluciona a una fosa de paredes lisas, para posteriormente dar paso a una fosa profunda y porosa, que puede aparecer con aumento óseo
3. Borde liso y regular, con un filo redondeado, que pasa a estar festoneado, y posteriormente a ser afilado e irregular
4. Aparición de proyecciones óseas, bien en los márgenes superior y/o inferior (más común en los hombres) o bien desde la superficie de la fosa (más común en mujeres)
5. Paredes sólidas y gruesas que pasan a paredes muy finas, con aperturas y orificios con apariencia de “ventanas”
6. Evolución de la calidad del hueso: de firme y sólido a quebradizo, frágil y de apariencia deteriorada

De acuerdo con estas variables y a su metamorfosis, Loth e İscan (1984, 1985) propusieron nueve fases diferentes en cada sexo, diferenciadas por rangos etarios, que se recogen de forma esquemática en las tablas 2.7 y 2.8.

Posteriormente, diversas validaciones del método indicaron su utilidad para la estimación etaria no solo en la cuarta costilla derecha, sino extendiéndolo a las costillas segunda a séptima de ambos lados (İscan, 1989).

Tabla 2.7. Cambios en la morfología del extremo esternal de la cuarta costilla en varones. Elaboración propia con datos de İşcan (1989)

Estadio etario	Hendidura	Superficie articular	Bordes y filos	Proyecciones óseas	Paredes	Calidad general
Estadio 0 (≤16)	No aparece	Plana u ondulante	Regular, redondeado	No aparecen	No aparecen	Liso, firme, muy sólido
Estadio 1 (17-19)	Comienzo de aparición	Ondulación aún presente	Redondeado y regular, con posible presencia de festoneado	No aparecen	No aparecen	Liso, firme, muy sólido
Estadio 2 (20-23)	Apariencia de V	Aparece la fosa, algo más profunda	Festoneado, o borde ligeramente ondulado con cantos redondeados	No aparecen	Gruesas y lisas	Firme y sólido
Estadio 3 (24-28)	Ensanche, forma de U suave	Fosa cada vez más profunda	Bordes redondeados, pero con cantos cada vez más irregulares	No aparecen	Bastante gruesas	Bastante firme y sólido
Estadio 4 (26-32)	Forma de U estrecha	Profundidad en aumento	Cantos redondeados. Bordes más irregulares, sin patrón de festoneado uniforme	No aparecen	Paredes más finas	Descenso en el peso y firmeza, aún con calidad general buena
Estadio 5 (33-42)	Forma de U predominant. amplia	Pequeños cambios en su profundidad	Bordes afilados. Aumento de la irregularidad del borde. No festoneado	Proyecciones óseas irregulares	Mayor pérdida de espesor	Condiciones bastante buenas. Signos de deterioro, porosidad y pérdida de densidad
Estadio 6 (43-55)	Amplia forma de U	Fosa notablemente profunda	Borde irregular y afilado	Bastantes proyecciones óseas largas, frecuentem. más pronunciadas en bordes superior e inferior	Paredes finas, con bordes afilados	Notablemente más ligero, fino y poroso, especialmente en la fosa
Estadio 7 (54-64)	Forma de U	Profunda	Afilados e irregulares	Proyecciones óseas	Finas y frágiles	Ligero y quebradizo, deterioro significativo y porosidad
Estadio 8 (+65)	Forma de U muy ancha	Muy profunda	Afilados y muy irregulares	Pueden aparecer en el suelo de la fosa y también en los bordes	Extrem. finas y frágiles. Formac. "de ventana"	Muy ligero, fino, poroso, quebradizo y desmenuzable

Tabla 2.8. Cambios en la morfología del extremo esternal de la cuarta costilla en mujeres. Elaboración propia con datos de İşcan (1989)

Estadio etario	Hendidura	Superficie articular	Bordes y filos	Proyecciones óseas	Paredes	Calidad general
Estadio 0 (≤13)	No aparece	Casi plana, con crestas u ondulaciones	Regular, con cantos festoneados	No aparecen	No aparecen	Firme, liso y muy sólido
Estadio 1 (14-15)	Muecas amorfas incipientes	Crestas y ondulaciones aún presentes	Redondeado y regular, con posible ondulación	No aparecen	No aparecen	Sólido, firme y liso
Estadio 2 (16-19)	Forma de V	Fosa consider. más profunda. Posible rastro de ondulación	Ondeante, con algunos festoneados en el canto	No aparecen	Gruesas y lisas	Firme y sólido
Estadio 3 (20-24)	Ensanch. de V, U estrecha	Apenas incremento de profundidad	Romos, festoneado pronunc. y regular	Arco central en pared anterior o posterior	Disminuc. de grosor	Firme y sólido
Estadio 4 (24-32)	Forma de V ancha o U estrecha	Notable aumento de la profundidad	Borde redondeado, pero con festoneados peor definidos y cierta erosión del borde/canto	Aún presente el arco central	Paredes más finas	Bastante buena, pero con cierto descenso en su densidad y firmeza
Estadio 5 (33-46)	Ensancham. a V ancha o U estrecha	Profundidad casi igual. Depósito de placa duro y liso, que forra la fosa	No festoneado, afilamiento del canto. Borde irregular	Arco central es la proyección más prominente	Pierden espesor	Notablemente más ligero en peso, densidad y firmeza. Textura quebradiza
Estadio 6 (43-58)	Forma de V-U ensanchada	Mayor aumento de la profundidad de la fosa. Depósito irregular y poroso	Cantos afilados y bordes irregulares	Arco central menos prominente: puntos afilados desde la extremidad esternal	Paredes finas	Bastante fino y quebradizo, con signos de deterioro
Estadio 7 (59-71)	Forma de U predom. ancha	Disminución de la profundidad	Bordes irregulares y cantos afilados	Crecimientos irregulares desde el interior de la fosa. Proyecciones puntiagudas	Paredes muy finas	Hueso muy ligero, fino, quebradizo y frágil. Deterioro más notable en fosa
Estadio 8 (+70)	Forma de U	Poco profunda, gravemente deteriorada o profundamente erosionada. Excrecencias óseas	Bordes muy irregulares, con cantos muy afilados	Arco apenas perceptible. Largas proyecciones en bordes superior e inferior	Muy finas: formación "de ventana" en ocasiones	Pobres condiciones, extremadam. fino, ligero, quebradizo y frágil

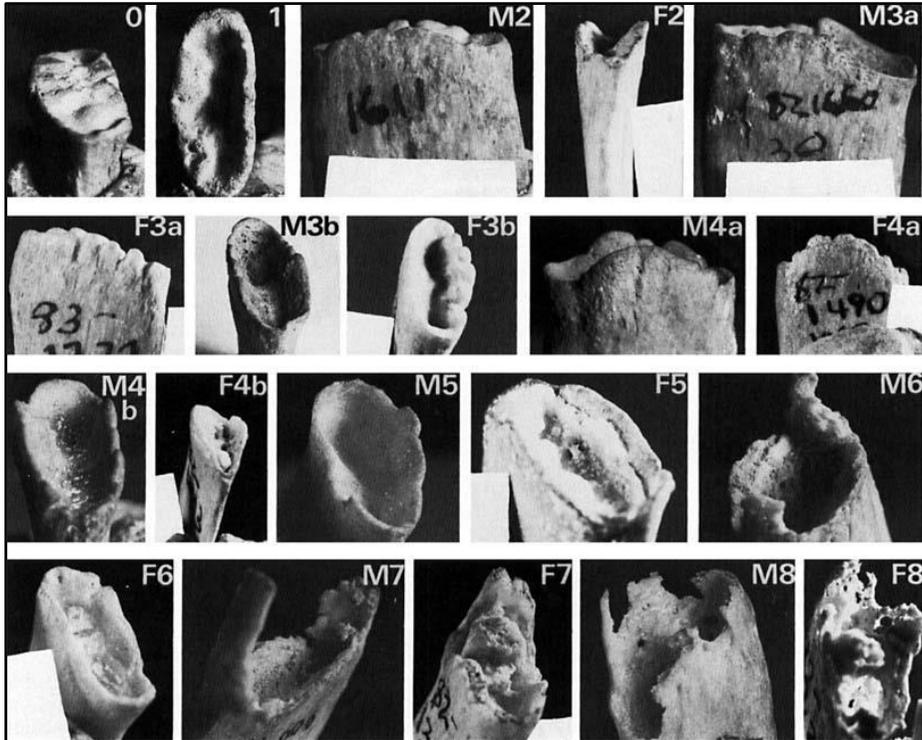


Figura 2.11. Degeneración de la extremidad esternal de la costilla según İşcan. Tomado de: İşcan (1991)

El extremo esternal de la cuarta costilla no solo ha sido objeto de estudios en materia de estimación etaria. En este aspecto, İşcan (1985) también desarrolló un método de estimación del sexo en esta región anatómica, mediante el diseño de funciones discriminantes a través de la aplicación de dos medidas diferentes: la altura y la anchura de la fosa costal. Su trabajo, diferenciado en grupos etarios, arrojó un resultado muy positivo, con un porcentaje de acierto del 82% en individuos jóvenes, alcanzando el 89% en individuos seniles, y con un promedio de acierto del 83% empleando todos los grupos etarios de forma conjunta (İşcan, 1985).

Posteriormente, como tendremos ocasión de ver más detenidamente en la discusión, diversos autores han validado y comprobado la utilidad del trabajo de İşcan (1985) en materia de estimación sexual. Sin embargo, los extremos esternales de las costillas son las regiones más susceptibles de dañarse durante la descomposición y mientras los huesos permanecen a la intemperie (Davies-Barrett *et al.*, 2019), por lo que es necesario el estudio de otras regiones de las costillas en esta materia.

Asimismo, la primera costilla también ha sido objeto de diferentes trabajos sobre su utilidad para la estimación de la edad. Si bien İşcan *et al.* (1989) indicaron que su método no es aplicable a esta costilla, siendo restringido su uso a las costillas segunda a séptima, diferentes autores han estudiado la osificación del cartílago condrocostal en relación con la edad.

Ejemplos de ello son los estudios de Kunos *et al.* (1999), revisados posteriormente por Kurki (2005), en el que estudia la morfología de la primera costilla y su metamorfosis, atendiendo a tres regiones distintas: cabeza, tubérculo y extremo esternal; la propuesta de DiGangi (2009), donde, exponiendo la dificultad de aplicabilidad del método de Kunos (1999), decide modificarlo, revisando las características a analizar y el sistema de puntaje, obteniendo buenos resultados (Digangi *et al.*, 2009).

Igualmente, destaca el estudio realizado por Garamendi, Landa, Alemán y Botella (2011), donde a través de radiografías de tórax postero-anteriores, estudiaron y analizaron la osificación del cartílago condrocostal de la primera costilla, aplicando un sistema de estadios equivalentes a los estadios de osificación propuestos por Barchilon y Michelson, también con buenos resultados.

Con respecto al esternón, este hueso ha sido ampliamente estudiado para evaluar su utilidad en materia de estimación del sexo, siendo Hyrtl (1872) uno de los primeros en hacerlo, estableciendo su muy utilizada ley, la cual establece que el manubrio esternal de la mujer supera la mitad de la longitud del cuerpo, mientras que el cuerpo del esternón del hombre es al menos dos veces mayor que el manubrio.

Posteriormente, diversos autores han estudiado su morfología y dimensiones en diferentes poblaciones para la estimación del sexo. En población mediterránea, podemos mencionar a García-Parra *et al.* (2014), así como a Dorado Fernández *et al.* (2021).

En materia de estimación etaria, el esternón y la sinostosis de sus diferentes segmentos han sido estudiados en diferentes grupos poblacionales, tanto de forma aislada como de forma conjunta con la osificación del cartílago condrocostal, arrojando resultados muy diversos según el grupo poblacional, como veremos más adelante. No obstante, no se han evidenciado trabajos sobre la osificación del esternón adulto en relación con la edad en población mediterránea, lo que justifica que, en este trabajo, se indague en ese aspecto.

En resumen, el potencial de la cavidad torácica en materia de diagnóstico de sexo y edad a través del esqueleto es muy alto, a tenor de lo resaltado previamente, siendo por ello necesario más investigación a este respecto en dicha región, especialmente en población mediterránea.



Capítulo 3

Objetivos

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS

El objetivo general de esta tesis doctoral es establecer metodologías para la estimación del sexo y la edad en los huesos del tórax, tanto a través del análisis de hueso seco como del estudio de imágenes 3D.

Los objetivos específicos son:

1. Comprobar el grado de dimorfismo sexual de la región posterior de las costillas primera a cuarta en población española y desarrollar funciones discriminantes para la estimación del sexo en el cuello de las costillas.
2. Comparar el dimorfismo sexual de las costillas en población española y en población portuguesa mediante la validación de las funciones discriminantes obtenidas, con el propósito de evidenciar si existen diferencias en ambas poblaciones, a pesar de las características comunes que comparten ambos países.
3. Analizar la sinostosis de los diferentes segmentos esternales (manubrio, mesosterno y apéndice xifoides) para comprobar si es útil para la estimación de la edad en población mediterránea.
4. Estudiar las dimensiones de los diferentes huesos torácicos mediante el estudio de imágenes 3D para la estimación del sexo a través de funciones discriminantes.
5. Analizar la degeneración del cartílago condrocostal y la sinostosis esternal a través de TACs para desarrollar fórmulas de regresión para la estimación de la edad.



Capítulo 4

Anatomía y embriología de los huesos torácicos

CAPÍTULO 4

ANATOMÍA Y EMBRIOLOGÍA DE LOS HUESOS TORÁCICOS

Tal y cómo definen Weinmann y Sicher (1947), el hueso es un tejido vivo que se encuentra en constante crecimiento y desarrollo, por lo que no se le puede considerar como una entidad inerte, sino como un ente vivo desde su propio origen, un órgano, desde el nacimiento, desde la propia génesis del ser humano (Weinmann y Sicher, 1947). Es por eso que el aspecto embriológico del propio hueso es esencial a la hora de comprender su desarrollo ontogénico.

Por ello, en primer lugar, se realizará una introducción a los diferentes modelos de desarrollo embriológico de los huesos del esqueleto humano, definiendo los diferentes tipos de desarrollo embriológico que el hueso humano puede sufrir, para posteriormente realizar un recuerdo anatómico de la morfología y embriología de los huesos torácicos, cuyo estudio será objeto de análisis en la presente tesis doctoral. Para ello, se recurrirá esencialmente a los manuales de Testut y Latarjet (1921, reimpreso en 1977), Scheuer y Black (2004), Schünke *et al.* (2005), White *et al.* (2011) y Cunningham *et al.* (2016).

4.1. Introducción embriológica

Según Cunningham *et al.* (2016), el hueso de mamífero surge de la diferenciación de tejidos embrionarios pluripotentes. En este aspecto, se puede diferenciar entre osificación endocondral, en la cual el hueso deriva de una suerte de pre-forma cartilaginosa, y osificación intramembranosa, en la que el hueso surge directamente de la transformación de tejido mesenquimatoso.

No queda clara la causa de esta diferenciación osteogénica, y de acuerdo con Cunningham *et al.* (2016), diversos autores argumentan que no hay

consecuencia relevante en este aspecto, teniendo en cuenta que el resultado final es prácticamente idéntico.

Siguiendo a Carter *et al.* (1998), en términos evolutivos, la formación intramembranosa del hueso es la que sigue un modo más primitivo de osificación, encontrándose la primera evidencia clara de osificación intramembranosa en el esqueleto craneal de los agnatos del Ordovícico (alrededor de 500 millones de años), mientras que los primeros indicios de osificación endocondral aparecen alrededor de 100 millones de años después en los osteíctios (también conocidos como peces óseos) del periodo Devónico (Carter *et al.*, 1998). En este aspecto, Smith y Hall (1990) señalan que este cambio en el proceso osteogénico debe estar ligado a los requerimientos funcionales de un esqueleto poscraneal modificado, relacionado con la migración de los peces hacia la tierra y con ello al desarrollo de los primeros tetrápodos del Devónico (Smith y Hall, 1990).

Así, la matriz del hueso comienza su osteogénesis en un lugar constante, denominado centro primario de osificación, que puede originarse como el resultado de una osificación intramembranosa (dermal o pericondral) o endocondral. En este aspecto, el centro primario de osificación es la indicación temporal del locus inicial de osificación de un hueso, si bien existen tres centros primarios para el innominado, formado por ilion, isquion y pubis (Cunningham *et al.*, 2016).

En este aspecto, Cunningham *et al.* (2016) define los centros primarios de osificación como

1. El lugar inicial de osificación en el modelo de un elemento esquelético. Este punto puede acabar formando el hueso completo, o bien formar la práctica mayoría del hueso adulto, que terminará fusionándose con posterioridad con pequeños centros adicionales de osificación, denominados secundarios.
2. Todos los centros formados por osificación intramembranosa dermal.

Mientras que el impulso para el desarrollo del hueso dermal es probablemente protector con miras al desarrollo del sistema nervioso central, los centros de osificación intramembranosos pericondrales pueden desarrollarse, según Carter y Beaupré (2000), como respuesta al crecimiento de las estructuras circundantes de tejidos blandos. Es el caso de las costillas, que surgen a través del desarrollo de centros de osificación pericondrales, como posible respuesta protectora de los órganos

albergados en la cavidad torácica (Carter y Beaupré, 2000). También destacan que se ha descubierto que las contracciones musculares embrionarias involuntarias fomentan la osteogénesis en regiones entésicas.

También se ha sugerido que el hueso pueda, preferentemente, formarse en una región que proteja a una estructura neuronal, en base a un posible estímulo bioquímico de base neurológica, como ocurre en el coxal, cuyos centros primarios se ubican próximos a los tres principales troncos nerviosos del miembro inferior, o en las costillas en relación con los haces neurovasculares intercostales (Laurenson, 1964a, 1964b).

Los centros primarios de osificación que se forman directamente por osificación endocondral se hallan únicamente en los huesos del carpo y tarso, el cuerpo de las vértebras, las esternebrias que conforman el esternón, y los huesos sesamoideos. Se trata de huesos difíciles de identificar en los estadios más tempranos de su desarrollo, en tanto que aparecen con forma de pequeños nódulos amorfos.

Por su parte, estos centros primarios de osificación no siempre se extienden hasta osificar la matriz cartilaginosa del hueso en desarrollo, sino que en ocasiones aparecen centros secundarios de osificación, que tienden a desarrollarse en el periodo postnatal. Según Cunningham *et al.* (2016), podemos diferenciar tres tipos de centros secundarios de osificación:

- En primer lugar, los centros secundarios de osificación que aparecen en los extremos de los huesos largos, que engloban la región articular y cuya osificación sigue un modelo endocondral.
- Por otra parte, ciertas superficies articulares no surgen de grandes masas trabeculares, sino que se desarrollan a partir de pequeñas regiones de hueso cortical que se extienden sobre la superficie articular. Estos pequeños centros de osificación, en los que se engloban la articulación esternoclavicular del manubrio, así como la articulación condroesternal, o la cabeza y el tubérculo articular de las costillas, no aparecen en el esqueleto apendicular, sino que solo aparecen en el eje axial y en las cinturas escapular y pélvica.
- Por último, no todos los centros secundarios de osificación aparecen en regiones articulares, sino que algunos pueden aparecer en inserciones musculares o ligamentosas, y que se forman siguiendo un modelo más pericondral, pues tienden a

desarrollarse como respuesta al estrés causado por las inserciones musculares o ligamentosas. Como ejemplos, podemos destacar las crestas ilíacas o el tubérculo no articular de las costillas, entre otros.

En estadios iniciales de desarrollo, los centros primarios y secundarios de osificación se encuentran separados por una matriz cartilaginosa de rápido crecimiento. La fusión entre los centros primarios y secundarios se produce cuando la ratio de deposición de sales minerales, y por tanto formación de hueso, supera la proliferación cartilaginosa de esta matriz.

4.2. La caja torácica: estructura y funcionalidad

El tórax, también llamado caja torácica, es una cavidad osteocartilaginosa, conformada por las vértebras torácicas, el esternón, y doce pares de costillas, que alberga y protege los principales órganos encargados de las funciones respiratorias y circulatorias, además de estar estrechamente relacionado con el mecanismo de respiración.

Estas estructuras óseas están unidas entre sí de forma móvil mediante ligamentos y articulaciones, tanto verdaderas como falsas, y están sujetas por los músculos intercostales, los cuales están íntimamente ligados con los movimientos respiratorios. Los pulmones, cuya función es la oxigenación del organismo y la eliminación de dióxido de carbono del torrente sanguíneo, se encuentran protegidos por esta estructura osteocartilaginosa (Figura 4.1). No obstante, dicha región anatómica no solo funciona como refugio de estos órganos y de grandes vasos sanguíneos, sino que también proporciona inserción para los músculos respiratorios (White *et al.*, 2011).

En este aspecto, y desde el punto de vista funcional, la caja torácica, así como las estructuras musculares que lo rodean, representan un envoltorio fuerte y estable que permite la inspiración y espiración, y con ello, las condiciones necesarias para una respiración normal. Esto se hace patente sobre todo en lesiones torácicas, como fracturas costales, que pueden desestabilizar la pared torácica, provocando la denominada “respiración paradójica” (Schünke *et al.*, 2005), una retracción inspiratoria y espiración abductoria del lado afectado de la caja torácica.

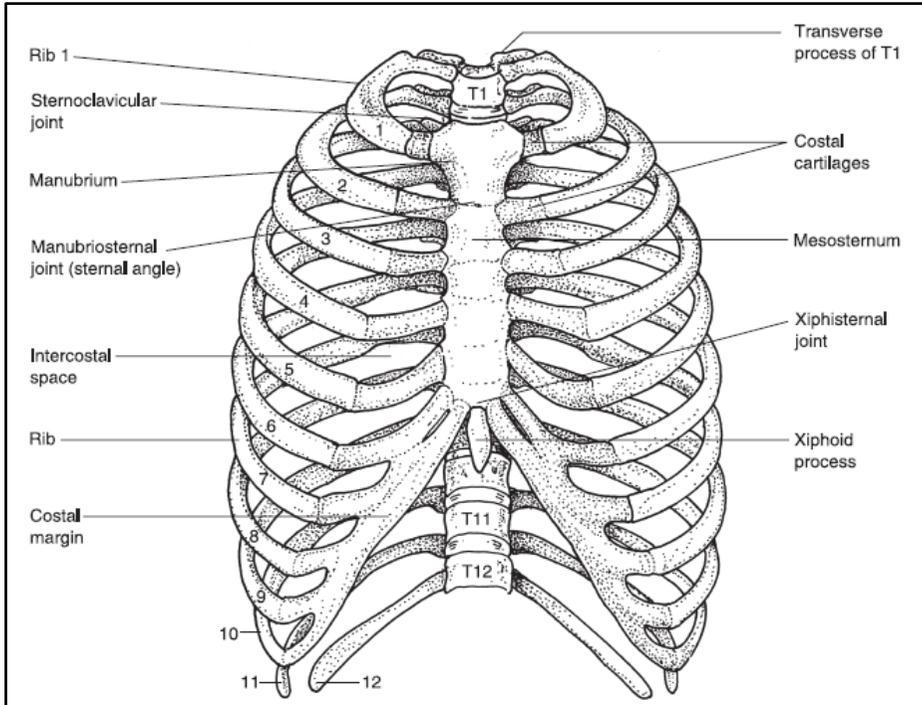


Figura 4.1. Representación de la caja torácica. Tomado de: Cunningham *et al.* (2016)

Así pues, la variación del volumen torácico es la condición previa y necesaria para la respiración. El aumento del volumen torácico puede darse por descenso del diafragma (ventilación costodiafragmática) o por elevación de las costillas (ventilación esternocostal). En fases de descanso, la ventilación costodiafragmática es la empleada casi exclusivamente; por el contrario, durante el ejercicio físico, se incorpora la ventilación esternocostal con los músculos intercostales y la musculatura respiratoria accesoria (Testut y Latarjet, 1921; Schünke *et al.*, 2005).

Durante la inhalación, el diafragma se deprime, y las costillas rotan sobre un eje a través de su cabeza, mientras que los extremos esternales y el esternón se elevan levemente. Por su parte, las costillas inferiores se colocan en una posición más horizontal, aumentando el diámetro transversal torácico. Con estos cambios en las dimensiones torácicas, la presión atmosférica empuja el aire hacia los pulmones.

Hay varios músculos implicados en la inhalación. Las costillas son elevadas por los músculos escalenos, el diafragma (unido al apéndice xifoides esternal, las cuatro costillas inferiores y los arcos de las vértebras

lumbares L1 y L2), y los músculos intercostales externos. En el proceso de espiración, los músculos intercostales internos deprimen las costillas. Esto se ve asistido por la contracción de los músculos abdominales, lo que disminuye el volumen torácico y provoca la expulsión del aire.

4.3. Las costillas

4.3.1. Anatomía

Las costillas son huesos planos que, desprendiéndose de cada lado de la columna vertebral, se dirigen, formando arco, hacia el esternón. Generalmente, el esqueleto adulto posee doce pares de costillas, si bien pueden darse anomalías en la cantidad de costillas, pudiendo darse casos de costillas supernumerarias, tanto cervicales (más comunes) como lumbares (menos comunes), o bien de casos de agenesia costal, sobre todo del par 12. Estas articulan mediante articulación sinovial con las vértebras torácicas en el plano posterior, y con el esternón vía cartílago hialino en el plano anterior.

Las siete primeras costillas llegan hasta el esternón, uniéndose a él directamente, por lo que se denominan costillas esternales o verdaderas. Las cinco últimas no llegan directamente a él, por lo que reciben la denominación de costillas asternales. Dentro de este grupo, podemos hablar de dos subgrupos: el conformado por los pares ocho a diez, que se unen al esternón a través del cartílago del séptimo par, denominándose costillas falsas, y los dos últimos pares, que quedan libres e independientes en toda su extensión, denominándose costillas flotantes.

A nivel anatómico, según su morfología, podemos hablar de costillas típicas (de los pares tercero a noveno) y atípicas (pares uno, dos, décimo, undécimo y duodécimo). Ello se debe a que las costillas más periféricas tienden a adoptar características y patrones de anatomía específicos. Con todo, todas comparten rasgos básicos, que permiten la identificación individual en casos de adultos (Figura 4.2).

La cabeza costal es la parte más proximal. Generalmente posee dos superficies articulares, para el contacto con los cuerpos vertebrales con los que articulan. Los pares primero, décimo, undécimo y duodécimo solo poseen una superficie articular. Por su parte, la cresta de la cabeza costal marca la separación entre ambas demifacetos.



Figura 4.2. Cuarta costilla derecha típica

El cuello costal es el segmento entre la cabeza y la articulación costal con los procesos transversos de las vértebras adyacentes. Por su parte, el tubérculo costal se localiza en la esquina posteroinferior de cada costilla. Articula con la apófisis transversa de la vértebra torácica, presentando una faceta articular medial para la articulación, y una porción no articular para inserción ligamentosa.

El ángulo costal es la curva del hueso, lateral al tubérculo, marcada por una línea en la superficie exterior del tubérculo. El cuerpo, por su parte, se define como el segmento curvo entre el tubérculo y el extremo esternal, siendo esta última región el extremo anterior del cuerpo, de morfología ovalada para la inserción del cartílago condrocostal.

La primera costilla es la más inusual, y por tanto la más fácilmente reconocible (Figura 4.3). Se trata de un hueso bastante plano, corto, con una gran curvatura y una sola faceta articular en la cabeza. Su plano superior o craneal presenta numerosas inserciones musculares, así como dos leves escotaduras para la vena y la arteria subclavias. El surco entre ambas escotaduras se prolonga hacia el tubérculo escaleno. La segunda costilla es la costilla intermedia entre la inusual primera costilla y la más típica tercera costilla. Presenta una amplia tuberosidad para el músculo serrato anterior en la zona externa del cuerpo medio.

No obstante, ambas costillas presentan un gran número de inserciones musculares, con un total de diez músculos en la primera, y nueve en la segunda. La siguiente tabla resume las inserciones musculares de ambas costillas (Tabla 4.1).



Figura 4.3. Primera costilla izquierda

Tabla 4.1. Inserciones musculares de las costillas primera y segunda. Tomado de: Testut y Latarjet (1921).

Costilla	Región	Músculo	
Primera costilla	Cara superior	Escaleno anterior	
		Escaleno posterior	
		Subclavio	
		Serrato mayor (1ª digitación)	
		Primer supracostal	
	Borde interno	Serrato menor superior	
		Escaleno anterior	
		Escaleno posterior	
		Borde externo	Primer intercostal externo
			Primer intercostal interno
Sacrolumbar			
Segunda costilla	Cara externa	Dorsal largo (inconstante)	
		Serrato mayor (1ª y 2ª digitaciones)	
		Serrato menor superior	
		Sacrolumbar	
		Escaleno posterior	
	Borde interno	Segundo supracostal	
		Borde externo	Primer intercostal externo
			Primer intercostal interno
		Borde externo	Segundo intercostal externo
			Segundo intercostal interno

Por su parte, la décima costilla es similar a las costillas 3-9, pero con una sola faceta articular en la cabeza. Finalmente, las costillas once y doce solo presentan una faceta articular en la cabeza y carecen de tubérculo, así como de ángulo costal. El extremo esternal de ambas es corto y generalmente puntiagudo. La duodécima costilla es más pequeña que la undécima, y en ocasiones, incluso más pequeña que la primera.

Las costillas no son horizontales, sino que se implantan de forma oblicua en la columna vertebral, de modo que conforman un ángulo abierto hacia abajo. Cuanto más baja es la costilla, más agudo es el ángulo que forma.

Aunque morfológicamente las costillas representan huesos largos, ofrecen la estructura de los planos: desprovistas de conducto medular, están formadas en esencia por dos láminas de tejido compacto, unidas por sus bordes y comprendiendo entre sí el tejido esponjoso.

Las variedades anatómicas que pueden darse en las costillas pueden afectar tanto a su configuración externa, como a su desarrollo o su número. Generalmente, cuando se produce una anomalía por ausencia costal, va a ser por la ausencia del par 12; es infrecuente, no obstante, pero no imposible, que en alguna ocasión la primera costilla no complete su desarrollo y no se una al esternón, quedando flotante o uniéndose al cuerpo de la segunda, causando una costilla bicipital o costilla en Y.

Por su parte, cuando hay un aumento en el número de costillas, ello puede producirse por una costilla supernumeraria que precede a la primera (costilla cervical) o que sigue a la duodécima (costilla lumbar).

Asimismo, no es raro encontrar costillas que se bifurcan por delante, formando dos ramas, que van a parar a dos cartílagos diferentes o a uno solo, es el caso de las denominadas costillas bifurcadas. En alguna ocasión, la bifurcación se repara automáticamente por la soldadura de alguna de sus ramas de bifurcación, lo que se denomina costillas perforadas, las cuales son asintomáticas.

4.3.2. Embriología

Los primordios de las costillas surgen del crecimiento en dirección caudal de la porción del arco neural del anlage (primordio) vertebral, y prácticamente derivan de la mitad caudal del esclerotomo (Sensenig, 1949; Ogden, 1979; Verbout, 1985). Este origen embriológico explica por qué cada costilla típica articula esencialmente con solo una vértebra, ya

que se desarrollan de la misma porción caudal del esclerotomo, y también por qué solo hay una articulación menor con la vértebra superior.

En este aspecto, alcanzándose la décima costilla, no se da articulación con la vértebra superior, ya que la costilla permanece en área de su cohorte embriológica. Este origen embriológico también explica por qué la costilla tiene una relación más íntima con el arco neural que con el centro de la vértebra.

Así, el primordio de la costilla penetra en la pared corporal entre dos miotomos segmentales adyacentes, los cuales se acaban asociando con las placas mesenquimales del esternón. La unión entre el derivado del esclerotomo costal y el derivado del mesodermo de la placa lateral esternal persiste como las articulaciones condroesternales.

La condricificación comienza en la sección posterior del primordio costal, dándose a partir de los 36 días intrauterinos. Este proceso progresa y crece ventralmente. Mientras tanto, se produce la unión de las placas esternales, que se fusionan en la línea media. Para cuando las placas esternales se unen, ya ha comenzado la osificación costal (Scheuer y Black, 2004; Schaefer *et al.*, 2009).

Cuando comienza este proceso, las articulaciones sinoviales costoventrales comienzan a desarrollarse y la costilla se separa del primordio vertebral (Tsou *et al.*, 1980). Un fallo en esto puede dar lugar a una fusión costoventral congénita y, aunque generalmente esta fusión resulta asintomática cuando se ve restringida a un segmento, si son varios los segmentos implicados, puede conllevar limitaciones respiratorias.

Considerando este proceso, la forma de las costillas en desarrollo se ve muy influenciada por las estructuras que crecen alrededor (Geddes, 1912). Las anomalías costales como bifidez costal, costillas bicipitales, fusión de dos costillas, etc., se ven explicadas por la segmentación irregular o en ausencia con el primordio vertebral, así como por la segmentación anómala en el esternón (Sycamore, 1944; White *et al.*, 1945; Martin, 1960; Barnes, 1994). Estas anomalías son relativamente comunes y generalmente asintomáticas. No obstante, es importante, especialmente en edad adulta, no confundir fusión congénita con fusión postraumática, siendo esencial prestar atención al callo de fractura en casos de fusión postraumática (Steinbock, 1976; Mann y Murphy, 1990).

Osificación

Los primeros centros primarios de osificación aparecen en torno a las 8-9 semanas de vida fetal (Geddes, 1912; Frazer, 1948; Last, 1973; Fazekas y Kósa, 1978), siendo los de la región del ángulo posterior de las costillas quinta a séptima (Frazer, 1948; Noback y Robertson, 1951). Estos centros aparecen posteriormente de forma bidireccional, tanto en dirección craneal como caudal, apareciendo el centro de osificación de la primera costilla antes de la semana 12 de gestación (Flecker, 1932). Para las semanas 11-12, cada costilla posee su propio centro de osificación, si bien en ocasiones el centro de osificación correspondiente a la duodécima costilla no aparece. Así, la costilla comienza su osificación antes que su vértebra correspondiente, disgregándose de la vértebra primitiva mesenquimatosa a una edad fetal temprana (Fazekas y Kósa, 1978; Ogden, 1979).

La osificación del modelo cartilaginosa costal se produce de forma más rápida a nivel ventral que a nivel dorsal. Progresivamente, en dirección ventral, se ralentiza en torno al cuarto mes de gestación, cuando la proporción entre el hueso y el cartílago costal se equilibra (Fazekas y Kósa, 1978).

Entre este primer estadio de osificación y la presencia de centros secundarios en la pubertad, el único desarrollo obvio es el cambio en su tamaño y forma. Esto refleja el desarrollo gradual del tórax juvenil en tanto que su aspecto ventral desciende mientras su articulación posterior con la columna vertebral se mantiene constante, adoptando un papel más activo en el mecanismo de respiración.

Con respecto a los centros secundarios de osificación, existe poca información sobre ellos, tanto en su tiempo de aparición como en su patrón de fusión. Estos centros tienden a aparecer en las regiones de articulación, pudiendo darse un centro secundario en la región no articular del tubérculo, el cual suele ser, generalmente, el primero en aparecer en estadios tempranos de la pubertad (en torno a los 12-14 años). Las epífisis de las regiones articulares del tubérculo son las siguientes en aparecer, tendiendo a fusionarse con la superficie articular mientras esta se está desarrollando. Con todo, no siguen un patrón específico. La epífisis de la cabeza es la última en aparecer, cuya fusión completa se produce en torno a los 19-21 años (Figura 4.4). La tabla 4.2 sintetiza las edades de desarrollo de las costillas.

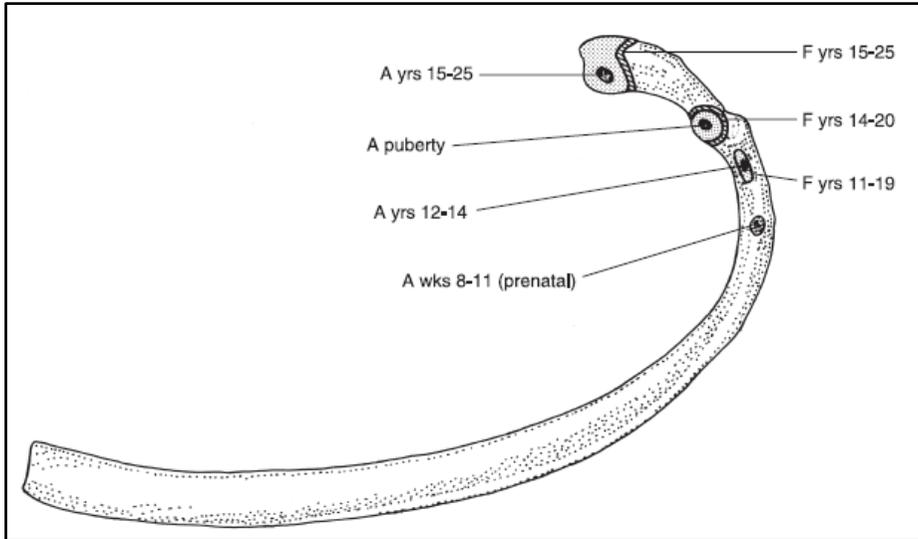


Figura 4.4. Edades de aparición (A) y fusión (F) de los centros de osificación de las costillas. Tomado de: Cunningham *et al.* (2016)

Tabla 4.2. Edades de desarrollo de las costillas. Tomado de: Cunningham *et al.* (2016)

Periodo fetal	
Semanas 8-9	Aparecen los centros de osificación de las costillas 5-7
Semanas 11-12	Los centros de osificación de todas las costillas están presentes
Nacimiento	
Neonato	Todos los centros primarios de osificación están presentes
12-14 años	Aparecen las epífisis en la región no articular del tubérculo
11-19 años	La epífisis de la región no articular del tubérculo se fusiona
14-20 años	La epífisis de la región articular del tubérculo se fusiona en varones
16-20 años	La epífisis de la región articular del tubérculo se fusiona en mujeres
Alrededor de 18 años	Aparecen las epífisis de la región articular del tubérculo
15-25 años	Aparecen y se fusionan las epífisis de la cabeza costal en varones
16-22 años	Aparecen y se fusionan las epífisis de la cabeza costal en mujeres
+21 años	Puede aparecer osificación en los cartílagos costales
+25 años	Las costillas son totalmente adultas

4.4. El esternón

4.4.1. Anatomía

El esternón es un hueso plano, impar, situado en la parte anterior del tórax, que sirve como unión y conexión para la cintura escapular, a través de la clavícula, así como para las costillas primera a séptima vía cartílago. Se divide en tres segmentos (Figura 4.5):

- **Manubrio.** Es la región más gruesa y cuadrangular de los tres segmentos esternales. Es el elemento más superior del esternón. En el manubrio se encuentran las escotaduras claviculares, que ocupan las esquinas superiores del esternón, donde articulan las clavículas, así como la escotadura yugular, la escotadura presente en el borde superior del manubrio. También se encuentran las escotaduras de la primera costilla.
- **Mesosterno.** El mesosterno, o cuerpo esternal, es la parte central del esternón. En él se encuentran las escotaduras, en los bordes laterales, de las costillas segunda a séptima, así como diferentes inserciones musculares.
- **Apéndice xifoides.** Es el extremo inferior del esternón, mayoritariamente cartilaginoso, y con un patrón de osificación muy variable en morfología, siendo considerado un elemento muy variable.

El mesosterno articula con el manubrio mediante una articulación cartilaginosa, que generalmente permanece sin fusionarse, aunque pueden darse casos en que se sinostosan. Ambos elementos no yacen en el mismo plano, sino que forman un ángulo, denominado ángulo esternal o ángulo de Louis, el cual parece ser resultado de la presión atmosférica (Testut y Latarjet, 1921).

El esternón presta inserción a ocho músculos: tres toman su origen en el manubrio, cuatro en el cuerpo y uno en los bordes del apéndice xifoides. En la tabla 4.3 se sintetizan las inserciones musculares que alcanzan el esternón.



Figura 4.5. Anatomía del esternón: manubrio y mesosterno

Tabla 4.3. Inserciones musculares presentes en el esternón. Tomado de: Testut y Latarjet (1921)

Región anatómica	Músculo
Cara anterior	Esternocleidomastoideo
	Pectoral mayor
	Recto mayor del abdomen
Cara posterior	Esternocleidohioideo
	Esternotiroideo
	Triangular del esternón
Apéndice xifoideo	Diafragma
	Aponeurosis del transverso

4.4.2. Embriología

Si bien anteriormente, el esternón se consideraba, embriológicamente, un derivado de los somites mesenquimales que originaban la columna vertebral y las costillas, así como la musculatura intercostal y antero-

abdominal, actualmente se ha comprobado que el esternón se desarrolla a partir del mismo mesénquima somatopleural lateral que origina la musculatura pectoral (Chen, 1952*a*, 1952*b*; Seno, 1961; Sadler, 2000). En este aspecto, los precursores mesenquimales laterales del esternón se desarrollan a nivel ventral de los primordios de las clavículas y las costillas, pero son independientes en su desarrollo (Gumpel-Pinot, 1984).

Ya aproximadamente a las seis semanas de vida fetal, se pueden localizar un par de placas esternales laterales incrustadas en la pared torácica anterior, independientes entre sí, así como de las costillas en desarrollo. Estas placas se asocian, en primer lugar, con las seis-siete costillas superiores y, posteriormente, se unen con sus extremidades anteriores. Mientras las costillas aumentan en longitud conforme se desarrollan, las dos placas esternales migran medialmente, comenzando así la condricificación.

Estas placas esternales comienzan a unirse, cráneo-caudalmente, alrededor de la novena semana (Ogden, 1979; England, 1990; Engum, 2008). Durante este proceso, aparecen también tres masas mesenquimales en la extremidad superior de las placas laterales, en torno a la sexta semana, las cuales acaban uniéndose para formar la parte superior del manubrio esternal (Whitehead y Waddell, 1911; Klíma, 1968; Eijgelaar y Bijtel, 1970).

4.4.2.1. Proceso de osificación

En su estadio cartilaginoso, el esternón es un *continuum* sin segmentar. No obstante, una vez el proceso de osificación da comienzo, este deja de ser el caso. Ello se debe, según la literatura, por la influencia de las costillas, las cuales son directamente responsables de la relativamente tardía segmentación ontogénica del esternón, pues en condiciones experimentales, la retirada del primordio costal deriva en el desarrollo de un esternón no segmentado (Chen, 1952*a*, 1952*b*).

Así, la segmentación del esternón puede producirse como resultado de la alta magnitud del estrés compresivo hidrostático en las regiones del esternón en desarrollo, adyacentes a las facetas costales (Wong y Carter, 1988; Carter y Beaupré, 2000). En este aspecto, se ha llegado al consenso de que la osificación comienza una vez la fusión de las placas esternales ha comenzado, considerando que la aparición de los centros de osificación se produce de forma cráneo-caudal.

Centros primarios

El centro primario de osificación para el manubrio es generalmente el primero en desarrollarse, alrededor del quinto mes fetal (Paterson, 1904; Flecker, 1932; Noback y Robertson, 1951; Fazekas y Kósa, 1978). No obstante, no es extraño que el manubrio se desarrolle a partir de más de un centro de osificación, aunque generalmente hay uno principal y un número variable de centros secundarios (Delgado *et al.*, 2014). En los estadios primarios de desarrollo, el manubrio es difícil de identificar. Ya aproximadamente a los seis meses post-parto, comienza a adoptar una morfología más reconocible.

Por su parte, el mesosterno se osifica a partir de un número variable de centros primarios de osificación. Como regla general, uno o varios centros surgirán en el área del mesénquima cartilaginosa, a intervalos regulares entre las zonas de inserción del cartílago costal. Estos puntos de osificación producirán las esternebras, de tal modo que la primera esternebra se desarrolla en la línea media entre las articulaciones de los cartílagos costales segundo y tercero. De forma similar, la segunda esternebra se desarrolla entre la articulación de los cartílagos tercero y cuarto, y sucesivamente. En total, hay cuatro esternebras que terminarán por fusionarse para dar lugar al mesosterno adulto.

A este respecto, las variaciones morfológicas del esternón pueden derivar del patrón y el número de centros primarios de osificación. El centro de osificación de la primera esternebra generalmente aparece a los 5-6 meses fetales; las esternebras segunda y tercera, en torno al 7-8 mes; y la cuarta esternebra, en torno al primer año postparto. Estas esternebras no son reconocibles de forma aislada hasta después de los 6 meses postparto.

Según Odita *et al.* (1985), cualquier feto con dos segmentos de osificación (incluyendo manubrio) ha alcanzado al menos las 30 semanas; con tres segmentos, alrededor de 34; y con cuatro, alrededor de 37 (Odita *et al.*, 1985). Al nacer, el esternón se representa generalmente por cuatro centros de osificación, ya que el xifoides no comienza su osificación hasta aproximadamente los 3-6 años.

La fusión de centros primarios de osificación se da en dirección caudo-craneal, siendo las esternebras tercera y cuarta las primeras en fusionarse. Esta fusión presenta el siguiente patrón: en primer lugar, se fusiona la superficie posterior; después la anterior, y finalmente la superficie lateral, dando origen a las escotaduras costales (Figura 4.6). Los fallos en la fusión

de los centros primarios y en el desarrollo esternal pueden dar lugar a diversas malformaciones, como el *pectus excavatum*, malformación que implica un pecho hundido en la región esternal cuyo origen se ha propuesto en un desarrollo excesivo de los cartílagos inferiores junto con fibrosis anterior del diafragma (Fokin *et al.*, 2009); o el *pectus carinatum*, deformación en la que el tórax protruye de forma similar a la quilla de un barco, asociándose generalmente a una obliteración prematura de las líneas esternales de sutura.

Centros secundarios

Puede darse un número variable de pequeños centros secundarios de osificación, que aparecen de forma laminar, como epífisis que no existirían como entidad separada, sino que se unen al centro primario conforme se desarrollan. Con todo, es un fenómeno poco documentado. Esto suele darse en lugares de articulación, como la articulación esternoclavicular o la condroesternal (Stewart, 1954; Schaefer *et al.*, 2009).

Articulación manubrioesternal

La articulación manubrioesternal es una articulación cartilaginosa de tipo secundario mayoritariamente, si bien en ciertos casos se configura como una articulación cartilaginosa primaria. La diferencia entre ellas es la presencia o ausencia de un disco de fibrocartílago entre dos placas de cartílago hialino. La particularidad es que el fibrocartílago no se osifica, sino que tiende a permanecer presente incluso durante la edad adulta. No obstante, en edades avanzadas, puede darse una sinostosis esclerótica de ambos segmentos, al producirse la destrucción del fibrocartílago y encontrarse ambas placas hialinas en conjunción.

En resumen, la configuración y forma final del esternón es altamente dependiente de su desarrollo embriológico. Se trata de una estructura muy variable y generalmente de valor limitado como un indicador preciso de la edad cronológica por esta razón. La tabla 4.4 sintetiza las edades de desarrollo del esternón.

Tabla 4.4. Edades de desarrollo del esternón. Tomado de: Cunningham *et al.* (2016)

Periodo fetal	
Mes 5	Se desarrolla el centro primario del manubrio
Meses 5-6	Se desarrolla el centro primario de la primera esternebra
Meses 7-8	Se desarrollan los centros primarios de las esternebbras 2-3

Nacimiento	
Neonato	El esternón está representado por cuatro centros de osificación
1 año	Se desarrolla el centro de osificación de la cuarta esternebra. El manubrio es identificable de forma aislada
3-6 años	Puede comenzar la osificación del apéndice xifoides. Todas las esternebrias pueden ser identificadas de forma aislada
4 años-pubertad	Se fusionan las esternebrias 3-4
5 años-pubertad	La segunda esternebra se fusiona a las esternebrias 3-4
6 años-pubertad	La primera esternebra se fusiona al resto del mesosterno
Pubertad	Aparecen las epífisis y comienzan su fusión
+25 años	El esternón está esencialmente completo, si bien algunas líneas de fusión entre esternebrias pueden persistir hasta los 25 años
+35 años	El apéndice xifoides se une al mesosterno

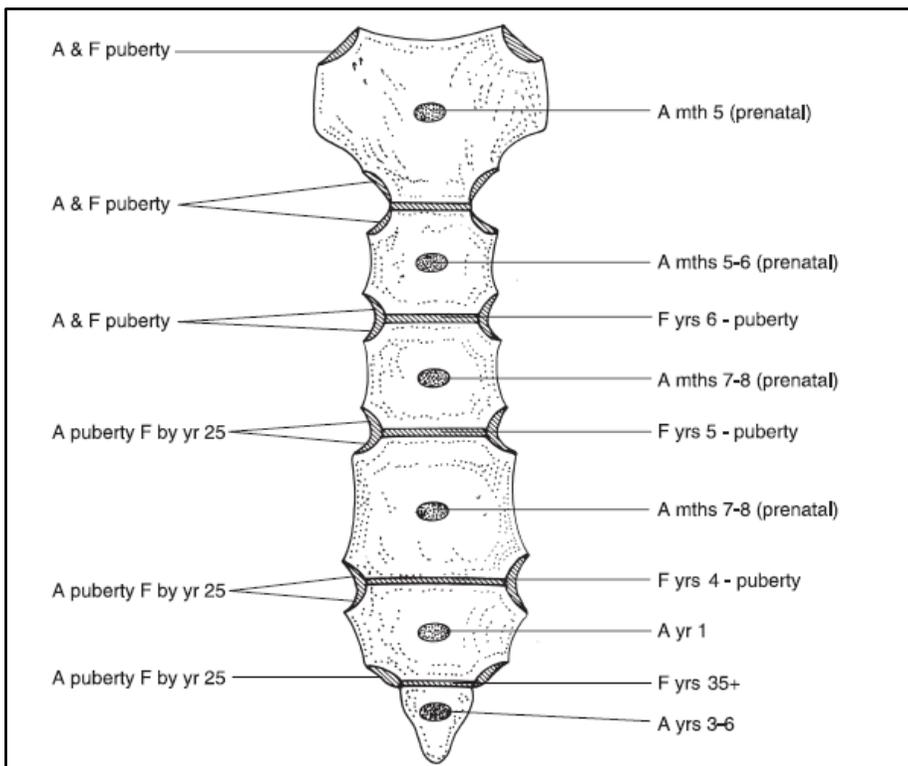
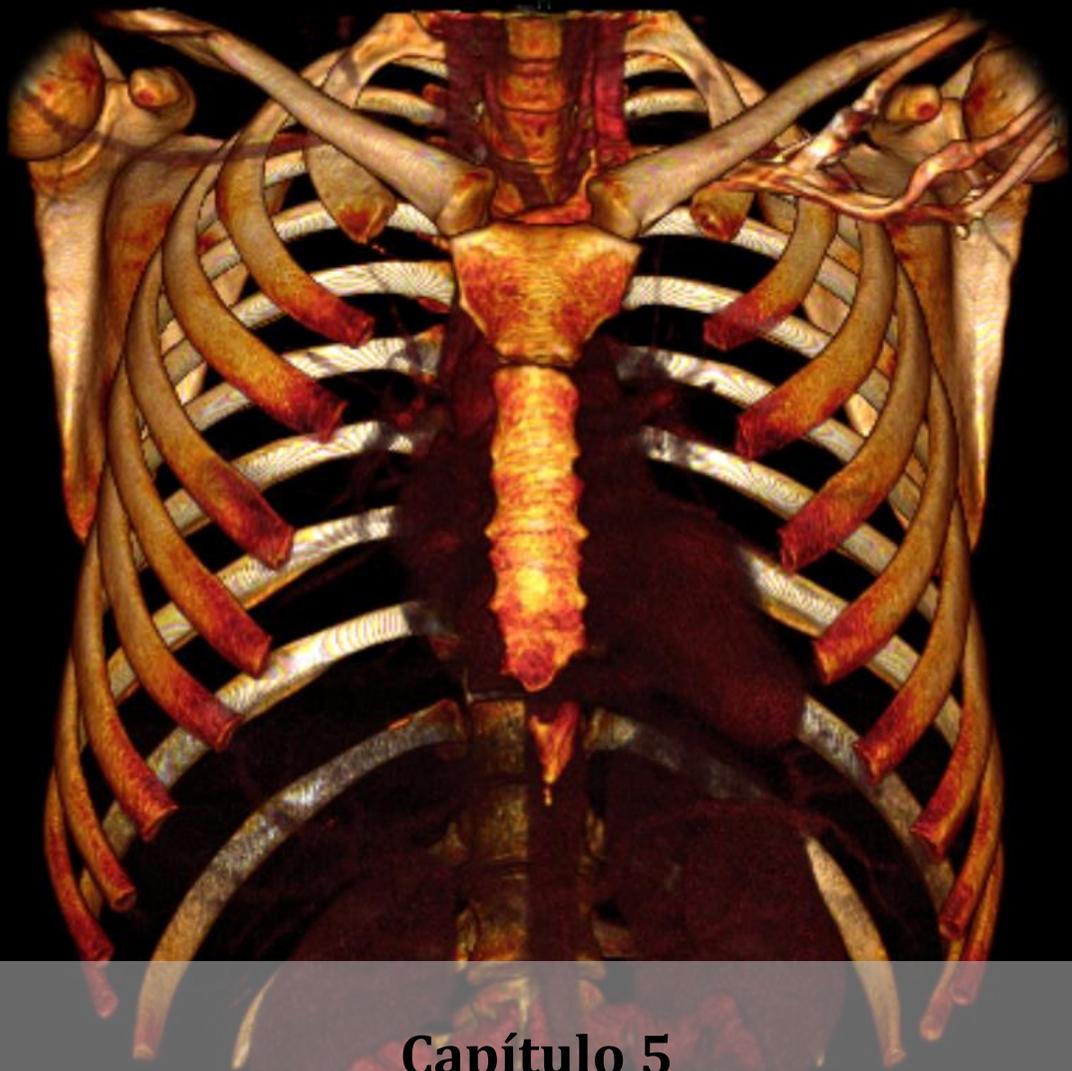


Figura 4.6. Edades de aparición (A) y fusión (F) de los centros de osificación del esternón. Tomado de: Cunningham *et al.* (2016)



Capítulo 5

Los métodos de obtención de imágenes
3D y su aplicabilidad en la
Antropología Física

CAPÍTULO 5

LOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE IMÁGENES 3D Y SU APLICABILIDAD EN ANTROPOLOGÍA FÍSICA

5.1. Evolución histórica

En 1895, William Conrad Röntgen, un físico de la Universidad de Würzburg, Alemania, descubrió, mientras investigaba el comportamiento de los rayos catódicos, una nueva forma de radiación electromagnética, capaz de iluminar el papel fotográfico impregnado de platino-cianuro de bario, y con un gran poder de penetración, denominándola Rayos X (Figura 5.1). Nació así el inicio de las radiografías, siendo la mano de Bertha Röntgen, esposa de William, la protagonista de la primera radiografía de la historia (Röntgen, 1896).

El descubrimiento de los Rayos X supuso toda una revolución en el campo de la medicina, pues abrió la puerta al diagnóstico de diferentes patologías, como fracturas óseas o lesiones internas. Ello tardó relativamente poco tras el descubrimiento de este tipo de radiación, pues solo un año después, en 1896, se construyó la primera máquina de Rayos X con finalidad médica (Spiegel, 1995; López Alcaraz, 2012).

Así pues, tras el descubrimiento de los Rayos X, empezó toda una vorágine de diversos estudios, con el propósito de analizar sus efectos, sus fundamentos físicos, así como sus efectos nocivos sobre el organismo, lo que Becquerel denominó “radiactividad”. Entre ellos, destacaron los estudios tanto del propio Röntgen, como de Becquerel y del matrimonio formado por Marie y Pierre Curie, quienes recibieron el premio Nobel en los años 1901 y 1904 respectivamente.

Con ello, la Física y la Medicina disfrutaron de una profunda simbiosis, la cual alcanza su esplendor con el desarrollo de la Tomografía Computarizada en 1972, que supuso un punto de inflexión para el

desarrollo y aplicación de otras técnicas de imagen, como la resonancia magnética o la ecografía.



Figura 5.1. La primera radiografía de la historia: la mano de Bertha Röntgen. Tomado de: López-Alcaraz (2012)

5.1.1. Relación con la Antropología Física

Como en tantas otras disciplinas científicas, el aporte de los Rayos X supuso para la investigación osteológica un importante motor sobre el que desentrañar los misterios de la maduración ósea. Las series osteológicas se ampliaron y surgió la posibilidad de estudio sobre el sujeto vivo, de

modo que los parámetros osteológicos hasta ahora conocidos se analizaron desde la nueva perspectiva radiológica.

Fue en 1896 cuando Walter Koenig publicó el estudio radiográfico de las rodillas de un niño egipcio, permitiendo así un mayor acceso al contenido de las momias sin temor a que sufriesen deterioro. Un año después, Alber Londe, un antropólogo francés, propuso el estudio radiológico como herramienta para la estimación etaria de los sujetos, sin tener que alterar la prueba (López Alcaraz, 2012).

Así pues, la Radiología ha estado vinculada a la Antropología Física en diversas materias, como por ejemplo la estimación del sexo, la estimación de la edad o la documentación de diversas lesiones, entre otras. Si bien en materia de estimación sexual, son menos los estudios documentados a través de análisis radiológico (López Alcaraz, 2012), son mucho más abundantes en la estimación de la edad.

En este aspecto, las radiografías han resultado ser de gran utilidad en materia de estimación de la edad en individuos infantiles, mediante el estudio de la maduración de las piezas dentales. Ya Schour y Massler (1941), y posteriormente Demirjian (1975) publicaron sendos estudios sobre la maduración y gemación de las piezas dentales en relación con la edad a través del estudio radiográfico, el cual facilita el análisis dado que las piezas dentales están presentes dentro de los alveolos, en proceso de maduración. Igualmente, AlQathani *et al.* (2010), más recientemente, estudiaron la maduración dental, replanteando los rangos etarios de germinación propuestos por autores previos (AlQahtani *et al.*, 2010).

Igualmente, el estudio de los huesos del carpo ha sido ampliamente reportado para analizar su osificación, especialmente en casos de estimación de la edad para la mayoría de edad en sujetos vivos.

5.2. El 3D: TACs

La Tomografía Axial Computarizada, más conocida por sus siglas TAC, consiste, según López-Alcaraz (2012) en exponer rotacionalmente al objeto de estudio tanto la fuente de emisión de radiación como los detectores, de modo que, mediante el empleo de algoritmos, se obtiene una imagen a modo de corte en el plano transversal del sujeto de estudio. Si bien en sus orígenes el único tipo de imágenes que se podía obtener era axial, actualmente se pueden obtener imágenes en diversos planos, por lo

que se emplea el término Tomografía Computarizada (TC), pese a que popularmente, la denominación TAC sigue siendo la más empleada.

Los primeros trabajos de investigación sobre la Tomografía Axial Computarizada fueron desarrollados por Ambrose y Hounsfield (Ambrose y Hounsfield, 1973; Hounsfield, 1973, 1976), basados en los trabajos previos de Cormack sobre geometría integral aplicada.

Así, el aparato de tomografía emite un haz de rayos colimado, de anchura calculada, recogiendo el emisor contralateral la radiación no absorbida por el objeto de estudio, con una inclinación inicial concreta, modificando progresivamente el ángulo de emisión del haz de rayos, de modo que finalmente se cuenta con diversas proyecciones en diferentes ángulos, cuyas señales, medidas en valores de atenuación, son finalmente promediadas para dar lugar a la imagen del corte (López Alcaraz, 2012).

En este aspecto, la imagen que se obtiene a través del TAC se configura como una secuencia de matrices bidimensionales, cada una de ellas conformada por diferentes pixels. La información almacenada en cada píxel corresponde a un nivel de intensidad expositiva, directamente proporcional a la atenuación sufrida por la materia atravesada por el haz de rayos, siendo finalmente representada en un elemento volumétrico o vóxel, de la misma anchura que el haz de rayos emitido y con una intensidad medida en niveles de gris. El TAC es pues un mapa de la distribución espacial de los coeficientes de atenuación radiológica calculados (Navarro Merino, 2011).

La utilidad del TAC no se hizo esperar, suponiendo en la actualidad uno de los mejores y más efectivos medios diagnósticos de imagen, teniendo en cuenta que es capaz de discriminar entre tejido óseo, blando, órganos, neoplasias, hemorragias, etc. No obstante, pese a no ser invasiva, no está exenta de inconvenientes, dado el elevado grado de radiación que conlleva.

5.2.1. Utilidad en Antropología Física

La utilidad de la Tomografía Computarizada en la Antropología Física y Forense se hace patente en el amplio número de trabajos de esta índole publicados hasta la actualidad. A este respecto, son numerosos los trabajos de estimación, tanto del sexo como de la edad, o también de la talla, e incluso de diagnóstico de patologías, publicados en medios científicos.

Ejemplos de ello pueden ser los trabajos de Uysal Ramadan (2005, 2010) de estimación del sexo tanto a través del *foramen magnum* como a través del peto torácico, con buenos resultados los dos, así como el estudio de Torimitsu *et al.* (2016) de estimación del sexo a través del estudio de la segunda vértebra torácica.

También se puede destacar el trabajo de Bakici *et al.* (2021) de estudio morfométrico del sacro y coxis para la estimación del sexo mediante el estudio de imágenes, que permite la estimación del sexo mediante funciones discriminantes que alcanzan hasta un 94% de acierto (Bakici *et al.*, 2021). Esta es una de las grandes ventajas de las técnicas de imagen, que permiten la aplicación y el desarrollo de las técnicas clásicas de estimación del sexo a través de las técnicas de imagen más avanzadas.

Igualmente, el trabajo de Tomaszewska *et al.* (2014) permite la estimación del sexo a través de los huesos del palatino en población polaca, con un resultado bastante aceptable (Tomaszewska *et al.*, 2014). No obstante, la región más estudiada para la estimación del sexo ha sido la región del coxal, la cual es clásicamente la región más dimórfica del esqueleto humano. Sirvan como ejemplo los trabajos de Chapman *et al.* (2014), así como de López-Alcaraz *et al.* (2013), los cuales arrojan resultados de gran certeza en la estimación sexual (López-Alcaraz *et al.*, 2013; Chapman *et al.*, 2014).

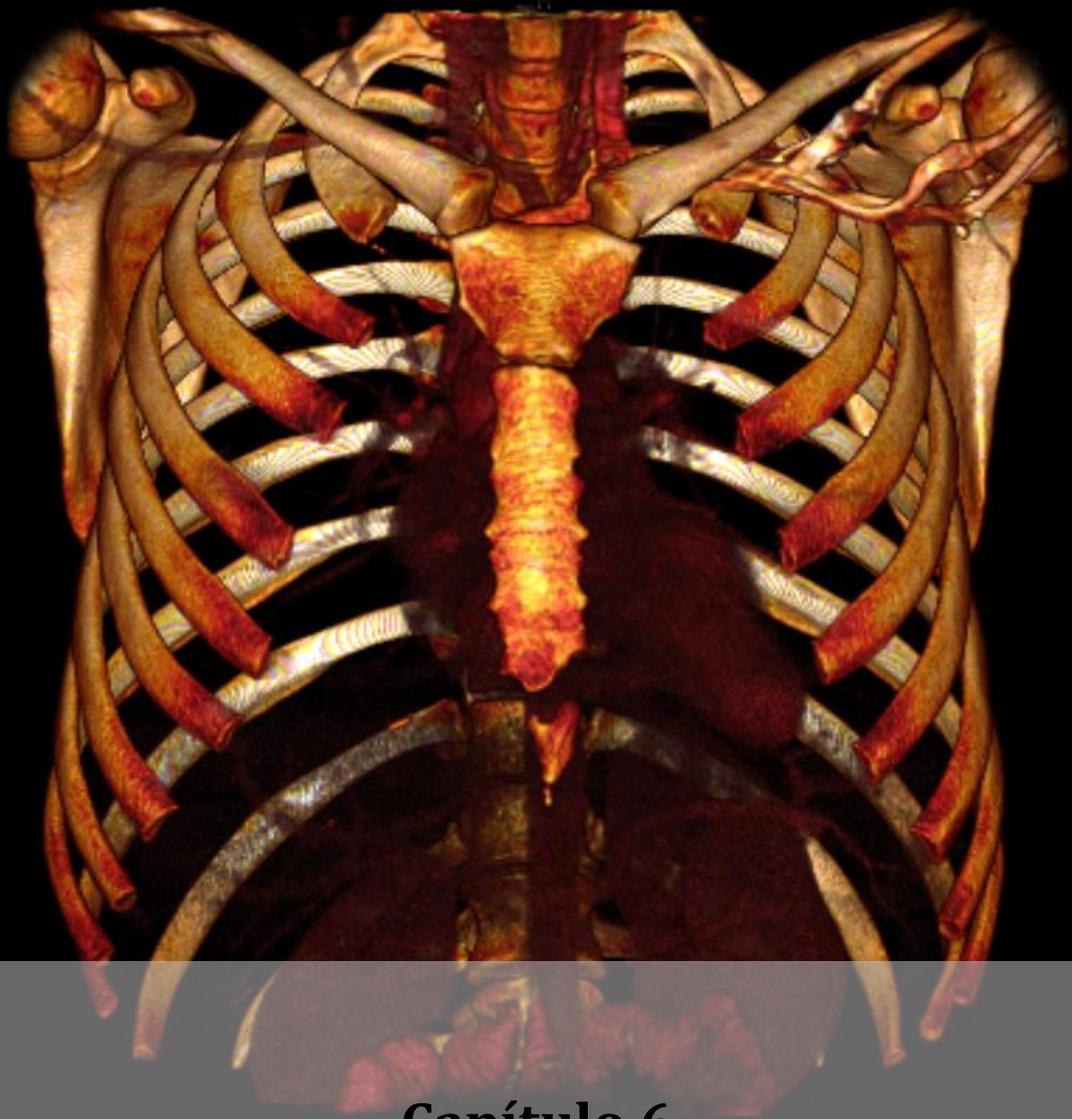
Por su parte, en materia de estimación etaria, también son amplios los trabajos desarrollados a través del estudio de TACs, tanto en edades infantiles como en edades avanzadas. Ejemplos de esta área aplicada a la estimación de edad de individuos infantiles son los trabajos publicados sobre el desarrollo y maduración de las piezas dentales, desarrollados por Kvaal *et al.* (1995), Karkhanis *et al.* (2015), o Cameriere *et al.* (2006, 2007, 2016), sobre métodos basados en la maduración dental mediante fórmulas de regresión (Kvaal *et al.*, 1995; Cameriere *et al.*, 2006, 2007, 2016; Karkhanis *et al.*, 2015).

Con respecto a la estimación de la edad en individuos adultos, también son amplios los trabajos publicados en esta área. Sirvan como ejemplo los trabajos de López-Alcaraz (2014) sobre estimación de la edad a través de la sínfisis púbica, también desarrollados por otros autores, así como el estudio de Monum *et al.* (2020) sobre estimación de la edad a través de la osificación de los elementos cartilagosos de la caja torácica.

Buscando la validación del clásico método de İşcan *et al.* (1984, 1985) de estimación etaria a través del extremo esternal de las costillas, este fue testado por Dedouit *et al.* (2008) a través del análisis de imagen, quienes obtuvieron una variabilidad intermétodo bastante aceptable (Dedouit *et al.*, 2008). Asimismo, siguiendo a Kunos *et al.* (1999), quienes propusieron un interesante estudio sobre la estimación de la edad a través del análisis morfológico del extremo esternal de la primera costilla, este fue aplicado por Moskovitch *et al.* (2010) tanto a través de imágenes 2D como 3D (Moskovitch *et al.*, 2010).

La línea iniciada por Kreitner *et al.* (1997, 1998) y continuada por Schmeling *et al.* (2004) sobre el estudio de osificación de la epífisis medial de la clavícula fue trasladada al TAC por Schulz *et al.* (2005), quienes observaron resultados consecuentes con los primeros (Kreitner *et al.*, 1997, 1998; López Alcaraz, 2012; Schmeling *et al.*, 2004; Schulz *et al.*, 2005).

Así, en síntesis, la gran variedad de métodos diseñados en materia de estimación del sexo y de la edad aplicados al estudio de imágenes 3D, así como los buenos resultados obtenidos por los diferentes autores en diversos grupos poblacionales, pone de manifiesto la utilidad de este tipo de técnicas para la reconstrucción del perfil osteobiológico, si bien suponen el inconveniente, tanto de los costes del aparataje y de la emisión de radiación, como de la necesidad de espacio para el tomógrafo. Con todo, también presentan la ventaja de permitir el acceso a regiones anatómicas que, en ocasiones, son de más difícil acceso, dadas sus características, localización, o incluso para el estudio de momias, así como para el aumento de colecciones de referencia, que permiten el almacenamiento de grandes cantidades de imágenes en un espacio muy reducido, pudiéndose acceder a ellas las veces que sea necesario sin riesgo a que se deterioren (Santos, 2020).



Capítulo 6
Material y métodos

CAPÍTULO 6

MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Material

6.1.1. Introducción: importancia de las colecciones identificadas

Las colecciones osteológicas identificadas son uno de los pilares esenciales de los estudios antropológicos, siendo clara la necesidad de estas colecciones en las últimas décadas. Se define como “colecciones osteológicas identificadas” (también denominadas “colecciones de referencia”) los conjuntos de cráneos o esqueletos de personas de las cuales se conocen datos biográficos como el sexo o su edad (Santos, 2020).

La importancia de estas colecciones radica en que son fundamentales para el desarrollo y la validación de metodologías de identificación esquelética, como técnicas para la estimación del sexo, la edad, o la talla (Squires y García-Mancuso, 2021). Estas metodologías luego son aplicables tanto en contextos arqueológicos, permitiendo la interpretación de sociedades del pasado, como en contextos forenses, auxiliando en la resolución de casos judiciales (Squires y García-Mancuso, 2021). Asimismo, también permiten la comparación entre diferentes grupos poblacionales, consiguiendo así mayor precisión científica en el proceso de identificación forense (Cattaneo *et al.*, 2018).

Las primeras colecciones esqueléticas identificadas se establecieron al inicio del siglo XX, con las colecciones Hamann-Todd (EE. UU.), Terry (EE. UU.), Dart (Sudáfrica) y Huntington (EE. UU.), provenientes de esqueletos extraídos de cadáveres (Cattaneo *et al.*, 2018). Con el paso del tiempo, las colecciones identificadas fueron extendiéndose a lo largo del mundo y convirtiéndose en una fuente de investigación científica, entre las que podemos destacar la Colección de Esqueletos Infantiles y Juveniles Identificados de Granada, en España, la Colección de Esqueletos Identificados del S. XXI de Coímbra, en Portugal, o la Colección Sassari en Bolonia, Italia (Petaros *et al.*, 2021).

Evidentemente, cuanto más información exista sobre los individuos que componen la colección, más importante será su valor, pues permitirá una mayor calidad de las investigaciones. No obstante, aunque se conozcan estos datos, los resultados siempre se divulgan de forma anónima (Santos, 2020). Sin embargo, si bien son una herramienta muy útil, estas colecciones tienen una serie de limitaciones. Si bien buscan mostrar la variabilidad normal de una población, estos conjuntos esqueléticos, aunque sean muy numerosos, no representan totalmente a la población de la que proceden, pues su selección resultó de factores independientes a la representatividad de la población viva o muerta en un momento temporal concreto (Santos, 2020). Con todo, se erigen como un gran instrumento a la hora del desarrollo y validación de técnicas para el estudio y la identificación de restos óseos.

En los últimos tiempos, estas colecciones esqueléticas identificadas se están alternando con las bases de datos virtuales de esqueletos, repositorios de imágenes donde se almacenan imágenes 3D del esqueleto humano, generalmente provenientes de donaciones de centros hospitalarios. Entre las ventajas de su uso, cabe destacar la facilidad de almacenamiento, además de concebirse como una gran alternativa al manejo de cadáveres humanos (Kistler *et al.*, 2013; Radetzki *et al.*, 2013), dando pie al proyecto Virtopsia (Aghayev *et al.*, 2008; López Alcaraz, 2012) dado el carácter no invasivo de las pruebas de imagen.

Así pues, el material estudiado para la presente tesis procede de cuatro colecciones esqueléticas de la península Ibérica: la colección del Cementerio de San José (Granada), la del Cementerio de Nuestra Señora de Araceli (Lucena, Córdoba), ambas localizadas en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, la Colección de Esqueletos Identificados de Coimbra, y la de Esqueletos Identificados del s. XXI, estas dos últimas localizadas en el Departamento de Ciências da Vida de la Universidade de Coimbra (Portugal), así como de una colección de imágenes 3D de pacientes del Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (SESCAM), cedidas también al Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada (Figura 6.1).



Figura 6.1. Ubicación geográfica de la procedencia de las colecciones estudiadas

6.1.2. Colección del Cementerio de San José (Granada)

La Colección Osteológica del Cementerio de San José, localizada en el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada, se inició en el año 1991, suscrito un convenio entre el Laboratorio de Antropología y Emucesa, empresa responsable del cementerio, para el estudio de los restos óseos que iban a ser exhumados tras expirar los plazos establecidos para el pago de las tasas correspondientes, según lo dispuesto en las leyes funerarias (Alemán *et al.*, 2012).

Actualmente, la colección se compone de 294 individuos adultos y 232 individuos infantiles de cronología actual (siglos XX y XXI), si bien se halla en constante crecimiento, dado que el convenio entre Emucesa y el laboratorio sigue suscrito. Dada la amplitud de la muestra, así como sus muy buenas condiciones de conservación, y la existencia de datos *antemortem* de los que se dispone, está considerada como una colección de referencia, no solo a nivel nacional, sino a nivel internacional. Se conocen los datos de sexo, edad, fecha de nacimiento y de defunción, causa de muerte, etc., si bien los restos son anonimizados previamente al estudio inicial, en cumplimiento de lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y Garantía de los

Derechos Digitales (que derogó la anterior Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal).

Para este trabajo, únicamente se seleccionaron esqueletos de individuos adultos. Para el análisis de estimación del sexo a través de las costillas, y tras haberse descartado aquellos individuos con patologías que pudiesen afectar a la toma de las medidas (como artrosis, fracturas, etc.), se estudiaron 214 individuos (119 varones y 95 mujeres), de edades comprendidas entre los 20 y los 98 años (edades medias: 65,31 años (varones) y 75,54 años (mujeres); SD: 14,73 (varones) y 13,11 (mujeres)). (Gráfico 6.1) De estos individuos, se seleccionaron las costillas primera a cuarta de ambos lados. En total, la muestra se compuso de 1459 costillas, distribuidas de la siguiente manera:

- 327 costillas primeras (R1): 168 derechas y 159 izquierdas
- 392 costillas segundas (R2): 199 derechas y 193 izquierdas
- 389 costillas terceras (R3): 196 derechas y 193 izquierdas
- 351 costillas cuartas (R4): 178 derechas y 173 izquierdas

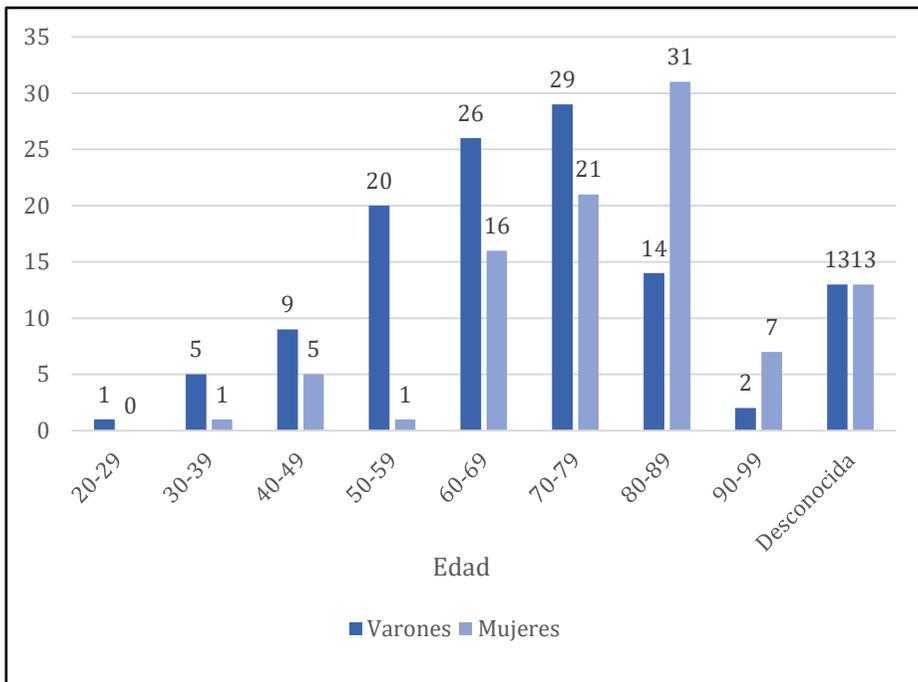


Gráfico 6.1. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección de San José

Por otra parte, para el estudio de la estimación etaria a través de la sinostosis esternal, se seleccionaron los esternones de 189 individuos adultos (107 varones y 82 mujeres), también de edades entre los 20 y los 98 años (edades medias: 64,42 años (varones) y 76,45 años (mujeres); SD: 15,40 (varones) y 12,24 (mujeres)) (Gráfico 6.2).

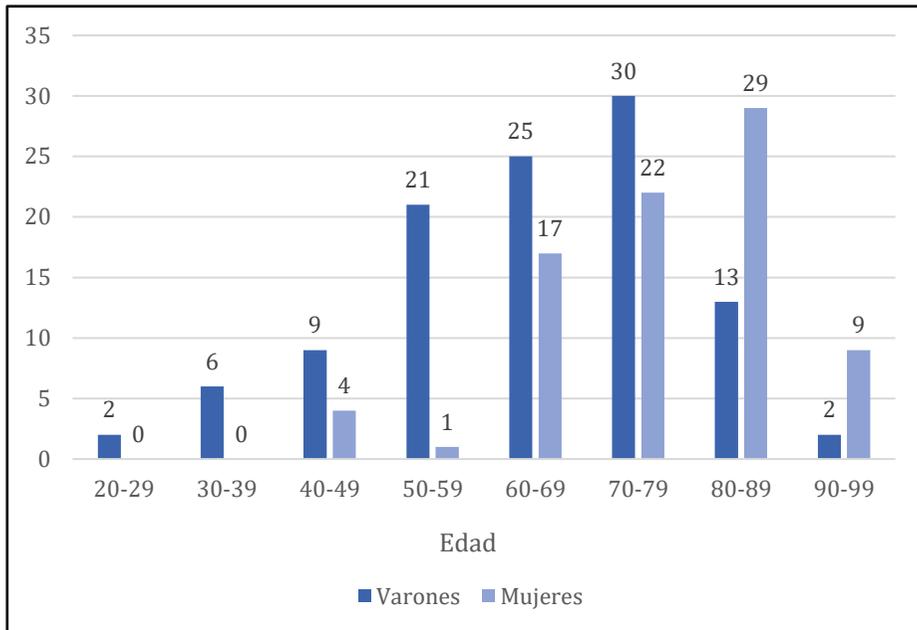


Gráfico 6.2. Distribución de sexo y edad de la muestra de esternones estudiados de la Colección de San José

6.1.3. Colección del Cementerio de Nuestra Señora de Araceli (Lucena, Córdoba)

La Colección del Cementerio de Nuestra Señora de Araceli de Lucena (Córdoba) se inició recientemente, en el año 2018, gracias a un convenio suscrito entre el consistorio de la localidad, y el Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada. Hasta este momento, la colección se compone de 198 individuos (193 individuos adultos y 5 individuos infantiles). Al igual que en el caso anterior, la colección tiene previsión de aumentar con el tiempo, gracias al convenio suscrito entre ambas partes.

Los esqueletos que la componen proceden de individuos de ascendencia mediterránea, con edades comprendidas entre los 10 días y los 100 años,

si bien la amplia mayoría de individuos son de edad avanzada (media de edad de aproximadamente 76 años). Se trata igualmente de una colección identificada, pues se conocen los datos de sexo, edad, procedencia, fecha de nacimiento y de defunción, causa de muerte, etc. Los esqueletos son previamente anonimizados a tenor de lo dispuesto en la Ley Orgánica 3/2018, de Protección de Datos.

Para este trabajo, se seleccionó una muestra al azar de 60 esqueletos adultos (30 varones y 30 mujeres), con edades comprendidas entre los 20 y los 98 años (edades medias: 74,72 años (varones) y 83,27 años (mujeres); SD: 8,48 (varones) y 8,99 (mujeres)) (Gráfico 6.3). Se estudiaron las costillas primera a cuarta de ambos lados de estos esqueletos, suponiendo un total de 449 costillas, distribuidas de la siguiente manera:

- 115 costillas primeras (R1): 59 derechas y 56 izquierdas
- 114 costillas segundas (R2): 57 derechas y 57 izquierdas
- 111 costillas terceras (R3): 56 derechas y 55 izquierdas
- 109 costillas cuartas (R4): 54 derechas y 55 izquierdas

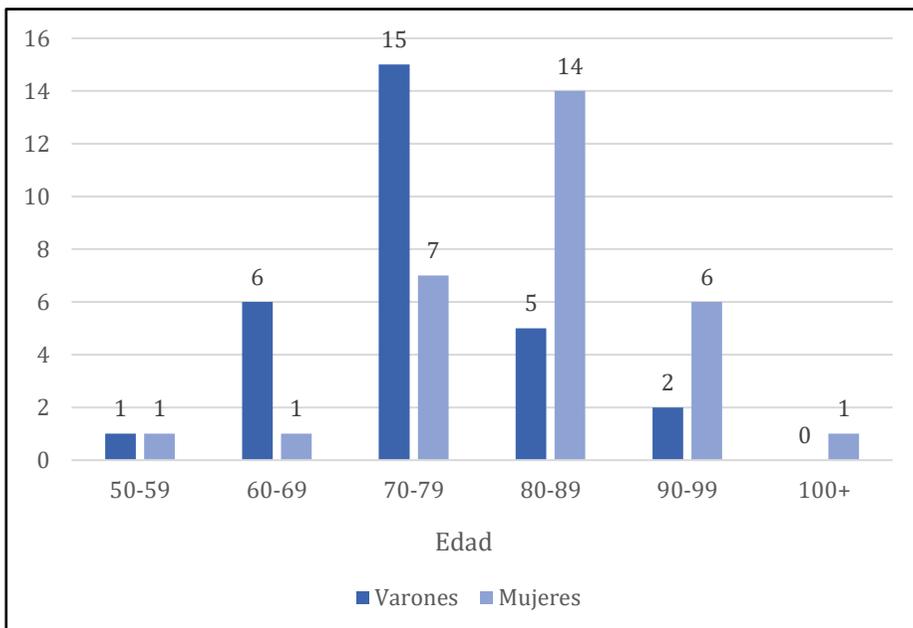


Gráfico 6.3. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección de Lucena

6.1.4. Colección de Esqueletos Identificados de Coímbra (CISC, Coimbra, Portugal)

La Colección de Esqueletos Identificados de Coímbra (CISC: Coimbra Identified Skeletal Collection), almacenada en las instalaciones del Departamento de Ciências da Vida de la Universidad de Coímbra, se compone de 505 esqueletos procedentes del Cemitério da Conchada, ubicado en el Barrio da Conchada de Coímbra (Portugal). Al igual que en las dos colecciones anteriores, se conocen todos los datos antemortem de los individuos, como sexo, edad, procedencia, ocupación, fecha de nacimiento y defunción, causa de muerte, etc.

Según Cunha y Wasterlain (2007), la colección se inició alrededor del año 1915 por E. Tamagnini, director del Museo de Antropología de la Universidad de Coímbra entre 1907 y 1950, y se constituyó durante la primera mitad del siglo XX. Está compuesta por 266 varones y 239 mujeres, nacidos entre 1817 y 1924, y fallecidos entre 1904 y 1938 (Cunha & Wasterlain, 2007), con edades comprendidas entre los siete y los 96 años, representando los juveniles (aquellos por debajo de 21 años) un 13% del total de la colección (Santos, 2000). El 98% de los individuos son de origen portugués.

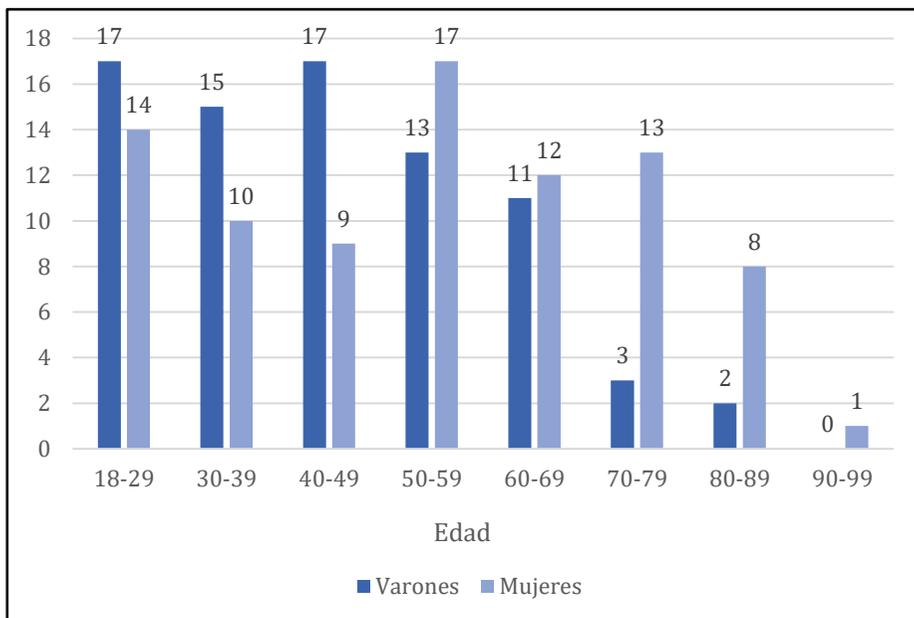


Gráfico 6.4. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección CISC (Portugal)

De esta colección, se seleccionaron aleatoriamente un total de 162 esqueletos adultos, 78 varones y 84 mujeres, con edades comprendidas entre los 21 y los 90 años (edades medias: 44,68 años (varones) y 53,20 años (mujeres); SD: 16,40 (varones) y 19,80 (mujeres)) (Gráfico 6.4). De estos individuos, se seleccionaron las costillas primera a cuarta de ambos lados para la validación de las funciones discriminantes. En total, la muestra se compuso de 1227 costillas, distribuidas de la siguiente manera:

- 294 costillas primeras (R1): 145 derechas y 149 izquierdas
- 309 costillas segundas (R2): 155 derechas y 154 izquierdas
- 308 costillas terceras (R3): 158 derechas y 150 izquierdas
- 316 costillas cuartas (R4): 159 derechas y 157 izquierdas

6.1.5. Colección de Esqueletos Identificados del s. XXI (Santarém, Portugal)

La Coleção de Esqueletos Identificados Século XXI, ubicada en el Laboratorio de Antropología Forense del Departamento de Ciências da Vida de la Universidade de Coimbra, se compone de 302 esqueletos adultos de ambos sexos (140 hombres y 162 mujeres). Se trata de una colección de esqueletos creada por un protocolo de colaboración suscrito en 2009 entre el Departamento de Ciências da Vida de la Universidade de Coimbra y el Ayuntamiento de Santarém, consistorio responsable del Cemitério dos Capuchos, de donde provienen los esqueletos (Ferreira *et al.*, 2014).

Se conocen los datos de sexo y edad de prácticamente todos los individuos que conforman la colección, si bien aún quedan dos individuos de edad desconocida. Con todo, la colección se compone mayoritariamente de esqueletos de edad avanzada, con solo el 12.25% de individuos por debajo de los 61 años (Ferreira *et al.*, 2021).

De esta colección, se ha derivado una subcolección de esqueletos quemados en condiciones experimentales, para el estudio y la comprensión de los efectos del fuego y los cambios producidos por calor sobre el hueso seco. Esta subcolección, iniciada en 2013, se encuentra actualmente en desarrollo, extendiéndose únicamente a una de las mitades del esqueleto (solo se queman huesos pares, como huesos largos o costillas), y abarcando en 2021 un total de 56 individuos (18.54% de la colección) (Ferreira *et al.*, 2021).

Para este trabajo, y al igual que con la colección CISC, se seleccionaron aleatoriamente un total de 156 esqueletos adultos, 78 varones y 78 mujeres, con edades comprendidas entre los 61 y los 96 años (edades

medias: 79,14 años (varones) y 82,41 años (mujeres); SD: 8,95 (varones) y 8,50 (mujeres)) (Gráfico 6.5). De estos individuos, igualmente, se seleccionaron las costillas primera a cuarta de ambos lados para la validación de las funciones discriminantes. En total, y tras descartar aquellas costillas quemadas o afectadas por patologías degenerativas o traumáticas, la muestra se compuso de 890 costillas, distribuidas de la siguiente manera:

- 215 costillas primeras (R1): 102 derechas y 113 izquierdas
- 241 costillas segundas (R2): 107 derechas y 134 izquierdas
- 225 costillas terceras (R3): 101 derechas y 124 izquierdas
- 209 costillas cuartas (R4): 94 derechas y 115 izquierdas

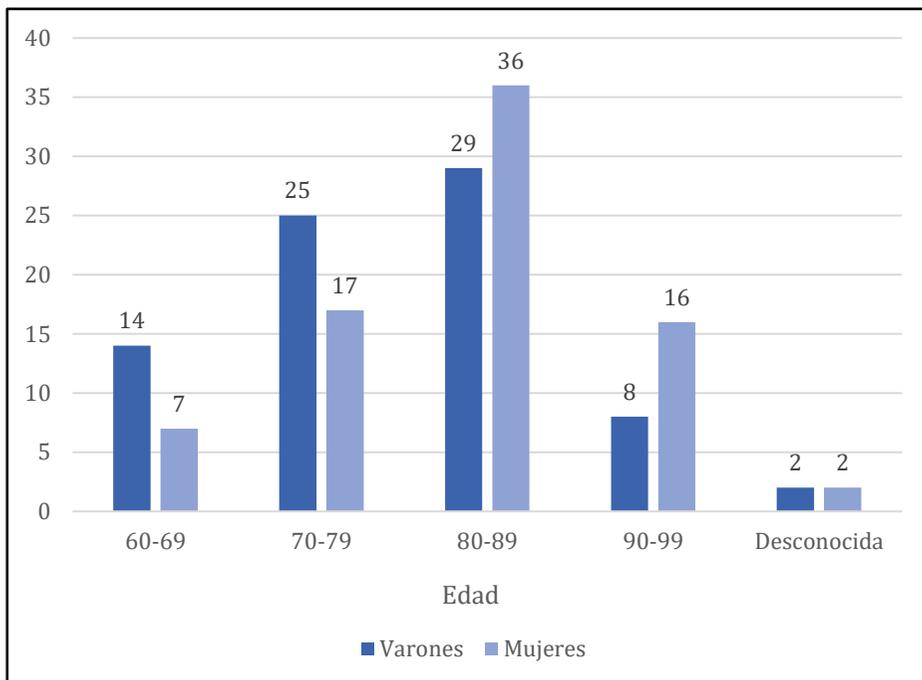


Gráfico 6.5. Distribución de sexo y edad de la muestra de costillas estudiadas de la Colección CEI/XXI (Portugal)

6.1.6. Colección de Imágenes 3D del Servicio de Salud de Castilla-La Mancha

El Laboratorio de Antropología Física de la Universidad de Granada posee una estación PACS (Picture Archiving and Communication System) que le permite recibir y almacenar imágenes DICOM (Digital Imaging and Communication in Medicine). Gracias a ello, el Laboratorio dispone de una

base de datos de TACs hospitalarios, procedentes del Servicio de Salud de Castilla-La Mancha. Esta base de datos, en continuo aumento, cuenta en la actualidad con más de 20000 estudios, previamente anonimizados, de pacientes clínicos (García Parra, 2017; López Alcaraz, 2012; Navarro Merino, 2011). De estos pacientes se conoce su sexo, edad, y fecha de realización de la prueba.

Se seleccionaron, aleatoriamente, un total de 280 individuos, 140 varones y 140 mujeres, con edades comprendidas entre los 17 y los 93 años (edades medias: 54,39 años (varones) y 54,59 años (mujeres); SD: 19,78 (varones) y 19,87 (mujeres)) (Gráfico 6.6), tratando de homogeneizar los diferentes grupos etarios estudiados, teniendo en cuenta la alta disponibilidad de material. Se incluyeron en estos 280 individuos, aquellos cuya TC fuese toraco-abdominal, incluyendo la epífisis medial de la clavícula, el esternón y las costillas R1 a R7, descartándose aquellos cuyo análisis no incluyese alguno de los huesos mencionados, aquellos cuyas imágenes estuviesen demasiado distorsionadas, o aquellos con patologías que afectasen directamente a los huesos mencionados o alterasen los procesos naturales de degeneración ósea.

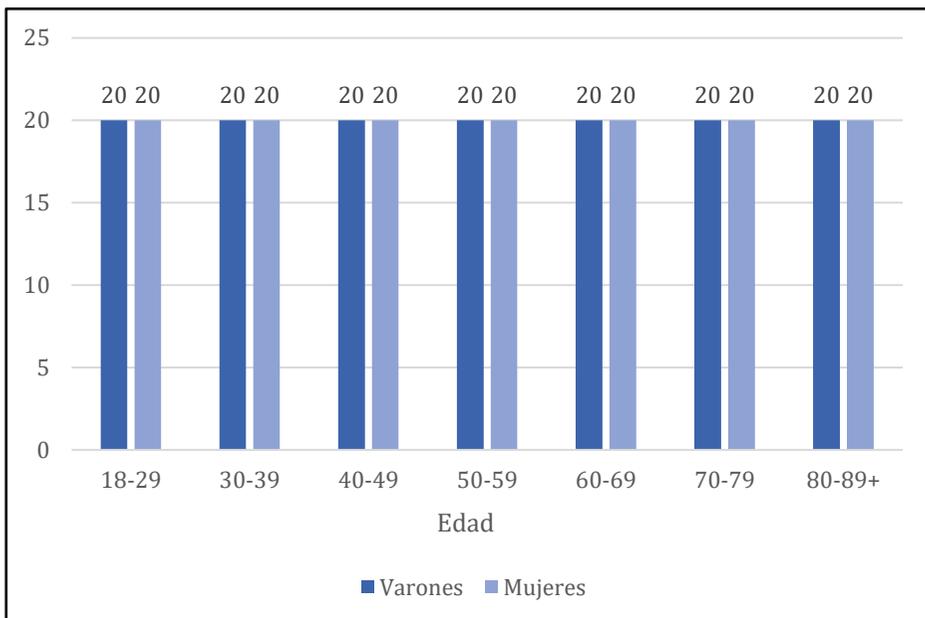


Gráfico 6.6. Distribución de sexo y edad de la muestra de TACs torácicos estudiados de la Colección de Imágenes 3D del SESCAM

6.2. Métodos

6.2.1. Estimación del sexo a través de las costillas en hueso seco

Dada la ausencia de métodos métricos para la estimación del sexo en el cuello de las costillas en población mediterránea, se diseñó un método para ello, a través de una serie de medidas en el cuello de las costillas primera a cuarta, utilizando la Colección del Cementerio de San José (Granada). El motivo de elección de esta región de las costillas fue la mayor facilidad de identificación de las mencionadas, así como la mayor perdurabilidad de esta región anatómica, especialmente en el caso de la primera costilla.

Las medidas tomadas fueron las siguientes (Figura 6.2):

1. Longitud total del cuello, desde la cabeza hasta el tubérculo **[LTC]**. Longitud del cuello de la costilla, desde el extremo superior de la cabeza costal hasta el extremo inferior del tubérculo costal en posición vertical.
2. Diámetro craneocaudal del cuello en la mitad **[DCCM]**. Medida del diámetro del cuello costal en su punto medio, colocando la costilla en posición horizontal.
3. Diámetro anteroposterior del cuello en la mitad **[DAPM]**. Medida del diámetro del cuello costal en su punto medio, colocando la costilla en posición vertical.
4. Longitud del segmento cabeza + cuello **[LSCC]**. Longitud de la cabeza y del cuello costal, medida desde el extremo superior de la cabeza costal hasta el extremo superior del tubérculo, en posición vertical.
5. Longitud del segmento cuello + tubérculo **[LSCT]**. Longitud del cuello y del tubérculo costal, medida desde el extremo inferior de la cabeza costal hasta el extremo inferior del tubérculo, en posición vertical.
6. Longitud de la cabeza **[LC]**. Longitud que abarca desde el extremo superior de la cabeza costal hasta el extremo inferior de la misma en posición vertical.
7. Longitud del cuello medio **[LCU]**. Longitud del segmento localizado entre la cabeza y el tubérculo costal, medido desde el extremo inferior de la cabeza hasta el extremo superior del tubérculo costal en posición vertical.

8. Longitud del tubérculo [**LT**]. Longitud que abarca desde el extremo superior del tubérculo costal hasta el extremo inferior del mismo en posición vertical.
9. Longitud total de la costilla [**LTR**] (**solo aplicable a R1**). Longitud de la costilla, desde el extremo inferior de la cabeza hasta el extremo superior de la articulación costosternal, medida con la costilla colocada en plano.

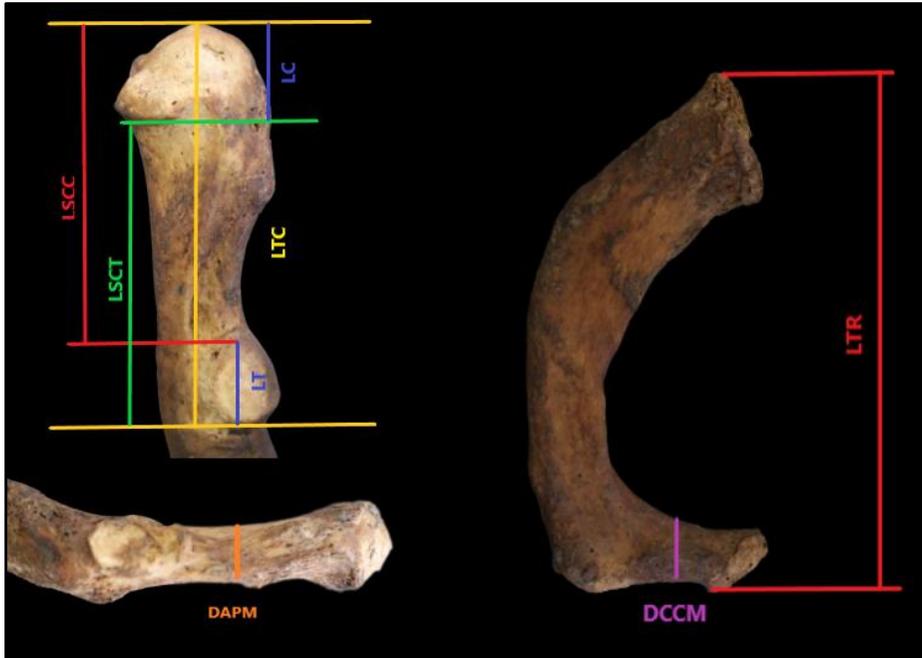


Figura 6.2. Medidas tomadas del cuello de la costilla

Hay que tener en cuenta los posibles factores limitantes de estas medidas. En los individuos más jóvenes, con edades entre los 18 y los 21 años, es habitual que se verifique una falta de desarrollo y fusión de los centros secundarios de osificación de las costillas, alterando sus dimensiones debido a que su fusión apenas se completa a los 21 años. Por su parte, en los individuos seniles, pueden darse casos de desgaste articular, que también alteran la morfología de las diferentes regiones costales. En los casos en que es posible vislumbrar los límites originales de las facetas articulares, se recomienda excluir las rebabas o excrecencias óseas de la medición. Cuando, por el contrario, la artrosis es severa y altera

completamente la morfología articular del cuello costal, no se aplicó el método.

En estrecha relación con este fenómeno, la medida 9 – Longitud total de la costilla [LTR] – aplicada solo sobre la primera costilla, debe tomarse con precaución. En individuos seniles, es común que el cartílago condrocostal se calcifique, pudiendo inducir errores cuantitativos por el aumento de las dimensiones de la costilla. No obstante, en estos casos, debe localizarse el reborde original que delimita la extremidad esternal del cartílago calcificado, tomando la medida justo por debajo de este reborde (Figura 6.3).



Figura 6.3. Reborde de la extremidad esternal del cartílago calcificado de la primera costilla

Asimismo, otro factor limitante es el grado de conservación de esta región anatómica. Si bien el cuello de las costillas perdura más que el cuerpo y la extremidad esternal, pueden darse casos en que esta región se encuentra afectada por daños tafonómicos. En este aspecto, tampoco se pueden tomar las medidas, por lo que el método no puede aplicarse.

Las medidas se tomaron con un calibre digital, y fueron registradas en una hoja de Excel para su posterior análisis estadístico. Una vez tomadas las medidas, se procesaron estadísticamente con el programa IBM SPSS v.20 para Windows.

En primer lugar, se llevó a cabo un análisis descriptivo de la muestra, desglosada por sexos, calculando los valores máximos y mínimos, así como el valor medio y la desviación típica. Posteriormente, y previo al resto de pruebas estadísticas, se calculó el error intraobservador e interobservador, a través del Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin, que se desarrollará en el apartado 6.2.5.

A continuación, se realizó la prueba de Kolmogórov-Smirnov y la prueba de Levene para comprobar la normalidad y la igualdad de varianzas (homocedasticidad) de la muestra respectivamente. Estas pruebas son necesarias para llevar a cabo los análisis estadísticos posteriores.

Una vez comprobada la normalidad y homocedasticidad de la población, se calculó la prueba t de Student para muestras independientes, para comprobar la existencia de diferencias significativas entre ambos sexos, es decir, que hay evidencias estadísticas de que existe una diferencia entre ambos sexos y que esta no se debe al azar. Para ello se estableció un nivel de significación o p-valor de 0,05. En los casos en que no se satisfizo alguno de los criterios anteriores (normalidad u homocedasticidad), se procedió a realizar la prueba alternativa no paramétrica de Wilcoxon.

Posteriormente, se procedió a realizar el análisis discriminante. Este análisis, desarrollado por Fisher en 1936, presenta la ventaja de que elimina criterios subjetivos en la estimación del sexo, pues se basan en medidas objetivas, y son sencillas de utilizar sin experiencia previa. Asimismo, también pueden utilizarse en casos de pobre conservación del material esquelético, en tanto que muchas de ellas se centran en fragmentos óseos (Krishan *et al.*, 2016).

Este análisis se llevó a cabo de dos formas diferentes, mediante funciones discriminantes univariantes, donde cada una de las variables fue testada de forma individual, y mediante funciones discriminantes multivariantes, donde se construyeron funciones discriminantes con más de una variable. En este segundo caso, se llevó a cabo el método de inclusión por pasos, en el que el programa selecciona las variables con mayor potencial discriminatorio, y excluye aquellas con baja utilidad para la discriminación sexual. Para la inserción de variables, se utilizaron los valores establecidos

por defecto por el programa: valor para entrar $F \geq 3,84$ y valor para salir $F \leq 2,71$.

Consideradas las variables con mayor potencial discriminatorio en cada una de las costillas, se seleccionaron los coeficientes no tipificados y la constante para la creación de la función discriminante. Para el cálculo del punto de corte, se realizó una media entre los centroides de ambos grupos. En este sentido, la función discriminante funciona de la siguiente manera: se multiplica el valor de cada variable por su coeficiente, se suman todos los valores, y posteriormente se suma el valor de la constante. Los resultados que quedan por encima del punto de corte se consideran varones, mientras que los que quedan por debajo, se consideran mujeres. Aquellos que coinciden exactamente con el punto de corte, se consideran indeterminados.

Finalmente, para comprobar la fiabilidad de las funciones obtenidas, se aplicó la validación cruzada con la misma colección, así como con otra colección de cronología similar y gran proximidad geográfica. En este caso, la validación cruzada comprueba la capacidad predictiva de las funciones. Para ello, el programa genera tantas funciones discriminantes como casos válidos tiene el análisis, eliminando un cada caso en cada función; cada caso se clasifica según la función discriminante en cuya creación no ha intervenido. Con ello, el programa genera una matriz con el resultado de la clasificación inicial y con el resultado de la validación cruzada, que indica la capacidad predictiva de cada función.

Una vez desarrolladas estas funciones, se aplicaron a diferentes colecciones, en este caso a la Colección del Cementerio de Lucena, y a las colecciones portuguesas CISC y CEI/XXI, obteniéndose los porcentajes de clasificación correcta en cada uno de los casos. Previamente, para comprobar la existencia de diferencias significativas entre las diferentes colecciones, se realizaron las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en cada una de las muestras, para comprobar si seguían una distribución normal. En el caso de seguir una distribución normal, se realizó la prueba t de Student para muestras independientes; por el contrario, en el caso de no seguir una distribución normal, se realizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

6.2.2. *Estimación de la edad mediante la sinostosis esternal en hueso seco*

En primer lugar, se comprobó el grado de sinostosis entre los diferentes segmentos esternales (manubrio y mesosterno, mesosterno y apéndice

xifoideas) de los esternones estudiados de la Colección de San José. Para ello, se codificaron los grados de fusión de la siguiente manera (Figura 6.4):

- 1: No hay fusión, los segmentos se encuentran totalmente separados
- 2: La fusión está en proceso, los segmentos se encuentran parcialmente unidos
- 3: La fusión se ha completado, no hay línea visible de separación entre los segmentos

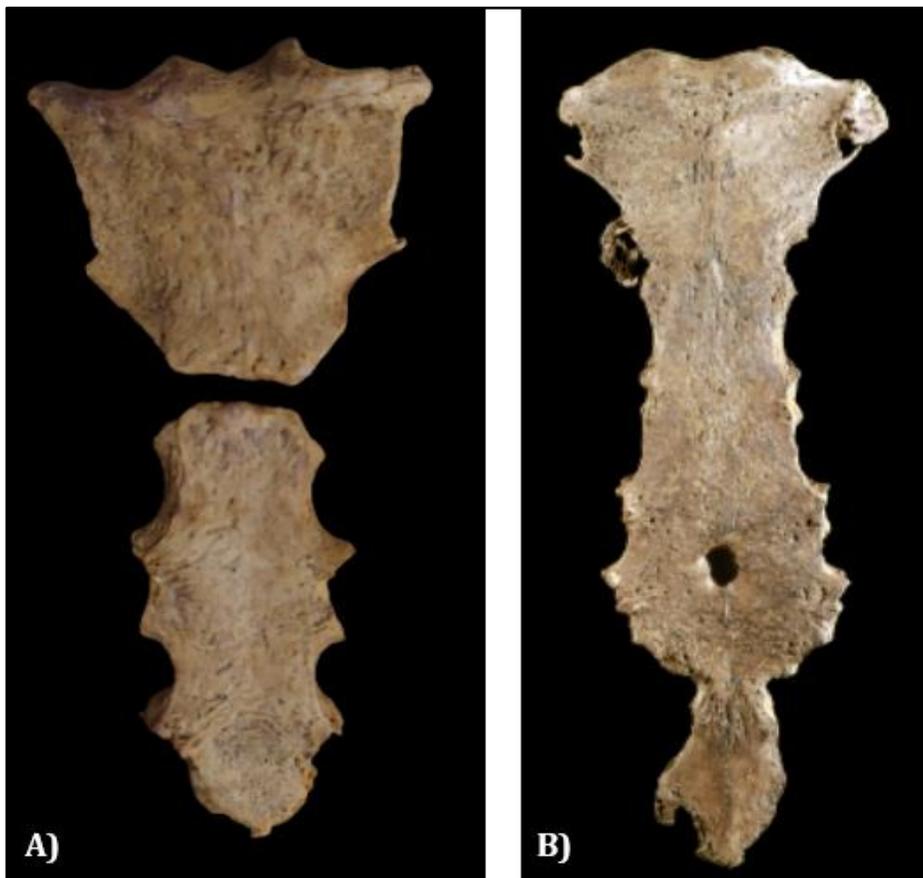


Figura 6.4. Grados de sinostosis esternal: a) ausencia de sinostosis; b) fusión completa

Una vez analizados los esternones, se recogieron las puntuaciones y se llevaron al programa SPSS para el análisis estadístico. Este análisis consistió fundamentalmente en:

- Cálculo de los errores intra e interobservador (Coeficiente K de Cohen)
- Construcción de tablas de contingencia
- Cálculo del estadístico chi-cuadrado de Pearson
- Análisis box-plot

Las tablas de contingencia, también conocidas como tablas de doble entrada, son una herramienta esencial para estudiar la influencia de una determinada variable (variable independiente, en este caso, la edad) sobre otra (variable dependiente, en este caso, la sinostosis esternal), permitiéndonos analizar la posible asociación entre ellas.

Asimismo, y para reforzar los resultados obtenidos mediante el estudio de contingencia, se calculó el estadístico chi-cuadrado, con el propósito de comprobar si existe una correlación significativa entre el grado de fusión de los segmentos esternales y la edad real del individuo. Se consideró un nivel de significación o p -value $\leq 0,05$.

Por último, y para representar gráficamente los resultados obtenidos, se recurrió al uso de gráficos de cajas y bigotes o diagramas box-plot.

6.2.3. Estimación del sexo mediante métodos métricos en reconstrucciones 3D del tórax

Para este trabajo, se siguió y adaptó la metodología de Uysal Ramadan *et al.* (2010), consistente en la toma de diferentes medidas de los huesos torácicos mediante imágenes 3D para el estudio del dimorfismo sexual. Las medidas estudiadas fueron tomadas mayoritariamente de Uysal Ramadan *et al.* (2010), si bien se tomaron algunas más (Figuras 6.5 y 6.6):

- Longitud del manubrio esternal. Se tomaron dos medidas diferentes:
 - A. Distancia máxima entre el punto más elevado del manubrio (entre las escotaduras yugular y clavicular) y la articulación manubrio-esternal [**MAL1**] (Uysal Ramadan *et al.*, 2010)
 - B. Distancia máxima entre el punto medio de la escotadura yugular y la articulación manubrio esternal [**MAL2**] (García Parra, 2017).
- Longitud del cuerpo esternal [**CAL**]. Distancia máxima entre las articulaciones manubrio-esternal y xifo-esternal.

- Anchura del manubrio [**MAN**]. Distancia entre las escotaduras de la primera costilla de ambos lados.
- Grosor del manubrio [**MG**] y grosor del cuerpo esternal [**CG**].
- Anchura del cuerpo esternal. Tomada en dos regiones:
 - A. Entre las escotaduras de R2 y R3 [**CAN1**]
 - B. Entre las escotaduras de R4 y R5 [**CAN2**]
- Índice esternal [**IE**]. División entre la longitud del manubrio y la longitud del cuerpo esternal, multiplicada por 100 $[(M_a/C) \times 100]$
- Área esternal [**AE**]. Se calcula multiplicando la suma de la longitud de manubrio y cuerpo con la suma de las tres anchuras tomadas, luego dividiendo entre tres $[(M_a+C) \times (AM+AC_1+AC_2)]/3$
- Anchura de las costillas R2 a R5 [**R2-5(R-L)**]. Si bien Uysal-Ramadan *et al.* (2010) solo consideran la anchura de la cuarta costilla, se ha extendido a las costillas segunda a quinta. Distancia entre el borde superior e inferior de la costilla justo al lado de la fosa costal, en ambos lados.
- Anchura de las epífisis mediales de las clavículas [**CLD-CLI**]. Distancia entre el borde superior e inferior de la epífisis medial de ambas clavículas.

Una vez tomadas las medidas, en primer lugar se procedió a realizar un análisis estadístico descriptivo de las medidas recopiladas, desglosadas por sexos, calculando los valores máximos y mínimos, así como el valor medio y la desviación típica. Posteriormente, y previo al resto de pruebas estadísticas, se calculó el error intraobservador e interobservador, a través del Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin.

A continuación, se comprobó la normalidad y homocedasticidad de las variables estudiadas, mediante los tests de Kolmogórov-Smirnov y de Levene, como se explicó anteriormente en el método de estimación del sexo a través de las costillas.

Comprobada la normalidad y homocedasticidad de las variables analizadas, se comprobó la existencia de diferencias significativas mediante la prueba t de Student para muestras independientes, en el caso de verificar la existencia de diferencias significativas entre sexos, y la prueba t de Student para muestras relacionadas para las diferencias significativas entre el lado derecho y el lado izquierdo.

Finalmente, para la estimación del sexo, se recurrió de nuevo al análisis discriminante, mediante el desarrollo de funciones discriminantes

univariantes y multivariantes. De la misma forma que en el ejemplo anterior, se aplicó el método de inclusión por pasos, en el que el programa selecciona las variables con mayor potencial discriminatorio, y excluye aquellas con baja utilidad para la discriminación sexual. Para la inserción de variables, se utilizaron los valores establecidos por defecto por el programa: valor para entrar $F \geq 3,84$ y valor para salir $F \leq 2,71$.

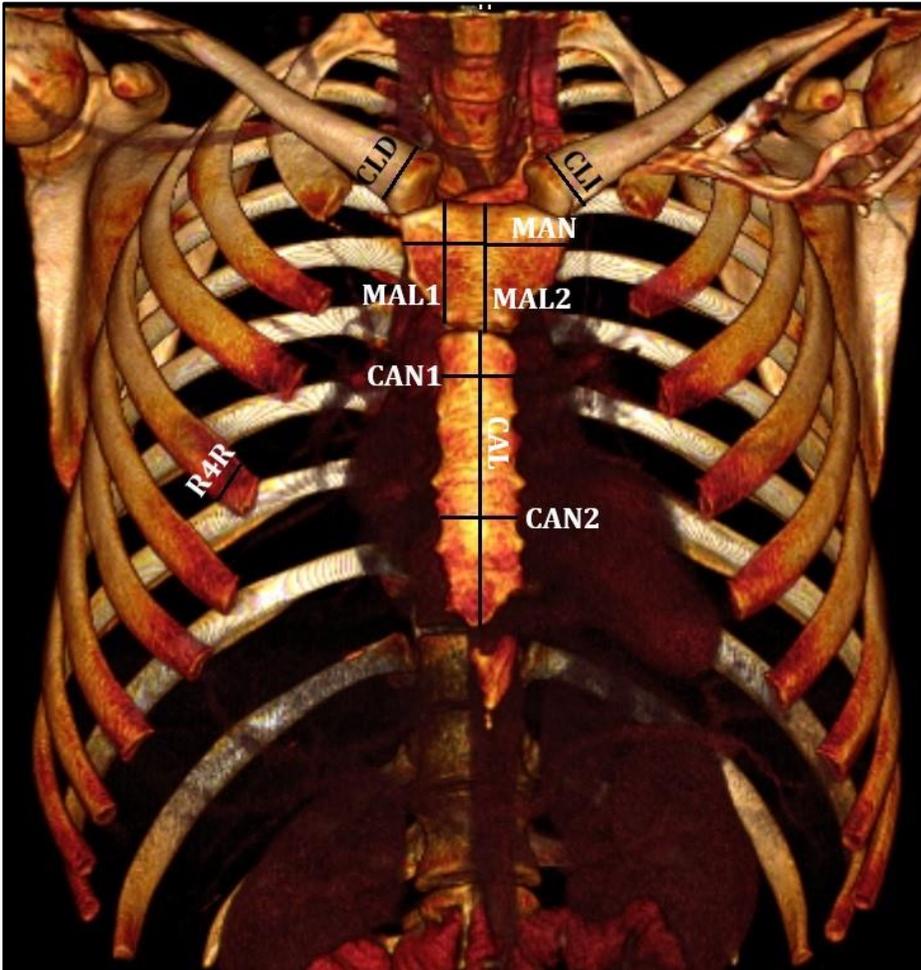


Figura 6.5. Medidas tomadas en costillas, clavícula y esternón de imágenes 3D

Para comprobar la fiabilidad de las funciones obtenidas, se aplicó la validación cruzada con la misma colección, que comprueba la capacidad predictiva de las funciones.



Figura 6.6. Medidas tomadas del grosor esternal

6.2.4. Estimación de la edad mediante análisis 3D de costillas y esternón

El estudio de la estimación etaria mediante el análisis de imágenes TAC de costillas y esternón se ha realizado siguiendo la metodología de Monum *et al.* (2020). Para ello, en primer lugar, se tomaron las siguientes medidas (Monum *et al.*, 2020) (Figura 6.7):

- Osificación del cartílago de la primera costilla [**ROF (derecha)** – **LOF (izquierda)**]. Se codificó de la siguiente manera:
 - 0. Ausencia de osificación

- 1. Osificación lineal, de menos de un 50%
- 2. Osificación lineal de más de un 50%, o con forma de banda, de menos de un 50%
- 3. Osificación en forma de banda, entre un 50 y un 75%
- 4. Osificación en forma de banda, superior al 75%
- Osificación de los cartílagos costales de las costillas R2 a R7, tanto en la fosa costal [**ROR - LOR**] como en la escotadura esternal [**ROS - LOS**]. Se codificó de la siguiente manera:
 - 0. Ausencia de osificación
 - 1. Osificación solo presente en un cartílago
 - 2. Osificación presente en hasta tres cartílagos
 - 3. Osificación presente en 4-5 cartílagos
 - 4. Osificación presente en los seis cartílagos
- Fusión de la articulación manubrio-esternal [**MC**] y de la articulación xifo-esternal [**CX**], codificada igual que en el caso del estudio esternal en huesos seco:
 - 0. Sin fusión
 - 1. Fusión parcial
 - 2. Fusión completa

Una vez recopiladas las puntuaciones, se procedió al análisis estadístico. En primer lugar, se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo y de frecuencias, para comprobar la distribución de las diferentes puntuaciones en los diferentes rangos etarios y sexos.

Realizado el análisis estadístico, se comprobó el grado de error intraobservador e interobservador mediante el coeficiente Kappa (K) de Cohen, al tratarse de variables cualitativas.

Posteriormente, se utilizó el Coeficiente de Correlación r de Spearman para evaluar la correlación entre las puntuaciones de cada una de las variables con la edad. Su interpretación es la siguiente (Madrigal, 1998):

- Entre 0,00 y 0,19: la correlación es muy baja
- Entre 0,20 y 0,39: la correlación es baja
- Entre 0,40 y 0,59: la correlación es moderada
- Entre 0,60 y 0,79: la correlación es buena
- Entre 0,80 y 1,00: la correlación es muy buena

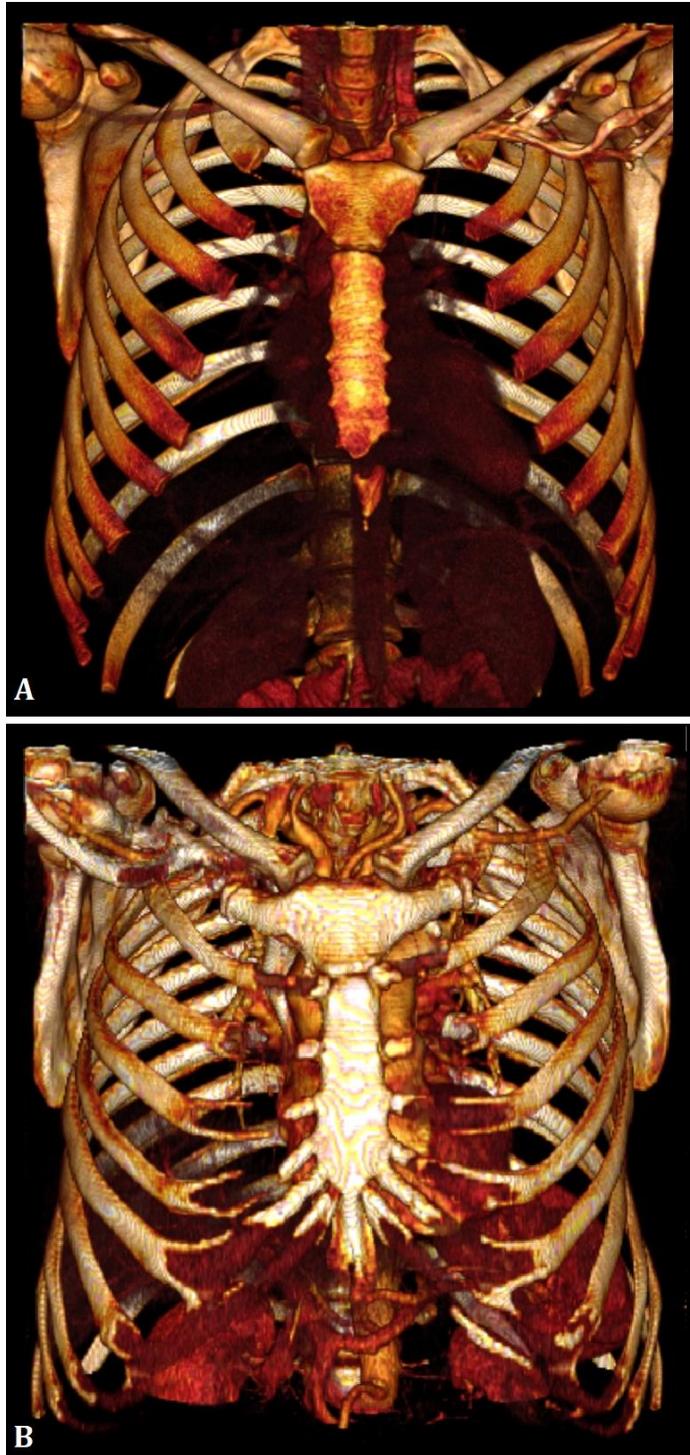


Figura 6.7. Osificación de los elementos cartilagosos costales: a) ausencia de calcificación; b) calcificación total

Obtenidos los coeficientes de Spearman, se comprobó la existencia de diferencias significativas entre sexos y entre el lado derecho e izquierdo mediante la prueba t de Student para muestras independientes y para muestras relacionadas, respectivamente.

A continuación, y según los resultados del coeficiente de correlación de Spearman de cada una de las variables, se construyeron diferentes modelos compuestos, combinando las variables que arrojaran un resultado favorable, siguiendo el método de Monum *et al.* (2020). A estas puntuaciones compuestas, se les aplicó igualmente el coeficiente de correlación de Spearman para identificar la mejor combinación de variables para la estimación de la edad.

Finalmente, una vez obtenidas estas puntuaciones combinadas, se llevó a cabo un análisis de regresión, tanto con el modelo lineal como con el modelo exponencial. La regresión lineal es un modelo matemático aplicado a datos numéricos, generalmente continuos, que se centra en la relación entre determinadas variables: una dependiente y una o varias independientes (Gaya Sancho, 2019; Madrigal, 1998). Por su parte, la regresión exponencial es un modelo matemático similar a la regresión lineal, con la particularidad de que los datos sujetos a estudio no siguen un crecimiento lineal, sino exponencial.

En este aspecto, las variables independientes y dependientes se definen de la siguiente manera:

- Las variables independientes son aquellas que pueden ser manipuladas por el observador, indicando la cuantificación de un determinado rasgo e infiriendo su efecto sobre la variable dependiente. En este caso, las variables dependientes son los estadios de calcificación y degeneración de la parrilla costal.
- Las variables dependientes, por su parte, son aquellas que no pueden ser manipuladas, sino que tan solo se observan, como por ejemplo, la edad de cada uno de los individuos estudiados.

En este aspecto, según la cantidad de variables intervinientes en el análisis de regresión, este se puede clasificar en:

- Regresión, lineal o exponencial, simple o univariante: intervienen solo dos variables, una dependiente y una independiente.

- Regresión, lineal o exponencial, múltiple o multivariante: intervienen más de dos variables, una dependiente y X variables independientes.

Así, la regresión lineal tiene el propósito de analizar un modelo que pretende explicar el comportamiento de la variable dependiente, utilizando la información proporcionada por los valores que toman las variables independientes (Pérez, 2001). El modelo lineal viene definido por la fórmula:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + u$$

Donde los coeficientes (b_1, b_2, \dots) denotan la magnitud del efecto que las variables independientes (X_1, X_2, \dots) tienen sobre la variable dependiente Y . El término b_0 se denomina término constante, mientras que el término u se denomina término de error del modelo (Pérez, 2001).

Por su parte, el modelo exponencial viene definido por la siguiente fórmula:

$$y = a * e^{(b*x)}$$

Donde Y es la variable independiente, a es la constante, e es el número exponencial o de Euler (2.7182), y b es el coeficiente por el que se multiplica el valor de la variable a estudiar.

Con ello, el procedimiento de regresión, ya sea lineal o exponencial, estima los coeficientes de la ecuación, con una o más variables independientes, que mejor prediga el valor de la variable dependiente.

6.2.5. Homogeneidad y reproducibilidad de los métodos: error intra e interobservador

En toda investigación, es esencial comprobar el grado de error al que pueden estar sujetas las mediciones. Siempre existe un cierto grado de error a la hora de la toma de medidas, especialmente cuando proceden de la apreciación subjetiva del investigador. No obstante, el grado de error que conlleva cualquier observación puede ser estudiado y evaluado a partir de una serie de técnicas estandarizadas (Viciano Badal, 2012), que conllevan la comprobación de dos propiedades de la medición. Según Ferrante *et al.* (2009), estas son:

- Exactitud: es el grado de conformidad de una cantidad medida o calculada con su valor real. Hace referencia al error intraobservador, al que comete el propio investigador.
- Precisión: es el grado en el cual futuras medidas o cálculos producirán resultados similares o semejantes. Hace referencia al error interobservador, al que puede cometer un investigador externo.

Un ejemplo visual lo podemos encontrar en la figura 6.8, utilizando una analogía de tiro de flechas sobre dianas. El método ideal será aquel que sea exacto y a la vez preciso.



Figura 6.8. Representación de los grados de exactitud y precisión

Para la evaluación del error intraobservador, se seleccionó una submuestra derivada de la original, y se dejó transcurrir un periodo de alrededor de tres semanas entre medición y medición, para evitar el sesgo y los posibles vicios y hábitos de mediciones. Por su parte, para la evaluación del error interobservador, se contó con la pericia de

investigadores externos que no estuviesen familiarizados con la metodología. Tras un periodo de entrenamiento previo, se les solicitó tomar las mismas medidas tomadas en la misma submuestra utilizada para ello.

Así, para evaluar tanto el error intraobservador como el error interobservador, existen diferentes herramientas estadísticas que nos ayudarán a cuantificar el grado de error cometido en el proceso de análisis. Estas herramientas diferirán según se apliquen a métodos cuantitativos como a métodos cualitativos.

6.2.5.1. Métodos cuantitativos: Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin (CCC)

El Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin (CCC) (Lin, 1989) se utiliza para estudiar el grado de concordancia y error de una variable cuantitativa (numeral), como por ejemplo las dimensiones del cuello de la costilla. Este coeficiente se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

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

Donde σ_{12} = Covarianza; σ = varianza; μ = media

Los resultados se pueden situar entre la perfecta discordancia (-1) o la concordancia perfecta (+1). En resumen, la interpretación del valor del coeficiente de correlación de concordancia de Lin es la siguiente (Ferrante y Cameriere, 2009; Lin, 1989):

- CCC > 0,99 = concordancia casi perfecta
- CCC > 0,95 < 0,99 = concordancia sustancial
- CCC > 0,90 < 0,95 = concordancia moderada
- CCC < 0,90 = concordancia pobre

6.2.5.2. Métodos cualitativos: Coeficiente Kappa de Cohen

El coeficiente kappa de Cohen (Cohen, 1960) se utiliza para estudiar el grado de concordancia y error de una variable cualitativa (ordinal o categórica), como por ejemplo los estadios de Loth e Iscan. Este coeficiente mide el porcentaje del valor del dato en la diagonal principal de una tabla y luego ajusta dichos valores al grado de acuerdo que se podría esperar por mera casualidad (Ferrante y Cameriere, 2009).

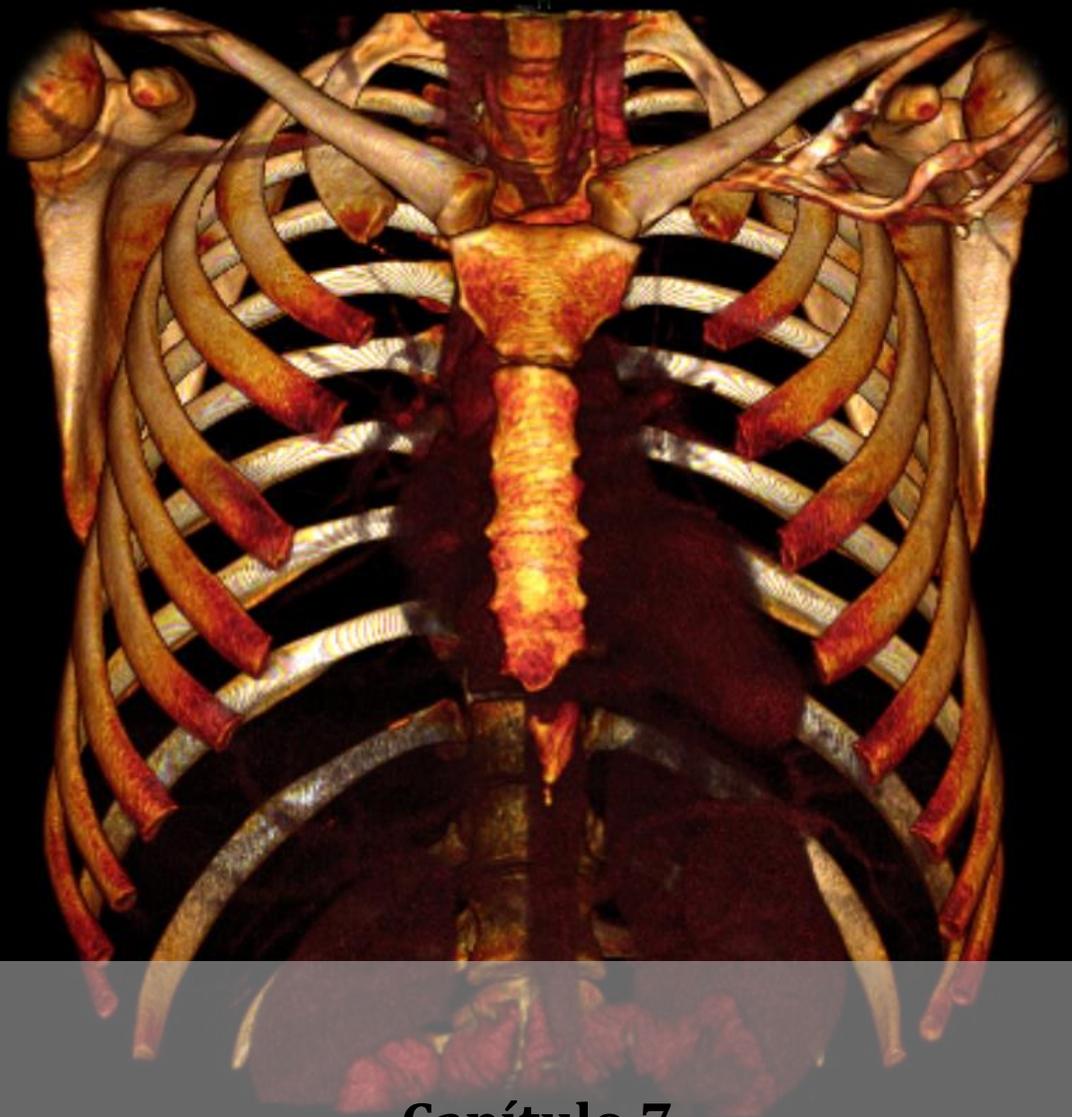
El valor del coeficiente kappa está definido por la siguiente fórmula:

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

donde el numerador representa la discrepancia entre la probabilidad observada de acuerdo entre ambas mediciones y la probabilidad de acuerdo entre ellas, bajo la premisa de que el acuerdo sea casual, mientras que el denominador representa el máximo del numerador. El valor del coeficiente kappa siempre se situará entre 1 o por debajo de 1; un valor de 1 implicaría un acuerdo perfecto entre ambas medidas (o ambos observadores, si se tratase del error interobservador). En muy raras ocasiones, el resultado puede ser negativo, lo que significaría que el grado de acuerdo es incluso menor del esperado por casualidad (Ferrante y Cameriere, 2009).

En resumen, la interpretación del valor del coeficiente kappa de Cohen es la siguiente (Cohen, 1960; Ferrante y Cameriere, 2009):

- $K < 0,4$ = concordancia pobre
- $K \geq 0,4$ y $< 0,6$ = concordancia moderada
- $K \geq 0,6$ y $< 0,8$ = concordancia buena
- $K \geq 0,8$ y < 1 = concordancia muy buena



Capítulo 7
Resultados

CAPÍTULO 7

RESULTADOS

7.1. Estimación del sexo mediante funciones discriminantes en las costillas

En primer lugar, para comprobar la precisión y reproducibilidad del método diseñado, se realizó el análisis del error intra e interobservador, mediante el Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin, en las medidas tomadas en las costillas de la Colección de San José. Los resultados, expuestos en la tabla 7.1, indican que el método es preciso (error intraobservador) y reproducible (error interobservador), con resultados siempre superiores a 0,9 en todos los casos, y con una concordancia entre moderada y casi perfecta en algunos casos.

Tabla 7.1. Resultados del error intraobservador e interobservador en las medidas del cuello de las costillas.

Error intraobservador			Error interobservador		
Variable	CCC	Interpretación	Variable	CCC	Interpretación
<i>Primera costilla</i>					
LTC	0,9661	Sustancial	LTC	0,9698	Sustancial
DCCM	0,9114	Moderado	DCCM	0,9175	Moderado
DAPM	0,9153	Moderado	DAPM	0,9533	Sustancial
LSCC	0,9200	Moderado	LSCC	0,9633	Sustancial
LSCT	0,9563	Sustancial	LSCT	0,9617	Sustancial
LC	0,9272	Moderado	LC	0,9291	Moderado
LCU	0,9476	Moderado	LCU	0,9576	Sustancial
LT	0,9349	Moderado	LT	0,9541	Sustancial
LTR	0,9736	Sustancial	LTR	0,9543	Sustancial
<i>Segunda costilla</i>					
LTC	0,9691	Sustancial	LTC	0,9859	Sustancial
DCCM	0,9155	Moderado	DCCM	0,9306	Moderado
DAPM	0,9767	Sustancial	DAPM	0,9305	Moderado
LSCC	0,9830	Sustancial	LSCC	0,9644	Sustancial
LSCT	0,9410	Moderado	LSCT	0,9765	Sustancial
LC	0,9633	Sustancial	LC	0,9506	Sustancial

LCU	0,9305	Moderado	LCU	0,9921	Casi perfecto
LT	0,9157	Moderado	LT	0,9186	Moderado
<i>Tercera costilla</i>					
LTC	0,9764	Sustancial	LTC	0,9739	Sustancial
DCCM	0,9387	Moderado	DCCM	0,9195	Moderado
DAPM	0,9493	Moderado	DAPM	0,9136	Moderado
LSCC	0,9671	Sustancial	LSCC	0,9868	Sustancial
LSCT	0,9203	Moderado	LSCT	0,9802	Sustancial
LC	0,9276	Moderado	LC	0,9627	Sustancial
LCU	0,9611	Sustancial	LCU	0,9598	Sustancial
LT	0,9407	Moderado	LT	0,9255	Moderado
<i>Cuarta costilla</i>					
LTC	0,9558	Sustancial	LTC	0,9739	Sustancial
DCCM	0,9464	Moderado	DCCM	0,9195	Moderado
DAPM	0,9808	Sustancial	DAPM	0,9136	Moderado
LSCC	0,9913	Casi perfecto	LSCC	0,9868	Sustancial
LSCT	0,9958	Casi perfecto	LSCT	0,9802	Sustancial
LC	0,9428	Moderado	LC	0,9627	Sustancial
LCU	0,9207	Moderado	LCU	0,9598	Sustancial
LT	0,9914	Casi perfecto	LT	0,9255	Moderado

Posteriormente, una vez comprobada la precisión y reproducibilidad del método, se realizó un análisis descriptivo de las medidas tomadas en la Colección de San José (Granada), en el que se ha obtenido el tamaño de la muestra, la media, la desviación estándar y los valores máximo y mínimo para cada una de las variables. Los resultados se exponen en las tablas 7.2 a 7.5.

Tabla 7.2. Resultados de la estadística descriptiva de la primera costilla.

VARIABLE	SEXO	n	MEDIA	MIN	MAX	DESV.
<i>Lado derecho</i>						
LTC	M	97	36,68	30,10	41,50	2,2192
	F	71	32,10	26,80	39,30	2,5074
DCCM	M	97	4,60	3,00	7,00	0,7832
	F	71	4,24	2,70	5,80	0,6598
DAPM	M	97	8,26	5,50	14,10	1,4606
	F	71	7,06	4,50	11,20	1,0442
LSCC	M	97	23,25	18,40	29,50	2,4431
	F	71	21,54	16,00	27,60	2,4964

LSCT	M	97	28,43	21,70	33,30	2,5713
	F	71	24,99	20,50	32,90	2,5797
LC	M	97	9,45	6,10	13,70	1,7854
	F	70	8,55	5,60	12,30	1,4891
LCU	M	97	16,44	11,20	24,40	2,5740
	F	71	15,39	9,60	22,40	2,5124
LT	M	97	11,63	6,90	17,10	2,3656
	F	71	9,29	5,20	15,20	1,8440
LTR	M	45	82,47	69,50	94,80	5,2178
	F	28	74,66	63,10	85,60	5,4575
<i>Lado izquierdo</i>						
LTC	M	87	36,31	30,30	43,90	2,4042
	F	71	31,97	25,50	39,60	2,4228
DCCM	M	87	4,58	3,30	7,80	0,7722
	F	72	4,12	2,70	6,10	0,6857
DAPM	M	87	8,59	5,30	11,70	1,4856
	F	72	7,17	4,90	10,10	1,1030
LSCC	M	86	22,94	16,60	29,20	2,5098
	F	72	21,43	15,80	25,90	1,9687
LSCT	M	87	28,55	22,80	34,80	2,6065
	F	71	25,17	21,30	32,20	2,2168
LC	M	85	9,63	5,60	15,70	1,7518
	F	70	8,55	5,70	11,80	1,3568
LCU	M	87	16,26	10,20	23,30	2,6678
	F	71	15,10	10,50	20,10	1,8858
LT	M	86	12,09	5,60	17,50	2,2814
	F	70	9,85	4,90	14,00	1,9772
LTR	M	36	82,14	69,30	94,30	5,2363
	F	28	74,32	64,20	90,60	5,3937

Tabla 7.3. Resultados de la estadística descriptiva de la segunda costilla.

VARIABLE	SEXO	n	MEDIA	MIN	MAX	DESV.
<i>Lado derecho</i>						
LTC	M	111	35,61	29,80	42,10	2,4134
	F	87	31,70	27,90	39,50	2,1812
DCCM	M	111	6,42	4,10	11,00	1,0376
	F	87	5,42	3,80	8,50	0,8714
DAPM	M	111	6,01	3,40	10,30	1,1331
	F	87	5,22	2,70	8,60	1,0797

LSCC	M	111	26,10	20,80	33,90	2,5750
	F	87	23,57	18,70	29,80	2,0604
L SCT	M	111	28,36	20,90	37,90	2,7426
	F	87	25,65	20,40	32,50	2,3968
LC	M	111	9,84	6,60	14,10	1,4445
	F	87	8,59	5,40	11,50	1,3095
LCU	M	111	19,45	13,20	28,30	2,7776
	F	87	17,43	11,90	23,50	2,4933
LT	M	112	8,81	5,80	15,10	1,4999
	F	87	7,88	5,10	10,40	1,0217
<i>Lado izquierdo</i>						
LTC	M	106	35,37	29,10	42,60	2,5761
	F	85	31,94	27,60	38,10	2,1372
DCCM	M	108	6,41	4,10	8,30	0,9454
	F	85	5,55	3,50	8,70	0,9637
DAPM	M	108	6,12	4,00	9,70	1,2280
	F	85	5,17	3,00	7,00	0,9581
LSCC	M	106	26,33	19,90	33,70	2,5526
	F	85	23,83	17,70	29,30	2,1788
L SCT	M	108	28,72	22,30	35,90	2,5479
	F	85	26,15	21,30	31,80	2,1898
LC	M	105	9,55	6,50	13,30	1,2790
	F	85	8,49	5,90	12,60	1,2563
LCU	M	108	19,86	14,80	28,50	2,5424
	F	85	17,87	12,90	23,00	2,2457
LT	M	108	8,72	5,90	31,70	2,5720
	F	84	8,00	4,60	27,40	2,4753

Tabla 7.4. Resultados de la estadística descriptiva de la tercera costilla.

VARIABLE	SEXO	n	MEDIA	MIN	MAX	DESV.
<i>Lado derecho</i>						
LTC	M	105	34,71	29,40	40,00	2,4125
	F	89	31,05	26,20	35,70	1,9437
DCCM	M	105	7,77	5,10	11,10	1,2131
	F	90	6,99	4,30	11,50	1,2880
DAPM	M	105	4,72	3,20	7,10	0,8092
	F	90	3,81	2,30	6,60	0,7713
LSCC	M	105	25,40	20,50	31,30	2,3132
	F	89	22,88	18,40	26,50	1,7670

LSCT	M	105	28,07	21,50	35,40	2,4398
	F	90	25,16	20,20	30,00	2,0838
LC	M	105	9,61	6,70	13,30	1,2512
	F	89	8,30	5,70	12,90	1,4254
LCU	M	105	19,12	14,10	24,50	2,2577
	F	90	17,13	12,50	21,40	1,9114
LT	M	106	8,76	5,60	13,10	1,2781
	F	90	7,83	4,70	11,100	1,1651
<i>Lado izquierdo</i>						
LTC	M	103	34,37	29,10	40,70	2,5124
	F	90	30,71	27,40	35,00	1,8833
DCCM	M	103	8,42	4,00	11,70	1,3300
	F	90	7,29	4,60	10,60	1,1443
DAPM	M	103	4,73	3,00	8,40	0,8949
	F	90	3,93	2,60	6,10	0,7137
LSCC	M	103	25,36	19,60	31,70	2,2693
	F	90	22,58	18,90	27,10	1,8242
LSCT	M	103	28,20	21,50	34,70	2,4826
	F	90	25,35	21,00	29,40	1,8337
LC	M	103	9,31	6,70	13,20	1,2011
	F	90	8,10	5,50	11,20	1,2118
LCU	M	103	19,37	13,70	25,90	2,3018
	F	90	17,20	13,00	22,20	1,9908
LT	M	102	8,68	4,70	14,80	1,4252
	F	90	7,78	5,00	10,80	1,1499

Tabla 7.5. Resultados de la estadística descriptiva de la cuarta costilla.

VARIABLE	SEXO	n	MEDIA	MIN	MAX	DESV.
<i>Lado derecho</i>						
LTC	M	95	35,10	30,80	41,70	2,3037
	F	83	31,51	26,70	36,20	2,0400
DCCM	M	95	9,69	6,10	13,10	1,4259
	F	83	8,36	5,50	14,50	1,2896
DAPM	M	95	4,97	2,90	7,80	0,7835
	F	83	4,06	2,80	5,90	0,6845
LSCC	M	95	25,89	20,60	32,30	2,3861
	F	83	23,21	18,50	28,80	2,0844
LSCT	M	94	28,29	22,70	34,80	2,6191
	F	84	25,37	21,00	31,50	2,1613

LC	M	94	10,14	7,70	13,90	1,2149
	F	83	8,88	5,60	11,70	1,2922
LCU	M	94	19,42	12,70	24,90	2,5743
	F	84	17,40	11,70	25,60	2,2443
LT	M	95	8,65	5,60	12,00	1,4935
	F	83	7,84	5,60	10,20	1,0630
<i>Lado izquierdo</i>						
LTC	M	96	35,08	30,60	45,00	2,7334
	F	77	30,97	25,60	34,70	1,8828
DCCM	M	96	10,12	6,50	13,00	1,3369
	F	77	8,48	6,10	11,60	1,1383
DAPM	M	96	5,04	3,20	9,30	0,9639
	F	77	4,02	2,70	5,50	0,5999
LSCC	M	96	26,20	21,60	32,80	2,4771
	F	77	22,93	18,60	27,50	1,9432
LSCT	M	96	28,85	22,90	39,60	2,6779
	F	77	25,58	21,20	29,80	1,9050
LC	M	96	9,86	6,60	14,40	1,2050
	F	77	8,61	6,10	11,60	1,2324
LCU	M	96	20,08	15,80	27,50	2,5134
	F	77	17,56	13,30	22,60	1,8979
LT	M	96	8,39	4,70	15,70	1,7211
	F	77	7,69	4,80	9,70	0,9960

En las tablas 7.6 a 7.9 podemos observar los resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comprobar si las variables seguían una distribución normal; así como los resultados de la prueba de Levene para la homogeneidad de varianzas.

Tabla 7.6. Resultados de las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y de Levene para la primera costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	0,691	0,727	0,974	0,325
DCCM	1,314	0,063	2,407	0,123
DAPM	1,004	0,266	4,075	0,045*
LSCC	0,650	0,792	0,032	0,859
LSCT	0,607	0,854	0,008	0,930

LC	1,012	0,258	6,519	0,012*
LCU	0,686	0,734	0,461	0,498
LT	0,932	0,350	7,404	0,007*
LTR	0,602	0,862	0,017	0,897
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,618	0,839	0,149	0,700
DCCM	1,049	0,221	0,247	0,620
DAPM	0,872	0,433	5,207	0,024*
LSCC	0,798	0,548	4,421	0,037*
LSCT	0,728	0,664	1,974	0,162
LC	0,754	0,620	3,090	0,081
LCU	0,571	0,900	10,304	0,002*
LT	0,617	0,840	1,512	0,221
LTR	0,493	0,968	0,020	0,887

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.7. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la segunda costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	0,607	0,855	1,256	0,264
DCCM	0,959	0,317	0,576	0,449
DAPM	0,696	0,719	0,011	0,915
LSCC	0,836	0,487	4,838	0,029*
LSCT	0,638	0,810	0,872	0,351
LC	0,717	0,683	0,150	0,699
LCU	0,673	0,756	1,782	0,184
LT	0,923	0,362	10,075	0,002*
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,730	0,662	2,101	0,149
DCCM	0,663	0,772	0,001	0,981
DAPM	1,029	0,240	4,017	0,056
LSCC	0,909	0,381	1,494	0,223
LSCT	0,693	0,723	1,865	0,174
LC	0,886	0,412	0,019	0,892
LCU	0,933	0,349	2,501	0,115
LT	3,031	0,000*	0,012	0,912

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.8. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la tercera costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	0,771	0,592	3,167	0,077
DCCM	0,987	0,284	0,091	0,764
DAPM	0,870	0,435	0,361	0,549
LSCC	0,774	0,587	4,986	0,027*
LSCT	0,737	0,649	2,593	0,109
LC	0,672	0,757	0,767	0,382
LCU	0,720	0,677	4,702	0,031*
LT	1,066	0,206	0,579	0,448
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,774	0,587	7,427	0,007*
DCCM	0,843	0,475	1,353	0,246
DAPM	0,842	0,477	2,392	0,124
LSCC	0,832	0,493	4,125	0,044*
LSCT	0,691	0,726	7,090	0,008*
LC	0,818	0,516	0,356	0,551
LCU	0,778	0,580	2,091	0,150
LT	0,815	0,521	0,427	0,514

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.9. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la cuarta costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	0,618	0,839	1,401	0,238
DCCM	0,649	0,794	2,636	0,106
DAPM	0,815	0,519	0,673	0,413
LSCC	1,098	0,180	3,716	0,056
LSCT	0,650	0,792	2,850	0,093
LC	0,685	0,735	0,137	0,712
LCU	0,658	0,779	2,013	0,158
LT	0,781	0,575	9,894	0,002*
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,825	0,504	9,369	0,003*
DCCM	0,820	0,512	2,040	0,155
DAPM	1,195	0,115	9,911	0,002*

LSCC	0,696	0,718	6,496	0,012*
LSCT	0,773	0,588	5,183	0,024*
LC	0,731	0,660	0,388	0,534
LCU	1,420	0,036	7,949	0,005*
LT	1,371	0,057	9,051	0,003*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Según los resultados obtenidos por la prueba de Kolmogórov-Smirnov, la práctica totalidad de las variables sigue una distribución normal ($p > 0.05$); asimismo, el estadístico de Levene indica homogeneidad de las varianzas. Dado que las variables siguen una distribución normal, se realizó la prueba t de Student para muestras independientes, con el objetivo de comprobar la existencia de diferencias significativas entre ambos sexos. Los resultados se exponen en las tablas 7.10 a 7.13.

Tabla 7.10. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la primera costilla.

Variable	Estadístico t de Student	gl	Significación
<i>Lado derecho</i>			
LTC	12,502	166	0,000*
DCCM	3,060	166	0,003*
DAPM	5,915	166	0,000*
LSCC	4,437	166	0,000*
LSCT	8,554	166	0,000*
LC	3,437	165	0,001*
LCU	2,617	166	0,010*
LT	6,918	166	0,000*
LTR	6,111	71	0,000*
<i>Lado izquierdo</i>			
LTC	11,245	156	0,000*
DCCM	3,936	157	0,000*
DAPM	6,729	157	0,000*
LSCC	4,143	156	0,000*
LSCT	8,674	156	0,000*
LC	4,221	153	0,000*
LCU	3,076	156	0,002*
LT	6,473	154	0,000*
LTR	5,854	62	0,000*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.11. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la segunda costilla.

Variable	Estadístico t de Student	gl	Significación
<i>Lado derecho</i>			
LTC	11,795	196	0,000*
DCCM	7,150	196	0,000*
DAPM	4,986	196	0,000*
LSCC	7,465	196	0,000*
LSCT	7,299	196	0,000*
LC	6,299	196	0,000*
LCU	5,295	196	0,000*
LT	4,935	197	0,000*
<i>Lado izquierdo</i>			
LTC	9,848	189	0,000*
DCCM	6,223	191	0,000*
DAPM	5,837	191	0,000*
LSCC	7,170	189	0,000*
LSCT	7,379	191	0,000*
LC	5,715	188	0,000*
LCU	5,699	191	0,000*
LT	1,948	190	0,053

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.12. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la tercera costilla.

Variable	Estadístico t de Student	gl	Significación
<i>Lado derecho</i>			
LTC	11,503	192	0,000*
DCCM	4,394	193	0,000*
DAPM	7,978	193	0,000*
LSCC	8,406	192	0,000*
LSCT	8,869	193	0,000*
LC	6,832	192	0,000*
LCU	6,597	193	0,000*
LT	5,300	194	0,000*
<i>Lado izquierdo</i>			
LTC	11,329	191	0,000*
DCCM	6,286	191	0,000*

DAPM	6,748	191	0,000*
LSCC	9,290	191	0,000*
LSCT	8,946	191	0,000*
LC	6,976	191	0,000*
LCU	6,931	191	0,000*
LT	4,756	191	0,000*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.13. Resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes para la cuarta costilla.

Variable	Estadístico t de Student	gl	Significación
<i>Lado derecho</i>			
LTC	10,931	176	0,000*
DCCM	6,491	176	0,000*
DAPM	8,168	176	0,000*
LSCC	7,934	176	0,000*
LSCT	8,072	176	0,000*
LC	6,662	175	0,000*
LCU	5,551	176	0,000*
LT	4,145	176	0,000*
<i>Lado izquierdo</i>			
LTC	11,227	171	0,000*
DCCM	8,544	171	0,000*
DAPM	8,172	171	0,000*
LSCC	9,477	171	0,000*
LSCT	9,042	171	0,000*
LC	6,700	171	0,000*
LCU	7,289	171	0,000*
LT	3,137	171	0,002*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Una vez comprobada la existencia de diferencias significativas entre sexos para todas las variables, se procedió al análisis discriminante. Como se ha mencionado previamente, este análisis se realizó utilizando el método de inclusión por pasos, en el que el programa selecciona las variables con mayor potencial discriminante, en lugar de ser forzado a incluir todas las variables, discriminen o no, en una misma ecuación.

Para la construcción de las funciones, se han seleccionado los coeficientes no estandarizados. El punto de corte se ha calculado mediante la media de los centroides de ambos grupos. Se han presentado únicamente aquellas funciones con un porcentaje de acierto igual o superior al 80%. En primer lugar, se presentan las funciones discriminantes obtenidas, y posteriormente el porcentaje de acierto alcanzado, tanto para los datos originales como por medio del método de validación cruzada.

Las tablas 7.14 a 7.21 resumen las funciones discriminantes para cada una de las costillas. Se presentan también los resultados del contraste de las funciones mediante la Lambda de Wilks.

Tabla 7.14. Funciones discriminantes para la primera costilla.

Variables	Coefficientes	Constante	Centroides	Punto de corte
<i>Función 1 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,447		M = 0,996	
LCU	-0,156	-19,102	F = -1,659	-0,3315
LTR	0,077			
<i>Función 2 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,484		M = 0,909	
DAPM	0,210	-14,379	F = -1,260	-0,1755
LSCC	-0,181			
<i>Función 3 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,524		M = 0,881	
LSCC	-0,185	-14,051	F = -1,203	-0,161
<i>Función 4 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,470		M = 0,851	
LCU	-0,119	-14,436	F = -1,179	-0,164
<i>Función 5 (costilla izquierda)</i>				
LTC	0,444		M = 0,909	
DAPM	0,250	-13,467	F = -1,106	-0,0985
LSCC	-0,169			
<i>Función 6 (costilla izquierda)</i>				
LSCT	0,312		M = 0,690	
LT	0,218	-10,851	F = -0,848	-0,079
<i>Función 7 (costilla izquierda)</i>				
LTC	0,414		M = 0,808	
		-14,244	F = -0,990	-0,091

<i>Función 8 (ambas costillas)</i>				
LTC - D	0,355			
DAPM - D	0,256	-14,794	M = 1,017	
LSCC - D	-0,208		F = -1,356	-0,1695
LSCT - I	0,189			
<i>Función 9 (ambas costillas)</i>				
LTC - D	0,220	-15,375	M = 0,878	-0,151
LTC - I	0,225		F = -1,180	

Tabla 7.15. Lambda de Wilks para las funciones de la primera costilla.

Función	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Significación
Función 1	0,370	68,022	3	0,000*
Función 2	0,463	125,821	3	0,000*
Función 3	0,482	120,276	2	0,000*
Función 4	0,496	114,987	2	0,000*
Función 5	0,495	104,989	3	0,000*
Función 6	0,628	71,198	2	0,000*
Función 7	0,552	92,308	1	0,000*
Función 8	0,417	112,935	4	0,000*
Función 9	0,487	95,571	2	0,000*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.16. Funciones discriminantes para la segunda costilla.

Variables	Coefficientes	Constante	Centroides	Punto de corte
<i>Función 1 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,346			
DCCM	0,395	-16,101	M = 0,885	-0,1225
LC	0,217		F = -1,130	
<i>Función 2 (costilla derecha)</i>				
DCCM	0,563			
LC	0,430	-12,154	M = 0,710	-0,098
LCU	0,259		F = -0,906	
<i>Función 3 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,624			
LSCC	-0,096	-14,547	M = 0,781	-0,215
LSCT	-0,155		F = -0,996	

<i>Función 4 (costilla izquierda)</i>				
LTC	0,306		M = 0,780	
DCCM	0,470	-15,139	F = 0,975	-0,0975
DAPM	0,342			
<i>Función 5 (ambas costillas)</i>				
LTC - D	0,310		M = 0,870	
DCCM - D	0,369	-15,796	F = -1,122	-0,126
LC - D	0,198			
DAPM - I	0,215			
<i>Función 6 (ambas costillas)</i>				
LTC - D	0,349	-14,736	M = 0,708	-0,101
LTC - I	0,085		F = -0,910	

Tabla 7.17. Lambda de Wilks para las funciones de la segunda costilla.

Función	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Significación
Función 1	0,497	135,843	3	0,000*
Función 2	0,606	97,389	3	0,000*
Función 3	0,560	112,804	3	0,000*
Función 4	0,565	105,849	3	0,000*
Función 5	0,503	116,764	4	0,000*
Función 6	0,605	86,834	2	0,000*

* El resultado es significativo (p < 0,05)

Tabla 7.18. Funciones discriminantes para la tercera costilla.

Variables	Coefficientes	Constante	Centroides	Punto de corte
<i>Función 1 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,363		M = 0,833	
DAPM	0,532	-14,279	F = -0,982	-0,0745
<i>Función 2 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,391		M = 0,794	
LC	0,228	-14,968	F = -0,937	-0,0715
<i>Función 3 (costilla izquierda)</i>				
LTC	0,338		M = 0,925	
DCCM	0,334	-15,518	F = -1,038	-0,0565
DAPM	0,423			

<i>Función 4 (costilla izquierda)</i>				
DCCM	0,350			
DAPM	0,436			
LSCC	0,156	-12,987	M = 0,819	-0,059
LC	0,225		F = -0,937	
LCU	0,142			
<i>Función 5 (ambas costillas)</i>				
LTC - D	0,179			
LTC - I	0,186	-16,313	M = 0,981	-0,0585
DCCM - I	0,342		F = -1,098	
DAPM - I	0,377			
<i>Función 6 (ambas costillas)</i>				
LTC - D	0,394		M = 0,857	
LC - I	0,249	-15,170	F = -0,959	-0,051

Tabla 7.19. Lambda de Wilks para las funciones de la tercera costilla.

Función	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Significación
Función 1	0,548	115,029	2	0,000*
Función 2	0,571	107,114	2	0,000*
Función 3	0,508	127,110	3	0,000*
Función 4	0,563	108,140	5	0,000*
Función 5	0,479	128,165	4	0,000*
Función 6	0,546	105,911	2	0,000*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.20. Funciones discriminantes para la cuarta costilla.

Variables	Coefficientes	Constante	Centroides	Punto de corte
<i>Función 1 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,316			
DCCM	0,238	-15,584	M = 0,954	-0,07
DAPM	0,632		F = -1,094	
<i>Función 2 (costilla derecha)</i>				
DCCM	0,238			
DAPM	0,777			
LSCC	0,118	-12,748	M = 0,868	-0,057
LC	0,236		F = -0,982	
LCU	0,102			

<i>Función 3 (costilla derecha)</i>				
LTC	0,388		M = 0,839	
LC	0,304	-15,866	F = -0,961	-0,061
<i>Función 4 (costilla izquierda)</i>				
LTC	0,278		M = 0,983	
DCCM	0,373	-14,780	F = -1,226	-0,1215
DAPM	0,442			
<i>Función 5 (costilla izquierda)</i>				
DCCM	0,350			
DAPM	0,536			
LSCC	0,082	-13,053	M = 0,933	-0,115
LC	0,207		F = -1,163	
LCU	0,176			
<i>Función 6 (costilla izquierda)</i>				
LTC	0,194			
LSCT	0,180	-15,008	M = 0,834	-0,1025
LC	0,391		F = -1,039	
<i>Función 7 (ambas costillas)</i>				
LTC - D	0,153			
LTC - I	0,177			
DCCM - I	0,386	-16,471	M = 1,023	-0,1335
DAPM - I	0,411		F = -1,290	

Tabla 7.21. Lambda de Wilks para las funciones de la cuarta costilla.

Función	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Significación
Función 1	0,487	124,261	3	0,000*
Función 2	0,537	107,242	5	0,000*
Función 3	0,551	103,187	2	0,000*
Función 4	0,451	135,083	3	0,000*
Función 5	0,477	124,868	5	0,000*
Función 6	0,533	106,680	3	0,000*
Función 7	0,428	129,072	4	0,000*

* El resultado es significativo (p < 0,05)

Por su parte, en las tablas 7.22 a 7.25, se presentan los valores de acierto de cada una de las funciones, tanto para los datos originales como mediante validación cruzada.

Tabla 7.22. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la primera costilla.

Función		<i>Hombres</i>				<i>Mujeres</i>				Total	Sesgo de sexo
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
Función 1	% Original	41	91,1	4	8,9	28	100	0	0	94,5	-8,9
	Val. Cruzada	41	91,1	4	8,9	27	96,4	1	3,6	93,2	-5,3
Función 2	% Original	85	87,6	12	12,4	64	90,1	7	9,9	88,7	-2,5
	Val. Cruzada	84	86,6	13	13,4	64	90,1	7	9,9	88,1	-3,5
Función 3	% Original	85	87,6	12	12,4	63	88,7	8	11,3	88,1	-1,1
	Val. Cruzada	85	87,6	12	12,4	59	83,1	12	16,9	85,7	4,5
Función 4	% Original	86	88,7	11	11,3	60	84,5	11	15,5	86,9	4,2
	Val. Cruzada	86	88,7	11	11,3	59	83,1	12	16,9	86,3	5,6
Función 5	% Original	74	86,0	12	14,0	58	81,7	13	18,3	84,1	4,3
	Val. Cruzada	73	84,9	13	15,1	58	81,7	13	18,3	83,4	3,6
Función 6	% Original	69	80,2	17	19,8	56	80,0	14	20,0	80,1	0,2
	Val. Cruzada	68	79,8	18	20,2	56	80,0	14	20,0	80,0	-0,2
Función 7	% Original	74	85,1	13	14,9	59	83,1	12	16,9	84,2	2,0
	Val. Cruzada	74	85,1	13	14,9	59	83,1	12	16,9	84,2	2,0
Función 8	% Original	72	92,3	6	7,7	54	93,1	4	6,9	92,6	-0,8
	Val. Cruzada	72	92,3	6	7,7	54	93,1	4	6,9	92,6	-0,8
Función 9	% Original	69	88,5	9	11,5	49	84,5	9	15,5	86,8	-4,0
	Val. Cruzada	68	87,2	10	12,8	48	82,8	10	17,2	85,3	4,4

Tabla 7.23. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la segunda costilla.

Función		Hombres				Mujeres				Total	Sesgo de sexo
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	% Original	91	82,0	20	18,0	75	86,2	12	13,8	83,8	-4,2
	Val. Cruzada	91	82,0	20	18,0	75	86,2	12	13,8	83,8	-4,2
Función 2	% Original	90	81,1	21	18,9	69	79,3	18	20,7	80,3	1,8
	Val. Cruzada	89	80,2	22	19,8	69	79,3	18	20,8	79,8	0,9
Función 3	% Original	90	81,1	21	18,9	74	85,1	13	14,9	82,8	-4,0
	Val. Cruzada	90	81,1	21	18,9	74	85,1	13	14,9	82,8	-4,0
Función 4	% Original	80	77,5	26	23,5	72	84,5	13	15,5	80,0	-7
	Val. Cruzada	80	77,5	26	23,5	72	84,5	13	15,5	80,0	-7
Función 5	% Original	81	81,0	19	19,0	63	81,8	14	18,2	81,4	-0,8
	Val. Cruzada	81	81,0	19	19,0	63	81,8	14	18,2	81,4	-0,8
Función 6	% Original	80	80,8	19	19,2	63	81,8	14	18,2	81,3	-0,8
	Val. Cruzada	78	78,8	21	21,2	63	81,8	14	18,2	80,1	-3

Tabla 7.24. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la tercera costilla.

Función		Hombres				Mujeres				Total	Sesgo de sexo
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	% Original	85	81,0	20	19,0	76	85,4	13	14,6	83,0	-4,4
	Val. Cruzada	85	81,0	20	19,0	76	85,4	13	14,6	83,0	-4,4
Función 2	% Original	83	79,0	22	21,0	73	82,0	16	18,0	80,4	-3,0
	Val. Cruzada	83	79,0	22	21,0	72	80,9	17	19,1	80,0	-1,9
Función 3	% Original	84	81,6	19	18,4	78	86,7	12	13,3	83,9	-5,1
	Val. Cruzada	83	80,6	20	19,4	76	84,4	14	15,6	82,4	-3,8

Función 4	% Original	86	83,5	17	16,5	78	86,7	12	13,3	85,0	-3,2
	Val. Cruzada	85	82,5	18	17,5	76	84,4	14	15,6	83,4	-1,9
Función 5	% Original	80	84,2	15	15,8	76	90,5	8	9,5	87,2	-6,3
	Val. Cruzada	80	84,2	15	15,8	76	90,5	8	9,5	87,2	-6,3
Función 6	% Original	76	80,0	19	20,0	72	85,7	12	14,3	82,7	-5,7
	Val. Cruzada	76	80,0	19	20,0	71	84,5	13	15,5	82,1	-4,5

Tabla 7.25. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para la cuarta costilla.

Función		Hombres				Mujeres				Total	Sesgo de sexo
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
Función 1	% Original	80	84,2	15	15,8	74	89,2	9	10,8	86,5	-5,0
	Val. Cruzada	80	84,2	15	15,8	72	86,7	11	13,3	85,4	-2,5
Función 2	% Original	75	79,8	19	20,2	71	85,5	12	14,5	82,5	-5,7
	Val. Cruzada	75	79,8	19	20,2	71	85,5	12	14,5	82,5	-5,7
Función 3	% Original	78	83,0	16	17,0	69	83,1	14	16,9	83,1	-0,1
	Val. Cruzada	78	83,0	16	17,0	69	83,1	14	16,9	83,1	-0,1
Función 4	% Original	83	86,5	13	13,5	69	89,6	8	10,4	87,9	-3,1
	Val. Cruzada	82	85,4	14	14,6	69	89,6	8	10,4	87,3	-4,2
Función 5	% Original	79	82,3	17	17,7	68	88,3	9	11,7	85,0	-6,0
	Val. Cruzada	78	81,3	18	18,8	67	87,0	10	13,0	83,8	-5,7
Función 6	% Original	78	81,3	18	18,8	65	84,4	12	15,6	82,7	-3,1
	Val. Cruzada	77	80,2	19	19,8	65	84,4	12	15,6	82,1	-4,2
Función 7	% Original	75	86,2	12	13,8	65	94,2	4	5,8	89,7	-8,0
	Val. Cruzada	75	86,2	12	13,8	65	94,2	4	5,8	89,7	-8,0

Como podemos observar, los mejores resultados fueron arrojados por la primera costilla derecha, que permite la estimación del sexo con hasta un

93.2% de acierto. Le sigue la cuarta costilla, cuya función utilizando ambas costillas permite alcanzar un porcentaje de acierto del 89.7%. Los resultados obtenidos por las funciones discriminantes nos permiten señalar que la primera costilla es la más adecuada para la estimación del sexo en población española, seguida por la cuarta costilla, si bien las costillas segunda y tercera también son bastante eficaces en la discriminación sexual, con porcentajes de clasificación correcta iguales o superiores al 80%, e incluso bastante cercanos al 90% en el caso de la tercera costilla.

Para reforzar estos resultados, las funciones fueron testadas en una submuestra procedente del Cementerio de Lucena (Córdoba). Inicialmente, y para poder comprobar la existencia de diferencias significativas entre las medias de ambas colecciones, en primer lugar, fue preciso realizar la prueba de Kolmogórov-Smirnov y el estadístico de Levene, con el objetivo de comprobar si la población de Lucena sigue una distribución normal y existía homocedasticidad u homogeneidad de varianzas. En las tablas 7.26 a 7.29 podemos observar los resultados de ambas pruebas.

Tabla 7.26. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – primera costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	1,017	0,252	0,057	0,813
DCCM	0,591	0,876	0,003	0,954
DAPM	0,561	0,911	0,351	0,556
LSCC	0,487	0,971	1,126	0,293
LSCT	0,689	0,730	3,416	0,070
LC	0,816	0,519	2,681	0,107
LCU	0,715	0,686	0,418	0,520
LT	0,949	0,328	2,142	0,149
LTR	0,758	0,613	0,511	0,478
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,945	0,334	0,505	0,480
DCCM	0,958	0,318	0,808	0,373
DAPM	0,766	0,600	0,342	0,561
LSCC	0,590	0,877	0,121	0,730
LSCT	0,555	0,918	2,725	0,105

LC	0,453	0,987	1,787	0,187
LCU	0,414	0,995	2,363	0,130
LT	0,528	0,944	0,962	0,331
LTR	0,494	0,968	0,039	0,844

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.27. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – segunda costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	0,645	0,800	0,044	0,834
DCCM	0,826	0,502	5,760	0,020*
DAPM	0,700	0,711	1,483	0,229
LSCC	0,731	0,660	0,892	0,349
LSCT	0,444	0,989	0,090	0,766
LC	0,601	0,863	1,012	0,319
LCU	0,488	0,971	3,798	0,056
LT	0,750	0,628	0,926	0,340
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,788	0,564	2,339	0,132
DCCM	0,754	0,621	4,113	0,047*
DAPM	0,754	0,621	0,510	0,478
LSCC	0,749	0,629	0,954	0,333
LSCT	0,473	0,979	2,051	0,158
LC	0,476	0,977	0,237	0,629
LCU	0,658	0,780	0,286	0,595
LT	0,763	0,605	0,300	0,586

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.28. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – tercera costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	0,636	0,813	0,006	0,941
DCCM	0,708	0,698	0,291	0,592
DAPM	1,238	0,093	9,373	0,003*
LSCC	0,522	0,948	0,265	0,609
LSCT	0,425	0,994	0,224	0,638

LC	0,472	0,979	0,050	0,824
LCU	0,510	0,957	2,214	0,143
LT	0,653	0,788	0,006	0,938
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,415	0,995	0,166	0,685
DCCM	0,720	0,677	0,687	0,411
DAPM	0,941	0,339	0,187	0,667
LSCC	0,513	0,955	0,118	0,732
LSCT	0,642	0,804	0,616	0,436
LC	0,556	0,917	0,000	0,991
LCU	0,711	0,692	0,263	0,610
LT	0,906	0,384	2,257	0,139

* El resultado es significativo (p < 0,05)

Tabla 7.29. Resultados de las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la submuestra del Cementerio de Lucena – cuarta costilla.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
<i>Lado derecho</i>				
LTC	0,596	0,869	1,274	0,264
DCCM	0,801	0,542	0,535	0,468
DAPM	0,701	0,710	0,054	0,817
LSCC	0,634	0,817	5,309	0,025*
LSCT	0,691	0,727	2,395	0,128
LC	0,472	0,979	0,291	0,592
LCU	0,700	0,712	1,634	0,207
LT	0,582	0,887	0,000	0,989
<i>Lado izquierdo</i>				
LTC	0,669	0,762	0,686	0,411
DCCM	0,689	0,730	2,724	0,105
DAPM	0,892	0,404	0,112	0,739
LSCC	0,738	0,647	0,069	0,793
LSCT	0,688	0,731	0,000	0,998
LC	0,635	0,815	2,171	0,147
LCU	0,478	0,976	0,027	0,871
LT	1,103	0,175	6,695	0,012*

* El resultado es significativo (p < 0,05)

Una vez comprobada la homogeneidad y la homocedasticidad de la población objeto de comparación, y pudiendo afirmar que esta sigue una

distribución normal, se calculó el estadístico t de Student para muestras independientes, para comprobar si existen diferencias significativas entre las medias de ambas colecciones, separando los resultados por sexo. Los resultados se presentan en las tablas 7.30 a 7.37.

Tabla 7.30. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Primera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	97	36,69	2,2192	-0,668	0,505
	Lucena	29	36,99	1,8196		
DCCM	San José	97	4,60	0,7833	-1,588	0,115
	Lucena	29	4,85	0,6162		
DAPM	San José	97	8,26	1,4606	-0,138	0,891
	Lucena	29	8,30	1,1325		
LSCC	San José	97	23,25	2,4432	-0,347	0,729
	Lucena	29	23,42	1,8806		
LSCT	San José	97	28,43	2,5714	1,030	0,305
	Lucena	29	27,91	1,7619		
LC	San José	97	9,45	1,7854	-2,244	0,027*
	Lucena	29	10,30	1,7621		
LCU	San José	97	16,44	2,5740	0,695	0,489
	Lucena	29	16,08	2,1152		
LT	San José	97	11,63	2,3657	-0,817	0,416
	Lucena	29	12,02	1,9322		
LTR	San José	45	82,47	5,2179	-1,841	0,070
	Lucena	29	84,87	5,8616		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	71	32,11	2,5075	1,274	0,206
	Lucena	30	31,45	1,9669		
DCCM	San José	71	4,25	0,6598	0,213	0,831
	Lucena	30	4,22	0,5524		
DAPM	San José	71	7,06	1,0442	2,778	0,007*
	Lucena	30	6,43	1,0192		
LSCC	San José	71	21,54	2,4965	1,581	0,117
	Lucena	30	20,68	2,5415		
LSCT	San José	71	24,99	2,5798	2,055	0,042*
	Lucena	30	23,86	2,4366		
LC	San José	70	8,56	1,4892	-0,729	0,468
	Lucena	30	8,79	1,4325		
LCU	San José	71	15,40	2,5124	3,400	0,001*
	Lucena	30	13,60	2,2159		
LT	San José	71	9,30	1,8440	-1,040	0,301
	Lucena	30	9,67	1,1307		

LTR	San José	28	74,66	5,4575	-1,663	0,102
	Lucena	30	77,11	5,7378		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.31. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Primera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	87	36,31	2,4042	-0,759	0,449
	Lucena	27	36,69	1,6816		
DCCM	San José	87	4,59	0,7722	-0,419	0,676
	Lucena	27	4,66	0,6907		
DAPM	San José	87	8,59	1,4856	-0,425	0,672
	Lucena	27	8,73	1,1131		
LSCC	San José	86	22,94	2,5098	0,530	0,597
	Lucena	27	22,66	1,9115		
LSCT	San José	87	28,56	2,6065	1,425	0,157
	Lucena	27	27,77	2,0863		
LC	San José	85	9,63	1,7519	-2,935	0,004*
	Lucena	27	10,78	1,8243		
LCU	San José	87	16,26	2,6679	1,996	0,048*
	Lucena	27	15,17	1,7683		
LT	San José	86	12,09	2,2815	-1,187	0,238
	Lucena	27	12,66	1,8341		
LTR	San José	36	82,15	5,2364	-0,923	0,360
	Lucena	27	83,42	5,6323		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	71	31,98	2,4229	0,728	0,468
	Lucena	29	31,61	1,8703		
DCCM	San José	72	4,13	0,6858	0,444	0,658
	Lucena	29	4,07	0,5595		
DAPM	San José	72	7,17	1,1030	1,849	0,067
	Lucena	29	6,72	1,1585		
LSCC	San José	72	21,43	1,9687	1,330	0,187
	Lucena	29	20,83	2,2364		
LSCT	San José	71	25,17	2,2169	1,820	0,072
	Lucena	29	24,22	2,7577		
LC	San José	70	8,55	1,3569	-1,734	0,086
	Lucena	29	9,07	1,3525		
LCU	San José	71	15,11	1,8859	1,859	0,066
	Lucena	29	14,24	2,5826		
LT	San José	70	9,85	1,9772	0,073	0,942
	Lucena	29	9,82	1,3704		
LTR	San José	28	74,32	5,3938	-1,854	0,069
	Lucena	29	76,96	5,3602		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.32. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Segunda costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	111	35,61	2,4134	0,379	0,705
	Lucena	28	35,42	2,0050		
DCCM	San José	111	6,42	1,0376	-3,854	0,000*
	Lucena	28	7,31	1,3371		
DAPM	San José	111	6,01	1,1331	-	0,849
	Lucena	28	6,06	1,2258		
LSCC	San José	111	26,10	2,5750	2,000	0,047*
	Lucena	28	25,04	2,1263		
LSCT	San José	111	28,36	2,7426	0,521	0,603
	Lucena	28	28,08	1,9942		
LC	San José	111	9,84	1,4445	-2,182	0,031
	Lucena	28	10,50	1,4174		
LCU	San José	111	19,45	2,7776	1,451	0,149
	Lucena	28	18,65	1,7173		
LT	San José	112	8,81	1,4999	-3,005	0,003*
	Lucena	28	9,74	1,3683		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	87	31,70	2,1812	-0,130	0,897
	Lucena	29	31,76	1,8535		
DCCM	San José	87	5,42	0,8714	-1,616	0,109
	Lucena	29	5,72	0,8064		
DAPM	San José	87	5,22	1,0797	0,980	0,329
	Lucena	29	5,00	0,9807		
LSCC	San José	87	23,57	2,0604	1,784	0,077
	Lucena	29	22,79	2,0262		
LSCT	San José	87	25,65	2,3967	0,186	0,853
	Lucena	29	25,56	2,2762		
LC	San José	87	8,59	1,3095	0,468	0,640
	Lucena	29	8,46	1,0887		
LCU	San José	87	17,43	2,4933	1,126	0,263
	Lucena	29	16,82	2,5777		
LT	San José	87	7,88	1,0217	-1,518	0,132
	Lucena	29	8,22	1,1556		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.33. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Segunda costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	106	35,37	2,5761	0,340	0,735
	Lucena	27	35,19	1,7424		
DCCM	San José	108	6,41	0,9454	-2,818	0,006*
	Lucena	27	7,01	1,1532		
DAPM	San José	108	6,12	1,2280	0,854	0,395
	Lucena	27	5,89	1,2341		
LSCC	San José	106	26,33	2,5526	2,058	0,042*
	Lucena	27	25,26	1,8490		
LSCT	San José	108	28,72	2,5479	1,983	0,049*
	Lucena	27	27,69	1,7392		
LC	San José	105	9,55	1,2790	-3,188	0,002*
	Lucena	27	10,47	1,5377		
LCU	San José	108	19,86	2,5424	2,917	0,004*
	Lucena	27	18,33	1,9527		
LT	San José	108	8,72	2,5720	-1,313	0,191
	Lucena	27	9,38	1,0792		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	85	31,94	2,1372	0,140	0,889
	Lucena	30	31,88	2,3840		
DCCM	San José	85	5,55	0,9637	-0,677	0,500
	Lucena	30	5,68	0,6917		
DAPM	San José	85	5,17	0,9581	1,015	0,312
	Lucena	30	4,96	1,0705		
LSCC	San José	85	23,83	2,1788	1,671	0,098
	Lucena	30	23,05	2,3341		
LSCT	San José	85	26,15	2,1898	1,787	0,077
	Lucena	30	25,28	2,5931		
LC	San José	85	8,49	1,2563	0,040	0,968
	Lucena	30	8,48	1,2041		
LCU	San José	85	17,87	2,2457	1,969	0,051
	Lucena	30	16,96	1,9310		
LT	San José	84	8,00	2,4753	-0,439	0,661
	Lucena	30	8,20	0,9964		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.34. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Tercera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	105	34,71	2,4125	0,663	0,509
	Lucena	28	34,38	2,1903		
DCCM	San José	105	7,77	1,2131	-2,789	0,006*
	Lucena	28	8,50	1,2702		
DAPM	San José	105	4,72	0,8092	-0,323	0,748
	Lucena	28	4,78	0,7001		
LSCC	San José	105	25,40	2,3132	2,153	0,033*
	Lucena	28	24,37	1,9106		
LSCT	San José	105	28,07	2,4398	0,615	0,540
	Lucena	28	27,75	2,1643		
LC	San José	105	9,61	1,2512	-0,976	0,331
	Lucena	28	9,87	1,2389		
LCU	San José	105	19,12	2,2577	1,450	0,149
	Lucena	28	18,47	1,5202		
LT	San José	106	8,76	1,2781	-2,506	0,013*
	Lucena	28	9,43	1,1237		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	89	31,05	1,9437	0,233	0,816
	Lucena	28	30,95	2,0626		
DCCM	San José	90	6,99	1,2880	-0,461	0,646
	Lucena	28	7,11	1,1400		
DAPM	San José	90	3,81	0,7713	-0,168	0,867
	Lucena	28	3,84	0,4725		
LSCC	San José	89	22,88	1,7670	1,509	0,134
	Lucena	28	22,29	1,8278		
LSCT	San José	90	25,16	2,0838	0,248	0,805
	Lucena	28	25,05	2,0516		
LC	San José	89	8,30	1,4254	-1,329	0,187
	Lucena	28	8,71	1,4435		
LCU	San José	90	17,13	1,9114	1,226	0,223
	Lucena	28	16,62	1,9777		
LT	San José	90	7,83	1,1651	-0,877	0,382
	Lucena	28	8,05	1,1100		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.35. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Tercera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	103	34,37	2,5124	0,551	0,583
	Lucena	27	34,08	2,2134		
DCCM	San José	103	8,42	1,3300	-0,581	0,563
	Lucena	27	8,59	1,0723		
DAPM	San José	103	4,73	0,8949	-0,341	0,734
	Lucena	27	4,79	0,6429		
LSCC	San José	103	25,36	2,2693	1,688	0,094
	Lucena	27	24,54	2,0805		
LSCT	San José	103	28,20	2,4826	1,651	0,101
	Lucena	27	27,32	2,3109		
LC	San José	103	9,31	1,2011	-2,553	0,012*
	Lucena	27	9,97	1,2047		
LCU	San José	103	19,37	2,3018	2,291	0,024*
	Lucena	27	18,23	2,2386		
LT	San José	102	8,68	1,4252	-0,975	0,331
	Lucena	27	8,96	0,9398		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	90	30,71	1,8833	-0,791	0,431
	Lucena	28	31,05	2,2942		
DCCM	San José	90	7,29	1,1443	1,657	0,100
	Lucena	28	6,90	0,9226		
DAPM	San José	90	3,93	0,7137	1,482	0,141
	Lucena	28	3,71	0,6605		
LSCC	San José	90	22,58	1,8242	1,195	0,234
	Lucena	28	22,09	2,0532		
LSCT	San José	90	25,35	1,8337	0,652	0,516
	Lucena	28	25,09	2,0339		
LC	San José	90	8,10	1,2118	-0,833	0,407
	Lucena	28	8,31	1,1046		
LCU	San José	90	17,20	1,9908	1,863	0,065
	Lucena	28	16,39	2,0833		
LT	San José	90	7,78	1,1499	-0,982	0,328
	Lucena	28	8,03	1,1623		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.36. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Cuarta costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	95	35,10	2,3037	0,758	0,450
	Lucena	27	34,73	1,9623		
DCCM	San José	95	9,69	1,4259	-1,884	0,062
	Lucena	27	10,28	1,4418		
DAPM	San José	95	4,97	0,7835	-0,857	0,393
	Lucena	27	5,11	0,5771		
LSCC	San José	95	25,89	2,3861	1,909	0,059
	Lucena	27	24,97	1,5163		
LSCT	San José	94	28,29	2,6191	0,829	0,409
	Lucena	27	27,84	1,9461		
LC	San José	94	10,14	1,2149	-2,302	0,023*
	Lucena	27	10,76	1,2882		
LCU	San José	94	19,42	2,5743	1,503	0,136
	Lucena	27	18,63	1,5945		
LT	San José	95	8,65	1,4935	-1,513	0,133
	Lucena	27	9,13	1,1779		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	83	31,51	2,0400	0,142	0,888
	Lucena	27	31,44	2,3324		
DCCM	San José	83	8,36	1,2896	-0,157	0,876
	Lucena	27	8,40	1,1127		
DAPM	San José	83	4,06	0,6845	0,064	0,949
	Lucena	27	4,05	0,6309		
LSCC	San José	83	23,21	2,0844	1,133	0,260
	Lucena	27	22,69	2,1247		
LSCT	San José	84	25,37	2,1613	-0,184	0,854
	Lucena	27	25,46	2,3796		
LC	San José	83	8,88	1,2922	-1,109	0,270
	Lucena	27	9,20	1,1973		
LCU	San José	84	17,40	2,2443	0,652	0,516
	Lucena	27	17,08	2,0558		
LT	San José	83	7,84	1,0630	-0,878	0,382
	Lucena	27	8,05	1,2217		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.37. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección de Lucena. Cuarta costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	96	35,08	2,7334	0,157	0,876
	Lucena	26	34,99	2,3067		
DCCM	San José	96	10,12	1,3368	-0,455	0,650
	Lucena	26	10,26	1,5847		
DAPM	San José	96	5,04	0,9639	-0,945	0,346
	Lucena	26	5,23	0,6548		
LSCC	San José	96	26,20	2,4771	1,653	0,101
	Lucena	26	25,32	2,1892		
LSCT	San José	96	28,85	2,6779	1,479	0,142
	Lucena	26	28,02	1,9073		
LC	San José	96	9,86	1,2050	-4,092	0,000*
	Lucena	26	10,89	0,8335		
LCU	San José	96	20,08	2,5134	3,125	0,003*
	Lucena	26	18,72	1,7824		
LT	San José	96	8,39	1,7211	-2,182	0,035*
	Lucena	26	9,16	1,5670		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	77	30,97	1,8828	0,326	0,745
	Lucena	29	30,83	1,9857		
DCCM	San José	77	8,48	1,1383	0,784	0,435
	Lucena	29	8,29	1,0581		
DAPM	San José	77	4,02	0,5999	-0,985	0,327
	Lucena	29	4,15	0,6451		
LSCC	San José	77	22,93	1,9432	1,655	0,101
	Lucena	29	22,21	2,0977		
LSCT	San José	77	25,58	1,9050	1,740	0,085
	Lucena	29	24,86	1,8273		
LC	San José	77	8,61	1,2323	-1,613	0,110
	Lucena	29	9,03	1,1200		
LCU	San José	77	17,56	1,8979	2,255	0,023*
	Lucena	29	16,64	1,7412		
LT	San José	77	7,69	0,9960	0,308	0,759
	Lucena	29	7,63	0,8713		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Como podemos comprobar a la luz de los resultados obtenidos, son pocas las variables que ofrecen diferencias significativas entre ambas colecciones, si bien son algo mayores en número las diferencias significativas en hombres que en mujeres. Mientras que las diferencias significativas que afectan a las mujeres se localizan mayoritariamente en la primera costilla, y en una variable de la cuarta costilla izquierda, podemos encontrar diferencias significativas en casi todas las costillas en el caso de los hombres. Con todo, estas diferencias se focalizan en variables que poco o nada influyen en el análisis discriminante, si bien en los casos en que se hallen en variables que sí entran en juego en el análisis discriminante, indican un mayor tamaño de las dimensiones costales en los varones y un menor tamaño en las dimensiones costales de las mujeres de Lucena, por lo que podrían darse mejores resultados en la aplicación de las funciones en esta segunda colección.

Así, una vez comprobadas las posibles diferencias entre las medias de ambas colecciones, se procedió a aplicar las funciones obtenidas a la submuestra de la colección de Lucena. Las tablas 7.38 a 7.41 sintetizan los resultados de la aplicación de las funciones discriminantes en la colección de Lucena.

Tabla 7.38. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Primera costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección de Lucena	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	93,2	28	96,6	1	3,4	28	93,3	2	6,7	94,9	1,7
Función 2	88,1	27	93,1	2	6,9	29	96,7	1	3,3	94,9	6,8
Función 3	85,7	27	93,1	2	6,9	28	93,3	2	6,7	93,2	7,5
Función 4	86,3	27	93,1	2	6,9	28	93,3	2	6,7	93,2	6,9
Función 5	83,4	27	100	0	0	27	93,1	2	6,9	96,4	13,0
Función 6	80,0	22	81,5	5	18,5	26	89,7	3	10,3	85,7	5,7
Función 7	84,2	24	88,9	3	11,1	27	93,1	2	6,9	91,1	6,9
Función 8	92,6	24	88,9	3	11,1	27	93,1	2	6,9	91,1	-1,5
Función 9	85,3	25	92,6	2	7,4	27	93,1	2	6,9	92,9	7,6

Tabla 7.39. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Segunda costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección de Lucena	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	83,8	26	92,6	2	7,4	27	93,1	2	6,9	93,0	9,2
Función 2	80,3	26	92,6	2	7,4	24	82,8	5	17,2	87,7	7,4
Función 3	82,8	26	92,6	2	7,4	24	82,8	5	17,2	87,7	4,9
Función 4	80,1	25	92,6	2	7,4	26	86,7	4	13,3	89,5	9,4
Función 5	81,4	25	92,6	2	7,4	27	93,1	2	6,9	92,9	11,5
Función 6	80,1	20	74,1	7	25,9	23	79,3	6	20,7	76,8	-3,3

Tabla 7.40. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Tercera costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección de Lucena	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	83,0	20	71,4	8	28,6	24	85,7	4	14,3	78,6	-4,4
Función 2	80,0	22	78,6	6	21,4	21	75,0	7	25,0	76,9	-3,1
Función 3	82,4	20	74,1	7	25,9	24	85,7	4	14,3	80,0	-2,4
Función 4	83,4	20	74,1	7	25,9	26	92,6	2	7,4	83,6	0,2
Función 5	87,2	21	80,8	5	19,2	23	85,2	4	14,8	83,4	-3,8
Función 6	82,1	21	80,8	5	19,2	21	77,8	6	22,2	79,3	-2,8

Tabla 7.41. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección de Lucena. Cuarta costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección de Lucena	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	85,4	25	92,6	2	7,4	23	85,2	4	14,8	88,9	3,5

Función 2	82,5	24	88,9	3	11,1	24	88,9	3	11,2	88,9	6,4
Función 3	83,1	22	81,5	5	18,5	21	77,8	6	22,2	79,7	-3,4
Función 4	87,3	21	80,8	5	19,2	26	89,7	3	10,3	85,5	-1,8
Función 5	83,8	20	77	6	23,0	25	86,2	4	13,8	81,8	-2,0
Función 6	82,1	24	92,3	2	7,7	25	86,2	4	13,8	89,1	7,0
Función 7	89,7	20	83,3	4	16,7	22	84,6	4	15,4	84,0	-5,7

Los resultados obtenidos validan la utilidad de las funciones discriminantes presentadas para la estimación del sexo en población española. Asimismo, los resultados presentados sobre las diferencias significativas entre ambas poblaciones reafirman lo anteriormente expuesto, pues, salvo en el caso de la tercera costilla, cuya eficacia ha descendido en la colección de Lucena con respecto a la de San José, en el resto de casos las funciones discriminantes han clasificado correctamente un mayor número de casos a nivel porcentual, comprobándose un aumento del porcentaje de clasificación correcta con respecto a la población original.

7.2. Validación de funciones discriminantes en población portuguesa

Las funciones discriminantes obtenidas en la colección de San José fueron testadas en dos colecciones portuguesas con el propósito de comprobar su utilidad en otra población ibérica. En este aspecto, inicialmente se realizaron pruebas estadísticas para comparar los resultados métricos de las diferentes poblaciones objeto de estudio. Por ello, los pasos seguidos fueron los mismos que en las dos colecciones anteriores.

En primer lugar, se realizaron las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en la colección CISC y en la colección CEI/XXI, con el propósito de comprobar si ambas siguen también una distribución normal. En este sentido, las tablas 7.42 a 7.45 exponen los resultados de los estadísticos de Kolmogórov-Smirnov y de Levene en las dos colecciones.

Tabla 7.42. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la primera costilla de ambas poblaciones portuguesas.

Colección CISC								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0.787	0.566	0,372	0,543	0.672	0.756	0,000	0,984
DCCM	1.703	0.006*	3,587	0,060	1.512	0.021*	3,990	0,048*
DAPM	0.599	0.866	0,210	0,648	0.666	0.767	1,831	0,178
LSCC	0.708	0.698	0,097	0,756	1.069	0.203	0,005	0,941
LSCT	0.849	0.467	0,528	0,469	0.633	0.818	0,286	0,594
LC	0.863	0.445	4,699	0,032*	0.805	0.535	9,098	0,003*
LCU	0.594	0.872	0,044	0,834	0.944	0.335	0,051	0,822
LT	0.705	0.704	0,686	0,409	0.794	0.554	2,281	0,133
LTR	0.417	0.995	0,341	0,560	0.500	0.964	2,281	0,133

Colección CEI/XXI								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0.442	0.990	0,753	0,388	0,610	0.851	0,210	0,648
DCCM	1,254	0.086	1,863	0,175	0,904	0.387	1,700	0,195
DAPM	0,832	0.493	5,987	0,016*	0,610	0.851	0,334	0,564
LSCC	0,616	0.842	0,415	0,521	0,510	0.957	0,014	0,907
LSCT	1,013	0.257	0,487	0,487	0,956	0.320	0,354	0,553
LC	0,839	0.482	5,157	0,025*	0,476	0.977	6,332	0,013*
LCU	0,629	0.824	0,804	0,372	0,465	0.982	0,000	0,997
LT	0,419	0.995	0,084	0,773	0,563	0.909	0,682	0,411
LTR	0,414	0.995	0,451	0,503	0,425	0.994	0,296	0,588

* El resultado es significativo (p < 0,05)

Tabla 7.43. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la segunda costilla de ambas poblaciones portuguesas.

Colección CISC								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0.556	0.916	0,142	0,707	0.679	0.746	2,410	0,123
DCCM	1.017	0.253	8,782	0,004*	0.816	0.519	0,844	0,360
DAPM	1.176	0.126	1,537	0,217	0.803	0.540	0,077	0,782

LSCC	0.847	0.470	1,027	0,312	0.542	0.930	0,900	0,344
LSCT	0.424	0.994	0,250	0,617	0.620	0.836	2,774	0,098
LC	0.694	0.721	0,802	0,372	0.924	0.361	4,143	0,044*
LCU	1.065	0.206	1,328	0,251	0.559	0.914	1,702	0,194
LT	0.732	0.658	1,096	0,297	1.152	0.140	0,656	0,419
Colección CEI/XXI								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0,692	0,725	0,196	0,659	0,562	0,910	0,019	0,891
DCCM	0,721	0,676	0,190	0,664	0,658	0,780	0,060	0,806
DAPM	0,878	0,424	4,302	0,040*	0,863	0,446	0,567	0,453
LSCC	0,661	0,775	0,303	0,583	0,455	0,986	0,147	0,702
LSCT	0,681	0,742	0,002	0,963	0,489	0,971	0,015	0,904
LC	0,750	0,626	1,416	0,237	0,764	0,604	1,483	0,225
LCU	0,599	0,866	1,287	0,259	0,569	0,903	0,951	0,331
LT	0,845	0,472	0,621	0,433	0,688	0,730	0,015	0,902

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.44. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la tercera costilla de ambas poblaciones portuguesas.

Colección CISC								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0.601	0.863	0,503	0,479	0.610	0.851	0,243	0,623
DCCM	0.973	0.300	4,502	0,035*	0.585	0.883	0,106	0,745
DAPM	0.842	0.478	2,024	0,157	0.671	0.758	0,085	0,771
LSCC	0.552	0.921	0,114	0,736	0.675	0.752	1,627	0,204
LSCT	0.510	0.957	0,019	0,890	0.698	0.715	2,226	0,138
LC	1.100	0.178	2,419	0,122	1.090	0.186	2,376	0,125
LCU	0.875	0.428	0,609	0,437	0.693	0.722	0,512	0,475
LT	0.691	0.727	4,014	0,047	1.111	0.169	11,197	0,001*
Colección CEI/XXI								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0,699	0,713	0,592	0,443	0,488	0,971	0,440	0,509
DCCM	0,614	0,845	0,094	0,759	0,800	0,545	5,957	0,016*

DAPM	0,928	0,356	6,521	0,012*	1,018	0,251	7,245	0,008*
LSCC	0,934	0,347	0,732	0,394	0,599	0,865	2,551	0,113
LSCT	0,838	0,484	2,316	0,131	0,718	0,681	1,300	0,256
LC	0,608	0,854	1,896	0,172	0,734	0,655	5,012	0,027*
LCU	0,519	0,950	0,825	0,366	0,486	0,972	0,096	0,757
LT	1,017	0,252	4,937	0,029*	0,413	0,996	0,398	0,530

* El resultado es significativo (p < 0,05)

Tabla 7.45. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para la cuarta costilla de ambas poblaciones portuguesas.

Colección CISC								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0.685	0.737	0,008	0,928	0.725	0.670	0,009	0,923
DCCM	0.924	0.361	0,245	0,621	0.753	0.622	2,683	0,103
DAPM	0.943	0.336	0,035	0,852	1.111	0.169	0,634	0,427
LSCC	0.487	0.971	0,293	0,589	0.579	0.891	0,069	0,794
LSCT	0.651	0.791	1,017	0,315	0.678	0.748	0,018	0,893
LC	0.847	0.470	3,961	0,048*	0.836	0.486	4,076	0,045*
LCU	0.425	0.994	1,177	0,280	0.684	0.738	0,033	0,855
LT	1.082	0.192	9,960	0,002*	0.653	0.788	1,773	0,185

Colección CEI/XXI								
Variable	Lado derecho				Lado izquierdo			
	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.	Z de Kolmogórov-Smirnov	Sign.	Estadístico de Levene	Sign.
LTC	0,646	0,797	0,302	0,584	0,731	0,659	0,019	0,891
DCCM	0,857	0,455	5,021	0,027*	0,778	0,581	2,442	0,121
DAPM	0,896	0,398	2,438	0,122	1,098	0,179	2,525	0,115
LSCC	0,610	0,851	1,289	0,259	0,559	0,914	0,306	0,581
LSCT	0,498	0,965	0,011	0,915	0,774	0,586	2,616	0,109
LC	0,869	0,436	0,828	0,365	0,650	0,791	0,088	0,768
LCU	0,607	0,854	0,148	0,702	0,611	0,849	0,649	0,422
LT	0,718	0,681	1,601	0,209	0,806	0,534	2,810	0,096

* El resultado es significativo (p < 0,05)

Una vez comprobado que ambas colecciones portuguesas siguen, al igual que la colección de San José, una distribución normal, se realizó la prueba t de Student para muestras independientes entre las colecciones

portuguesas y la colección española con la que se crearon las funciones discriminantes. A continuación, se presentan los resultados de la comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC en las tablas 7.46 a 7.53.

Tabla 7.46. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Primera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	97	36,69	2,2192	6,297	0,000*
	CISC	68	34,64	1,8055		
DCCM	San José	97	4,60	0,7833	-0,798	0,426
	CISC	68	4,73	1,2743		
DAPM	San José	97	8,26	1,4606	0,794	0,429
	CISC	68	8,09	1,1577		
LSCC	San José	97	23,25	2,4432	-0,161	0,873
	CISC	68	23,31	2,1723		
LSCT	San José	97	28,43	2,5714	1,241	0,216
	CISC	68	27,97	1,9865		
LC	San José	97	9,45	1,7854	0,773	0,441
	CISC	68	9,26	1,3642		
LCU	San José	97	16,44	2,5740	-1,083	0,281
	CISC	68	16,86	2,2915		
LT	San José	97	11,63	2,3657	3,369	0,001*
	CISC	68	10,52	1,5953		
LTR	San José	45	82,47	5,2179	2,391	0,019*
	CISC	66	80,03	5,3178		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	71	32,11	2,5075	4,200	0,000*
	CISC	77	30,53	2,0694		
DCCM	San José	71	4,25	0,6598	2,099	0,038*
	CISC	77	4,03	0,6044		
DAPM	San José	71	7,06	1,0442	1,753	0,082
	CISC	77	6,76	1,0158		
LSCC	San José	71	21,54	2,4965	0,297	0,767
	CISC	77	21,42	2,3719		
LSCT	San José	71	24,99	2,5798	2,663	0,009*
	CISC	77	23,94	2,2508		
LC	San José	70	8,56	1,4892	2,331	0,021*
	CISC	77	8,05	1,1202		
LCU	San José	71	15,40	2,5124	0,415	0,679
	CISC	77	15,23	2,5068		
LT	San José	71	9,30	1,8440	4,834	0,000*
	CISC	77	7,97	1,4745		

LTR	San José	28	74,66	5,4575	-0,579	0,564
	CISC	73	75,33	5,0771		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.47. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Primera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	87	36,31	2,4042	4,816	0,000*
	CISC	67	34,51	2,1746		
DCCM	San José	87	4,59	0,7722	-0,290	0,772
	CISC	67	4,63	1,0729		
DAPM	San José	87	8,59	1,4856	0,457	0,648
	CISC	67	8,49	1,1469		
LSCC	San José	86	22,94	2,5098	0,072	0,943
	CISC	67	22,91	2,3397		
LSCT	San José	87	28,56	2,6065	1,982	0,049*
	CISC	67	27,78	2,1538		
LC	San José	85	9,63	1,7519	1,394	0,165
	CISC	67	9,27	1,3717		
LCU	San José	87	16,26	2,6679	-0,564	0,573
	CISC	67	16,50	2,3144		
LT	San José	86	12,09	2,2815	3,634	0,000*
	CISC	67	10,84	1,8829		
LTR	San José	36	82,15	5,2364	1,184	0,239
	CISC	65	80,78	5,6955		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	71	31,98	2,4229	4,002	0,000*
	CISC	82	30,46	2,2538		
DCCM	San José	72	4,13	0,6858	1,499	0,136
	CISC	82	3,98	0,5857		
DAPM	San José	72	7,17	1,1030	0,946	0,345
	CISC	82	7,02	0,8983		
LSCC	San José	72	21,43	1,9687	1,271	0,206
	CISC	82	20,97	2,4981		
LSCT	San José	71	25,17	2,2169	3,912	0,000*
	CISC	82	23,71	2,3735		
LC	San José	70	8,55	1,3569	2,002	0,047*
	CISC	82	8,18	0,9366		
LCU	San José	71	15,11	1,8859	1,090	0,277
	CISC	82	14,72	2,4746		
LT	San José	70	9,85	1,9772	5,335	0,000*
	CISC	82	8,31	1,5690		
LTR	San José	28	74,32	5,3938	-0,885	0,378
	CISC	79	75,27	4,6464		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.48. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Segunda costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	111	35,61	2,4134	2,601	0,010*
	CISC	74	34,68	2,3148		
DCCM	San José	111	6,42	1,0376	0,812	0,418
	CISC	74	6,29	1,0574		
DAPM	San José	111	6,01	1,1331	0,592	0,554
	CISC	74	5,91	1,1516		
LSCC	San José	111	26,10	2,5750	0,544	0,587
	CISC	74	25,90	2,1542		
LSCT	San José	111	28,36	2,7426	1,079	0,282
	CISC	74	27,94	2,4367		
LC	San José	111	9,84	1,4445	0,222	0,825
	CISC	74	9,79	1,1198		
LCU	San José	111	19,45	2,7776	0,256	0,799
	CISC	74	19,35	2,2579		
LT	San José	112	8,81	1,4999	2,887	0,004*
	CISC	74	8,20	1,2287		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	87	31,70	2,1812	0,854	0,395
	CISC	81	31,40	2,2454		
DCCM	San José	87	5,42	0,8714	0,512	0,609
	CISC	81	5,36	0,7607		
DAPM	San José	87	5,22	1,0797	2,356	0,020*
	CISC	81	4,84	1,0206		
LSCC	San José	87	23,57	2,0604	1,301	0,195
	CISC	81	23,13	2,3141		
LSCT	San José	87	25,65	2,3967	1,345	0,180
	CISC	81	25,16	2,2819		
LC	San José	87	8,59	1,3095	1,105	0,271
	CISC	81	8,39	1,0024		
LCU	San José	87	17,43	2,4933	0,655	0,513
	CISC	81	17,18	2,4399		
LT	San José	87	7,88	1,0217	2,676	0,008*
	CISC	81	7,44	1,1085		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.49. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Segunda costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	106	35,37	2,5761	2,057	0,041*
	CISC	71	34,60	2,2427		
DCCM	San José	108	6,41	0,9454	-0,627	0,532
	CISC	71	6,49	0,8488		
DAPM	San José	108	6,12	1,2280	1,268	0,206
	CISC	71	5,90	1,0176		
LSCC	San José	106	26,33	2,5526	1,281	0,202
	CISC	71	25,86	2,2219		
LSCT	San José	108	28,72	2,5479	2,549	0,012*
	CISC	71	27,77	2,2326		
LC	San José	105	9,55	1,2790	-1,596	0,112
	CISC	71	9,85	1,1432		
LCU	San José	108	19,86	2,5424	1,541	0,125
	CISC	71	19,29	2,2184		
LT	San José	108	8,72	2,5720	1,512	0,132
	CISC	71	8,22	1,2452		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	85	31,94	2,1372	2,089	0,038*
	CISC	83	31,26	2,0779		
DCCM	San José	85	5,55	0,9637	0,423	0,673
	CISC	83	5,48	0,9566		
DAPM	San José	85	5,17	0,9581	2,516	0,013*
	CISC	83	4,78	1,0487		
LSCC	San José	85	23,83	2,1788	2,516	0,033*
	CISC	83	23,14	1,9805		
LSCT	San José	85	26,15	2,1898	3,034	0,003*
	CISC	83	25,16	2,0308		
LC	San José	85	8,49	1,2563	1,934	0,055
	CISC	83	8,16	0,9298		
LCU	San José	85	17,87	2,2457	2,515	0,013*
	CISC	83	17,06	1,8932		
LT	San José	84	8,00	2,4753	2,188	0,030
	CISC	83	7,35	1,1060		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.50. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Tercera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	105	34,71	2,4125	1,844	0,067
	CISC	75	34,09	1,9715		
DCCM	San José	105	7,77	1,2131	-2,470	0,014*
	CISC	75	8,26	1,3966		
DAPM	San José	105	4,72	0,8092	1,176	0,241
	CISC	75	4,57	0,9269		
LSCC	San José	105	25,40	2,3132	2,071	0,040*
	CISC	75	24,69	2,1699		
LSCT	San José	105	28,07	2,4398	0,505	0,614
	CISC	75	27,89	2,0266		
LC	San José	105	9,61	1,2512	-0,328	0,743
	CISC	75	9,67	1,2559		
LCU	San José	105	19,12	2,2577	1,017	0,311
	CISC	75	18,77	2,3511		
LT	San José	106	8,76	1,2781	-0,197	0,844
	CISC	75	8,80	1,2948		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	89	31,05	1,9437	1,133	0,259
	CISC	83	30,70	2,0446		
DCCM	San José	90	6,99	1,2880	0,156	0,877
	CISC	83	6,96	1,0285		
DAPM	San José	90	3,81	0,7713	3,391	0,001*
	CISC	83	3,43	0,6946		
LSCC	San José	89	22,88	1,7670	2,439	0,016*
	CISC	83	22,17	2,0242		
LSCT	San José	90	25,16	2,0838	0,259	0,796
	CISC	83	25,08	1,9469		
LC	San José	89	8,30	1,4254	2,556	0,011*
	CISC	83	7,81	0,9865		
LCU	San José	90	17,13	1,9114	0,188	0,851
	CISC	83	17,07	2,0429		
LT	San José	90	7,83	1,1651	1,292	0,198
	CISC	83	7,61	1,0315		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.51. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Tercera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	103	34,37	2,5124	0,596	0,552
	CISC	72	34,16	1,9292		
DCCM	San José	103	8,42	1,3300	-2,446	0,015*
	CISC	72	8,92	1,2818		
DAPM	San José	103	4,73	0,8949	1,502	0,135
	CISC	72	4,53	0,7427		
LSCC	San José	103	25,36	2,2693	1,458	0,147
	CISC	72	24,89	1,7826		
LSCT	San José	103	28,20	2,4826	1,121	0,264
	CISC	72	27,82	1,6981		
LC	San José	103	9,31	1,2011	-1,865	0,064
	CISC	72	9,64	1,0856		
LCU	San José	103	19,37	2,3018	1,890	0,060
	CISC	72	18,76	1,7886		
LT	San José	102	8,68	1,4252	0,097	0,923
	CISC	72	8,66	1,3798		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	90	30,71	1,8833	0,258	0,797
	CISC	78	30,63	2,0375		
DCCM	San José	90	7,29	1,1443	0,469	0,640
	CISC	78	7,21	1,1862		
DAPM	San José	90	3,93	0,7137	4,651	0,000*
	CISC	78	3,41	0,7501		
LSCC	San José	90	22,58	1,8242	0,992	0,323
	CISC	78	22,28	2,0942		
LSCT	San José	90	25,35	1,8337	1,151	0,251
	CISC	77	25,01	1,9876		
LC	San José	90	8,10	1,2118	1,821	0,070
	CISC	78	7,79	0,9049		
LCU	San José	90	17,20	1,9908	1,074	0,284
	CISC	78	16,88	1,8808		
LT	San José	90	7,78	1,1499	1,331	0,185
	CISC	78	7,56	0,9479		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.52. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Cuarta costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	95	35,10	2,3037	0,864	0,389
	CISC	76	34,79	2,3112		
DCCM	San José	95	9,69	1,4259	-3,998	0,000*
	CISC	76	10,53	1,2684		
DAPM	San José	95	4,97	0,7835	0,928	0,355
	CISC	76	4,85	0,8429		
LSCC	San José	95	25,89	2,3861	0,967	0,335
	CISC	76	25,54	2,2926		
LSCT	San José	94	28,29	2,6191	0,417	0,677
	CISC	76	28,14	2,0226		
LC	San José	94	10,14	1,2149	-1,713	0,089
	CISC	76	10,46	1,2073		
LCU	San José	94	19,42	2,5743	0,135	0,893
	CISC	76	19,37	2,1074		
LT	San José	95	8,65	1,4935	0,180	0,857
	CISC	76	8,61	1,5342		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	83	31,51	2,0400	1,125	0,262
	CISC	83	31,13	2,3256		
DCCM	San José	83	8,36	1,2896	-0,388	0,699
	CISC	83	8,44	1,2311		
DAPM	San José	83	4,06	0,6845	4,197	0,000*
	CISC	83	3,60	0,7278		
LSCC	San José	83	23,21	2,0844	1,972	0,050*
	CISC	83	22,53	2,3328		
LSCT	San José	84	25,37	2,1613	0,118	0,906
	CISC	83	25,33	2,2282		
LC	San José	83	8,88	1,2922	3,436	0,001*
	CISC	83	8,28	0,9551		
LCU	San José	84	17,40	2,2443	0,810	0,419
	CISC	83	17,11	2,2944		
LT	San José	83	7,84	1,0630	0,186	0,853
	CISC	83	7,81	0,9369		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.53. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CISC. Cuarta costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	96	35,08	2,7334	1,301	0,195
	CISC	76	34,58	2,2119		
DCCM	San José	96	10,12	1,3368	-2,471	0,014*
	CISC	76	10,66	1,5560		
DAPM	San José	96	5,04	0,9639	1,509	0,133
	CISC	76	4,83	0,8884		
LSCC	San José	96	26,20	2,4771	1,019	0,310
	CISC	76	25,83	2,1707		
LSCT	San José	96	28,85	2,6779	1,468	0,144
	CISC	76	28,30	2,0720		
LC	San José	96	9,86	1,2050	-2,297	0,023*
	CISC	76	10,26	1,0729		
LCU	San José	96	20,08	2,5134	1,034	0,302
	CISC	76	19,70	2,1815		
LT	San José	96	8,39	1,7211	1,219	0,225
	CISC	76	8,10	1,2713		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	77	30,97	1,8828	-0,012	0,991
	CISC	81	30,97	2,2768		
DCCM	San José	77	8,48	1,1383	0,281	0,779
	CISC	81	8,43	1,1365		
DAPM	San José	77	4,02	0,5999	3,029	0,003*
	CISC	81	3,69	0,7624		
LSCC	San José	77	22,93	1,9432	1,110	0,269
	CISC	81	22,58	2,0642		
LSCT	San José	77	25,58	1,9050	1,231	0,220
	CISC	81	25,18	2,1185		
LC	San José	77	8,61	1,2323	2,012	0,046*
	CISC	81	8,27	0,8699		
LCU	San José	77	17,56	1,8979	1,497	0,136
	CISC	81	17,10	1,9183		
LT	San José	77	7,69	0,9960	1,714	0,089
	CISC	81	7,42	1,0192		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Los resultados obtenidos indican bastantes diferencias significativas entre ambas poblaciones en las costillas primera y segunda, especialmente en la medida total del cuello de la costilla, tanto en hombres como en mujeres. En ambos casos, estas diferencias se han traducido en una menor longitud media de dicho segmento en ambos sexos, si bien comparando la diferencia de medias, esta diferencia se torna más acusada en los varones, y especialmente en la primera costilla. Esto cambia en las costillas tercera y cuarta, donde si bien por lo general la tendencia es a ser de menor tamaño en la colección CISC que en San José, las diferencias medias no son significativas; los escasos casos de variables con diferencias significativas en estas dos últimas costillas son en variables que no se ven implicadas en el análisis discriminante.

Posteriormente, en las tablas 7.54 a 7.61, se resumen los resultados de la comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI

Tabla 7.54. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Primera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	97	36,69	2,2192	2,826	0,005*
	CEI/XXI	51	35,62	2,1417		
DCCM	San José	97	4,60	0,7833	-4,157	0,000*
	CEI/XXI	51	5,24	1,0694		
DAPM	San José	97	8,26	1,4606	-2,934	0,004*
	CEI/XXI	51	9,02	1,5487		
LSCC	San José	97	23,25	2,4432	-0,994	0,322
	CEI/XXI	51	23,67	2,4575		
LSCT	San José	97	28,43	2,5714	2,907	0,004*
	CEI/XXI	51	27,14	2,5867		
LC	San José	97	9,45	1,7854	-2,333	0,021*
	CEI/XXI	51	10,22	2,0657		
LCU	San José	97	16,44	2,5740	0,310	0,757
	CEI/XXI	51	16,30	2,8941		
LT	San José	97	11,63	2,3657	0,596	0,552
	CEI/XXI	51	11,39	2,2711		
LTR	San José	45	82,47	5,2179	-1,535	0,128
	CEI/XXI	48	84,16	5,3842		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	71	32,11	2,5075	0,873	0,385
	CEI/XXI	51	31,70	2,5512		

DCCM	San José	71	4,25	0,6598	-0,691	0,491
	CEI/XXI	52	4,33	0,6987		
DAPM	San José	71	7,06	1,0442	-0,075	0,940
	CEI/XXI	52	7,08	1,0666		
LSCC	San José	71	21,54	2,4965	0,129	0,898
	CEI/XXI	51	21,48	2,6379		
LSCT	San José	71	24,99	2,5798	1,339	0,183
	CEI/XXI	52	24,36	2,6240		
LC	San José	70	8,56	1,4892	-1,990	0,049*
	CEI/XXI	51	9,08	1,3760		
LCU	San José	71	15,40	2,5124	1,044	0,299
	CEI/XXI	52	14,91	2,5922		
LT	San José	71	9,30	1,8440	-0,119	0,906
	CEI/XXI	52	9,34	2,1306		
LTR	San José	28	74,66	5,4575	-2,410	0,018*
	CEI/XXI	49	77,99	6,0402		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.55. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Primera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	87	36,31	2,4042	2,353	0,020*
	CEI/XXI	52	35,31	2,5061		
DCCM	San José	87	4,59	0,7722	-2,670	0,008*
	CEI/XXI	53	4,96	0,8562		
DAPM	San José	87	8,59	1,4856	-0,724	0,470
	CEI/XXI	53	8,77	1,2181		
LSCC	San José	86	22,94	2,5098	-0,168	0,867
	CEI/XXI	52	23,01	2,2839		
LSCT	San José	87	28,56	2,6065	2,970	0,004*
	CEI/XXI	52	27,21	2,5495		
LC	San José	85	9,63	1,7519	-1,813	0,072
	CEI/XXI	52	10,21	1,8980		
LCU	San José	87	16,26	2,6679	1,625	0,106
	CEI/XXI	52	15,55	2,1911		
LT	San José	86	12,09	2,2815	1,670	0,097
	CEI/XXI	52	11,44	2,0862		
LTR	San José	36	82,15	5,2364	-1,977	0,051
	CEI/XXI	49	84,43	5,2886		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	71	31,98	2,4229	1,846	0,067
	CEI/XXI	61	31,19	2,4578		
DCCM	San José	72	4,13	0,6858	-1,003	0,318
	CEI/XXI	61	4,25	0,7108		

DAPM	San José	72	7,17	1,1030	-1,156	0,250
	CEI/XXI	61	7,40	1,1302		
LSCC	San José	72	21,43	1,9687	1,818	0,071
	CEI/XXI	60	20,74	2,4030		
LSCT	San José	71	25,17	2,2169	3,293	0,001*
	CEI/XXI	59	23,84	2,4028		
LC	San José	70	8,55	1,3569	-2,635	0,009*
	CEI/XXI	61	9,17	1,3069		
LCU	San José	71	15,11	1,8859	1,912	0,058
	CEI/XXI	60	14,42	2,2465		
LT	San José	70	9,85	1,9772	0,513	0,609
	CEI/XXI	59	9,68	1,7517		
LTR	San José	28	74,32	5,3938	-2,816	0,006*
	CEI/XXI	54	78,16	6,0797		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.56. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Segunda costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	111	35,61	2,4134	1,501	0,135
	CEI/XXI	52	35,02	2,1692		
DCCM	San José	111	6,42	1,0376	-1,231	0,220
	CEI/XXI	54	6,63	1,0455		
DAPM	San José	111	6,01	1,1331	-3,774	0,000*
	CEI/XXI	54	6,73	1,1607		
LSCC	San José	111	26,10	2,5750	1,779	0,077
	CEI/XXI	52	25,35	2,2861		
LSCT	San José	111	28,36	2,7426	1,298	0,196
	CEI/XXI	54	27,81	2,1138		
LC	San José	111	9,84	1,4445	-2,128	0,035*
	CEI/XXI	52	10,36	1,4901		
LCU	San José	111	19,45	2,7776	2,005	0,047*
	CEI/XXI	54	18,56	2,3485		
LT	San José	112	8,81	1,4999	-1,178	0,241
	CEI/XXI	54	9,08	1,1311		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	87	31,70	2,1812	0,086	0,932
	CEI/XXI	56	31,66	2,1995		
DCCM	San José	87	5,42	0,8714	-2,141	0,034
	CEI/XXI	56	5,75	0,9381		

DAPM	San José	87	5,22	1,0797	-0,288	0,774
	CEI/XXI	56	5,27	0,8726		
LSCC	San José	87	23,57	2,0604	1,850	0,066
	CEI/XXI	56	22,93	1,9463		
LSCT	San José	87	25,65	2,3967	0,372	0,711
	CEI/XXI	56	25,51	1,9531		
LC	San José	87	8,59	1,3095	-2,182	0,031*
	CEI/XXI	56	9,04	1,0360		
LCU	San José	87	17,43	2,4933	1,701	0,091
	CEI/XXI	56	16,78	1,7493		
LT	San José	87	7,88	1,0217	-2,652	0,009*
	CEI/XXI	56	8,40	1,3112		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.57. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Segunda costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	106	35,37	2,5761	1,067	0,288
	CEI/XXI	69	34,97	2,2378		
DCCM	San José	108	6,41	0,9454	-2,794	0,006*
	CEI/XXI	69	6,83	1,0135		
DAPM	San José	108	6,12	1,2280	-2,763	0,006*
	CEI/XXI	69	6,64	1,1958		
LSCC	San José	106	26,33	2,5526	2,500	0,013*
	CEI/XXI	69	25,38	2,3233		
LSCT	San José	108	28,72	2,5479	1,879	0,062
	CEI/XXI	69	28,01	2,2384		
LC	San José	105	9,55	1,2790	-3,914	0,000*
	CEI/XXI	69	10,37	1,4656		
LCU	San José	108	19,86	2,5424	3,376	0,001*
	CEI/XXI	69	18,57	2,4216		
LT	San José	108	8,72	2,5720	-0,716	0,475
	CEI/XXI	69	8,96	1,3069		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	85	31,94	2,1372	0,208	0,836
	CEI/XXI	66	31,87	2,2214		

DCCM	San José	85	5,55	0,9637	-1,805	0,073
	CEI/XXI	67	5,83	0,9533		
DAPM	San José	85	5,17	0,9581	-2,192	0,030
	CEI/XXI	67	5,54	1,0879		
LSCC	San José	85	23,83	2,1788	1,777	0,078
	CEI/XXI	66	23,20	2,1698		
LSCT	San José	85	26,15	2,1898	1,398	0,164
	CEI/XXI	67	25,64	2,2984		
LC	San José	85	8,49	1,2563	-1,884	0,062
	CEI/XXI	66	8,87	1,1519		
LCU	San José	85	17,87	2,2457	2,397	0,018*
	CEI/XXI	67	17,02	2,0574		
LT	San José	84	8,00	2,4753	-0,408	0,684
	CEI/XXI	67	8,14	1,3306		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.58. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Tercera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	105	34,71	2,4125	1,182	0,239
	CEI/XXI	46	34,24	1,7897		
DCCM	San José	105	7,77	1,2131	-5,033	0,000*
	CEI/XXI	47	8,81	1,0986		
DAPM	San José	105	4,72	0,8092	-2,125	0,035*
	CEI/XXI	47	5,04	0,9550		
LSCC	San José	105	25,40	2,3132	2,432	0,016*
	CEI/XXI	46	24,46	1,8084		
LSCT	San José	105	28,07	2,4398	1,233	0,219
	CEI/XXI	46	27,57	1,8803		
LC	San José	105	9,61	1,2512	-2,004	0,047*
	CEI/XXI	46	10,06	1,3324		
LCU	San José	105	19,12	2,2577	2,357	0,020*
	CEI/XXI	46	18,22	1,9717		
LT	San José	106	8,76	1,2781	-1,335	0,184
	CEI/XXI	47	9,08	1,5839		

<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	89	31,05	1,9437	1,257	0,211
	CEI/XXI	55	30,63	2,0024		
DCCM	San José	90	6,99	1,2880	-1,286	0,201
	CEI/XXI	55	7,25	1,1060		
DAPM	San José	90	3,81	0,7713	-1,812	0,072
	CEI/XXI	55	4,05	0,7092		
LSCC	San José	89	22,88	1,7670	2,925	0,004*
	CEI/XXI	55	21,92	2,0912		
LSCT	San José	90	25,16	2,0838	0,004	0,997
	CEI/XXI	55	25,16	2,1459		
LC	San José	89	8,30	1,4254	-2,006	0,047*
	CEI/XXI	55	8,74	1,0381		
LCU	San José	90	17,13	1,9114	1,409	0,161
	CEI/XXI	55	16,64	2,1687		
LT	San José	90	7,83	1,1651	-2,687	0,008*
	CEI/XXI	55	8,34	1,0012		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.59. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Tercera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	103	34,37	2,5124	0,968	0,335
	CEI/XXI	63	34,01	2,0349		
DCCM	San José	103	8,42	1,3300	-5,105	0,000*
	CEI/XXI	63	9,56	1,4771		
DAPM	San José	103	4,73	0,8949	-2,911	0,004*
	CEI/XXI	63	5,17	1,0160		
LSCC	San José	103	25,36	2,2693	3,304	0,001*
	CEI/XXI	63	24,22	1,9122		
LSCT	San José	103	28,20	2,4826	2,459	0,015*
	CEI/XXI	63	27,30	1,8823		
LC	San José	103	9,31	1,2011	-4,508	0,000*
	CEI/XXI	63	10,22	1,3401		
LCU	San José	103	19,37	2,3018	4,325	0,000*
	CEI/XXI	63	17,86	1,9647		

LT	San José	102	8,68	1,4252	-2,115	0,036*
	CEI/XXI	63	9,14	1,2523		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	90	30,71	1,8833	-0,380	0,705
	CEI/XXI	61	30,84	2,2231		
DCCM	San José	90	7,29	1,1443	-1,219	0,225
	CEI/XXI	62	7,52	1,1330		
DAPM	San José	90	3,93	0,7137	-1,230	0,221
	CEI/XXI	62	4,08	0,7749		
LSCC	San José	90	22,58	1,8242	1,606	0,110
	CEI/XXI	61	22,05	2,1816		
LSCT	San José	90	25,35	1,8337	1,725	0,087
	CEI/XXI	62	24,80	2,0491		
LC	San José	90	8,10	1,2118	-3,544	0,001*
	CEI/XXI	61	8,77	1,0418		
LCU	San José	90	17,20	1,9908	1,929	0,056
	CEI/XXI	62	16,58	1,9374		
LT	San José	90	7,78	1,1499	-1,168	0,245
	CEI/XXI	62	8,02	1,3455		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.60. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	95	35,10	2,3037	1,046	0,298
	CEI/XXI	44	34,67	2,0769		
DCCM	San José	95	9,69	1,4259	-4,012	0,000*
	CEI/XXI	45	10,80	1,7178		
DAPM	San José	95	4,97	0,7835	-2,768	0,006*
	CEI/XXI	45	5,36	0,7921		
LSCC	San José	95	25,89	2,3861	2,214	0,028*
	CEI/XXI	44	24,93	2,3745		
LSCT	San José	94	28,29	2,6191	1,245	0,215
	CEI/XXI	44	27,74	2,0578		
LC	San José	94	10,14	1,2149	-2,777	0,006*
	CEI/XXI	44	10,78	1,3387		

LCU	San José	94	19,42	2,5743	1,595	0,113
	CEI/XXI	44	18,70	2,2215		
LT	San José	95	8,65	1,4935	-1,281	0,202
	CEI/XXI	44	9,01	1,5796		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	83	31,51	2,0400	0,272	0,786
	CEI/XXI	50	31,41	2,0092		
DCCM	San José	83	8,36	1,2896	-1,254	0,212
	CEI/XXI	50	8,64	1,1194		
DAPM	San José	83	4,06	0,6845	-0,885	0,378
	CEI/XXI	50	4,17	0,6173		
LSCC	San José	83	23,21	2,0844	1,273	0,205
	CEI/XXI	50	22,75	1,9404		
LSCT	San José	84	25,37	2,1613	-0,492	0,624
	CEI/XXI	50	25,56	2,1305		
LC	San José	83	8,88	1,2922	-1,982	0,050
	CEI/XXI	50	9,32	1,1125		
LCU	San José	84	17,40	2,2443	0,853	0,395
	CEI/XXI	50	17,07	1,9653		
LT	San José	83	7,84	1,0630	-1,512	0,133
	CEI/XXI	50	8,16	1,3464		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.61. Comparación de medias entre la colección de San José y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	San José	96	35,08	2,7334	1,235	0,219
	CEI/XXI	55	34,56	1,9307		
DCCM	San José	96	10,12	1,3368	-3,948	0,000*
	CEI/XXI	56	11,15	1,8610		
DAPM	San José	96	5,04	0,9639	-2,243	0,022*
	CEI/XXI	56	5,39	0,8610		
LSCC	San José	96	26,20	2,4771	3,320	0,001*
	CEI/XXI	55	24,91	1,9479		
LSCT	San José	96	28,85	2,6779	3,399	0,001*
	CEI/XXI	56	27,47	1,8581		

LC	San José	96	9,86	1,2050	-5,608	0,000*
	CEI/XXI	55	10,99	1,1614		
LCU	San José	96	20,08	2,5134	4,215	0,000*
	CEI/XXI	56	18,46	1,8054		
LT	San José	96	8,39	1,7211	-1,465	0,145
	CEI/XXI	56	8,79	1,4427		
<i>Mujeres</i>						
LTC	San José	77	30,97	1,8828	-0,368	0,714
	CEI/XXI	60	31,09	1,9636		
DCCM	San José	77	8,48	1,1383	-0,982	0,328
	CEI/XXI	62	8,68	1,3025		
DAPM	San José	77	4,02	0,5999	-3,265	0,001*
	CEI/XXI	62	4,37	0,6833		
LSCC	San José	77	22,93	1,9432	0,910	0,365
	CEI/XXI	60	22,62	2,0463		
LSCT	San José	77	25,58	1,9050	1,187	0,237
	CEI/XXI	60	25,17	2,1109		
LC	San José	77	8,61	1,2323	-2,031	0,044*
	CEI/XXI	59	9,03	1,1243		
LCU	San José	77	17,56	1,8979	1,956	0,053
	CEI/XXI	60	16,90	2,0500		
LT	San José	77	7,69	0,9960	-0,118	0,906
	CEI/XXI	62	7,71	1,0690		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Los resultados obtenidos indican también ciertas diferencias significativas entre ambas poblaciones en las costillas primera y segunda, especialmente en la medida total del cuello de la costilla, tanto en hombres como en mujeres. No obstante, y si bien estas diferencias también se han traducido en una menor longitud media de dicho segmento en ambos sexos, comparando la diferencia de medias, esta diferencia se torna menos marcada que en el caso de la colección anterior, tanto en varones como en mujeres.

En el caso de las costillas tercera y cuarta, también se encuentran bastantes diferencias significativas, especialmente en el caso de los varones. No obstante, ocurre lo contrario que en las costillas primera y segunda: si bien las longitudes totales de los cuellos costales tienden a permanecer relativamente similares, las dimensiones de los diámetros cráneo-caudal y

antero-posterior son mayores en la colección CEI/XXI que en San José, variables que en este caso sí entran en juego en el análisis discriminante.

Una vez estudiados los resultados obtenidos, se aplicaron las funciones discriminantes en ambas colecciones portuguesas. En primer lugar, los resultados de dicha aplicación a la colección CISC se exponen en las tablas 7.62 a 7.65.

Tabla 7.62. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Primera costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CISC	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	93,2	41	62,1	25	37,9	70	95,9	3	4,1	79,9	-13,3
Función 2	88,1	35	51,5	33	48,5	75	97,4	2	2,6	75,9	-12,2
Función 3	85,7	32	47,1	36	52,9	75	97,4	2	2,6	73,8	-11,9
Función 4	86,3	36	52,9	32	47,1	75	97,4	2	2,6	76,6	-9,7
Función 5	83,4	40	59,7	27	40,3	80	97,6	2	2,4	80,5	-2,9
Función 6	80,0	45	67,1	22	32,9	78	95,1	4	4,9	82,6	+2,6
Función 7	84,2	38	56,7	29	43,3	75	91,5	7	8,5	75,8	-8,4
Función 8	92,6	34	52,3	31	47,7	75	98,7	1	1,3	77,3	-15,3
Función 9	85,3	37	56,9	28	43,1	71	93,4	5	6,6	76,6	-8,7

Tabla 7.63. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Segunda costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CISC	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	83,8	53	71,6	21	28,4	74	91,4	7	8,6	81,9	-1,9
Función 2	80,3	55	74,3	19	25,7	69	85,2	12	14,8	80,0	-0,3
Función 3	82,8	52	70,3	22	29,7	67	82,7	14	17,3	76,8	-4,0

Función 4	80,1	50	70,4	21	29,6	78	94,0	5	6,0	83,1	+3,0
Función 5	81,4	49	73,1	18	26,9	78	96,3	3	3,7	85,8	+4,4
Función 6	80,1	45	67,2	22	32,8	69	85,1	12	14,9	77,0	-3,1

Tabla 7.64. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Tercera costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CISC	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
Función 1	83,0	57	76,0	18	24,0	74	89,1	9	10,9	82,9	-0,1
Función 2	80,0	59	78,7	16	21,3	76	91,6	7	8,4	85,4	+5,4
Función 3	82,4	66	91,7	6	8,3	73	93,6	5	6,4	92,7	+10,3
Función 4	83,4	62	86,1	10	13,9	76	97,4	2	2,6	92,0	+8,6
Función 5	87,2	65	91,5	6	8,5	72	93,5	5	6,5	92,6	+5,4
Función 6	82,1	59	83,1	12	16,9	71	92,2	6	7,8	87,8	+5,7

Tabla 7.65. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CISC. Cuarta costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CISC	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
Función 1	85,4	68	89,5	8	10,5	76	91,6	7	8,4	90,6	+5,2
Función 2	82,5	65	85,5	11	14,5	79	95,2	4	4,8	90,6	+8,1
Función 3	83,1	57	75,0	19	25,0	75	90,4	8	9,6	83,0	-0,1
Función 4	87,3	67	88,2	9	11,8	76	93,8	5	6,2	91,1	+3,8
Función 5	83,8	70	92,1	6	7,9	77	95,1	4	4,9	93,6	+9,8
Función 6	82,1	59	77,6	17	22,4	68	84,0	13	16,0	80,9	-1,2
Función 7	89,7	67	89,3	8	10,7	73	91,3	7	8,7	90,3	+0,6

A continuación, se exponen los resultados de la aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI en las tablas 7.66 a 7.69.

Tabla 7.66. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Primera costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CEI/XXI	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	93,2	45	93,8	3	6,2	36	76,6	11	23,4	85,3	-7,9
Función 2	88,1	43	84,3	8	15,7	43	84,3	8	15,7	84,3	-3,8
Función 3	85,7	37	72,5	14	27,5	42	82,4	9	17,6	77,5	-8,2
Función 4	86,3	40	78,4	11	21,6	43	84,3	8	15,7	81,4	-4,9
Función 5	83,4	45	86,5	7	13,5	51	85,0	9	15,0	85,7	+2,3
Función 6	80,0	34	65,4	18	34,6	51	86,4	8	13,6	76,6	-3,4
Función 7	84,2	40	76,9	12	23,1	54	88,5	7	11,5	83,2	-1,0
Función 8	92,6	31	77,5	9	22,5	34	85,0	6	15,0	81,3	-11,3
Función 9	85,3	31	77,5	9	22,5	34	85,0	6	15,0	81,3	-4,0

Tabla 7.67. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Segunda costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CEI/XXI	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	83,8	46	88,5	6	11,5	44	80,0	11	20	84,1	+0,3
Función 2	80,3	47	90,4	5	9,6	40	72,7	15	27,3	81,3	+1,0
Función 3	82,8	41	78,8	11	21,2	45	81,8	10	18,2	80,4	-2,4
Función 4	80,1	60	87,0	9	13,0	53	81,5	12	18,5	84,3	+4,2
Función 5	81,4	42	89,4	5	10,6	39	79,6	10	20,4	84,4	+3,0

Función 6	80,1	37	78,7	10	21,3	41	85,4	7	14,6	82,1	+2,0
------------------	-------------	----	------	----	------	----	------	---	------	-------------	-------------

Tabla 7.68. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Tercera costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CEI/XXI	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	83,0	40	87,0	6	13,0	47	85,5	8	14,5	86,1	+3,1
Función 2	80,0	39	84,8	7	15,2	45	81,8	10	18,2	83,2	+3,2
Función 3	82,4	57	90,5	6	9,5	47	77,0	14	23	83,9	+1,5
Función 4	83,4	56	88,9	7	11,1	49	80,3	12	19,7	84,7	+1,3
Función 5	87,2	40	95,2	2	4,8	38	90,5	4	9,5	92,6	+5,4
Función 6	82,1	37	88,1	5	11,9	33	78,6	9	21,4	83,3	+1,2

Tabla 7.69. Aplicación de las funciones discriminantes a la colección CEI/XXI. Cuarta costilla.

Función	Acierto en la colección de San José (%)	Varones				Mujeres				Porcentaje promedio de acierto en la colección CEI/XXI	Diferencia con la colección de San José
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1	85,4	40	90,9	4	9,1	43	86,0	7	14,0	88,3	+2,9
Función 2	82,5	39	88,6	5	11,4	39	78,0	11	22,0	83,0	+0,5
Función 3	83,1	35	79,5	9	20,5	40	80,0	10	20,0	79,8	-3,3
Función 4	87,3	53	96,4	2	3,6	49	81,7	11	18,3	88,7	+1,4
Función 5	83,8	51	92,7	4	7,3	48	80,0	12	20,0	86,1	+2,3
Función 6	82,1	51	92,7	4	7,3	50	83,3	10	16,7	87,8	+5,7
Función 7	89,7	34	94,4	2	5,6	30	78,9	8	21,1	86,5	-3,2

En la Colección CISC, las funciones discriminantes diseñadas en población española subestimaron de forma más marcada a los individuos varones que a las mujeres. Esta infraestimación es especialmente relevante en la primera y segunda costillas, revirtiéndose de manera significativa en la tercera y cuarta costillas. Así, el poder discriminativo oscila entre valores cercanos o ligeramente superiores al 50% para la primera (<70%) y segunda (73,1%) costillas, llegando a clasificar correctamente hasta el 91,7% y el 92,1% de los individuos varones en la tercera y cuarta costilla, respectivamente. De hecho, los valores de la tercera y cuarta costilla, además de ser más parejos entre hombres y mujeres, alcanzan tasas de acierto mayores a la obtenida en la colección española original (tasa diferencia de R3: entre +5,4 y +10,3).

En el caso de la Colección CEI/XXI, el número de individuos varones correctamente clasificados aumenta respecto a la muestra CISC y, consecuentemente es más semejante a la muestra española de origen. No obstante, el número de individuos femeninos correctamente clasificados disminuye ligeramente, manteniéndose aun así valores más equitativos entre sexos en esta colección que en CISC, oscilando entre el 80 y el 90% de acierto. De nuevo, la primera costilla obtiene resultados ligeramente inferiores cuando es comparada con las otras tres, donde se aprecia una mejora significativa de los resultados de las funciones aplicadas, con mejores tasas de acierto, incluso, que la colección de referencia original (tasa diferencia: +1,2 y +5,4).

La gran discrepancia entre la aplicación de las funciones en la colección CISC y en la colección CEI/XXI condujo a pensar en la existencia de diferencias significativas entre ambas colecciones, dada la diferencia cronológica entre ellas. En este sentido, y para comprobar este hecho, se realizó también la comparación de medias entre ambas colecciones mediante la prueba t de Student para muestras independientes. Los resultados se exponen en las tablas 7.70 a 7.77.

Tabla 7.70. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Primera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	68	34,64	1,8055	-2,701	0,008*
	CEI/XXI	51	35,62	2,1417		

DCCM	CISC	68	4,73	1,2743	-2,326	0,022*
	CEI/XXI	51	5,24	1,0694		
DAPM	CISC	68	8,09	1,1577	-3,732	0,000*
	CEI/XXI	51	9,02	1,5487		
LSCC	CISC	68	23,31	2,1723	-0,850	0,397
	CEI/XXI	51	23,67	2,4575		
LSCT	CISC	68	27,97	1,9865	1,992	0,049*
	CEI/XXI	51	27,14	2,5867		
LC	CISC	68	9,26	1,3642	-3,048	0,003*
	CEI/XXI	51	10,22	2,0657		
LCU	CISC	68	16,86	2,2915	1,190	0,236
	CEI/XXI	51	16,30	2,8941		
LT	CISC	68	10,52	1,5953	-2,453	0,016*
	CEI/XXI	51	11,39	2,2711		
LTR	CISC	66	80,03	5,3178	-4,071	0,000*
	CEI/XXI	48	84,16	5,3842		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	77	30,53	2,0694	-2,871	0,005*
	CEI/XXI	51	31,70	2,5512		
DCCM	CISC	77	4,03	0,6044	-2,625	0,010*
	CEI/XXI	52	4,33	0,6987		
DAPM	CISC	77	6,76	1,0158	-1,674	0,097
	CEI/XXI	52	7,08	1,0666		
LSCC	CISC	77	21,42	2,3719	-0,130	0,897
	CEI/XXI	51	21,48	2,6379		
LSCT	CISC	77	23,94	2,2508	-0,978	0,330
	CEI/XXI	52	24,36	2,6240		
LC	CISC	77	8,05	1,1202	-4,656	0,000*
	CEI/XXI	51	9,08	1,3760		
LCU	CISC	77	15,23	2,5068	0,688	0,493
	CEI/XXI	52	14,91	2,5922		
LT	CISC	77	7,97	1,4745	-4,301	0,000*
	CEI/XXI	52	9,34	2,1306		
LTR	CISC	73	75,33	5,0771	-2,633	0,010*
	CEI/XXI	49	77,99	6,0402		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.71. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Primera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	67	34,51	2,1746	-1,859	0,066
	CEI/XXI	52	35,31	2,5061		
DCCM	CISC	67	4,63	1,0729	-1,833	0,069
	CEI/XXI	53	4,96	0,8562		

DAPM	CISC	67	8,49	1,1469	-1,273	0,206
	CEI/XXI	53	8,77	1,2181		
LSCC	CISC	67	22,91	2,3397	-0,234	0,816
	CEI/XXI	52	23,01	2,2839		
LSCT	CISC	67	27,78	2,1538	1,312	0,192
	CEI/XXI	52	27,21	2,5495		
LC	CISC	67	9,27	1,3717	-3,137	0,002*
	CEI/XXI	52	10,21	1,8980		
LCU	CISC	67	16,50	2,3144	2,258	0,026*
	CEI/XXI	52	15,55	2,1911		
LT	CISC	67	10,84	1,8829	-1,658	0,100
	CEI/XXI	52	11,44	2,0862		
LTR	CISC	65	80,78	5,6955	-3,490	0,001*
	CEI/XXI	49	84,43	5,2886		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	82	30,46	2,2538	-1,838	0,068
	CEI/XXI	61	31,19	2,4578		
DCCM	CISC	82	3,98	0,5857	-2,536	0,012*
	CEI/XXI	61	4,25	0,7108		
DAPM	CISC	82	7,02	0,8983	-2,223	0,028*
	CEI/XXI	61	7,40	1,1302		
LSCC	CISC	82	20,97	2,4981	0,543	0,588
	CEI/XXI	60	20,74	2,4030		
LSCT	CISC	82	23,71	2,3735	-0,304	0,761
	CEI/XXI	59	23,84	2,4028		
LC	CISC	82	8,18	0,9366	-5,278	0,000*
	CEI/XXI	61	9,17	1,3069		
LCU	CISC	82	14,72	2,4746	0,735	0,463
	CEI/XXI	60	14,42	2,2465		
LT	CISC	82	8,31	1,5690	-4,853	0,000*
	CEI/XXI	59	9,68	1,7517		
LTR	CISC	79	75,27	4,6464	-3,111	0,002*
	CEI/XXI	54	78,16	6,0797		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.72. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Segunda costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	74	34,68	2,3148	-0,826	0,411
	CEI/XXI	52	35,02	2,1692		
DCCM	CISC	74	6,29	1,0574	-1,805	0,073
	CEI/XXI	54	6,63	1,0455		

DAPM	CISC	74	5,91	1,1516	-3,948	0,000*
	CEI/XXI	54	6,73	1,1607		
LSCC	CISC	74	25,90	2,1542	1,366	0,174
	CEI/XXI	52	25,35	2,2861		
LSCT	CISC	74	27,94	2,4367	0,303	0,763
	CEI/XXI	54	27,81	2,1138		
LC	CISC	74	9,79	1,1198	-2,433	0,016*
	CEI/XXI	52	10,36	1,4901		
LCU	CISC	74	19,35	2,2579	1,901	0,060
	CEI/XXI	54	18,56	2,3485		
LT	CISC	74	8,20	1,2287	-4,120	0,000*
	CEI/XXI	54	9,08	1,1311		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	81	31,40	2,2454	-0,670	0,504
	CEI/XXI	56	31,66	2,1995		
DCCM	CISC	81	5,36	0,7607	-2,709	0,008*
	CEI/XXI	56	5,75	0,9381		
DAPM	CISC	81	4,84	1,0206	-2,581	0,011*
	CEI/XXI	56	5,27	0,8726		
LSCC	CISC	81	23,13	2,3141	0,530	0,597
	CEI/XXI	56	22,93	1,9463		
LSCT	CISC	81	25,16	2,2819	-0,919	0,360
	CEI/XXI	56	25,51	1,9531		
LC	CISC	81	8,39	1,0024	-3,694	0,000*
	CEI/XXI	56	9,04	1,0360		
LCU	CISC	81	17,18	2,4399	1,056	0,293
	CEI/XXI	56	16,78	1,7493		
LT	CISC	81	7,44	1,1085	-4,618	0,000*
	CEI/XXI	56	8,40	1,3112		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.73. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Segunda costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	74	34,68	2,3148	-0,972	0,333
	CEI/XXI	52	35,02	2,1692		

DCCM	CISC	74	6,29	1,0574	-2,102	0,037*
	CEI/XXI	54	6,63	1,0455		
DAPM	CISC	74	5,91	1,1516	-3,950	0,000*
	CEI/XXI	54	6,73	1,1607		
LSCC	CISC	74	25,90	2,1542	1,241	0,217
	CEI/XXI	52	25,35	2,2861		
LSCT	CISC	74	27,94	2,4367	-0,638	0,524
	CEI/XXI	54	27,81	2,1138		
LC	CISC	74	9,79	1,1198	-2,352	0,020*
	CEI/XXI	52	10,36	1,4901		
LCU	CISC	74	19,35	2,2579	1,859	0,065
	CEI/XXI	54	18,56	2,3485		
LT	CISC	74	8,20	1,2287	-3,409	0,001*
	CEI/XXI	54	9,08	1,1311		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	83	31,26	2,0779	-1,714	0,089
	CEI/XXI	66	31,87	2,2214		
DCCM	CISC	83	5,48	0,9566	-2,203	0,029*
	CEI/XXI	67	5,83	0,9533		
DAPM	CISC	83	4,78	1,0487	-4,306	0,000*
	CEI/XXI	67	5,54	1,0879		
LSCC	CISC	83	23,14	1,9805	-0,173	0,863
	CEI/XXI	66	23,20	2,1698		
LSCT	CISC	83	25,16	2,0308	-1,351	0,179
	CEI/XXI	67	25,64	2,2984		
LC	CISC	83	8,16	0,9298	-4,134	0,000*
	CEI/XXI	66	8,87	1,1519		
LCU	CISC	83	17,06	1,8932	0,126	0,900
	CEI/XXI	67	17,02	2,0574		
LT	CISC	83	7,35	1,1060	-3,959	0,000*
	CEI/XXI	67	8,14	1,3306		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.74. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Tercera costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	75	34,09	1,9715	-0,436	0,664
	CEI/XXI	46	34,24	1,7897		
DCCM	CISC	75	8,26	1,3966	-2,328	0,022*
	CEI/XXI	47	8,81	1,0986		
DAPM	CISC	75	4,57	0,9269	-2,708	0,008*
	CEI/XXI	47	5,04	0,9550		
LSCC	CISC	75	24,69	2,1699	0,598	0,551
	CEI/XXI	46	24,46	1,8084		
LSCT	CISC	75	27,89	2,0266	0,879	0,381
	CEI/XXI	46	27,57	1,8803		
LC	CISC	75	9,67	1,2559	-1,621	0,108
	CEI/XXI	46	10,06	1,3324		
LCU	CISC	75	18,77	2,3511	1,334	0,185
	CEI/XXI	46	18,22	1,9717		
LT	CISC	75	8,80	1,2948	-1,082	0,282
	CEI/XXI	47	9,08	1,5839		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	83	30,70	2,0446	0,225	0,822
	CEI/XXI	55	30,63	2,0024		
DCCM	CISC	83	6,96	1,0285	-1,610	0,110
	CEI/XXI	55	7,25	1,1060		
DAPM	CISC	83	3,43	0,6946	-5,023	0,000*
	CEI/XXI	55	4,05	0,7092		
LSCC	CISC	83	22,17	2,0242	0,690	0,491
	CEI/XXI	55	21,92	2,0912		
LSCT	CISC	83	25,08	1,9469	-0,221	0,825
	CEI/XXI	55	25,16	2,1459		
LC	CISC	83	7,81	0,9865	-5,285	0,000*
	CEI/XXI	55	8,74	1,0381		
LCU	CISC	83	17,07	2,0429	1,177	0,241
	CEI/XXI	55	16,64	2,1687		
LT	CISC	83	7,61	1,0315	-4,093	0,000*
	CEI/XXI	55	8,34	1,0012		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.75. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Tercera costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	72	34,16	1,9292	0,447	0,655
	CEI/XXI	63	34,01	2,0349		
DCCM	CISC	72	8,92	1,2818	-2,697	0,008*
	CEI/XXI	63	9,56	1,4771		
DAPM	CISC	72	4,53	0,7427	-4,158	0,000*
	CEI/XXI	63	5,17	1,0160		
LSCC	CISC	72	24,89	1,7826	2,090	0,038*
	CEI/XXI	63	24,22	1,9122		
LSCT	CISC	72	27,82	1,6981	1,676	0,096
	CEI/XXI	63	27,30	1,8823		
LC	CISC	72	9,64	1,0856	-2,749	0,007*
	CEI/XXI	63	10,22	1,3401		
LCU	CISC	72	18,76	1,7886	2,776	0,006*
	CEI/XXI	63	17,86	1,9647		
LT	CISC	72	8,66	1,3798	-2,116	0,036*
	CEI/XXI	63	9,14	1,2523		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	78	30,63	2,0375	-0,567	0,571
	CEI/XXI	61	30,84	2,2231		
DCCM	CISC	78	7,21	1,1862	-1,585	0,115
	CEI/XXI	62	7,52	1,1330		
DAPM	CISC	78	3,41	0,7501	-5,218	0,000*
	CEI/XXI	62	4,08	0,7749		
LSCC	CISC	78	22,28	2,0942	0,621	0,536
	CEI/XXI	61	22,05	2,1816		
LSCT	CISC	77	25,01	1,9876	0,602	0,548
	CEI/XXI	62	24,80	2,0491		
LC	CISC	78	7,79	0,9049	-5,917	0,000*
	CEI/XXI	61	8,77	1,0418		
LCU	CISC	78	16,88	1,8808	0,939	0,349
	CEI/XXI	62	16,58	1,9374		
LT	CISC	78	7,56	0,9479	-2,350	0,020*
	CEI/XXI	62	8,02	1,3455		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.76. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla derecha.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	76	34,79	2,3112	0,283	0,778
	CEI/XXI	44	34,67	2,0769		
DCCM	CISC	76	10,53	1,2684	-0,995	0,322
	CEI/XXI	45	10,80	1,7178		
DAPM	CISC	76	4,85	0,8429	-3,286	0,001*
	CEI/XXI	45	5,36	0,7921		
LSCC	CISC	76	25,54	2,2926	1,393	0,166
	CEI/XXI	44	24,93	2,3745		
LSCT	CISC	76	28,14	2,0226	1,052	0,295
	CEI/XXI	44	27,74	2,0578		
LC	CISC	76	10,46	1,2073	-1,330	0,186
	CEI/XXI	44	10,78	1,3387		
LCU	CISC	76	19,37	2,1074	1,645	0,103
	CEI/XXI	44	18,70	2,2215		
LT	CISC	76	8,61	1,5342	-1,352	0,179
	CEI/XXI	44	9,01	1,5796		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	83	31,13	2,3256	-0,715	0,476
	CEI/XXI	50	31,41	2,0092		
DCCM	CISC	83	8,44	1,2311	-0,938	0,350
	CEI/XXI	50	8,64	1,1194		
DAPM	CISC	83	3,60	0,7278	-4,582	0,000*
	CEI/XXI	50	4,17	0,6173		
LSCC	CISC	83	22,53	2,3328	-0,545	0,586
	CEI/XXI	50	22,75	1,9404		
LSCT	CISC	83	25,33	2,2282	-0,584	0,560
	CEI/XXI	50	25,56	2,1305		
LC	CISC	83	8,28	0,9551	-5,723	0,000*
	CEI/XXI	50	9,32	1,1125		
LCU	CISC	83	17,11	2,2944	0,109	0,913
	CEI/XXI	50	17,07	1,9653		
LT	CISC	83	7,81	0,9369	-1,752	0,082
	CEI/XXI	50	8,16	1,3464		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.77. Comparación de medias entre la colección de CISC y la colección CEI/XXI. Cuarta costilla izquierda.

Variable	Colección	n	Media	Desv. Típica	Diferencia entre medias	
					t	Sign.
<i>Varones</i>						
LTC	CISC	76	34,58	2,2119	0,038	0,970
	CEI/XXI	55	34,56	1,9307		
DCCM	CISC	76	10,66	1,5560	-1,622	0,107
	CEI/XXI	56	11,15	1,8610		
DAPM	CISC	76	4,83	0,8884	-3,663	0,000*
	CEI/XXI	56	5,39	0,8610		
LSCC	CISC	76	25,83	2,1707	2,508	0,013*
	CEI/XXI	55	24,91	1,9479		
LSCT	CISC	76	28,30	2,0720	2,375	0,019*
	CEI/XXI	56	27,47	1,8581		
LC	CISC	76	10,26	1,0729	-3,676	0,000*
	CEI/XXI	55	10,99	1,1614		
LCU	CISC	76	19,70	2,1815	3,464	0,001*
	CEI/XXI	56	18,46	1,8054		
LT	CISC	76	8,10	1,2713	-2,903	0,004*
	CEI/XXI	56	8,79	1,4427		
<i>Mujeres</i>						
LTC	CISC	81	30,97	2,2768	-0,321	0,749
	CEI/XXI	60	31,09	1,9636		
DCCM	CISC	81	8,43	1,1365	-1,244	0,216
	CEI/XXI	62	8,68	1,3025		
DAPM	CISC	81	3,69	0,7624	-5,586	0,000*
	CEI/XXI	62	4,37	0,6833		
LSCC	CISC	81	22,58	2,0642	-0,123	0,902
	CEI/XXI	60	22,62	2,0463		
LSCT	CISC	81	25,18	2,1185	0,036	0,971
	CEI/XXI	60	25,17	2,1109		
LC	CISC	81	8,27	0,8699	-4,492	0,000*
	CEI/XXI	59	9,03	1,1243		
LCU	CISC	81	17,10	1,9183	0,617	0,538
	CEI/XXI	60	16,90	2,0500		
LT	CISC	81	7,42	1,0192	-1,683	0,095
	CEI/XXI	62	7,71	1,0690		

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Los resultados son claros, mostrando una gran cantidad de diferencias significativas entre las medias de ambas colecciones portuguesas, especialmente en la primera costilla, y siendo menores en frecuencia en la cuarta costilla. Así, independientemente de la significación en las diferencias de las medias, la tendencia indica unas mayores proporciones en la colección CEI/XXI que en la colección CISC, especialmente en las costillas primera y segunda.

Así, de cara a facilitar el uso para futuros estudios, en la Tabla 7.78 se presenta un resumen de las ecuaciones más satisfactorias (en términos de casos correctamente clasificados) para poblaciones portuguesas.

Tabla 7.78. Funciones más útiles para la estimación del sexo en población portuguesa actual.

Variables	Coef.	Constante	Centroides	Punto de corte	% Original	% Portugal
<i>Primera costilla</i>						
LTC - I	0,444		H = 0,909			
DAPM - I	0,250	-13,467	M = -1,106	-0,0985	83,4%	85,7%
LSCC - I	-0,169					
LTC - D	0,447		H = 0,996			
LCU - D	-0,156	-19,102	M = -1,659	-0,3315	93,2%	85,3%
LTR - D	0,077					
<i>Segunda costilla</i>						
LTC - D	0,310		H = 0,870			
DCCM - D	0,369	-15,796	M = -1,122	-0,126	81,4%	84,4%
LC - D	0,198					
DAPM - I	0,215					
LTC - I	0,306		H = 0,780			
DCCM - I	0,470	-15,139	M = 0,975	-0,0975	80,1%	84,3%
DAPM - I	0,342					
<i>Tercera costilla</i>						
LTC - D	0,179		H = 0,981			
LTC - I	0,186	-16,313	M = -1,098	-0,0585	87,2%	92,6%
DCCM - I	0,342					
DAPM - I	0,377					
LTC - D	0,363	-14,279	H = 0,833			
DAPM - D	0,532		M = -0,982	-0,0745	83,0%	86,1%
<i>Cuarta costilla</i>						
LTC - I	0,278		H = 0,983			
DCCM - I	0,373	-14,780	M = -1,226	-0,1215	87,3%	88,7%
DAPM - I	0,442					
LTC - D	0,316		H = 0,954			
DCCM - D	0,238	-15,584	M = -1,094	-0,07	85,4%	88,3%
DAPM - D	0,632					

7.3. Estimación de la edad a través de la sinostosis de los segmentos esternales

En primer lugar, los resultados del coeficiente K de Cohen para el error intraobservador e interobservador se muestran en la Tabla 7.79. Según lo reflejado en la tabla, tanto a nivel intraobservador como a nivel interobservador se han alcanzado unos niveles de acuerdo excelentes, explicable por la facilidad del método aplicado.

Tabla 7.79. Resultados del error intraobservador e interobservador para la sinostosis esternal.

Error Intraobservador		Error Interobservador	
Valor	Interpretación	Valor	Interpretación
<i>Sinostosis manubrio-esternal</i>			
1,000	Muy buena concordancia	1,000	Muy buena concordancia
<i>Sinostosis xifo-esternal</i>			
0,955	Muy buena concordancia	0,965	Muy buena concordancia

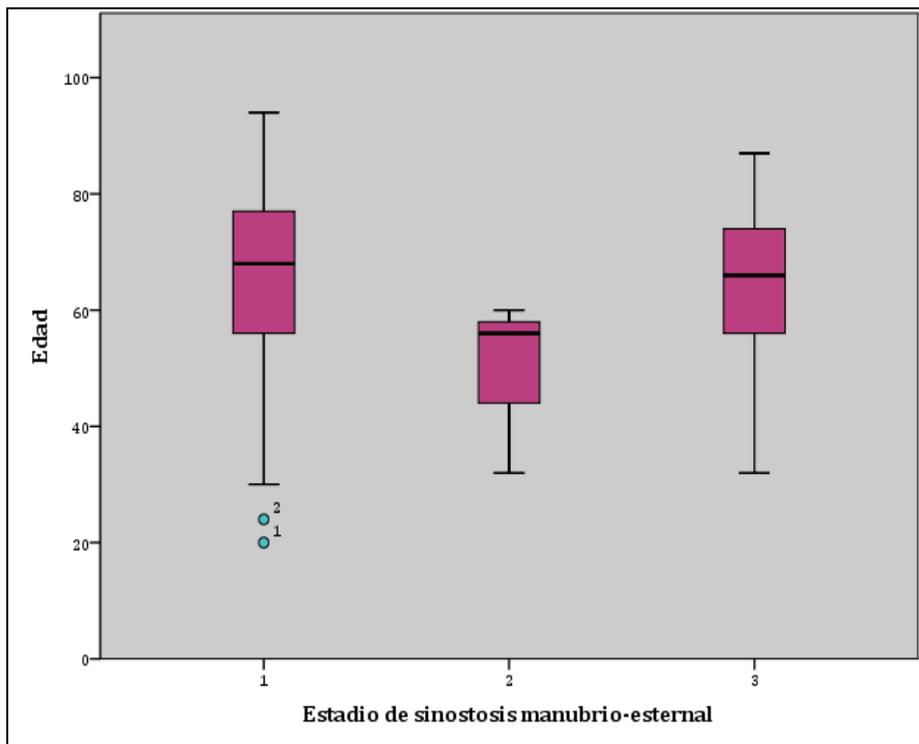
Los resultados para el porcentaje de individuos con cada fase de fusión en cada grupo de edad y para el coeficiente chi-cuadrado de Pearson aparecen reflejados en las tablas 7.80 y 7.81. Como podemos observar, la fusión del manubrio al esternón puede comenzar alrededor de la década de los 30 años, pero no existe una edad concreta a la que se produzca la fusión. De hecho, es bastante inusual que se produzca la unión entre ambos segmentos, puesto que el 77% de la muestra estudiada presentaba una ausencia total de fusión de ambos segmentos, sin apreciarse una reducción significativa en el porcentaje de individuos con ambos segmentos sin unir conforme avanza la edad.

Si separamos la muestra por sexo, los resultados no son diferentes: tanto en hombres como en mujeres, la fusión de ambos segmentos puede comenzar a aparecer alrededor de los 30 años, pero es bastante atípico que se produzca, puesto que tanto en hombres como en mujeres no se aprecia un aumento significativo del porcentaje de fusión con respecto a la edad. (Tabla 7.80).

Tabla 7.80. Porcentaje de individuos en cada fase de unión para cada grupo de edad. Fusión manubrio-cuerpo.

Década	Grado de sinostosis (en %)								
	Grado 1: Ausente			Grado 2: Parcial			Grado 3: Total		
	H*	M*	T*	H*	M*	T*	H*	M*	T*
20-29	100		100	0		0	0		0
30-39	67		67	16,5		16	16,5		17
40-49	89	50	77	0	25	7,5	11	25	15,5
50-59	60	100	62	5	0	5	35	0	33
60-69	76	94	83	4	0	3	20	6	14
70-79	73	73	73	0	4	2	27	23	25
80-89	92	76	81	0	3	3	8	21	15
90-99	100	89	91	0	0	0	0	11	9
Total	76	79	77	3	4	3	21	17	20

* H: Hombres; M: Mujeres; T: Total

**Figura 7.1.** Gráfico box-plot de la sinostosis manubrio-esternal. Resultados para varones.

La prueba chi-cuadrado de Pearson (Tabla 7.81) arroja un resultado de 0,643 para la muestra total, y de 0,565 y 0,474 en varones y mujeres

respectivamente. Ello indica una pobre correlación entre la sinostosis manubrio-esternal y la edad del individuo, al no darse un resultado significativo ($p\text{-value} > 0,05$).

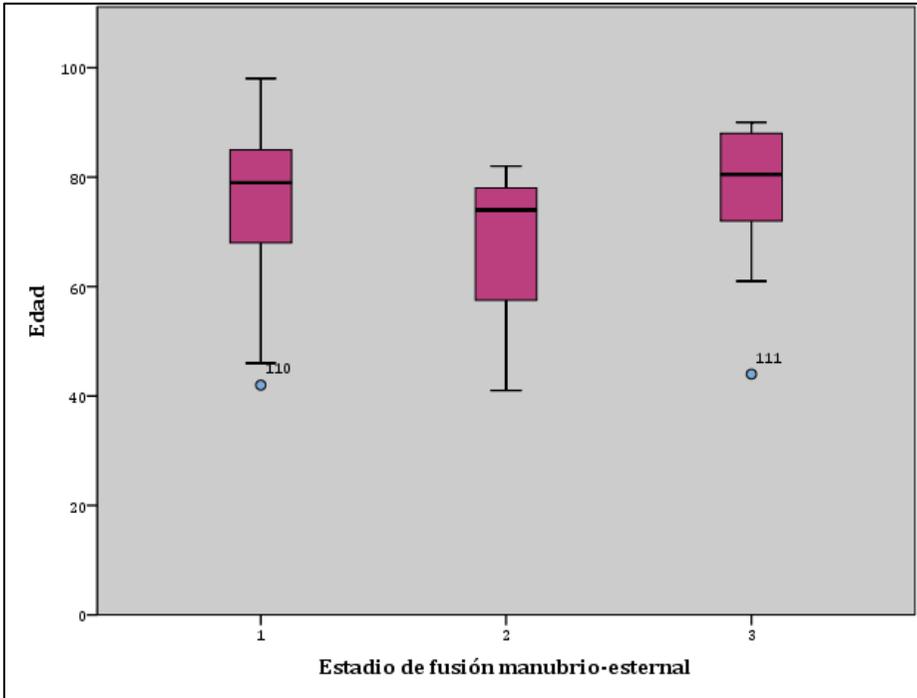


Figura 7.2. Gráfico box-plot de la sinostosis manubrio-esternal. Resultados para mujeres.

Tabla 7.81. Resultados del análisis de chi-cuadrado de Pearson para la unión del manubrio y el cuerpo esternal.

Hombres			Mujeres			Total		
Valor	gl	Significación	Valor	gl	Significación	Valor	gl	Significación
12.510	14	0,565	9.630	10	0,474	11.544	14	0,643

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Los resultados son diferentes para la apófisis xifoides. Considerando la muestra total, la fusión de este segmento puede comenzar en torno a los 30-39 años, aumentando sustancialmente en las décadas siguientes, especialmente a partir de la década de los 50-59 años, en la cual un 76% de la muestra perteneciente a dicho rango presenta ambos segmentos unidos. (Tabla 7.82). Si consideramos la muestra separada por sexos, la misma tendencia parece repetirse en el caso de los hombres, con un 65% de la muestra que presenta dicha unión, y con una tendencia al alza

especialmente a partir de los 50-59 años, al igual que en el caso de las mujeres, con un 71% de sinostosis de ambos segmentos.

Tabla 7.82. Porcentaje de individuos en cada fase de unión para cada grupo de edad. Fusión cuerpo-xifoides.

Década	Grado de sinostosis (en %)								
	Grado 1: Ausente			Grado 2: Parcial			Grado 3: Total		
	H*	M*	T*	H*	M*	T*	H*	M*	T*
20-29	100		100	0		0	0		0
30-39	67		67	16,5		16,5	16,5		16,5
40-49	56	75	62	11	0	7	33	25	31
50-59	20	100	24	0	0	0	80	0	76
60-69	26	20	24	4	6	5	70	74	71
70-79	25	19	22	0	9	4	75	72	74
80-89	8	12	11	25	8	14	67	80	72
90-99	0	25	20	0	0	0	100	75	80
Total	29	22	26	6	7	6	65	71	68

* H: Hombres; M: Mujeres; T: Total

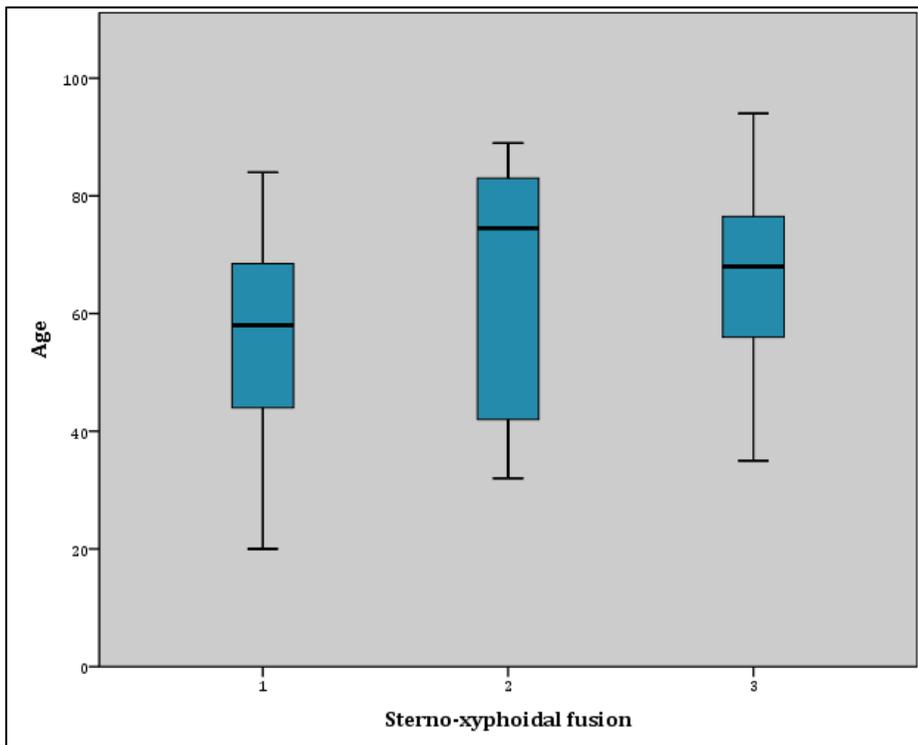


Figura 7.3. Gráfico box-plot de la sinostosis xifo-esternal. Resultados para varones.

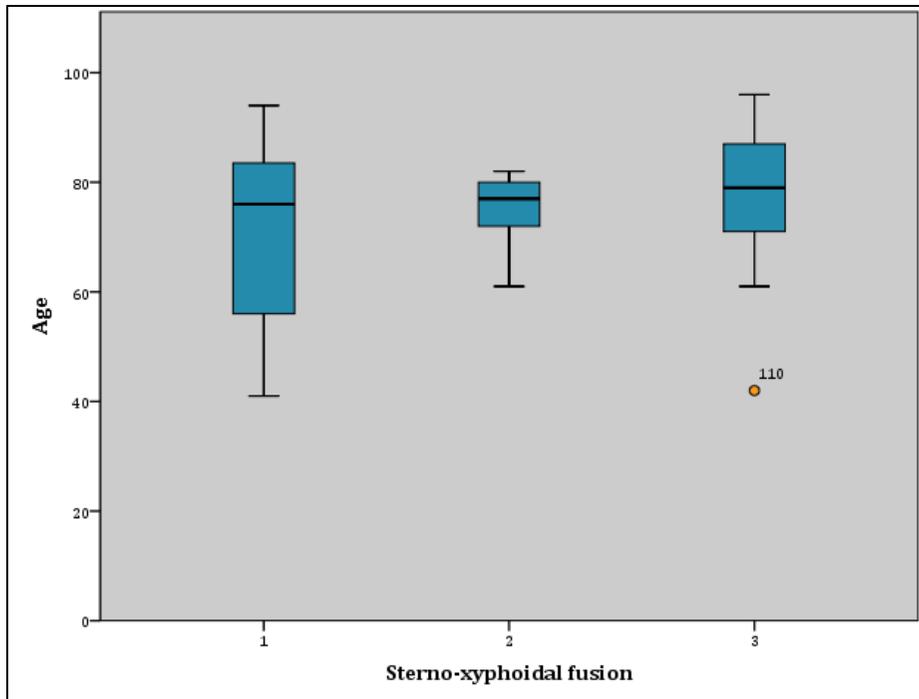


Figura 7.4. Gráfico box-plot de la sinostosis xifo-esternal. Resultados para mujeres.

Los niveles de significación en la prueba chi-cuadrado de Pearson para la sinostosis xifo-esternal se resumen en la tabla 7.83. En este caso, mientras que la muestra total sí arroja un resultado significativo, al dividir la colección por sexos, los resultados son diferentes. En el caso de los varones, la prueba chi-cuadrado arroja un resultado significativo, lo que indicaría una alta correlación entre la sinostosis xifo-esternal y la edad del individuo, ocurriendo lo contrario en las mujeres, donde el resultado de la prueba chi-cuadrado no es significativo.

Tabla 7.83. Resultados del análisis de chi-cuadrado de Pearson para la unión del xifoides y el cuerpo esternal.

Hombres			Mujeres			Total		
Valor	gl	Significación	Valor	gl	Significación	Valor	gl	Significación
29.704	14	0,008*	12.675	10	0,242	32.136	14	0,004*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Así, para concluir, se ha realizado un cuadro resumen con las edades mínimas y máximas a las que se puede encontrar cada uno de los diferentes estadios de fusión de las regiones esternales (Tabla 7.84).

Tabla 7.84. Rangos etarios por cada estadio de sinostosis esternal (en años).

Estadio	Varones		Mujeres	
	Manubrio-esternal	Xifo-esternal	Manubrio-esternal	Xifo-esternal
1	20-94	20-84	42-98	41-94
2	32-60	32-89	41-82	61-82
3	32-87	35-94	44-90	42-96

7.4. Estimación del sexo mediante análisis de imágenes torácicas 3D

En primer lugar, se realizó un análisis descriptivo de las variables estudiadas, cuyos resultados, desglosados por sexo, se muestran en la tabla 7.85. Como podemos comprobar, los valores medios tienden a ser superiores en los varones en todas las variables.

Tabla 7.85. Estadística descriptiva de las variables estudiadas en el análisis métrico de imágenes 3D.

Variable	Varones				Mujeres			
	Media	Mín.	Máx.	SD	Media	Mín.	Máx.	SD
MAL1	45,83	33,50	59,80	5,5851	41,39	29,70	56,50	5,0033
MAL2	41,42	27,10	55,60	5,9380	37,18	10,70	52,60	5,9040
MAN	64,95	38,30	100,90	9,5161	53,74	31,60	83,50	6,7263
MG	10,02	6,30	13,90	1,3547	8,34	4,70	10,70	1,2095
CAL	106,42	77,20	131,60	11,5380	88,29	70,50	118,40	9,0987
CAN1	27,60	14,90	44,90	4,7980	23,33	12,70	35,10	3,7935
CAN2	33,33	17,70	52,90	6,1640	28,51	15,40	45,80	5,5482
CG	9,24	5,80	12,20	1,2838	7,80	4,00	11,10	1,1966
IE	43,54	30,15	66,54	6,9649	47,36	30,32	68,89	7,4795
AE	6401,2	3086,5	9081,1	1064,736	4570,7	2561,7	7489,4	728,688
CLD	23,58	14,20	31,40	3,2797	21,17	12,20	29,00	2,8060
CLI	23,39	14,60	31,30	3,1414	20,67	11,60	29,00	2,9990
R2R	12,13	8,10	17,70	1,8747	10,32	1,10	14,30	1,8370
R3R	14,19	9,20	18,90	2,2264	11,82	7,50	18,80	1,7658
R4R	15,25	9,70	20,20	2,1087	12,47	8,30	17,40	1,6980
R5R	14,64	10,20	19,20	1,9937	13,10	8,70	18,10	8,7417
R2L	11,89	7,70	18,70	1,7957	10,29	7,00	14,30	1,4291
R3L	13,88	8,70	17,90	2,0381	11,95	8,30	18,00	1,6634
R4L	15,10	10,10	20,10	2,0839	12,68	9,10	17,40	1,8013
R5L	14,86	10,50	19,70	2,1238	12,57	8,50	18,10	1,6183

A continuación, se analizó el grado de concordancia y reproducibilidad mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación de Concordancia de Lin. Los resultados del error intraobservador e interobservador se recogen en la tabla 7.86. Los resultados indican que el método es preciso (error intraobservador) y reproducible (error interobservador), con resultados siempre superiores a 0,9 en todos los casos, y con una concordancia entre moderada y sustancial. Se excluyen del error intraobservador e interobservador las variables IE (Índice Esternal) y AE (Área Esternal) al tratarse de variables que derivan de otras variables, tal y como se especifica en el apartado de Métodos.

Tabla 7.86. Resultados del error intraobservador e interobservador para las variables estudiadas en imágenes 3D.

Variable	Error intraobservador		Error interobservador	
	CCC	Interpretación	CCC	Interpretación
MAL1	0,9404	Moderado	0,9340	Moderado
MAL2	0,9242	Moderado	0,9115	Moderado
MAN	0,9399	Moderado	0,9325	Moderado
MG	0,9060	Moderado	0,9100	Moderado
CAL	0,9491	Moderado	0,9582	Sustancial
CAN1	0,9249	Moderado	0,9220	Moderado
CAN2	0,9343	Moderado	0,9128	Moderado
CG	0,9031	Moderado	0,9018	Moderado
CLD	0,9356	Moderado	0,9152	Moderado
CLI	0,9228	Moderado	0,9021	Moderado
R2R	0,9072	Moderado	0,9008	Moderado
R3R	0,9152	Moderado	0,9012	Moderado
R4R	0,9066	Moderado	0,9045	Moderado
R5R	0,9068	Moderado	0,9099	Moderado
R2L	0,9083	Moderado	0,9163	Moderado
R3L	0,9106	Moderado	0,9069	Moderado
R4L	0,9024	Moderado	0,9053	Moderado
R5L	0,9059	Moderado	0,9085	Moderado

Una vez obtenidos los datos descriptivos de la colección, así como los valores del error intraobservador e interobservador, se procedió a comprobar si las variables estudiadas siguen o no una distribución normal, para poder analizar la presencia o ausencia de diferencias significativas entre sexos y entre lados mediante pruebas paramétricas o pruebas no

paramétricas. En este aspecto, se realizaron las pruebas de Kolmogórov-Smirnov y de Levene, cuyos resultados se exponen en la tabla 7.87.

Tabla 7.87. Resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov y de Levene para las variables estudiadas en el análisis de imágenes 3D.

Variable	Z de Kolmogórov-Smirnov	Significación	Estadístico de Levene	Significación
MAL1	0,941	0,339	1,168	0,281
MAL2	0,492	0,969	0,246	0,620
MAN	1,187	0,120	15,080	0,000*
MG	0,914	0,374	1,329	0,250
CAL	0,786	0,566	6,683	0,010*
CAN1	1,136	0,152	4,590	0,033*
CAN2	1,102	0,176	2,092	0,149
CG	0,604	0,859	1,001	0,318
XAL	1,030	0,239	3,415	0,066
XAN	1,093	0,183	6,086	0,014*
IE	0,825	0,505	0,973	0,325
AE	1,424	0,035*	17,483	0,000*
CLD	0,830	0,496	2,553	0,111
CLI	0,658	0,779	0,447	0,504
R2R	0,666	0,767	0,088	0,768
R3R	1,275	0,077	9,017	0,003*
R4R	0,876	0,427	5,623	0,018*
R5R	4,288	0,000*	0,509	0,476
R2L	0,967	0,307	2,461	0,118
R3L	0,785	0,569	7,190	0,008*
R4L	1,066	0,206	3,838	0,051
R5L	1,425	0,034	12,381	0,001*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Como se puede comprobar, prácticamente todas las variables siguen una distribución normal, dados los resultados de la prueba de Kolmogórov-Smirnov; asimismo, hay homogeneidad de las varianzas en gran parte de ellas, como muestran los resultados del estadístico de Levene. Por ello, se

escogen las pruebas paramétricas (t de Student) para comprobar la existencia de diferencias significativas, primero entre sexos, y luego entre el lado derecho e izquierdo, en caso de ser necesario.

Así, en primer lugar, se llevó a cabo la prueba t de Student para muestras independientes para comprobar la existencia de diferencias significativas entre sexos. Tal y como se recoge en la tabla 7.88, los resultados obtenidos indican la presencia de diferencias significativas entre ambos sexos. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba t de Student para muestras relacionadas, para comprobar la existencia de diferencias significativas entre las clavículas y las costillas derechas e izquierdas. Los resultados, recogidos en la tabla 7.89, indican que no existen diferencias significativas entre las medidas del lado derecho y del lado izquierdo, salvo en las clavículas, cuyos resultados indican la existencia de diferencias significativas entre el lado derecho y el izquierdo, por lo que se han utilizado ambos lados en el análisis discriminante.

Tabla 7.88. Resultados de la prueba t de Student para muestras independientes.

Variable	t de Student	gl	Significación
MAL1	7,018	278	0,000*
MAL2	6,001	278	0,000*
MAN	11,390	278	0,000*
MG	10,941	278	0,000*
CAL	14,598	278	0,000*
CAN1	8,262	278	0,000*
CAN2	6,880	278	0,000*
CG	9,699	278	0,000*
IE	-4,423	278	0,000*
AE	16,787	278	0,000*
CLD	6,599	278	0,000*
CLI	7,402	278	0,000*
R2R	8,156	278	0,000*
R3R	9,886	278	0,000*
R4R	12,156	278	0,000*
R5R	2,032	278	0,043*
R2L	8,275	278	0,000*

R3L	8,706	278	0,000*
R4L	10,395	278	0,000*
R5L	10,132	278	0,000*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.89. Resultados de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Par de variables	t de Student	gl	Significación
Par: CLD-CLI	3,286	279	0,001*
Par: R2R-R2L	1,309	279	0,192
Par: R3R-R3L	0,862	279	0,390
Par: R4R-R4L	-0,341	279	0,734
Par: R5R-R5L	0,393	279	0,695

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Finalmente, una vez comprobada la existencia de diferencias significativas entre sexos, se procedió al análisis discriminante. Así, en primer lugar, se construyeron las funciones discriminantes univariantes. De todas las variables estudiadas, solo dos de ellas obtuvieron una tasa de clasificación correcta por encima del 80%, que fueron las variables CAL (Altura del cuerpo esternal) y AE (Área Esternal). El resto arrojaron porcentajes que oscilan entre el 59,3% y el 78,2%. Las dos funciones discriminantes con mayor tasa de acierto, así como sus valores de clasificación y validación cruzada se sintetizan en las tablas 7.90 a 7.92.

Tabla 7.90. Funciones discriminantes univariantes de la cavidad torácica.

Variable	Coefficientes	Constante	Centroides	Punto de corte
<i>Función 1</i>				
CAL	0,096	-9,370	H = 0,872 M = -0,872	0,000
<i>Función 2</i>				
AE	0,001	-6,013	H = 1,003 M = -1,003	0,000

Tabla 7.91. Lambda de Wilks para las funciones univariantes.

Variable	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Significación
CAL	0,566	157,904	1	0,000*
AE	0,497	194,233	1	0,000*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.92. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para las funciones univariantes seleccionadas.

Función		Hombres				Mujeres				Total	Sesgo de sexo
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		n	%	n	%	n	%	n	%		
Función 1 (CAL)	% Original	108	77,1	32	22,9	119	85,0	21	15,0	81,1	-4,0
	Val. Cruzada	108	77,1	32	22,9	119	85,0	21	15,0	81,1	-4,0
Función 2 (AE)	% Original	116	82,9	24	17,1	123	87,9	17	12,1	85,4	-5,0
	Val. Cruzada	116	82,9	24	17,1	123	87,9	17	12,1	85,1	-5,0

Posteriormente, se procedió al análisis discriminante multivariante. Tras su aplicación, se seleccionaron tres funciones discriminantes, cuyos porcentajes de acierto superan el 80%, oscilando entre el 87,9% y el 89,6%. Estas funciones, así como sus Lambda de Wilks se recopilan en las tablas 7.93 y 7.94.

Tabla 7.93. Funciones discriminantes multivariantes de la cavidad torácica.

Variabes	Coeficientes	Constante	Centroides	Punto de corte
<i>Función 1</i>				
MG	0,224			
CAL	0,032			
CG	0,220		H = 1,270	
AE	0,001	-11,082	M = -1,396	-0,063
CLD	-0,066			
R4R	0,173			

<i>Función 2</i>				
MAL1	0,050			
MAN	0,050			
CAL	0,051	-13,872	H = 1,211 M = -1,211	0,000
R4R	0,162			
R4L	0,111			
<i>Función 3</i>				
MAL1	0,040			
MAN	0,035			
MG	0,211			
CAL	0,048	-14,952	H = 1,309 M = -1,309	0,000
CG	0,145			
R4R	0,142			
R5L	0,095			

Tabla 7.94. Lambda de Wilks para las funciones multivariantes.

Función	Lambda de Wilks	Chi-cuadrado	gl	Significación
Función 1	0,359	255,202	6	0,000*
Función 2	0,404	249,906	5	0,000*
Función 3	0,367	275,219	7	0,000*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Por último, los datos de acierto y validación cruzada, recogidos en la tabla 7.95, nos permiten comprobar la gran utilidad de las funciones seleccionadas, con porcentajes de clasificación correcta de entre el 88,9% y el 90,4%, y porcentajes de validación cruzada de entre el 87,9% y el 89,6% (Tabla 7.95).

Tabla 7.95. Porcentajes de clasificación correcta y Validación cruzada para las funciones multivariantes seleccionadas.

Función		Hombres				Mujeres				Total	Sesgo de sexo
		Acierto		Error		Acierto		Error			
		<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%		
Función 1	% Original	120	85,7	20	14,3	129	92,1	11	7,9	88,9	-6,4
	Val. Cruzada	118	84,3	22	15,7	128	91,4	12	8,6	87,9	-7,1

Función 2	% Original	124	88,6	16	11,4	128	91,4	12	8,6	90,0	-2,8
	Val. Cruzada	119	85,0	21	15,0	127	90,7	13	9,3	87,9	-5,7
Función 3	% Original	123	87,9	17	12,1	130	92,9	10	7,1	90,4	-5,0
	Val. Cruzada	121	86,4	19	13,6	130	92,9	10	7,1	89,6	-6,5

7.5. Estimación de la edad mediante análisis de imágenes torácicas 3D

En primer lugar, se recogen los resultados del análisis descriptivo de las frecuencias de cada una de las variables y sus puntuaciones (Tabla 7.96). Como se puede comprobar, la osificación del cartílago de la primera costilla comenzó a dar signos visibles a edades tempranas, a los 18 años en la costilla derecha y a los 20 años en la costilla izquierda en los varones, y a los 26 años en la costilla derecha y a los 23 años en la costilla izquierda en las mujeres. Asimismo, los resultados indican, al igual que en apartados previos, la gran variabilidad en la sinostosis de los diferentes segmentos esternales, especialmente en el caso de la sinostosis manubrio-esternal (se constata un rango etario de 18-93 años en varones y de 17-89 años en mujeres para la ausencia total de sinostosis, y un rango etario de 18-89 años en varones y de 23-90 años en mujeres para la sinostosis total).

Tabla 7.96. Análisis descriptivo y de frecuencias de las diferentes variables estudiadas según estadios de osificación, desglosado por sexos (Estadios 0-1).

Variable	Sexo	Estadio 0				Estadio 1			
		n	Edad media*	SD	Rango etario*	n	Edad media*	SD	Rango etario*
ROF	H	6	26	7	18-35	18	31	9	20-49
	M	12	26	8	17-48	19	36	8	26-51
LOF	H	5	25	7	18-36	18	31	9	18-49
	M	14	28	8	17-48	21	36	10	23-53
ROR	H	19	29	9	18-46	25	44	11	28-70
	M	27	34	12	17-71	23	38	10	21-59
LOR	H	13	26	9	18-46	24	41	12	24-70
	M	24	33	12	17-71	27	41	10	23-64
ROS	H	12	25	7	18-43	5	27	4	24-34
	M	22	29	8	17-49	15	41	11	26-65

LOS	H	12	26	7	18-43	5	28	5	21-35
	M	21	30	9	17-51	19	38	10	26-65
MC	H	93	53	19	18-93	15	58	21	26-84
	M	91	54	21	17-89	21	55	17	26-83
CX	H	9	36	19	18-68	2	22	1	21-23
	M	20	46	23	17-84	5	39	18	24-58

* Expresado en años

Tabla 7.96 (Cont.). Análisis descriptivo y de frecuencias de las diferentes variables estudiadas según estadios de osificación, desglosado por sexos (Estadio 2).

Estadio		Estadio 2			
Variable	Sexo	n	Edad media*	SD	Rango etario*
ROF	H	16	39	13	23-70
	M	17	51	18	24-81
LOF	H	16	37	12	24-70
	M	16	50	16	27-80
ROR	H	37	54	17	25-86
	M	29	55	15	24-86
LOR	H	41	51	16	25-86
	M	25	56	18	23-90
ROS	H	29	43	11	24-65
	M	40	49	15	28-86
LOS	H	27	41	11	24-65
	M	34	51	15	28-86
MC	H	32	57	20	18-89
	M	28	56	20	23-90
CX	H	129	56	19	21-93
	M	115	57	19	23-90

* Expresado en años

Tabla 7.96 (Cont.). Análisis descriptivo y de frecuencias de las diferentes variables estudiadas según estadios de osificación, desglosado por sexos (Estadios 3-4).

Estadio		Estadio 3				Estadio 4			
Variable	Sexo	n	Edad media*	SD	Rango etario*	n	Edad media*	SD	Rango etario*
ROF	H	21	54	18	27-84	79	65	15	29-93
	M	39	55	15	28-84	53	69	15	31-90

LOF	H	21	50	15	27-81	80	66	14	29-93
	M	33	56	16	28-81	56	69	14	41-90
ROR	H	25	60	16	29-83	34	73	12	43-93
	M	24	66	13	42-90	37	72	13	28-89
LOR	H	28	61	16	27-81	34	73	12	43-93
	M	31	62	14	28-86	33	74	12	48-89
ROS	H	34	54	16	28-89	60	69	14	29-93
	M	34	66	12	37-86	29	74	11	48-90
LOS	H	33	54	16	28-89	63	68	14	29-93
	M	33	64	13	37-86	33	75	10	48-90

* Expresado en años

Las diferentes escalas de osificación mostraron una correlación estadísticamente significativa con la edad, a través del coeficiente r de Spearman, a excepción de la variable MC (fusión manubrio-esternal), que no arrojó significación en ninguno de los sexos. Como se puede comprobar, el mejor resultado de correlación de Spearman en las mujeres fue arrojado por la variable LOS, con un valor de $r = 0,792$ ($p = 0,000$), mientras que el resultado más bajo, exceptuando la variable MC, lo obtuvo la variable CX, con un valor de $r = 0,226$ ($p = 0,007$). En el caso de los varones, el mejor resultado lo proporcionó la variable LOF ($r = 0,740$; $p = 0,000$), mientras que el resultado más bajo fue también arrojado por la variable CX ($r = 0,300$; $p = 0,000$). (Tabla 7.97).

Tabla 7.97. Resultados del análisis de correlación de Spearman de las diferentes variables, separadas por sexos.

Variable	Varones			Mujeres		
	r de Spearman	Sign.	Interpretación	r de Spearman	Sign.	Interpretación
ROF	0,695	0,000	Correlación buena	0,680	0,000	Correlación buena
LOF	0,740	0,000	Correlación buena	0,708	0,000	Correlación buena
ROR	0,705	0,000	Correlación buena	0,753	0,000	Correlación buena
LOR	0,711	0,000	Correlación buena	0,743	0,000	Correlación buena
ROS	0,736	0,000	Correlación buena	0,787	0,000	Correlación buena
LOS	0,731	0,000	Correlación buena	0,792	0,000	Correlación buena

MC	0,099	0,244	Correlación muy baja	0,047	0,585	Correlación muy baja
CX	0,300	0,000	Correlación baja	0,226	0,007	Correlación baja

A continuación, se llevó a cabo el cálculo del error intraobservador e interobservador, a través del Coeficiente K de Cohen. Los resultados se muestran en la tabla 7.98. Según lo reflejado en la tabla, tanto a nivel intraobservador como a nivel interobservador se han alcanzado unos niveles de acuerdo entre buenos y muy buenos, lo cual hace que el método sea preciso y reproducible.

Tabla 7.98. Resultados del error intraobservador e interobservador para la estimación de edad en imágenes 3D.

Variable	Error intraobservador		Error interobservador	
	K de Cohen	Interpretación	K de Cohen	Interpretación
ROF	0,763	Acuerdo bueno	0,833	Acuerdo muy bueno
LOF	0,702	Acuerdo bueno	0,812	Acuerdo muy bueno
ROR	0,827	Acuerdo muy bueno	0,769	Acuerdo bueno
LOR	0,725	Acuerdo bueno	0,848	Acuerdo muy bueno
ROS	0,841	Acuerdo muy bueno	0,892	Acuerdo muy bueno
LOS	0,848	Acuerdo muy bueno	0,855	Acuerdo muy bueno
MC	0,888	Acuerdo muy bueno	0,685	Acuerdo bueno
CX	0,957	Acuerdo muy bueno	0,934	Acuerdo muy bueno

Se encontraron diferencias significativas entre sexos, a través de la prueba t de Student para muestras independientes en gran parte de las variables, excepto en la variable OR para ambos lados (Tabla 7.99). Asimismo, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las variables separadas por lado (Tabla 7.100).

Tabla 7.99. Resultados de la prueba t de Student para muestras independientes.

Variable	t de Student	Significación
ROF	2,174	0,031*
LOF	2,592	0,010*
ROR	0,381	0,704
LOR	1,062	0,289
ROS	4,271	0,000*
LOS	4,206	0,000*
MC	0,145	0,885
CX	2,423	0,016*

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Tabla 7.100. Resultados de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Par de variables	t de Student	Significación
ROF-LOF	0,215	0,830
ROR-LOR	-1,830	0,068
ROS-LOS	-1,196	0,233

* El resultado es significativo ($p < 0,05$)

Posteriormente, se construyeron diez modelos de puntuaciones compuestas, derivados de la suma de las puntuaciones de varias variables. En ninguno de los modelos propuestos se empleó la variable MC (fusión manubrio-esternal), debido a las grandes variaciones en su sinostosis, sin una correlación significativamente estadística con la edad (Tabla 7.97). Los diferentes modelos construidos se muestran a continuación:

- Modelo 1: ROF + ROR + ROS
- Modelo 2: LOF + LOR + LOS
- Modelo 3: ROF + LOF + ROR + LOR
- Modelo 4: ROS + LOS + CX
- Modelo 5: ROR + LOR + ROS + LOS
- Modelo 6: ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS
- Modelo 7: ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS + CX
- Modelo 8: ROR + LOR + ROS + LOS + CX
- Modelo 9: ROF + LOF + ROR + LOR + CX
- Modelo 10: ROF + LOF + ROS + LOS

Previo a la construcción de las fórmulas de estimación de la edad mediante análisis de regresión, se procedió a calcular el coeficiente r de Spearman de las puntuaciones combinadas, para comprobar su grado de correlación con la edad. Los resultados, recogidos en la tabla 7.101, indican que, en varones, el modelo con mayor grado de correlación es el modelo 7, mientras que el modelo con menor grado de correlación es el modelo 4. Por su parte, en mujeres, el modelo con mayor grado de correlación es el modelo 6, mientras que el modelo con menor grado de correlación es el modelo 4.

Tabla 7.101. Resultados del análisis de correlación de Spearman de los diferentes modelos, separados por sexos.

Modelo	Varones			Mujeres		
	r de Spearman	Sign.	Interpretación	r de Spearman	Sign.	Interpretación
Modelo 1	0,816	0,000	Correlación muy buena	0,843	0,000	Correlación muy buena
Modelo 2	0,815	0,000	Correlación muy buena	0,837	0,000	Correlación muy buena
Modelo 3	0,792	0,000	Correlación buena	0,825	0,000	Correlación muy buena
Modelo 4	0,750	0,000	Correlación buena	0,785	0,000	Correlación buena
Modelo 5	0,804	0,000	Correlación muy buena	0,839	0,000	Correlación muy buena
Modelo 6	0,820	0,000	Correlación muy buena	0,847	0,000	Correlación muy buena
Modelo 7	0,824	0,000	Correlación muy buena	0,844	0,000	Correlación muy buena
Modelo 8	0,807	0,000	Correlación muy buena	0,840	0,000	Correlación muy buena
Modelo 9	0,797	0,000	Correlación buena	0,821	0,000	Correlación muy buena
Modelo 10	0,788	0,000	Correlación buena	0,804	0,000	Correlación muy buena

Una vez calculados los coeficientes r de Spearman, se procedió al análisis de regresión. Para ello, se siguieron dos procedimientos, mediante regresión lineal y regresión exponencial. Como se puede comprobar en las tablas 7.102 y 7.103, en los diez modelos propuestos, el coeficiente de determinación (R^2) es mayor en el modelo exponencial en ambos sexos que en el modelo lineal. Dado su mejor valor de correlación, se optó por seguir el modelo de regresión exponencial para desarrollar las fórmulas de estimación de la edad.

Tabla 7.102. Comparativa de los coeficientes de determinación en los modelos lineal y exponencial (varones).

Modelo	Tipo de regresión	Coeficientes de determinación		
		R	R^2	R^2 corregida
Modelo 1	Lineal	0,819	0,670	0,668
	Exponencial	0,851	0,724	0,722
Modelo 2	Lineal	0,813	0,662	0,659
	Exponencial	0,847	0,718	0,716
Modelo 3	Lineal	0,796	0,633	0,631
	Exponencial	0,822	0,675	0,673
Modelo 4	Lineal	0,738	0,545	0,542
	Exponencial	0,788	0,621	0,619
Modelo 5	Lineal	0,805	0,648	0,646
	Exponencial	0,828	0,686	0,683
Modelo 6	Lineal	0,821	0,675	0,673
	Exponencial	0,855	0,731	0,729
Modelo 7	Lineal	0,820	0,673	0,670
	Exponencial	0,857	0,735	0,733
Modelo 8	Lineal	0,803	0,645	0,643
	Exponencial	0,832	0,692	0,689
Modelo 9	Lineal	0,798	0,636	0,633
	Exponencial	0,829	0,687	0,685
Modelo 10	Lineal	0,792	0,627	0,624
	Exponencial	0,840	0,705	0,703

Tabla 7.103. Comparativa de los coeficientes de determinación en los modelos lineal y exponencial (mujeres).

Modelo	Tipo de regresión	Coeficientes de determinación		
		R	R ²	R ² corregida
Modelo 1	Lineal	0,843	0,711	0,709
	Exponencial	0,858	0,737	0,735
Modelo 2	Lineal	0,839	0,704	0,702
	Exponencial	0,852	0,726	0,724
Modelo 3	Lineal	0,824	0,680	0,677
	Exponencial	0,839	0,703	0,701
Modelo 4	Lineal	0,783	0,613	0,610
	Exponencial	0,807	0,651	0,649
Modelo 5	Lineal	0,843	0,711	0,709
	Exponencial	0,847	0,718	0,716
Modelo 6	Lineal	0,848	0,719	0,717
	Exponencial	0,862	0,743	0,742
Modelo 7	Lineal	0,845	0,714	0,712
	Exponencial	0,863	0,745	0,744
Modelo 8	Lineal	0,841	0,707	0,705
	Exponencial	0,851	0,725	0,723
Modelo 9	Lineal	0,820	0,673	0,670
	Exponencial	0,841	0,707	0,705
Modelo 10	Lineal	0,806	0,650	0,647
	Exponencial	0,829	0,688	0,686

Así pues, podemos comprobar que los coeficientes de determinación son mayores en las mujeres que en los varones en todos los modelos propuestos, a excepción del modelo 10, cuyo R² es mayor en varones que en mujeres. No obstante, el modelo cuyo coeficiente de determinación ha sido el más alto en ambos sexos corresponde al modelo 7, compuesto por la suma de las variables ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS + CX; el R² en varones es de 0,733 y en mujeres de 0,744. Le sigue muy de cerca el modelo 6, compuesto por las variables ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS, con R² en varones de 0,729 y en mujeres de 0,742. En las tablas 7.104 y 7.105 se recogen las fórmulas de regresión derivadas de cada uno de los modelos,

ordenadas según el coeficiente de determinación. Asimismo, los gráficos 7.1 a 7.10 recogen los gráficos obtenidos por cada uno de los modelos de regresión, separados por sexos.

Tabla 7.104. Fórmulas de regresión para la estimación de edad en varones.

Modelo	Componentes	Fórmula de regresión: Edad=		Coeficiente de determinación (R ²)	Error Estándar de la Estimación (SEE; en años)
		$a * e^{(b * puntuación)}$			
		a	b		
Modelo 7	ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS + CX	19,706	0,051	0,733	11,356
Modelo 6	ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS	21,214	0,052	0,729	11,321
Modelo 1	ROF + ROR + ROS	21,701	0,103	0,722	11,399
Modelo 2	LOF + LOR + LOS	21,210	0,104	0,716	11,547
Modelo 10	ROF + LOF + ROS + LOS	20,480	0,075	0,703	12,132
Modelo 8	ROR + LOR + ROS + LOS + CX	21,111	0,071	0,689	11,827
Modelo 9	ROF + LOF + ROR + LOR + CX	20,635	0,071	0,685	11,977
Modelo 5	ROR + LOR + ROS + LOS	23,443	0,074	0,683	11,775
Modelo 3	ROF + LOF + ROR + LOR	23,053	0,073	0,673	12,025
Modelo 4	ROS + LOS + CX	19,914	0,121	0,619	13,387

Tabla 7.105. Fórmulas de regresión para la estimación de edad en mujeres.

Modelo	Componentes	Fórmula de regresión: Edad=		Coeficiente de determinación (R ²)	Error Estándar de la Estimación (SEE; en años)
		$a * e^{(b * puntuación)}$			
		a	b		
Modelo 7	ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS + CX	24,087	0,047	0,744	10,670
Modelo 6	ROF + LOF + ROR + LOR + ROS + LOS	25,586	0,048	0,742	10,567
Modelo 1	ROF + ROR + ROS	25,584	0,096	0,735	10,719
Modelo 2	LOF + LOR + LOS	26,159	0,093	0,724	10,854
Modelo 8	ROR + LOR + ROS + LOS + CX	25,429	0,066	0,723	10,799
Modelo 5	ROR + LOR + ROS + LOS	27,844	0,068	0,716	10,721
Modelo 9	ROF + LOF + ROR + LOR + CX	23,784	0,066	0,705	11,407
Modelo 3	ROF + LOF + ROR + LOR	25,909	0,069	0,701	11,287
Modelo 10	ROF + LOF + ROS + LOS	25,945	0,067	0,686	11,799
Modelo 4	ROS + LOS + CX	25,151	0,113	0,649	12,406

Para facilitar la interpretación de las fórmulas de regresión obtenidas, las tablas 7.106 a 7.115 sintetizan la edad predicha por cada una de ellas según los diferentes modelos, a la vez que se recogen datos descriptivos de

los individuos estudiados para cada una de las puntuaciones de los diferentes modelos (edad media, desviación típica y rango de edades) (Gráficos 7.1 a 7.10).

Tabla 7.106. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 1.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	21,70	3	20,33	4,041	18-25
1	24,06	5	22,80	2,950	20-26
2	26,67	3	33,67	10,066	23-43
3	29,56	5	32,00	9,274	24-46
4	32,76	9	33,00	7,483	27-48
5	36,32	8	32,38	4,173	25-37
6	40,26	8	45,13	13,282	29-70
7	44,63	8	43,63	9,365	28-54
8	49,47	11	53,91	8,573	39-68
9	54,84	23	58,78	14,647	37-86
10	60,79	12	56,92	13,521	29-80
11	67,38	17	70,65	13,537	38-89
12	74,69	28	74,43	10,243	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	25,58	7	23,29	3,094	17-27
1	28,16	7	29,71	9,517	21-48
2	31,00	7	38,14	8,214	32-51
3	34,12	5	31,60	8,735	26-47
4	37,56	13	36,00	8,515	24-55
5	41,35	9	40,78	11,245	28,59
6	45,51	6	48,60	7,092	41-60
7	50,10	13	49,31	12,338	31-73
8	55-15	17	62,06	11,621	42-86
9	60,70	13	66,08	13,301	45-84
10	66,82	12	68,17	10,710	51-86
11	73,55	15	73,27	10,313	55-90
12	80,96	17	76,24	11,388	48-89

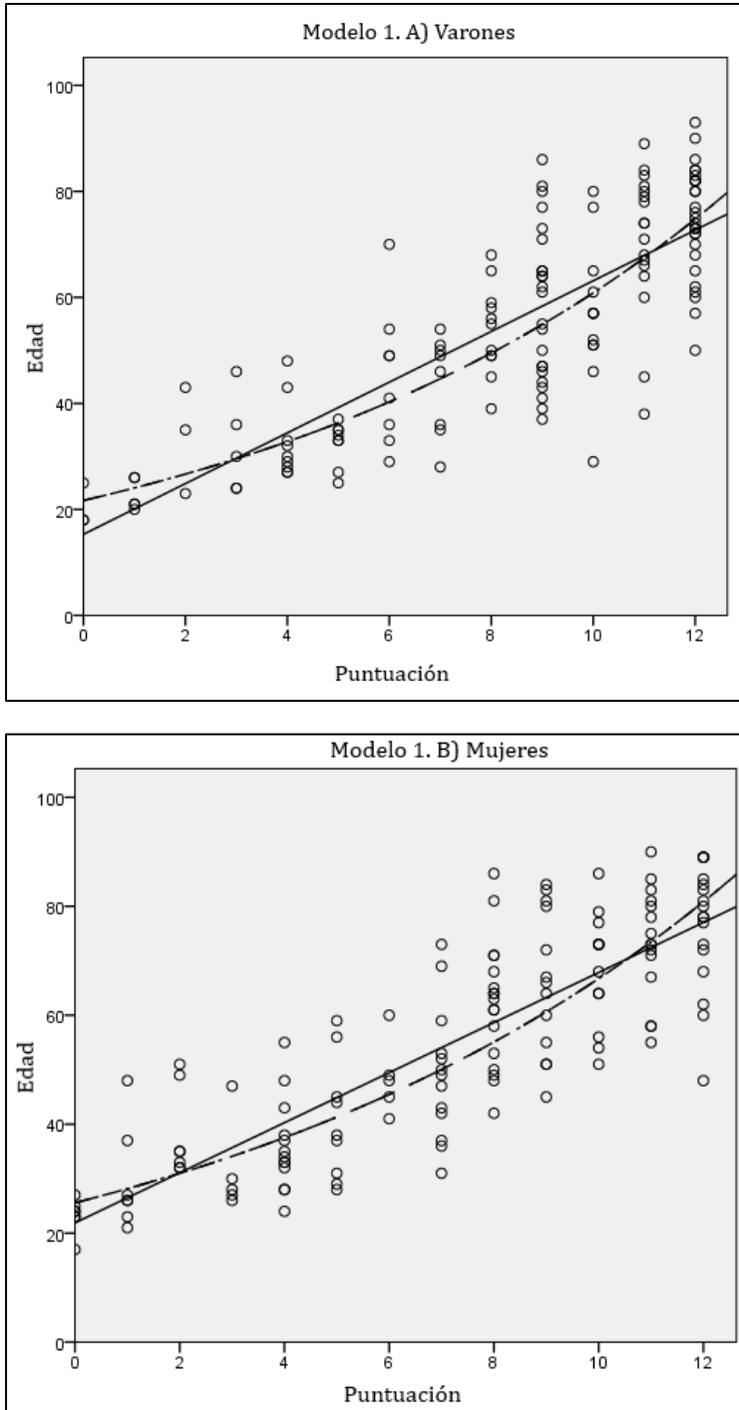


Gráfico 7.1. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 1. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.107. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 2.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	21,21	4	22,50	3,697	18-26
1	23,53	3	20,33	2,517	18-23
2	26,11	2	25,50	6,364	21-30
3	28,98	6	36,00	7,563	26-46
4	32,15	7	31,00	8,794	24-48
5	35,68	10	33,20	5,594	27-43
6	39,59	8	37,75	9,067	27-54
7	43,92	6	53,67	12,549	35-70
8	48,74	11	48,55	10,377	29-68
9	54,08	17	57,53	12,104	37-86
10	60,01	21	60,29	14,231	38-81
11	66,58	15	66,87	15,878	29-89
12	73,88	30	74,77	10,268	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	26,16	9	24,44	4,187	17-32
1	28,71	4	38,25	13,074	26-51
2	31,51	8	34,25	8,988	23-49
3	34,58	9	34,78	10,438	23-55
4	37,95	10	33,50	6,416	27-48
5	41,65	8	40,25	10,068	28-59
6	45,70	6	49,33	13,110	34-69
7	50,16	13	53,62	9,509	36,68
8	55,05	12	59,67	15,072	37-86
9	60,41	17	62,59	11,635	42-83
10	66,30	12	72,83	10,607	51-90
11	72,76	11	72,00	9,241	54-81
12	79,85	21	75,52	11,669	48-89

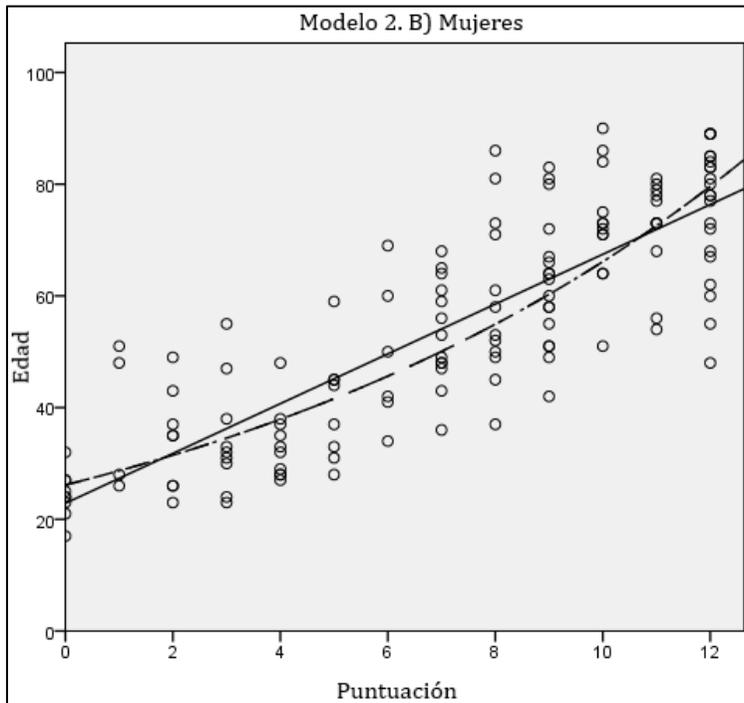
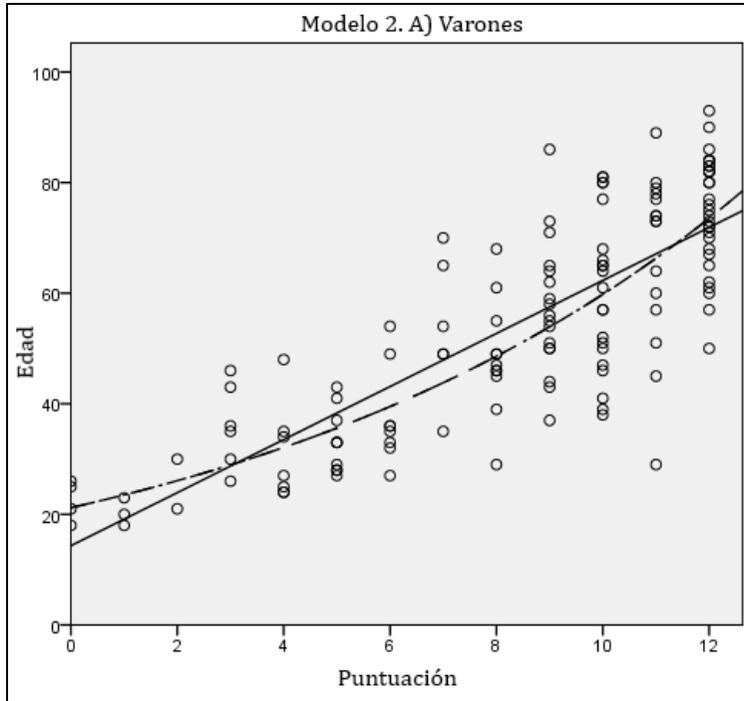


Gráfico 7.2. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 2. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.108. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 3.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	23,05	2	21,50	4,950	18-25
1	24,80	3	21,67	4,041	18-26
2	26,68	6	30,67	10,113	20,46
3	28,70	2	23,50	0,707	23-24
4	30,87	7	35,00	8,083	24,48
5	33,21	5	32,60	6,107	28-43
6	35,72	6	38,33	15,996	27-70
7	38,43	4	34,75	5,058	29-41
8	41,34	7	38,57	11,208	25-54
9	44,47	4	49,00	10,231	36-61
10	47,84	10	54,00	12,875	27-73
11	51,46	9	54,89	13,430	39-81
12	55,36	18	57,78	14,190	37-86
13	59,55	8	59,88	15,217	38-81
14	64,06	14	63,79	15,577	29-80
15	68,91	7	72,57	9,271	57-84
16	74,13	28	74,25	11,456	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	25,91	6	23,33	3,386	17-27
1	27,76	3	25,33	3,786	21-28
2	29,74	7	35,71	10,452	23-51
3	31,87	6	32,50	6,656	26-43
4	34,14	7	38-57	9,880	23-49
5	36,58	7	35,86	9,317	27-55
6	39,20	5	43,80	14,096	28-59
7	42,00	4	33,00	9,201	24-45
8	45,00	7	45,57	15,587	28-71
9	48,21	7	47,57	11,802	34-69
10	51,66	5	50,60	12,818	36-68
11	55,35	13	58,85	10,976	42-81
12	59,30	16	65,13	13,613	42-86
13	63,53	6	67,83	13,408	49-90
14	68,07	11	68,82	11,418	51-86
15	72,94	11	69,64	10,993	54-85
16	78,15	19	77,21	10,876	48-89

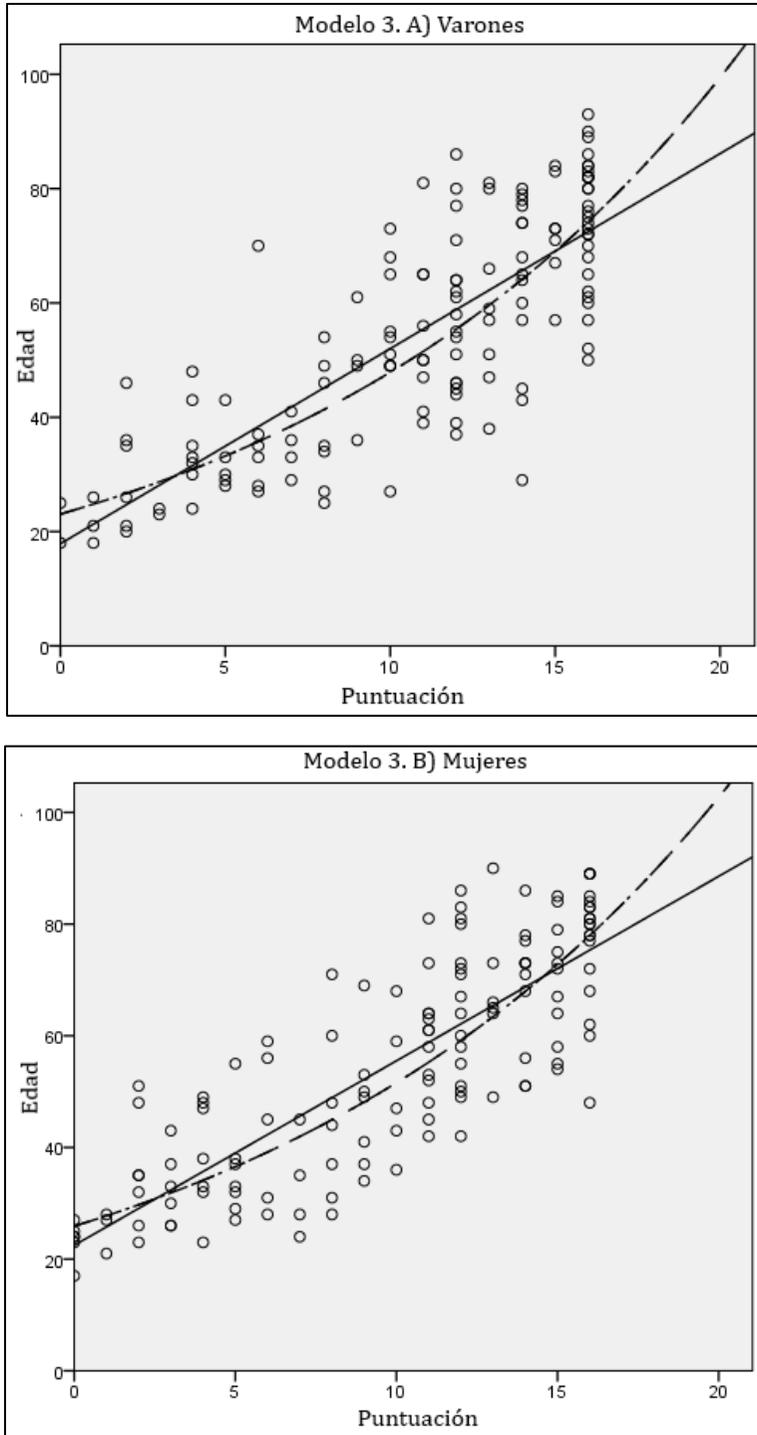


Gráfico 7.3. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 3. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.109. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 4.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	19,91	4	21,50	5,745	18-30
1	22,48	2	22,00	1,414	21-23
2	25,37	3	31,33	10,116	25-43
3	28,63	7	27,57	5,159	21-35
4	32,31	3	32,67	10,693	26-45
5	36,47	1	30,00	-	-
6	41,16	20	43,25	11,059	24-65
7	46,45	9	42,44	9,488	33-58
8	52,43	27	55,44	15,805	28-89
9	59,17	10	54,90	18,729	29-77
10	66,78	54	69,94	13,087	38-93
<i>Mujeres</i>					
0	25,15	8	24,75	5,825	17-37
1	28,16	4	32,00	12,780	24-51
2	31,53	8	32,13	10,467	23-49
3	35,30	4	34,50	2,082	32-37
4	39,52	14	42,64	16,639	26-84
5	44,25	9	40,56	11,348	30-66
6	49,55	30	52,77	14,354	28-86
7	55,47	8	61,63	12,501	42-81
8	62,11	23	65,43	13,152	37-86
9	69,54	7	68,43	9,914	56-83
10	77,86	25	75,96	10,675	48-90

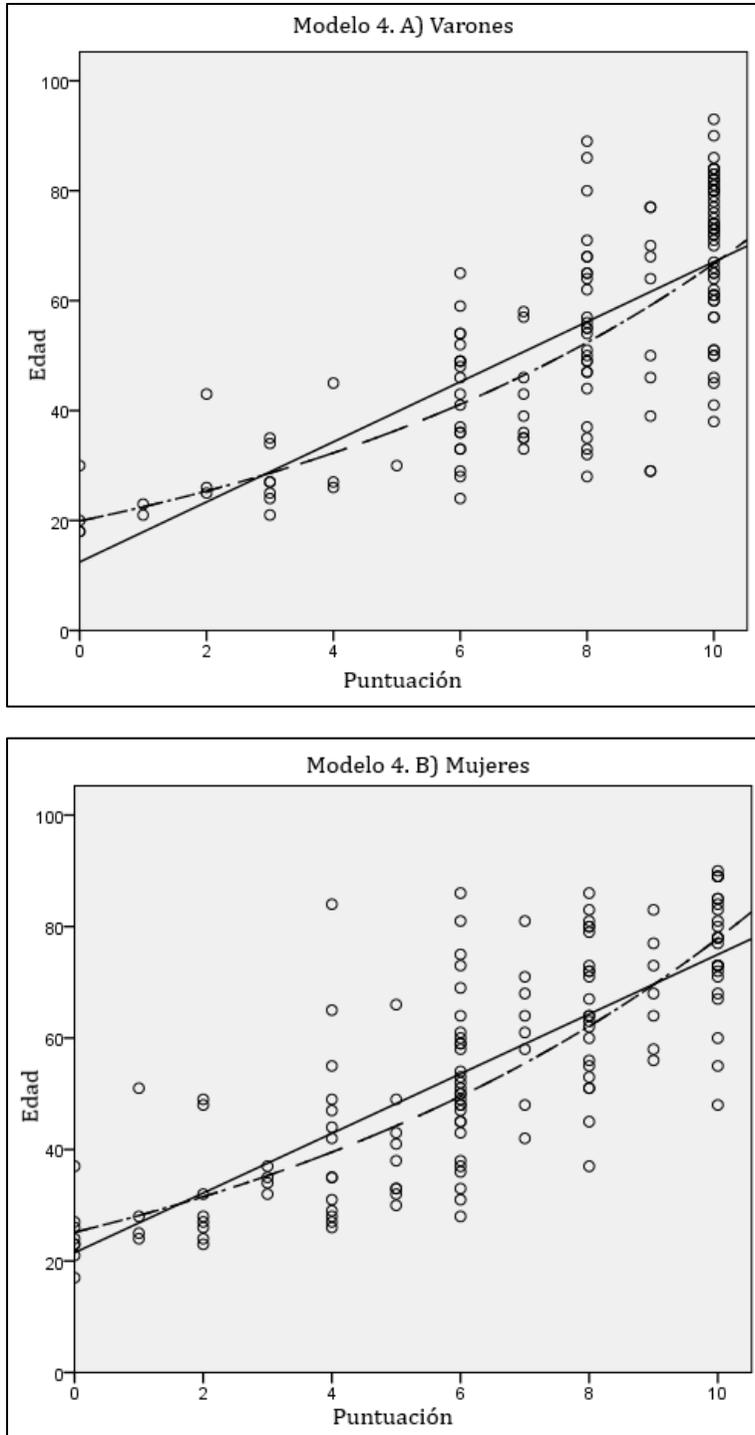


Gráfico 7.4. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 4. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.110. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 5.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	23,44	7	21,57	3,207	18-26
1	25,24	2	32,00	15,556	21-43
2	27,18	1	26,00	-	-
3	29,27	3	29,33	5,033	24-34
4	31,52	2	40,50	7,778	35-46
5	33,94	8	30,88	6,312	24-43
6	36,55	7	38,57	10,081	27-54
7	39,35	6	38,83	7,960	32-49
8	42,38	7	43,14	14,112	28-65
9	45,63	9	48,56	11,024	33-70
10	49,14	18	55,33	13,758	29-86
11	52,91	5	54,20	15,547	39-80
12	56,97	13	59,31	13,187	37-80
13	61,35	10	60,50	17,678	29-81
14	66,06	9	67,11	16,066	41-89
15	71,13	6	74,50	5,925	67-83
16	76,60	27	74,89	10,588	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	27,84	9	25,56	5,247	17-37
1	29,80	4	31,75	13,696	21-51
2	31,90	8	37,50	11,625	26-55
3	34,15	4	30,25	5,852	23-35
4	36,55	13	34,46	7,287	24-47
5	39,12	5	34,40	3,362	31-38
6	41,87	5	43,80	10,281	34-59
7	44,82	7	49,86	6,517	45-64
8	47,97	12	54,67	16,002	28-86
9	51,35	7	57,00	11,150	42-73
10	54,96	9	57,56	13,049	37-83
11	58,83	5	67,60	9,633	55-81
12	62,97	10	66,40	13,640	51-86
13	67,40	8	70,00	11,071	56-90
14	72,14	10	73,10	8,157	54-81
15	77,22	6	77,50	5,431	73-85
16	82,65	18	74,72	12,271	48-89

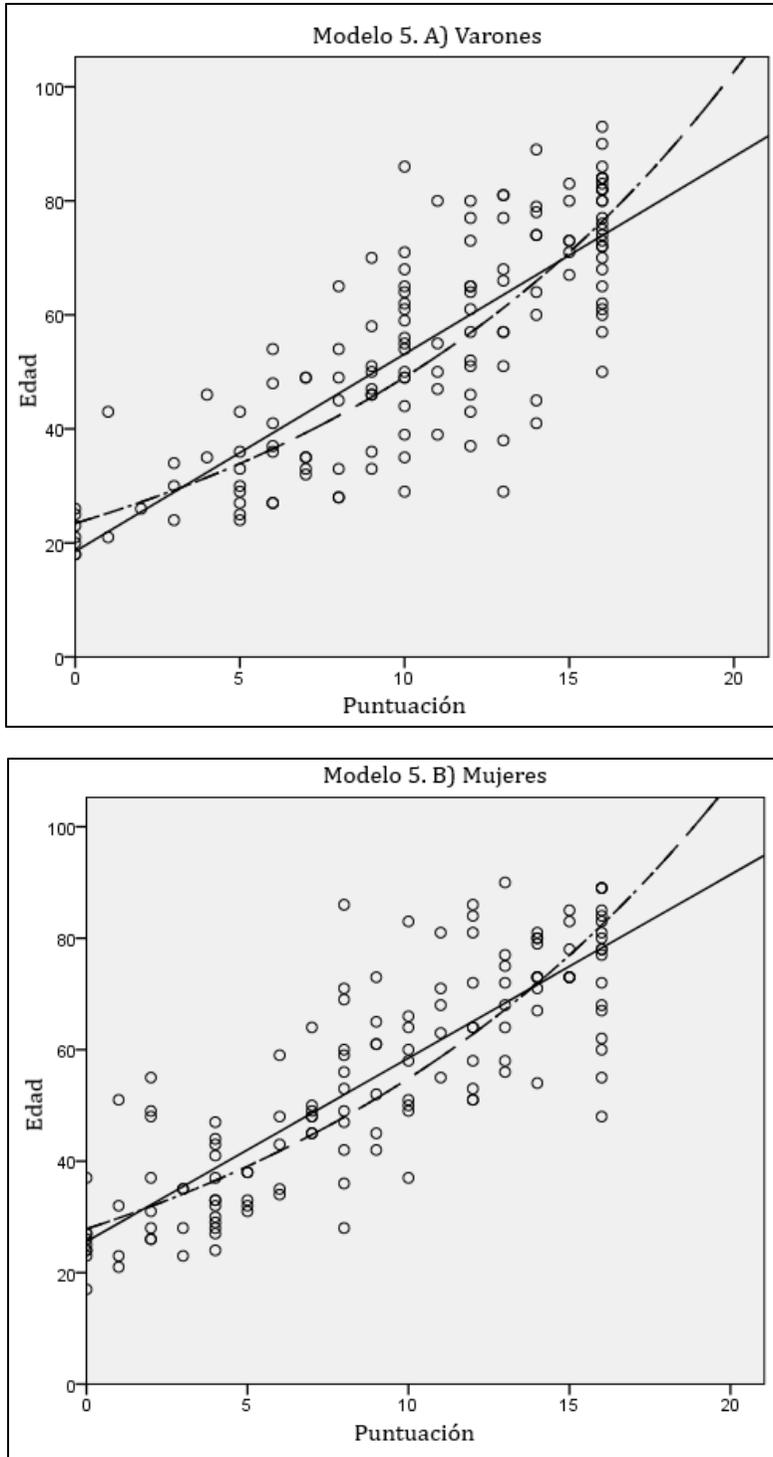


Gráfico 7.5. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 5. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.111. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 6.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	21,21	2	21,50	4,950	18-25
1	22,35	3	21,67	4,041	18-26
2	23,54	1	20,00	-	-
3	24,80	3	22,00	1,414	21-23
4	26,12	1	26,00	-	-
5	27,51	3	36,00	6,557	30-43
6	28,98	2	41,00	7,071	36-46
7	30,53	3	26,00	3,464	24-30
8	32,16	2	37,50	14,849	27-48
9	33,87	8	31,75	5,776	25-43
10	35,68	3	34,00	2,646	32-37
11	37,59	5	33,80	5,020	27-41
12	39,59	4	41,75	11,899	28-54
13	41,71	3	51,67	17,156	36-70
14	43,93	4	41,75	11,701	29-54
15	46,28	2	55,50	13,435	46-65
16	48,75	7	52,43	7,480	45-68
17	51,35	8	52,00	7,709	39-61
18	54,09	12	57,75	15,155	37-86
19	56,98	8	63,13	15,688	41-81
20	60,02	8	58,63	10,487	46-80
21	63,22	8	58,37	18,299	29-81
22	66,60	9	71,44	13,135	45-89
23	70,15	6	75,17	6,824	67-84
24	73,90	26	74,54	10,637	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	25,59	6	23,33	3,386	17-27
1	26,84	2	24,00	4,243	21-27
2	28,16	4	32,25	11,147	23-48
3	29,55	3	38,00	12,530	26-51
4	31,00	5	34,00	9,798	23-49
5	32,53	1	26,00	-	-
6	34,13	5	37,00	7,517	30-47
7	35,80	6	34,83	11,017	24-55
8	37,56	5	34,00	8,337	28-48
9	39,41	5	34,80	3,768	29-38
10	41,35	5	42,00	11,853	28-59

11	43,38	1	45,00	-	-
12	45,52	4	47,00	13,441	31-60
13	47,75	4	52,25	11,673	42-69
14	50,10	6	47,17	7,600	36-59
15	52,56	10	57,40	10,762	37-73
16	55,15	4	67,00	15,297	50-86
17	57,86	8	60,38	15,023	42-81
18	60,71	11	65,45	10,746	51-83
19	63,69	2	71,00	18,385	58-84
20	66,82	6	66,00	12,215	51-86
21	70,11	11	71,64	10,023	54-90
22	73,56	5	77,00	3,808	73-81
23	77,17	5	72,60	12,280	55-85
24	80,97	16	76,44	11,730	48-89

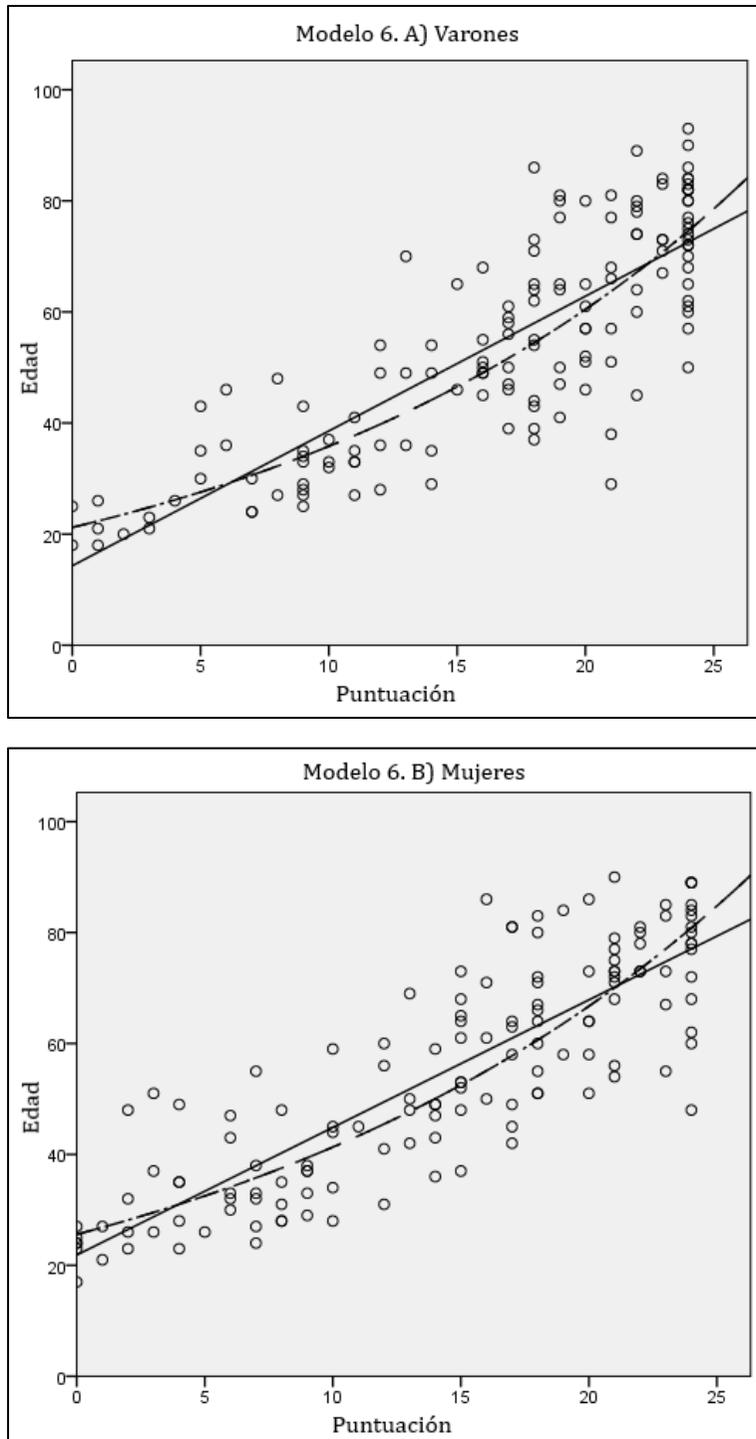


Gráfico 7.6. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 6. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.112. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 7.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	19,71	1	18,00	-	-
1	20,74	1	18,00	-	-
2	21,82	3	22,00	2,646	20-25
3	22,96	1	26,00	-	-
4	24,17	1	23,00	-	-
5	25,43	3	28,67	7,095	21-35
6	26,76	1	26,00	-	-
7	28,16	2	33,50	13,435	24-43
8	29,63	2	41,00	7,071	36-46
9	31,18	2	27,00	4,243	24-30
10	32,82	2	37,50	14,849	27-48
11	34,53	8	31,75	5,776	25-43
12	36,34	3	34,00	2,646	32-37
13	38,24	5	33,80	5,020	27-41
14	40,24	4	41,75	11,899	28-54
15	42,35	3	51,67	17,156	36-70
16	44,56	5	42,40	10,237	29-54
17	46,90	2	55,50	13,435	46-65
18	49,35	6	53,67	7,367	49-68
19	51,93	8	52,00	7,709	39-61
20	54,65	12	57,75	15,155	37-86
21	57,51	8	63,13	15,688	41-81
22	60,52	8	58,63	10,487	46-80
23	63,68	8	58,37	18,299	29-81
24	67,02	11	70,55	11,936	45-89
25	70,52	6	75,17	6,824	67-84
26	74,21	24	75,21	10,802	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	24,09	4	22,75	4,193	17-27
1	25,25	2	23,00	2,828	21-25

2	26,46	1	24,00	-	-
3	27,73	4	35,25	11,615	26-51
4	29,07	5	30,40	10,502	23-48
5	30,47	1	28,00	-	-
6	31,93	3	39,67	8,083	35-49
7	33,47	1	26,00	-	-
8	35,08	7	33,86	8,235	24-47
9	36,77	6	35,67	10,191	27-55
10	38,54	4	35,50	8,813	28-48
11	40,39	4	36,25	2,217	33-38
12	42,34	5	42,00	11,853	28-59
13	44,37	1	45,00	-	-
14	46,51	5	47,40	11,675	31-60
15	48,75	4	52,25	11,673	42-69
16	51,09	5	46,80	8,438	36-59
17	53,55	11	59,55	12,445	37-81
18	56,13	6	65,33	12,388	50-86
19	58,83	7	61,14	16,847	42-84
20	61,66	11	66,09	10,986	51,83
21	64,63	5	63,20	9,203	54-75
22	67,74	4	66,25	14,523	51-86
23	71,00	8	73,50	9,666	56-90
24	74,42	6	74,50	7,007	62-81
25	78,00	5	72,60	12,280	55-85
26	81,75	15	77,40	11,469	48-89

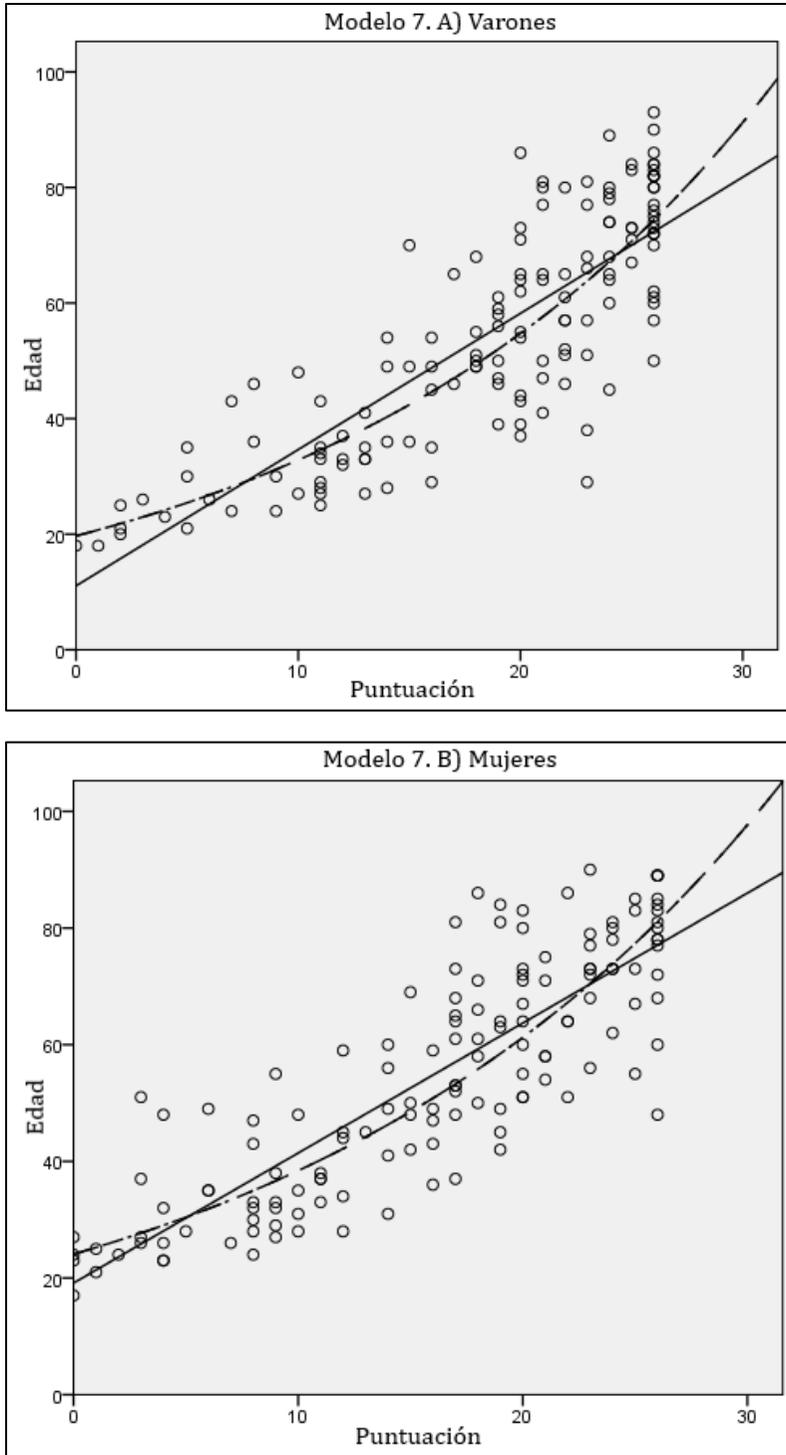


Gráfico 7.7. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 7. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.113. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 8.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	21,11	3	18,67	1,155	18-20
1	22,66	2	22,00	1,414	21-23
2	24,33	2	25,50	0,707	25-26
3	26,12	4	29,50	9,747	21-43
4	28,04	2	30,50	6,364	26-35
5	30,11	1	34,00	-	-
6	32,32	1	46,00	-	-
7	34,70	8	30,88	6,312	24-43
8	37,26	8	39,38	9,606	27-54
9	40,00	6	38,83	7,960	32-49
10	42,94	6	42,83	15,433	28-65
11	46,10	9	48,56	11,024	33-70
12	49,49	18	55,33	13,758	29-86
13	53,13	5	54,20	15,547	39-80
14	57,04	13	59,31	13,187	37-80
15	61,24	10	60,50	17,678	29-81
16	65,75	11	67,00	14,387	41-89
17	70,58	6	74,50	5,925	67-83
18	75,78	25	75,56	10,720	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	25,43	5	25,60	7,335	17-37
1	27,16	3	32,33	16,289	21-51
2	29,02	4	25,75	1,258	24-27
3	31,00	3	26,00	5,196	23-32
4	33,11	9	36,78	11,020	26-55
5	35,37	3	31,33	6,351	24-35
6	37,78	11	35,91	6,891	27-47
7	40,36	6	36,83	6,676	31-49
8	43,12	6	41,17	11,232	28-59
9	46,06	6	50,00	7,127	45-64
10	49,20	12	57,83	13,862	36-86
11	52,56	9	59,78	12,518	42-81
12	56,14	8	59,75	16,697	37-84
13	59,97	5	66,40	7,733	55-75
14	64,06	13	64,31	11,535	51-86
15	68,44	6	71,17	11,669	56-90
16	73,10	8	74,38	6,968	62,81
17	78,09	6	77,50	5,431	73-85
18	83,42	17	75,47	12,217	48-89

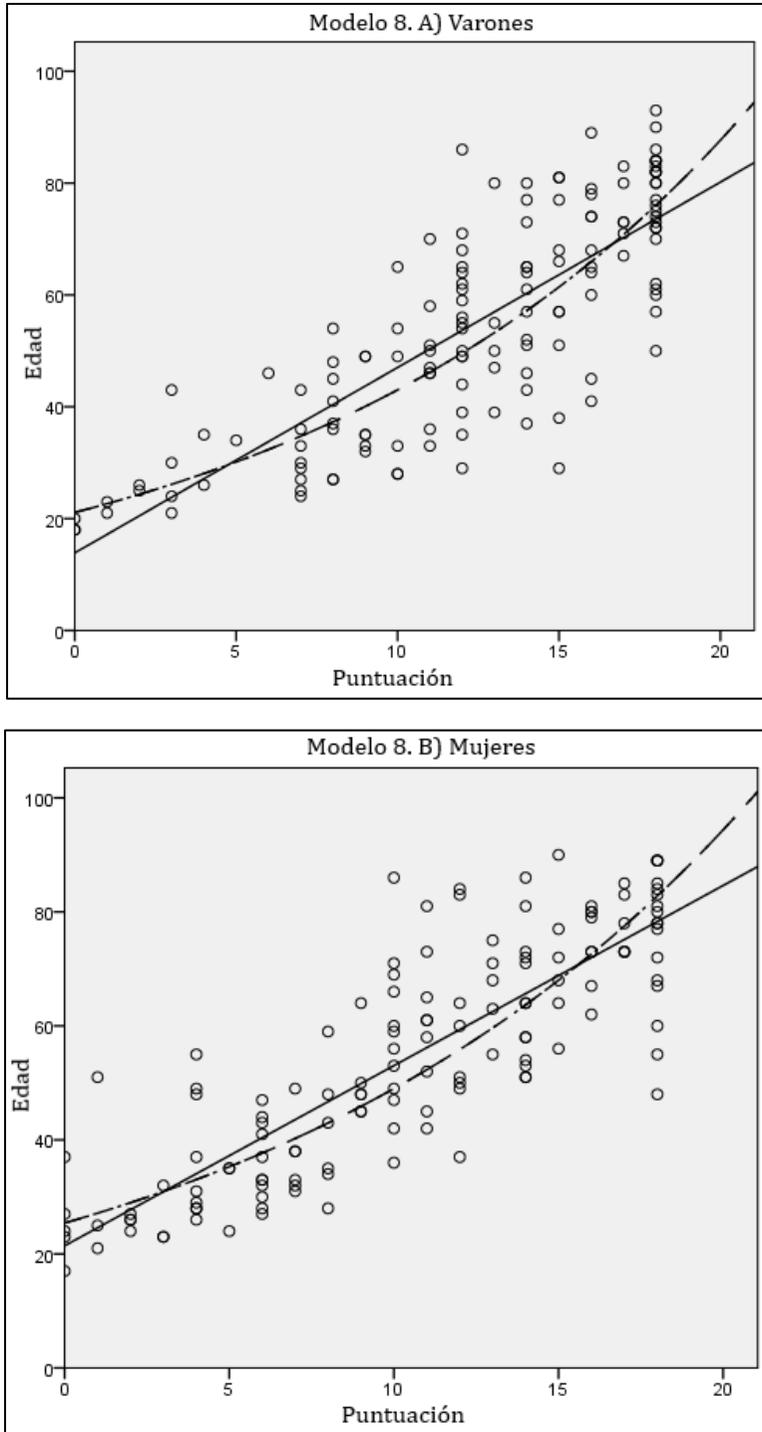


Gráfico 7.8. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 8. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.114. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 9.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	20,64	1	18,00	-	-
1	22,15	1	18,00	-	-
2	23,78	4	25,25	6,850	20-35
3	25,53	1	26,00	-	-
4	27,41	6	29,33	9,709	21-46
5	29,43	2	27,00	4,243	24-30
6	31,59	6	36,83	7,083	30-48
7	33,92	4	33,25	6,850	28-43
8	36,42	6	38,33	15,996	27-70
9	39,09	4	34,75	5,058	29-71
10	41,97	7	38,57	11,208	25-54
11	45,06	4	49,00	10,231	36-61
12	48,38	11	53,18	12,513	27-73
13	51,93	9	54,89	13,430	39-81
14	55,76	17	58,53	14,253	37-86
15	59,86	8	59,88	15,217	38-81
16	64,26	16	64,13	14,541	29-80
17	68,99	7	72,57	9,271	57-84
18	74,07	26	74,85	11,678	50-93
<i>Mujeres</i>					
0	23,78	4	22,75	4,193	17-27
1	25,41	2	23,00	2,828	21,25
2	27,14	3	34,33	14,572	24-51
3	28,99	3	30,00	6,083	26-37
4	30,97	7	31,71	8,864	23-48
5	33,08	5	32,20	6,535	26-43
6	35,34	6	41,17	7,782	32-49
7	37,75	7	35,71	9,447	27-55
8	40,33	6	40,50	14,977	24-59
9	43,08	3	43,00	7,211	35-49
10	46,02	7	45,57	15,587	28-71
11	49,16	7	52,14	17,344	34-81
12	52,51	7	54,86	13,459	36-73
13	56,09	12	57,67	9,480	42-73
14	59,92	16	65,00	13,545	42-86
15	64,01	8	69,25	14,059	49-90
16	68,38	12	67,17	11,400	51-86
17	73,04	7	70,71	9,878	55-85
18	78,02	18	78,06	10,530	48-89

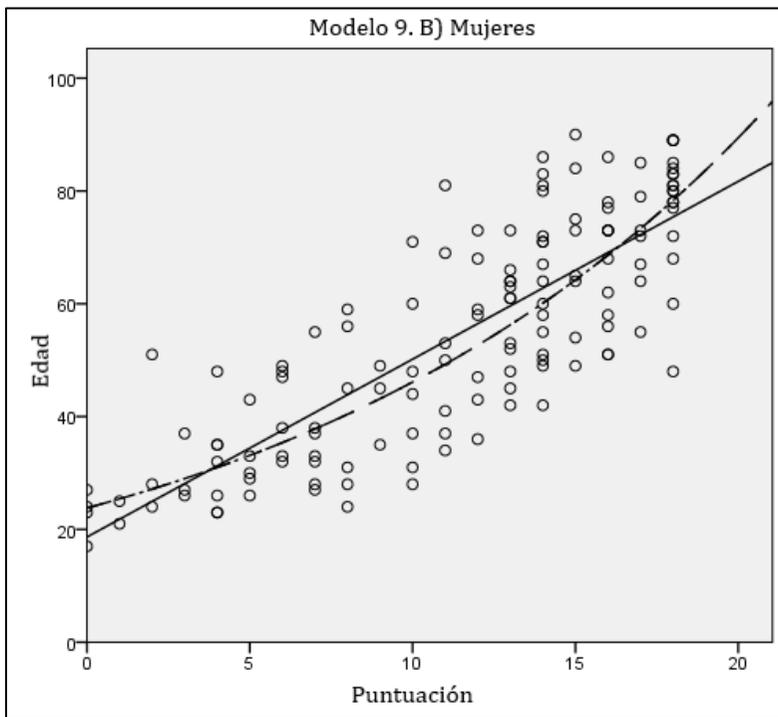
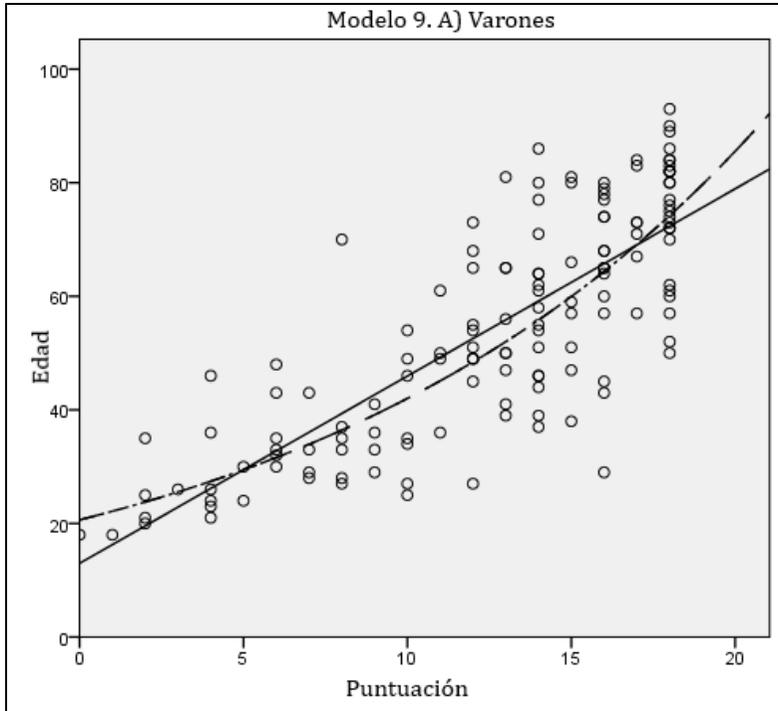


Gráfico 7.9. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 9. A) varones; B) mujeres.

Tabla 7.115. Edad estimada y estadística descriptiva para cada puntuación: Modelo 10.

Puntuación	Edad estimada	n	Edad media	S.D.	Rango
<i>Varones</i>					
0	20,48	2	21,50	4,950	18-25
1	22,08	3	21,67	4,041	18-26
2	23,79	2	25,00	7,071	20-30
3	25,65	2	22,00	1,414	21-23
4	27,65	5	31,60	7,335	26-43
5	29,80	5	30,40	4,278	25-36
6	32,12	4	41,75	11,899	24-49
7	34,62	4	30,00	5,354	24-35
8	37,32	5	37,80	9,576	29-54
9	40,22	6	36,17	4,665	32-43
10	43,36	4	38,75	9,179	28-49
11	46,73	8	50,25	14,587	29-70
12	50,37	7	51,71	9,725	37-68
13	54,30	7	49,71	5,964	41-58
14	58,52	19	63,95	14,116	44-89
15	63,08	8	62,87	19,606	29-84
16	68,00	49	69,90	12,692	38-93
<i>Mujeres</i>					
0	25,95	8	26,13	9,326	17-48
1	27,74	6	26,50	3,391	23-32
2	29,67	2	37,50	16,263	26-49
3	31,72	7	35,57	8,039	24-51
4	33,92	2	37,50	13,435	28-47
5	36,27	8	32,88	5,617	26-43
6	38,78	3	36,33	10,408	28,48
7	41,47	3	47,33	6,807	42-55
8	44,34	10	46,10	11,921	31-65
9	47,42	5	51,20	18,006	29-69
10	50,70	14	56,50	15,240	28-81
11	54,22	8	50,88	16,780	31-84
12	57,97	11	62,64	13,359	43-86
13	61,99	7	60,71	12,271	42-79
14	66,29	15	68,20	12,740	45-86
15	70,88	11	69,73	8,821	55-83
16	75,79	20	77,10	11,130	48-90

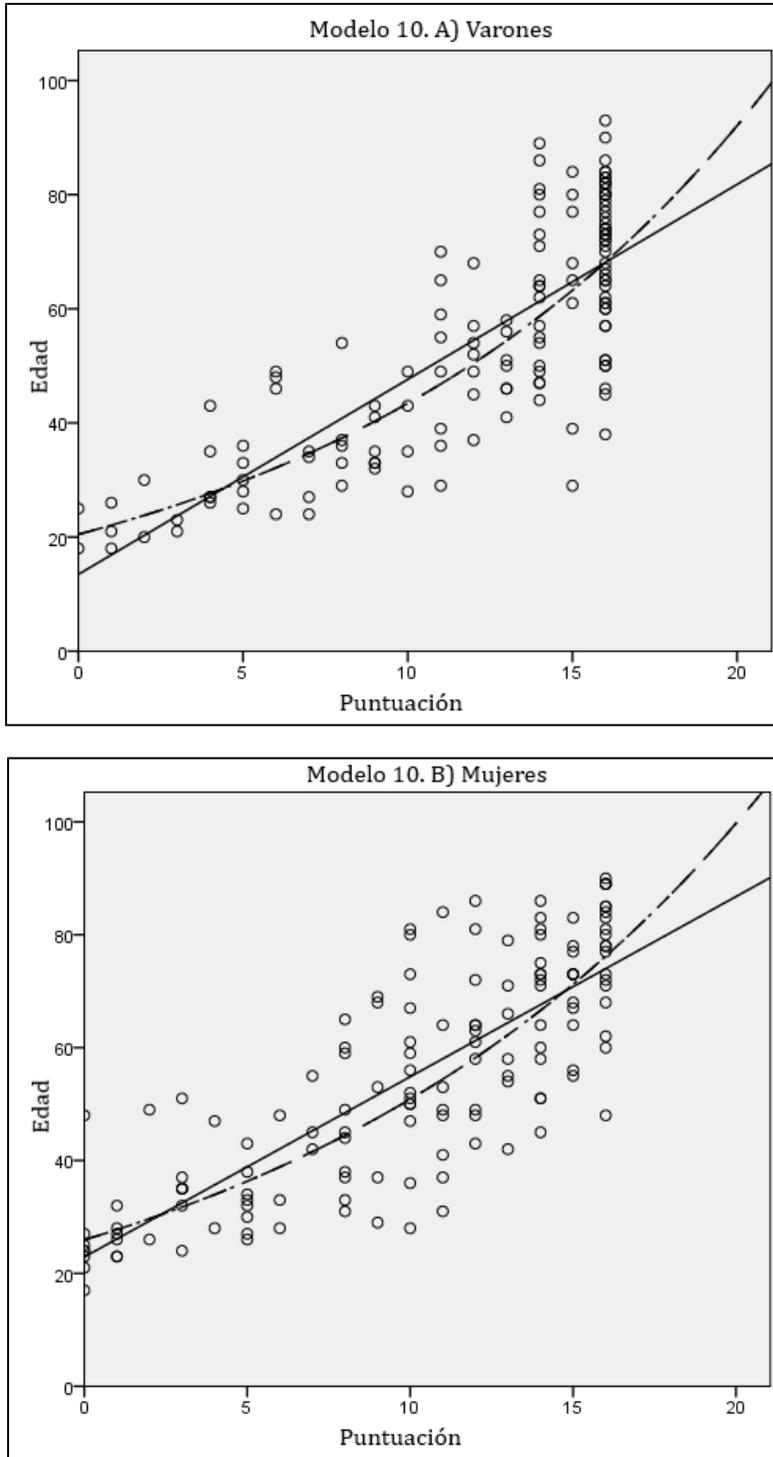
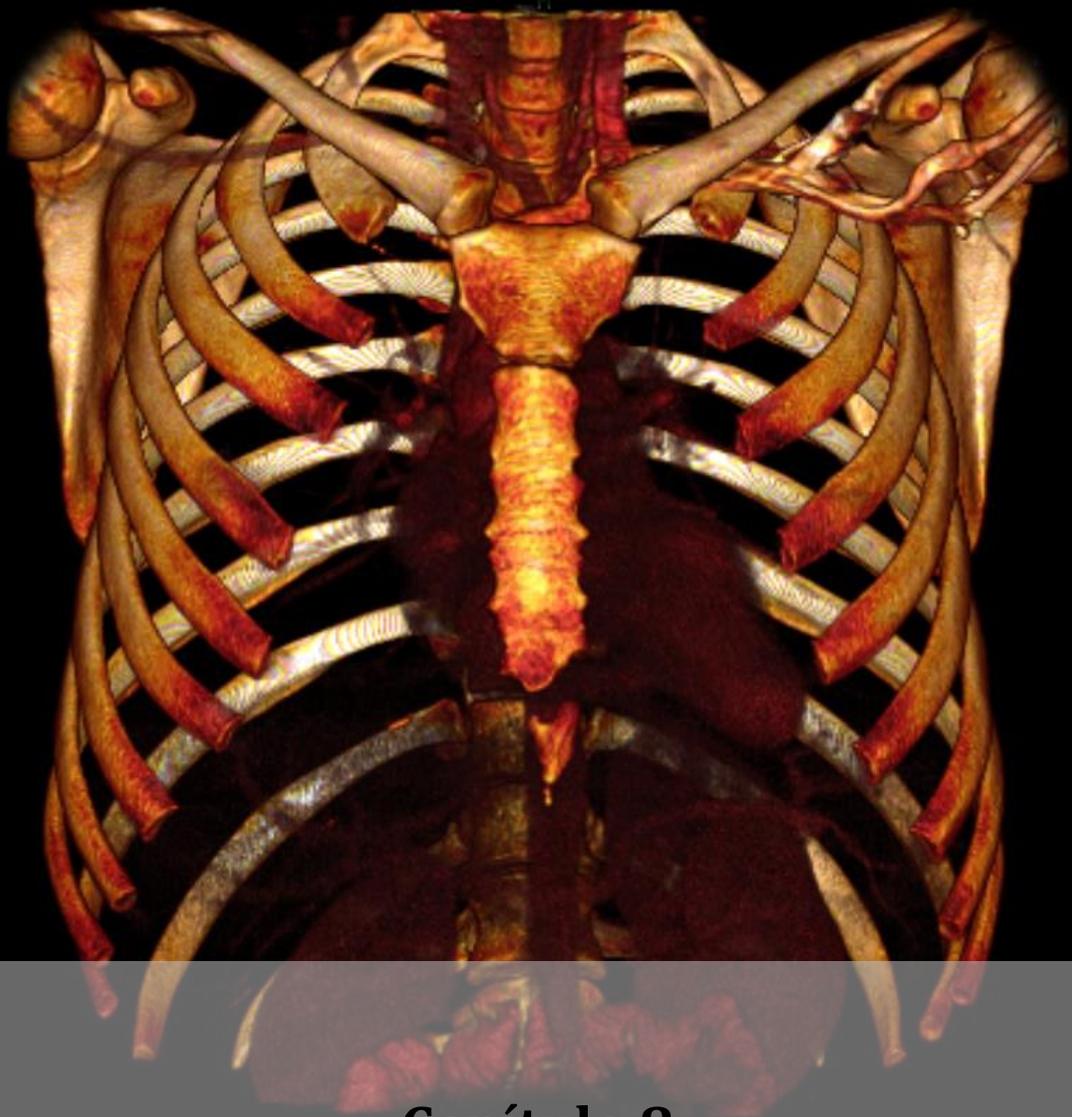


Gráfico 7.10. Gráfico de distribución de las composite score: Modelo 10. A) varones; B) mujeres.



Capítulo 8

Discusión

CAPÍTULO 8

DISCUSIÓN

8.1. Estimación del sexo mediante funciones discriminantes

Como se ha mencionado con anterioridad, el dimorfismo sexual existente en la especie humana es clave para la formulación y validación de metodologías de estimación del sexo en restos óseos, en tanto que este dimorfismo no solo se manifiesta a nivel externo (Cox, 2010; Fairbairn, 2016), sino también a nivel interno, a nivel esquelético. En este aspecto, una inspección detallada del esqueleto humano en su conjunto puede permitir la estimación del sexo con un porcentaje muy alto de fiabilidad, porcentaje que disminuye conforme disminuya la cantidad y calidad de los restos conservados (Ferreira, 2012; Alemán Aguilera *et al.*, 2013).

Así pues, la conservación y preservación diferencial de cadáveres anónimos esqueléticos, en avanzado estado de descomposición o carbonizados está condicionada por numerosos factores intrínsecos (por ejemplo: densidad mineral ósea, patologías...) y extrínsecos (por ejemplo: alteraciones *postmortem* como las causadas por fauna, fuego, condiciones climáticas, etc.) (Ferreira, 2012). Estos cambios tafonómicos influyen significativamente tanto en la calidad del peritaje como en el éxito que el antropólogo forense puede alcanzar en términos de identificación individual positiva.

En este aspecto, al igual que en el resto de huesos, el dimorfismo también se muestra en las costillas, con diferencias morfológicas entre hombres y de mujeres (Bellemare *et al.*, 2003, 2006; Lynch *et al.*, 2017). Fisiológicamente, los individuos masculinos presentan estructuras, volúmenes y parámetros respiratorios mayores que las mujeres (Lomauro y Aliverti, 2018), con inclinaciones costales más horizontales que impiden una contracción intercostal eficiente (Ratnovsky y Elad, 2005). Esto es compensado por una respiración más diafragmática, cuyo uso se relaciona con un mayor alargamiento de la porción medio-lateral torácica y caudal, y una forma más piramidal de su caja torácica (García-Martínez *et al.*, 2016;

Torres-Tamayo *et al.*, 2018), existiendo diferencias en la inclinación costal que se traducen en una eficiencia dimórfica de la región caudal de las costillas.

A este respecto, las costillas, como hueso completo, se han estudiado en términos tanto de estimación de sexo (İşcan, 1985; Kubicka y Piontek, 2016; Lynch *et al.*, 2017; Arlegi *et al.*, 2022) como de edad (İşcan *et al.*, 1984, 1985; Kunos *et al.*, 1999; Kurki, 2005; Muñoz *et al.*, 2018), e igualmente los cuellos costales como segmento aislado muestran una alta tasa de conservación (Davies-Barrett *et al.*, 2019) y han demostrado ser útiles y precisos para la estimación del sexo (Partido Navadizo *et al.*, 2021), a pesar de ser regiones anatómicas inusuales para la identificación de restos óseos (Davies-Barrett *et al.*, 2019).

Así pues, los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran diferencias dimórficas en el cuello costal, tanto por los resultados de las pruebas t de Student, cuyas diferencias de medias son significativas ($p < 0,05$), como para los resultados del análisis discriminante. Las funciones propuestas presentan una tasa de acierto superior al 80% en las costillas primera a cuarta, lo cual pone de manifiesto la posibilidad de obtener un alto grado de fiabilidad en la discriminación sexual mediante el uso de los cuellos costales.

Es de destacar el potencial discriminante de la primera costilla, la cual permite la estimación del sexo con un alto porcentaje de acierto, alcanzando el 93,2%, con una función que emplea solo tres medidas (la longitud total del cuello de la costilla, la longitud del segmento cuello y la longitud total de la costilla), siendo unos resultados prometedores. No obstante, esta función requiere que la primera costilla se conserve completa. Es por ello que se han desarrollado otras funciones que, si bien proporcionan unos porcentajes de acierto algo inferiores, son más sencillas de aplicar en peores condiciones de conservación, y también arrojan unos valores muy positivos, alrededor del 86%.

Tras la primera costilla, el valor discriminante más alto corresponde a las funciones de la cuarta costilla, también con porcentajes de acierto bastante elevados, que oscilan en torno al 85%. Empleando las dos cuartas costillas, derecha e izquierda, se diseñó una función discriminante que incluso alcanza un valor muy cercano al 90%. El resto de costillas estudiadas también proporcionan unos resultados muy adecuados para la estimación sexual, con valores de acierto que oscilan entre el 80-85%.

Con respecto a la posible influencia de la edad en las medidas costales, diferentes estudios realizados en la misma población esquelética, como los de Alemán *et al.* (1997) o García-Parra *et al.* (2015) han demostrado que no existen diferencias significativas en las medidas óseas que se asocian con la edad (Alemán *et al.*, 1997; García-Parra *et al.*, 2014). Por ello, se han estudiado los diferentes grupos etarios de forma conjunta en los análisis realizados.

Para confirmar los resultados obtenidos por las funciones discriminantes, estas fueron validadas mediante su aplicación en otra colección esquelética de referencia de cronología similar, como es la Colección del Cementerio de Nuestra Señora de Araceli (Lucena, Córdoba). Los resultados obtenidos han sido altamente favorables, especialmente en la primera costilla, donde las tasas de acierto han sido superiores al 90% en todas las funciones diseñadas para esta costilla. Asimismo, los resultados para las costillas segunda a cuarta, si bien son algo menores, también son aceptables y favorables, con tasas de acierto en torno al 77-93% para la segunda costilla, 77-84% para la tercera y 80-89% para la cuarta.

Estos valores son coincidentes con los datos obtenidos en estudios anteriores sobre la caja torácica. Además de que el volumen de la caja torácica es un 10% menor en las mujeres que en los varones de idéntica edad y altura (Crapo *et al.*, 1982), estudios anteriores también señalaron diferencias en la longitud de las costillas entre varones y mujeres (Bellemare *et al.*, 2003, 2006). Estos datos avalan la posibilidad de realizar estudios sobre el dimorfismo sexual y la estimación del sexo a través de las costillas, si bien hasta el momento no se han documentado otros trabajos sobre el dimorfismo sexual del cuello de la costilla como segmento aislado.

Fue İşcan (1985) quien, al mismo tiempo que estudiaba la degeneración del extremo esternal de la cuarta costilla para la estimación de la edad, analizó su utilidad para la estimación del sexo mediante análisis métricos, siendo el primer autor que desarrolló una metodología para la estimación etaria a través de las costillas. Su muestra, procedente de individuos autopsiados de población norteamericana, constó de extremos esternales de la cuarta costilla, de un total de 144 varones y 86 mujeres, de cuyos extremos esternales analizó la altura, la anchura y la profundidad. Su trabajo, diferenciado en grupos etarios, arrojó un resultado muy positivo, con un porcentaje de acierto del 82% en individuos jóvenes, alcanzando el 89% en individuos seniles, y con un promedio de acierto del 83% empleando todos los grupos etarios de forma conjunta. Así pues, estableció

que el dimorfismo sexual es un fenómeno que aumenta con la edad, en línea con lo establecido por Beach (1978).

Posteriormente, numerosos trabajos han replicado y/o validado la metodología desarrollada por İşcan (1985) en diferentes poblaciones. Entre ellos, se puede destacar el trabajo de Çöloğlu *et al.* (1998), aplicado a una población de origen turco. Con un tamaño muestral de 294 individuos (no hay datos de la muestra disgregada por sexos), los resultados exponen una tasa de acierto de las funciones discriminantes de entre el 86-90%, si bien la validación cruzada aplicada a los resultados redujo la precisión en aproximadamente un 20% (Çöloğlu *et al.*, 1998).

También Wiredu *et al.* (1999) siguen esta metodología, aplicada en esta ocasión en una población del oeste de África (Ghana). Su muestra consistió en extremos esternales de la cuarta costilla de individuos autopsiados, de un total de 221 varones y 125 mujeres. Los autores disgregaron los resultados según tres grupos etarios: menos de 30 años; de 30 años o más; y grupo combinado. Las funciones discriminantes desarrolladas por Wiredu *et al.* (1999) obtuvieron un resultado diferente a lo indicado por İşcan (1985) sobre el dimorfismo sexual y la edad, pues el mejor resultado fue obtenido en el grupo de menor edad (80%), mientras que en el grupo de mayor edad, el resultado fue menor (74%). No obstante, el resultado promedio de la estimación sexual fue aceptable (78%) (Wiredu *et al.*, 1999). Igualmente, detallan los autores que la aplicación de las ecuaciones desarrolladas en su momento por İşcan (1985) infraestiman en gran medida a los individuos varones, por lo que es de gran importancia conocer el grupo poblacional a la hora de aplicar el método, en consonancia con Cattaneo (2007) y Ubelaker (2008).

Macaluso *et al.* (2012) realizaron una validación del método de İşcan (1985) a través de extremos esternales de la cuarta costilla de individuos autopsiados, procedentes del Instituto de Medicina Legal de Sevilla (España), siendo uno de los primeros trabajos de esta índole en población mediterránea. Con una muestra de 60 varones y 57 mujeres, siguieron el mismo procedimiento que los trabajos anteriores, medidas del extremo esternal de la cuarta costilla y análisis discriminante. Los resultados indicaron una tasa de éxito de hasta el 86,3%, sin separar por grupos etarios (Macaluso *et al.*, 2012).

Finalmente, Muñoz *et al.* (2017) también validaron el método de İşcan (1985), esta vez en individuos autopsiados de población mexicana. En este

caso, la muestra estudiada era muy desigual, pues constó de 444 varones y 60 mujeres. Los autores reportaron porcentajes de acierto mediante el uso de funciones discriminantes univariantes del 73,3%, mientras que las funciones discriminantes multivariantes alcanzaron una tasa de acierto del 84%.

Por su parte, la primera costilla también ha sido objeto de diversos estudios sobre su dimorfismo sexual y sobre su utilidad en la estimación del sexo, dado su fácil reconocimiento y su mayor tasa de conservación con respecto a sus análogas (Davies-Barrett *et al.*, 2019).

Kubicka *et al.* (2016) estudiaron la utilidad de la primera costilla en la estimación sexual a través del análisis de TACs procedentes de una población polaca. Estudiando una muestra de 115 varones y 108 mujeres, tomaron diversas medidas de la costilla, como la longitud total, la cuerda o arco costal, la anchura y la altura del extremo esternal, entre otras, para posteriormente analizar las diferencias entre sexos y obtener funciones discriminantes que permitiesen estimar el sexo. Obtuvieron cuatro ecuaciones con resultados prometedores, siendo aquella obtenida mediante el método de stepwise o inclusión por pasos la que mejor resultado arrojó, con un 83,1% de acierto sobre la muestra original y un 91,2% de acierto aplicando la validación cruzada (Kubicka y Piontek, 2016).

Asimismo, Lynch *et al.* (2017) llevaron a cabo un estudio sobre el dimorfismo de la primera costilla, utilizando una combinación de morfometría geométrica y datos métricos en una muestra de primeras costillas obtenidas de la colección Hamann-Todd. Estudiaron individuos euroamericanos (n = 134; 70 varones y 64 mujeres) y afroamericanos (n = 151; 79 varones y 72 mujeres). Este trabajo proporcionó resultados prometedores mediante el empleo de ambos enfoques, métrico y morfogeométrico, con un 88,05% de clasificación correcta en euroamericanos y un 70,86% de acierto en afroamericanos (Lynch *et al.*, 2017).

Finalmente, Arlegi *et al.* (2022) analizaron también una muestra de primeras costillas de la colección Hamann-Todd, empleando en este caso morfometría tradicional basada en medidas lineales, y a su vez morfometría geométrica basada en coordenadas de landmarks 2D, únicamente en población euroamericana. Con una muestra total de 65 individuos (32 varones y 33 mujeres), llevaron a cabo un análisis

discriminante lineal comparando ambos métodos (Arlegi *et al.*, 2022). Sus resultados arrojaron un mejor dato para la morfometría tradicional (83,8% de acierto) frente a la morfometría geométrica (81,3%).

Como se puede comprobar, los resultados ofrecidos por diferentes autores en el estudio del potencial dimórfico de las costillas para la estimación del sexo entran en consonancia con los resultados del presente trabajo, si bien estos resultados se deben al desarrollo de las diferentes metodologías en cada una de las diversas poblaciones estudiadas.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo son prometedores también en comparación con otros estudios sobre la estimación del sexo en diferentes regiones del esqueleto en poblaciones mediterráneas. Las funciones discriminantes diseñadas por Alemán *et al.* (1997) para la estimación del sexo en el esqueleto poscraneal arrojaron excelentes porcentajes de éxito, superiores al 80%, llegando hasta el 98% en el húmero (Alemán *et al.*, 1997). También cabe destacar las funciones discriminantes para el esternón de García-Parra *et al.* (2015), que alcanzan un porcentaje de éxito de alrededor del 90%, y son uno de los pocos estudios realizados en la región torácica para la estimación del sexo en poblaciones mediterráneas.

Tanto en el análisis discriminante como en la prueba de error intraobservador e interobservador, las funciones discriminantes diseñadas en este trabajo presentan una alternativa útil para la estimación del sexo, puesto que son de fácil aplicación y proporcionan buenos resultados. Sin embargo, su principal inconveniente es que, en ocasiones, algunas de las regiones del cuello de la costilla necesarias para la aplicación de las funciones diseñadas pueden estar dañadas, debido a las condiciones ambientales a las que puede estar expuesto el hueso, pudiéndose disminuir el grado de aplicabilidad.

Con todo, el grado de utilidad de los métodos forenses, y su adaptación a la variabilidad interpoblacional, requiere de una validación estricta en poblaciones diferentes a las utilizadas para su diseño (Cattaneo, 2007; Ubelaker, 2008). En este aspecto, la funcionalidad de cualquier método de desarrollo está condicionada, obligatoriamente, por los llamados Criterios de Daubert (Dirkmaat *et al.*, 2008; Christensen y Crowder, 2009). Estos alertan de que dada la amplia variabilidad interpoblacional encontrada en la especie humana (Frayser y Wolpoff, 1985; Jackson y Jackson, 2011), las

metodologías de identificación forense deben (Dirkmaat *et al.*, 2008; Christensen y Crowder, 2009):

- 1) ser altamente replicables y evaluables en otros conjuntos osteológicos;
- 2) poseer la menor tasa de error posible; y
- 3) haber sido cotejados por revisores externos a través de un proceso de doble ciego.

Dada la necesidad de validación en conjuntos osteológicos diferentes al del estudio original, las funciones discriminantes diseñadas fueron testadas en dos poblaciones portuguesas diferentes. Como pudimos constatar en el capítulo de resultados, estas funciones pueden aplicarse a las poblaciones portuguesas actuales (≥ 1982) y de principios del siglo XX (hasta 1938), si bien existen algunas discrepancias que deben tenerse en cuenta (Partido Navadizo *et al.*, 2023).

En el caso de la colección CEI/XXI, las funciones discriminantes también alcanzan un porcentaje de clasificación correcta superior al 80% en gran parte de los casos, pero de forma algo asimétrica: mientras que en el caso de las mujeres, las cifras son incluso más altas, en numerosos casos superando el 90%, en el caso de los varones la clasificación correcta disminuye en cierto grado, con valores que oscilan entre el 75-80%. Esta asimetría en la clasificación correcta de la discriminación sexual aumenta en gran medida en la colección CISC, especialmente en la primera costilla, cuya clasificación correcta no supera valores cercanos al 50-60% en varones, mientras que alcanza valores próximos al 95% en mujeres.

No obstante, esta asimetría en la estimación tiende a reequilibrarse de forma progresiva en las costillas segunda a cuarta de la colección CEI/XXI, con un 92,1% de individuos varones correctamente clasificados a través de las funciones de la cuarta costilla. Así pues, los resultados obtenidos nos permiten afirmar que, mientras que en la colección española de referencia, son las costillas primera y cuarta las que mejores resultados proporcionan en la estimación del sexo, en las colecciones portuguesas los mejores resultados son arrojados por las costillas tercera y cuarta, siendo estas las que presentan un mayor grado de dimorfismo sexual.

Esta disimilitud en las diferencias fenotípicas de los cuellos costales de las dos primeras costillas indica que puede haber diferencias, no solo seculares, sino también ecogeográficas entre España y Portugal. Los países de la Península Ibérica, dada su cercanía geográfica, han compartido

numerosas similitudes históricas, sociopolíticas, demográficas, económicas, e incluso genéticas (Pimenta *et al.*, 2019) a lo largo de la historia. En este aspecto, diversos estudios han puesto de manifiesto que la diferenciación genética en las diversas poblaciones europeas es un factor altamente correlacionado con la geografía (Lao *et al.*, 2008; Novembre *et al.*, 2008), pero también se asocia con las barreras político-culturales, que en ocasiones pueden limitar los flujos genéticos entre poblaciones (Adams *et al.*, 2008; Lao *et al.*, 2008).

No obstante, a pesar de las similitudes compartidas por ambos países ibéricos, también se dan diversas divergencias que pueden ser de utilidad para ayudar a explicar estas variaciones halladas en el dimorfismo sexual del cuello de las costillas. Autores como Nadal (1988), Godinho (1975) o Rodrigues (2010) han destacado que la dinámica socioeconómica y demográfico-epidemiológica de Portugal y España durante el siglo XX no ha sido homogénea, especialmente en lo que se refiere a la revitalización económica, la mejora higiénico-sanitaria y el bienestar de la población (Silva, 1997).

En este aspecto, la dinámica demográfica española fue mucho más rápida y vigorosa una vez superados los efectos de la Guerra Civil (1936-1939) y de la posguerra (años 50), produciendo un aumento de la calidad de vida en España en comparación con Portugal, con efectos en la estatura media de la población (Cardoso, 2008; Zoido Naranjo y Arroyo Pérez, 2003; Martínez Carrión, 2011).

Asimismo, Martínez-Carrión (2011) y Caballero y Popkin (2002) señalaron la transición nutricional que tuvo lugar entre mediados del siglo XIX y finales del siglo XX como un factor relevante en la estatura humana media. Los estudios han demostrado la relación entre el tamaño corporal y la renta per cápita, y este tamaño corporal se refleja en las proporciones corporales (Martínez Carrión, 2011; Caballero y Popkin, 2002).

En este sentido, los datos mencionados pueden justificar las diferencias seculares observadas entre la colección CISC y la colección CEI/XXI, así como entre la población española y la portuguesa. Los individuos de la colección CISC murieron entre 1904 y 1938, época en la que Portugal vivía un periodo de agitación política, con la instauración de la primera república, el golpe militar, el establecimiento de la dictadura, las consecuencias de la primera guerra mundial y la gripe neumónica, con graves consecuencias en las condiciones económicas y de la vida cotidiana

(Pereira, 1978; Sideri, 1978). Tal escenario afectó a la calidad de vida del país portugués, así como a la estatura media de la población (Zoido Naranjo y Arroyo Pérez, 2003; Cardoso, 2008), que ha sido considerada una de las más bajas del continente europeo (Martínez Carrión, 2011), afectando así al tamaño general del cuerpo, y por ende al de las costillas, como se constató previamente en las pruebas de comparación de medias entre ambas colecciones portuguesas, así como la comparación entre la colección CISC y la colección de San José.

Por su parte, dado que los individuos de la colección CEI/XII murieron entre 1982 y 2012, pueden surgir cuestiones relacionadas con la adhesión de Portugal a la CEE (actual UE) en 1986 (Ramos *et al.*, 2009), que tuvo un impacto significativo en la transición demográfica del país (León, 1982). Ello se refleja en un aumento de la calidad de vida de Portugal, así como en un aumento de la estatura media poblacional, y con ello, del tamaño costal, como se refleja en los datos de las medias de tamaño de los cuellos costales, equilibrándose con ello las medias de tamaño con los datos de población española.

En síntesis, podemos afirmar que las costillas son una región apta para el desarrollo de métodos de estimación de sexo, al igual que los cuellos costales aislados, a tenor de los resultados obtenidos en este trabajo. Los diferentes métodos de estimación sexual a través de las costillas y sus resultados se sintetizan en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Resumen de los diferentes métodos de estimación sexual a través de las costillas.

Autor	Población	Tamaño (n)	Región costal	Metodología	Tasa de acierto
İşcan (1985)	EEUU	230 (144h; 86m)	Extremo esternal R4	Funciones discriminantes	82% jóvenes 89% adultos 83% ambos
Cologlu et al. (1998)	Turquía	294	Extremo esternal R4	Funciones discriminantes	86-90% (-20% en Cross Val.)
Wiredu et al. (1999)	Ghana	346 (221h; 125m)	Extremo esternal R4	Funciones discriminantes	80% jóvenes 74% adultos 78% ambos

Macaluso <i>et al.</i> (2012)	España	117 (60h; 57m)	Extremo esternal R4	Funciones discriminantes	86,3%
Kubicka <i>et al.</i> (2016)	Polonia	223 (115h; 108m)	Primera Costilla	Funciones discriminantes en TAC	83,1% orig. 91,2% Cross.
Muñoz <i>et al.</i> (2017)	Mexicana	504 (444h; 60m)	Extremo esternal R4	Funciones discriminantes	73,3% Univ. 84,0% Multi.
Lynch <i>et al.</i> (2017)	EEUU (euroam. y afroam.)	EA: 134 (70h; 64m) AA: 151 (79h; 72m)	Primera costilla	Métrico y morfogeométrico	88,05% EA 70,86% AA
Arlegi <i>et al.</i> (2021)	EEUU (euroam.)	65 (32h; 33m)	Primera costilla	Métrico y morfogeométrico a través de funciones discriminantes	83,8% Mét 81,3% Morf.
Partido <i>et al.</i> (2021)	España	214 (119h; 95m)	Cuello costal costillas R1-R4	Funciones discriminantes	80,0-93,2% R1 80,1-83,8% R2 80,0-87,2% R3 82,1-89,7% R4
Partido <i>et al.</i> (2023)	Portugal	162 (78h; 84m) (s. XX) 156 (78h; 78m) (s. XXI)	Cuello costal costillas R1-R4	Funciones discriminantes	73,8-93,6% (s. XX) 76,6-92,6% (s. XXI)

8.2. Estimación de la edad mediante la sinostosis esternal

Junto con la estimación del sexo, la estimación de la edad es otro de los pasos esenciales en Antropología Forense para la reconstrucción del perfil osteobiológico de la persona. En este caso, la atención sobre los huesos torácicos en relación con la estimación de la edad comenzó en los años 80, con los estudios de la degeneración de la cuarta costilla relacionados con la edad realizados por İşcan y Loth (İşcan *et al.*, 1984, 1985; İşcan, 1989).

No obstante, el estudio de la sinostosis de los segmentos esternales en adultos y su relación con la edad de muerte también ha sido estudiado por diversos autores.

Ya durante el siglo XVI, la sinostosis manubrio-esternal fue considerada para la estimación etaria, si bien con grandes precauciones, según estableció Coitier (1573), quien manifestaba gran precaución al considerar que la sinostosis de la articulación manubrio-esternal podía darse al tiempo en que acontecía la obliteración de las suturas craneales, a partir de los 30 años (Ashley, 1954).

Posteriormente, anatomistas de los siglos XVII y XVIII, como Crooke (1615), Highmore (1651), Bartholinus (1668), Bidloo (1685), Weitbrecht (1742) o Winslow (1756), entre otros, manifestaron la dificultad de que los diferentes segmentos que componen el esternón acabasen fusionándose entre sí, indicando, además, que “el esternón no es un hueso individual, salvo en varones muy ancianos” (Ashley, 1954).

Fue Dwight (1881, 1890) uno de los primeros en estudiar el esternón y su posible utilidad en la estimación del sexo y de la edad de forma detallada, siguiendo los postulados de Hyrtl (1878), quien afirmaba que, mientras que en la mujer, la longitud del manubrio es más de la mitad que la longitud del cuerpo, en el varón el cuerpo esternal es, por lo menos, el doble de largo que el manubrio. Ello condujo a Dwight a tomar una serie de medidas esternales en una muestra de 27 varones y 23 mujeres procedentes de autopsias, a la vez que estudiaba los diferentes estadios de osificación de los segmentos esternales en relación con la edad, si bien sus resultados etarios no fueron del todo certeros, pues, en palabras del autor, olvidó tomar los datos de edad de los individuos estudiados hasta que ya llevaba gran parte del trabajo realizado y no tenía acceso a ellos. Sus palabras literales fueron (Dwight, 1881):

“I regret very much that I did not begin to take notes of the ages of the bodies examined till the series of measurements was far advanced, and then I was not always able to obtain definite information.”

Posteriormente, Grant (1944), tras estudiar una muestra de 877 esternones, manifestó igualmente que no existe una correlación directa entre la incidencia de la sinostosis manubrio-esternal y la edad, postulado que han ido manteniendo diferentes autores previamente a lo largo del tiempo (Paterson, 1904; Van Gelderen, 1924; Pässler, 1931; Trotter,

1934), indicando que la obliteración de dicha articulación se da en un porcentaje bastante bajo de la población, siendo un elemento relativamente poco común, pero que tiende a aumentar con la edad (Grant, 1944).

Ashley (1954) continuó con el estudio de la fusión de la articulación manubrio-esternal y su correlación con la edad de muerte, estudiando una muestra de 1400 esternones de poblaciones mixtas, de los cuales conocía la edad de 1138 (143 pertenecían a individuos inmaduros postnatales, 312 a fetos, y los 683 restantes a individuos adultos). Sus resultados indicaron que tanto la sinostosis manubrio-esternal como la esterno-xifoidea tendían a producirse antes de los 30 años, con una tendencia a encontrarse en aproximadamente un 10% de los individuos a partir de dicha edad, en todos los grupos etarios estudiados. Según el autor, en este aspecto, la sinostosis de la articulación manubrio-esternal no sigue un patrón del todo fiable, pues pese al porcentaje medio indicado previamente, la incidencia de este fenómeno se dio en un 7,9% en población octogenaria, mientras que en el grupo de 40-49 años, se dio en un 9,3% (Ashley, 1954).

Los intentos de seguir encontrando una correlación entre la sinostosis de los diferentes segmentos esternales y la edad de fallecimiento han seguido produciéndose recientemente, en diferentes grupos poblacionales, pero con resultados bastante parejos. En este aspecto, en población india, Gautam *et al.* (2003), con una muestra de 100 esternones (56 varones, 44 mujeres) procedentes de sala de autopsias (únicamente seleccionaron aquellos de edad superior a los 15 años) establecieron que la sinostosis de la articulación manubrio-esternal comienza después de los 40 años y termina alrededor de los 55, sin diferencias entre sexos. Por su parte, con respecto a la articulación xifo-esternal, los autores indicaron que esta fusión aparece completa alrededor de los 50 años, con inicios en torno a los 31-35 años, si bien el tamaño muestral era demasiado pequeño (Gautam *et al.*, 2003).

Previamente, Jit *et al.* (1986), también en población india, referenciaron una fusión de la articulación manubrio-esternal en torno a los 21-25 años, si bien con una correlación dudosa entre ambos factores. De igual modo, con respecto a la sinostosis del apéndice xifoideas con el cuerpo del esternón, Jit *et al.* (1986) identificaron casos en edades inferiores a los 20 años, igualmente con una correlación dudosa y poco certera entre ambos factores. No obstante, la muestra de Jit *et al.* (1986), con un total de 312 varones y 88 mujeres, resulta estar un poco descompensada entre ambos

sexos, e igualmente en determinados grupos etarios, algunos de ellos con una representación muy baja (Jit *et al.*, 1986; Gautam *et al.*, 2003).

Igualmente, Chandrakanth *et al.* (2012) estudiaron una población del sur de India, consistente en 118 esternones (67 varones, 51 mujeres), con edad conocida, procedentes de sala de autopsia. Los autores reportaron que, si bien la correlación entre la fusión de los diferentes elementos esternales tiende a ser bastante variable, la proporción de esternones con sinostosis manubrio-esternal y xifo-esternal tiende a aumentar con la edad. Según el estudio, la fusión de la articulación xifo-esternal no apareció en edades inferiores a los 30 años, pudiendo aparecer sin fusionar incluso a los 46-48 años, mientras que la sinostosis manubrio-esternal se verificó muy variable, tendiendo a aparecer sin fusionar incluso a edades avanzadas, por lo que constatan que el esternón, por sí solo, no resulta fiable para la estimación etaria (Chandrakanth *et al.*, 2012).

En este trabajo, los resultados han puesto de manifiesto que, si bien se trata de un método muy sencillo de aplicar, así como reproducible y validable, a tenor de los resultados de las pruebas de error intraobservador e interobservador, la utilidad de la sinostosis esternal por sí sola para la estimación de la edad en adultos es bastante limitada.

En este aspecto, como se ha podido constatar con los resultados expuestos en el capítulo anterior, la fusión de la articulación manubrio-esternal no se correlaciona con la edad cronológica en población española. Sólo dos individuos menores de 40 años presentaron fusión de ambos segmentos. Sin embargo, el bajo nivel de significación dado por la prueba de chi-cuadrado de Pearson impidió establecer un patrón predecible de fusión de ambos segmentos, lo que sugiere que este patrón no es fiable para la estimación de la edad al morir en individuos adultos. En cualquier caso, la fusión parece comenzar a partir de los 30 años, como podemos ver en los resultados (Tabla 7.84), con un rango de edad de 32-87 en los hombres y de 44-90 en las mujeres.

Los resultados son diferentes con respecto a la sinostosis del cuerpo esternal y la apófisis xifoides. En este trabajo, los resultados parecen mostrar un patrón de osificación relativamente fiable, con significación estadística según los resultados de las pruebas de chi-cuadrado de Pearson ($p = 0,004$), observándose una sinostosis xifo-esternal completa en los varones en edades entre los 35-94 años, y en las mujeres entre los 42-96 años (Partido Navadijo y Alemán Aguilera, 2022).

Igual ocurre con poblaciones egipcias y sudafricanas, cuyos resultados, al igual que los anteriormente expuestos, parecen ser muy variables. Bacci *et al.* (2018), estudiando una población negra sudafricana (n = 461; 241 varones, 220 mujeres), establecieron que la sinostosis manubrio esternal podía aparecer en torno a los 25-70 años, si bien el 75,1% de la muestra total presentó ausencia completa de dicha fusión, y solo un 12,1% presentó fusión completa. Con respecto a la sinostosis xifo-esternal, los autores reportaron que dicha fusión era muy variable con respecto a la edad, dándose ausencia de sinostosis en un 51,4% de la muestra, y fusión completa en un 36,4%, con un 41,9% de los esternones estudiados presentando ausencia de fusión de los tres segmentos (Bacci *et al.*, 2018).

Por su parte, Ali *et al.* (2021), estudiando una población egipcia mediante MSCT (n = 88; 44 varones y 44 mujeres), indicaron que los diferentes segmentos empezaban a fusionarse alrededor de los 25 años, si bien los resultados expuestos demostraron una alta variabilidad en dicha fusión, teniendo en cuenta que las ecuaciones de regresión logística propuestas por los autores indicaron una precisión bastante baja (Ali *et al.*, 2021).

En cualquier caso, esta diferencia en la edad de fusión entre los estudios anteriores podría explicarse por las diferencias geográficas de los parámetros biológicos entre las poblaciones, evidenciando la necesidad de probar y validar las diferentes metodologías en diversas poblaciones (Cunha *et al.*, 2009).

En síntesis, podemos afirmar que la sinostosis esternal, de forma aislada, no es un método de estimación de la edad fiable, a tenor de los resultados obtenidos en este trabajo y los reportados por otros autores, pues se produce a edades muy variables. Los diferentes resultados de osificación esternal en adultos con respecto a la edad se sintetizan en la Tabla 8.2.

Tabla 8.2. Síntesis de las diferentes edades reportadas para la sinostosis esternal.

Autor	Población	Tamaño muestral	Edad de fusion manubrio-esternal	Edad de fusion xifo-esternal
Dwight (1881)	N/A (probablemente estadounidense)	50	Muy variable	Muy variable

Ashley <i>et al.</i> (1954)	Mixta (mayoritariamente inglesa)	1400	>30	>30
Jit <i>et al.</i> (1986)	India	100	25+	18-20+
Gautam <i>et al.</i> (2003)	India	100	40+ a 50+	30+ a 50+
Chandrakanth <i>et al.</i> (2012)	Sur de India	118	Muy variable	>30
Monum <i>et al.</i> (2017)	Tailandesa (solo varones)	136	15-81	15-70
Bacci <i>et al.</i> (2018)	Sudafricana	461	25-70	Muy variable
Ali <i>et al.</i> (2021)	Egipcia	88 (MSCT)	25+	25+
Partido Navadijo y Alemán Aguilera (2022)	Española	189	Varones: 32-87 Mujeres: 44-90	Varones: 35-94 Mujeres: 42-96

8.3. Estimación del sexo mediante análisis de imágenes 3D

Mientras que la estimación del sexo mediante el estudio del esqueleto humano a través de hueso seco ha proporcionado, a lo largo de la historia de la disciplina, muy buenos resultados, cada vez son más los estudios que analizan el potencial del uso de imágenes 3D para este propósito, con la ventaja de tratarse de un medio que permite la facilidad de acceso repetidas veces al archivo de imagen.

Ejemplos de ello pueden ser los trabajos de Uysal Ramadan *et al.* (2010), quienes, a través de medidas del esternón y de la cuarta costilla tomadas a través de tomografías computerizadas, desarrollaron una serie de fórmulas de regresión para la estimación del sexo, que llegaban a alcanzar un porcentaje de acierto de hasta el 88,2% (86,7% en mujeres y 89,3% en

varones; R^2 : 0,715) en una población turca (n = 340; 143 mujeres, 197 varones).

Ya previamente, también Uysal Ramadan *et al.* (2005) recurrieron al análisis de TACs para la estimación del sexo, en este caso mediante el análisis métrico del *foramen magnum*. Con una muestra de 600 TACs (300 varones, 300 mujeres), de individuos con edades comprendidas entre los 21 y los 50 años, tomaron una serie de medidas en esta región, las cuales fueron todas mayores en varones que en mujeres ($p = 0,000$). Los resultados obtenidos permitieron estimar el sexo mediante la aplicación de la fórmula de Radinsky para el área del *foramen magnum*, con un 75% de acierto en la estimación sexual (Uysal Ramadan *et al.*, 2005).

No obstante, previo al uso de imágenes 3D de la cavidad torácica para la estimación del sexo, ya se habían publicado trabajos que recurrían a radiografías con este mismo propósito. Uno de estos trabajos es el de McCormick *et al.* (1985), quien referencia la posibilidad de estimar el sexo de individuos adultos con hasta un 97-99% de precisión a través de la combinación de patrones de osificación de la cavidad torácica con cuatro variables métricas. Con una muestra de 1133 radiografías torácicas de individuos con edad y sexo conocidos, de diferentes grupos poblacionales, refiere la potencialidad de la osificación de los elementos cartilagosos del tórax, a la vez que de diferentes medidas (anchura de la cuarta costilla, longitud y anchura del manubrio, etc.) para conseguir una estimación del sexo con una certeza de hasta el 97-99% (McCormick *et al.*, 1985).

El trabajo de McCormick *et al.* (1985) fue evaluado por Torwalt y Hoppa (2005), con una muestra de 130 sujetos procedentes de la sala de autopsias, con edad, sexo, grupo poblacional y causa de muerte conocidas, a los cuales se les retiró el peto torácico, el cual fue posteriormente radiografiado. Los autores referenciaron la utilidad de la cavidad torácica para la estimación sexual, refrendando los resultados previos de McCormick *et al.* (1985), mediante la aplicación de fórmulas de regresión logística multivariante, las cuales, mediante el uso de dos variables, permitían una clasificación correcta de alrededor del 90,3% en mujeres y un 95,8% en varones, con un 93,1% de promedio, cercano a los valores expuestos anteriormente (Torwalt y Hoppa, 2005).

Igualmente, aplicando un método radiográfico, Macaluso Jr. y Lucena (2014) propusieron una serie de funciones discriminantes para la estimación del sexo mediante medidas esternas tomadas de radiografías

posteroanteriores de una muestra de 116 individuos de población española (65 varones y 51 mujeres). Los resultados expuestos indicaron que todas las medidas mostraban diferencias significativas entre ambos sexos, mientras que las funciones discriminantes propuestas superaban el 80% de clasificación correcta, llegando a alcanzar hasta el 89,7%, con sesgos de sexo inferiores al 5% (Macaluso Jr. y Lucena, 2014).

También mediante el empleo de radiografías, Tsubaki *et al.* (2017) presentaron un estudio sobre el análisis del dimorfismo sexual de la región inferior del tórax, combinando diferentes dimensiones de la décima vértebra torácica, así como las costillas sexta y séptima. Con una muestra de 600 radiografías (300 varones, 300 mujeres) de población japonesa, propusieron una serie de funciones discriminantes, tanto univariantes como multivariantes (Tsubaki *et al.*, 2017). Los resultados pusieron de manifiesto la mayor utilidad de las funciones multivariantes, llegando a alcanzar el 88.8% de acierto en la discriminación sexual, siendo mejores los resultados en el grupo etario de 20-29 años (96% de acierto).

Tabla 8.3. Síntesis de los métodos radiográficos explicados para la estimación del sexo.

Autor	Población	Tamaño (n)	Metodología	Tasa de acierto
McCormick y Stewart (1985)	Mixta	1133	Análisis métrico	Hasta 97-99%
Torwalt y Hoppa (2005)	N/A	130	Análisis métrico	Hombres: 95,8% Mujeres: 90,3%
Macaluso y Lucena (2014)	Española	116 (65h; 51m)	Funciones discriminantes	80,0-89,7%
Tsubaki <i>et al.</i> (2017)	Japonesa	600 (300h; 300m)	Funciones discriminantes	Hasta el 88,8%

Así pues, en el presente trabajo, los resultados obtenidos prueban la existencia de diferencias dimórficas en los huesos torácicos en la población española objeto de estudio. En primer lugar, los resultados de las pruebas t de Student para muestras independientes mostraron resultados significativos ($p < 0,05$) a la hora de evaluar la diferencia de medias entre sexos, lo cual puso de relieve dicho dimorfismo sexual, con unos resultados en los tamaños medios mayores en varones que en mujeres.

De igual modo, el análisis discriminante realizado posteriormente resultó de utilidad a la hora de establecer funciones discriminantes que permitiesen establecer el sexo de un individuo a través de una serie de medidas tomadas a través de TACs torácicos. Si bien a la hora de llevar a cabo un análisis discriminante univariante, solo dos variables proporcionaron un resultado superior al 80% mínimo para ser considerado adecuado, a la hora del análisis multivariante, se obtuvieron tres ecuaciones que, combinando diferentes medidas, permiten estimar el sexo con unas tasas de clasificación correcta que oscilan entre el 87 y el 90%.

Además, no solo se trata de un método sencillo de aplicar, dada la facilidad de tomar las medidas y de aplicar las funciones discriminantes, sino que también es un método reproducible. Los resultados del error intraobservador e interobservador muestran unos valores por encima de 0.9 en todas las variables analizadas, siendo por ello unos resultados adecuados para la evaluación del error intraobservador e interobservador, y con ello para su concordancia y reproducibilidad.

Estos resultados entran en consonancia con los obtenidos, también en población española, por García-Parra *et al.* (2014). Mediante el estudio de una muestra de 105 esternones procedentes de la Colección Esquelética de San José (Granada), con edad, sexo y causa de muerte conocidas, estudiaron su potencial dimórfico para la estimación del sexo mediante la aplicación de funciones discriminantes, con resultados que oscilan entre el 87% y el 91,8% de acierto. Sus resultados fueron, al mismo tiempo, validados en dos poblaciones portuguesas, igualmente con buenas tasas de clasificación correcta (García-Parra *et al.*, 2014).

También en población española, Dorado-Fernández *et al.* (2021) comprobaron la utilidad del esternón en materia de discriminación sexual, estudiando una muestra de 202 esternones (117 varones, 85 mujeres) de esqueletos procedentes de una colección española contemporánea. Mediante el análisis discriminante de las variables métricas consideradas, los autores indican un porcentaje de acierto que alcanza el 86,1% de clasificación correcta (Dorado-Fernández *et al.*, 2021).

Previamente, Macaluso (2010) comprobó la utilidad del esternón como elemento aislado para la estimación del sexo en población negra sudafricana, dada la necesidad de establecer métodos para la discriminación sexual por la mala preservación de los restos esqueléticos.

En este aspecto, con una muestra de 206 esternones de las colecciones Raymond A. Dart Collection of Human Skeletons y la Pretoria Bone Collection (123 varones, 83 mujeres), diseñó una serie de funciones discriminantes, univariantes y multivariantes, con las que consiguió estimar el sexo de los individuos con unas tasas de acierto del 68,4-86,9% en las funciones univariantes, y un 80,6-86,4% en las multivariantes (Macaluso, 2010).

Ya recurriendo a las imágenes 3D, Franklin *et al.* (2012) realizaron un estudio sobre la utilidad del esternón mediante el análisis de 187 TACs de esternones de población del oeste de Australia, sin patologías previas. Tomando una serie de medidas mediante el empleo de landmarks y semilandmarks, recurrieron al análisis descriptivo y al análisis discriminante, cuyos resultados permitieron la estimación del sexo con unos porcentajes de acierto situados entre el 72,2% y el 84,5%, con un sesgo de sexo inferior al 5% (Franklin *et al.*, 2012).

Singh y Pathak (2013), en una muestra del norte de India, evaluaron el dimorfismo sexual del esternón para obtener funciones discriminantes y fórmulas de regresión logística que permitiesen la estimación del sexo con alta precisión. Con una muestra de 343 esternones (252 varones, 91 mujeres), las funciones propuestas por los autores permitieron la clasificación correcta del 84,8% con análisis discriminante, y el 89,8% con las fórmulas de regresión, con mejores resultados en los análisis multivariantes que en los univariantes. Reportaron los autores que, si bien los análisis de regresión arrojaron mejores tasas de precisión, las funciones discriminantes resultaron ser una herramienta más certera y útil a nivel estadístico, dado que proporcionaba menor sesgo sexual (Singh y Pathak, 2013).

Ekizoglu *et al.* (2014) estudiaron también una muestra de 443 TACs torácicos (241 varones, 202 mujeres) procedentes de Estambul, Turquía, mediante un análisis morfométrico de diferentes elementos de la caja torácica para comprobar su potencial dimórfico en la discriminación sexual de población turca. Los resultados obtenidos por los autores pusieron de manifiesto la utilidad del análisis morfométrico mediante tomografía computarizada de la cavidad torácica para la estimación del sexo, con tres modelos discriminantes stepwise que superaron el 80% de clasificación correcta en ambos sexos, el mejor de ellos alcanzando el 83,8% en varones y el 86,1% en mujeres (Ekizoglu *et al.*, 2014).

En población japonesa, Torimitsu *et al.* (2015) estudiaron una muestra de 200 TACs torácicos realizados *postmortem* a individuos de autopsia (100 varones y 100 mujeres). Tomando cinco medidas del esternón, calcularon dos dimensiones esternales y tres índices. A estas variables, les aplicaron el análisis discriminante univariante, con valores de clasificación correcta que oscilaron entre el 62,5-84,0% en las dimensiones individuales y el 63,0-90,5% en los índices esternales (Torimitsu *et al.*, 2015).

Darwish *et al.* (2017), en población egipcia, también recurrieron al estudio y análisis de imágenes 3D de la caja torácica para la estimación del sexo, tomando una muestra de 60 TACs torácicos de individuos egipcios adultos, con edades comprendidas entre los 21-74 años. El propósito del trabajo fue tomar una serie de medidas, tanto en costillas como en esternón, que permitiesen el desarrollo de ecuaciones para la estimación sexual. Los resultados pusieron de manifiesto diferencias significativas entre ambos sexos, con mayores dimensiones en varones que en mujeres. De las variables estudiadas, propusieron tres fórmulas de regresión, con resultados que oscilaron entre el 72,68% al 96,67% (Darwish *et al.*, 2017).

Por su parte, Ahmed *et al.* (2017) estudiaron el potencial dimórfico de los huesos torácicos mediante imágenes 3D de población hospitalaria saudí, con una muestra de 200 TACs de la cavidad torácica (100 varones, 100 mujeres). Con este propósito, tomaron una serie de medidas costales y esternales, así como el cálculo de dos índices esternales. Los resultados de la estadística descriptiva pusieron de relieve las diferencias de tamaño entre sexos ($p = 0,001$), con unas mayores dimensiones en varones que en mujeres, salvo en el índice esternal. Tras ello, propusieron una serie de funciones discriminantes, tanto univariantes como multivariantes, las cuales arrojaron unos datos de acierto que oscilaron entre el 62,5% y el 90,5%, siendo los mejores resultados los proporcionados por las funciones discriminantes multivariantes (Ahmed *et al.*, 2017).

Ateşoğlu *et al.* (2018), utilizando una población turca de 200 TACs torácicos (103 mujeres, 97 varones), con edades comprendidas entre los 18-87 años, trataron de evaluar las diferencias morfológicas del esternón, sus variantes anatómicas y sus anomalías congénitas en relación con el sexo. Tras el análisis de 20 parámetros diferentes, llegaron a la conclusión de que los estándares morfométricos no pueden ser aplicados de forma universal, pudiendo mostrar diferencias individuales, siendo necesaria la implementación de estándares propios para cada grupo poblacional (Ateşoğlu *et al.*, 2018).

En población croata, Bedalov *et al.* (2019) estudiaron una serie de imágenes TACs torácicas de 73 varones y 55 mujeres (n = 128), de las cuales tomaron diferentes medidas esternales y costales para el desarrollo de funciones e índices que permitiesen la estimación sexual. En este aspecto, los resultados indicaron que, mientras que la función discriminante univariante con mayor tasa de acierto alcanzó el 82,8%, el índice con mejor tasa de clasificación correcta consiguió el 89,1%, y la función discriminante multivariante con mejor porcentaje de acierto arrojó un 90,6% (Bedalov *et al.*, 2019).

Posteriormente, Peleg *et al.* (2020), en población estadounidense e israelí, desarrollaron nuevas fórmulas de regresión logística para la estimación del sexo mediante el análisis métrico del esternón y de las costillas quinta a novena. Con este propósito, tomaron diversas medidas de estas regiones anatómicas, en una muestra de 413 individuos de la Colección Hamann-Todd (Cleveland), a través de las cuales desarrollaron las fórmulas de regresión, que fueron posteriormente validadas en una muestra de TACs torácicos de Israel (n = 33), y a su vez revalidadas en una muestra esquelética de la Colección Antropológica de Tel Aviv (n = 15). Si bien la comparación de los resultados en diferentes colecciones puede ser compleja, dadas las características propias de los diferentes grupos poblacionales, los autores refieren unas tasas de acierto superiores al 80% en las fórmulas propuestas (Peleg *et al.*, 2020).

Ali *et al.* (2021) analizaron la utilidad del esternón para estudios de dimorfismo sexual mediante imágenes TAC en población egipcia, con una muestra de 165 TACs torácicos. En esta muestra, dividida en un primer grupo de 88 TACs para la toma de las medidas, y un segundo grupo de 77 TACs para la validación de los resultados, desarrollaron una ecuación mediante regresión logística para la estimación del sexo. Los resultados obtenidos fueron muy positivos, con un 85,7% de sensibilidad, un 90,5% de especificidad y un 88,3% de precisión (Ali *et al.*, 2021).

En una población sudanesa contemporánea, Ahmed *et al.* (2021) estudiaron la cavidad medular esternal de forma métrica a través del análisis de imágenes, con una muestra de 180 TACs (87 varones, 93 mujeres; con edades comprendidas entre los 18-90 años), para comprobar su potencial dimórfico en la estimación del sexo. En el estudio, se desarrollaron tanto funciones discriminantes como fórmulas de regresión logística binaria. Los autores refieren que el análisis de regresión arrojó

mejores resultados que el análisis discriminante, con un 82,8% de acierto y un sesgo de sexo del 2,3% (Ahmed *et al.*, 2021).

Asimismo, Kalbouneh *et al.* (2021) refirieron la falta del estudio del potencial dimórfico del esternón en población jordana. En este sentido, realizaron un estudio métrico para evaluar el dimorfismo sexual del esternón mediante el análisis de 600 TACs torácicos (300 varones, 300 mujeres), tomando un total de ocho variables métricas. Según el estudio, se encontró un resultado bastante positivo en el análisis discriminante multivariable, con una precisión general de entre el 83,0-84,0%, si bien al realizar dicho análisis según grupos de edad, encontraron tasas de clasificación correcta más altas en población de edad más avanzada que en grupos de edad más jóvenes (Kalbouneh *et al.*, 2021).

Koşar *et al.* (2022), en una muestra de 237 TACs torácicos (113 varones, 124 mujeres) de población turca, volvieron a analizar diferentes variables métricas del esternón para proponer fórmulas de regresión que permitieran estimar tanto el sexo como la talla del individuo. En materia de estimación sexual, los resultados fueron bastante positivos, con un 85% de acierto mediante el empleo de regresión logística (Koşar *et al.*, 2022).

Finalmente, en población iraní, Ghorbanlou *et al.* (2022) analizaron una muestra de 98 tomografías computarizadas (49 varones y 49 mujeres) para la estimación del sexo mediante el estudio de la cavidad torácica empleando funciones discriminantes. Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto la alta tasa de clasificación correcta obtenida mediante funciones discriminantes multivariantes, con un 94,2% de acierto y un sesgo de sexo del 5,8%. Asimismo, los autores referenciaron que la mejor variable para la discriminación sexual es el área esternal, que arrojó un 92,3% de clasificación correcta, con un 2,4% de sesgo sexual (Ghorbanlou *et al.*, 2022).

Recientemente, también se está recurriendo al análisis de imágenes mediante el empleo de redes neuronales artificiales para la estimación del sexo. Un ejemplo de este estudio es el de Oner *et al.* (2019), quienes, en población turca, analizaron morfométricamente una muestra de 422 imágenes torácicas (213 mujeres, 209 varones), con edades comprendidas entre los 27-60 años. Los resultados indicaron la posibilidad de estimar el sexo de forma bastante precisa, con un intervalo de confianza del 94%, abriendo nuevas perspectivas para la estimación del

sexo mediante el estudio de imágenes empleando inteligencia artificial (Oner *et al.*, 2019).

Así, en síntesis, podemos comprobar que los resultados obtenidos en el presente estudio validan la utilidad de la cavidad torácica como elemento para la discriminación sexual en población mediterránea, con unos resultados muy positivos, cercanos al 90%, bastante parejos a los obtenidos por diferentes autores a lo largo de varias décadas de estudio de los huesos torácicos, refrendando su potencial dimórfico en diferentes poblaciones, tanto con el empleo del esternón de forma individual, como con el empleo de costillas o esternón de forma conjunta. Los diferentes métodos de estimación sexual a través de la cavidad torácica mediante imágenes 3D y sus resultados se sintetizan en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4. Resumen de los diferentes métodos de estimación sexual mediante imágenes 3D a través de la cavidad torácica.

Autor	Población	Tamaño (n)	Metodología	Tasa de acierto
Uysal Ramadan <i>et al.</i> (2010)	Turca	340 (197h; 143m)	Regresión	88,2%
Franklin <i>et al.</i> (2012)	Australiana	187	Func. Discrim.	72,2-84,5%
Singh y Pathak (2013)	Norte de India	343 (252h; 91m)	Func. Discrim. y Reg. Logística	FD: 84,8% RL: 89,8%
Ekizoglu <i>et al.</i> (2014)	Turca	443 (241h; 202m)	Análisis morfométrico	Hombres: 83,8% Mujeres: 86,1%
Torimitsu <i>et al.</i> (2015)	Japonesa	200 (100h; 100m)	Func. Discrim. Univariantes	FD:62,5-84,0% Índices: 63,0- 90,5%
Darwish <i>et al.</i> (2017)	Egipcia	60	Análisis métrico	72,68-96,67%
Ahmed <i>et al.</i> (2017)	Saudí	200 (100h; 100m)	Análisis métrico univ. y multiv.	62,5-90,5%

Atesoglu et al. (2018)	Turca	200 (97h; 103m)	Diferencias morfológicas	N/A
Bedalov et al. (2019)	Croata	128 (73h; 55m)	Func. Discrim. Univariantes y multivariantes	Univ.:82,8% Multiv.: 90,6%
Peleg et al. (2020)	Estadounidense e Israelí	413 (EEUU) 33 (Israel)	Análisis métrico	Superior al 80%
Ali et al. (2021)	Egipcia	165 (88 de test y 77 de validación)	Regresión logística	88,3%
Ahmed et al. (2021)	Sudanesa	180 (87h; 93m)	Reg. Log. y Func. Disc. De la cav. med. esternal	82,8%
Kalbouneh et al. (2021)	Jordana	600 (300h; 300m)	Funciones discriminantes multivariantes	83,0-84,0%
Kosar et al. (2022)	Turca	237 (113h; 114m)	Regresión	85,0%
Ghorbanlou et al. (2022)	Iraní	98 (49h; 49m)	Funciones discriminantes	Univ.: 92,3% Multiv.: 94,2%
Este trabajo (2023)	Española	280 (140h; 140m)	Funciones discriminantes	Univ.: 85,1% Multiv.: 89,6%

8.4. Estimación de la edad mediante análisis de imágenes 3D

Al igual que la estimación del sexo mediante análisis de imágenes 3D ha proporcionado buenos resultados en los últimos años, la utilidad de este tipo de estudios en materia de estimación etaria también ha arrojado resultados favorables, dado su carácter no invasivo, como se ha mencionado con anterioridad, especialmente en el caso de la estimación de la edad de menores migrantes a través de la fusión de los huesos del carpo, entre otros ejemplos.

En relación con la estimación de la edad mediante la cavidad torácica, el estudio de la osificación del peto torácico, que engloba tanto el esternón como el cartílago condrocostal, a nivel esternal y a nivel del extremo esternal de la costilla, ya sea mediante análisis radiográfico o de imágenes

3D, es uno de los métodos empleados para la estimación de la edad en adultos, dado que la mayoría de este proceso de osificación comienza al inicio de la edad adulta, tras la adolescencia, y avanza progresivamente con la edad (Monum *et al.*, 2020).

En este sentido, ya McCormick y Stewart (1988) presentaron sus primeros estudios sobre los cambios de la estructura torácica y su degeneración en relación con la edad mediante el análisis de radiografías, con una muestra de 1965 imágenes obtenidas de individuos de 15 años en adelante. A través de estas radiografías, los autores estudiaron el progresivo avance de la osificación de los elementos cartilagosos del tórax, los cambios osteoporóticos de los diferentes huesos, la metamorfosis costal y la degeneración de la epífisis medial de la clavícula.

Con este trabajo, McCormick y Stewart reportaron la posibilidad de estimar la edad con un margen de error de cinco años en el 55% de los cadáveres analizados, y con un margen de error del 25% con respecto a la edad real en el 95% de los cadáveres estudiados, obteniéndose mejores resultados cuanto más joven era el individuo en cuestión – las mayores desviaciones se dieron en individuos de 60 años o más (McCormick y Stewart, 1988).

Este estudio presentó unos resultados en consonancia con los ya establecidos por Loth e İşcan (1984, 1985) para la degeneración del extremo esternal de la cuarta costilla, pues si bien el método permite la estimación de la edad con unos rangos etarios bastante aceptables, presenta la limitación de dejar de ser útil a partir de edades superiores a los 60-65 años, edades en las que los cambios morfológicos de los extremos esternales de las costillas dejan de ser patentes (Cunha *et al.*, 2009).

Igualmente, Barrès *et al.* (1989) presentaron un análisis sobre la cuantificación de la osificación de los elementos torácicos a través de radiografías realizadas a individuos procedentes de sala de autopsia. Con ello, desarrollaron una serie de ecuaciones de regresión mediante el procedimiento de regresión lineal múltiple, las cuales permiten la estimación de la edad con una precisión de $\pm 8,4$ años con respecto a la edad real (Barres *et al.*, 1989).

A este respecto, los resultados obtenidos en este trabajo muestran la utilidad del estudio de la osificación del cartílago condrocostal a través de imágenes 3D en relación con la estimación de la edad en población

española. Siguiendo la metodología de Monum *et al.* (2020), se evaluaron los grados de osificación del cartílago costal, así como la sinostosis de los segmentos esternales, para posteriormente crear varios sistemas de puntuaciones compuestas, combinando diferentes variables, los cuales serían empleados para desarrollar fórmulas de regresión para la estimación etaria.

En este aspecto, los resultados indicaron una correlación significativa de las diferentes variables con respecto a la edad ($p = 0,000$), salvo para la fusión del manubrio con el cuerpo esternal. Con estos valores, se construyeron diez modelos diferentes de puntuaciones compuestas, omitiendo la variable MC (fusión manubrio-esternal), al no ser significativa la relación de esta con la edad. Los modelos propuestos arrojaron una correlación muy buena con la edad, a tenor de los resultados del coeficiente rho de Spearman, además de ser resultados significativos.

Tras esto, se diseñaron las fórmulas de regresión mediante el modelo exponencial, dado que proporcionó mejores coeficientes de determinación que el modelo lineal. El mejor resultado fue dado por el modelo 7, cuyo coeficiente de determinación (R^2) fue de 0,733 en varones y 0,744 en mujeres, con una desviación media de 11,356 años en varones y 10,670 en mujeres.

De igual manera, los resultados obtenidos por el error intraobservador e interobservador hacen patente no solo la sencillez en su aplicabilidad, sino también su reproducibilidad. En este aspecto, estos resultados indican un grado de acuerdo de bueno a muy bueno o excelente en la práctica totalidad de variables, tanto en el error intraobservador como en el interobservador, lo que pone de manifiesto su concordancia y reproducibilidad.

Así, los resultados del análisis de regresión son parejos a los obtenidos por Monum *et al.* (2020), quienes aplicaron este método en población japonesa. Con una muestra de 320 TACs torácicos (170 varones y 150 mujeres) procedentes de autopsia, omitiendo individuos con patologías graves que afecten la morfología torácica o la calcificación de los elementos cartilagosos, como metástasis, lesiones, etc., tomaron las mismas medidas para el establecimiento de fórmulas de regresión para la estimación etaria.

En este aspecto, al igual que en este trabajo, las variables estudiadas indicaron una buena relación de las variables y sus estados de osificación

con la edad del individuo, a excepción de la fusión manubrio-esternal. Así, tras la construcción de los diferentes modelos de puntuaciones compuestas, aplicaron también el modelo exponencial a la construcción de las fórmulas de regresión, al obtener mejores resultados que con el modelo lineal (Monum *et al.*, 2020).

Los resultados de las fórmulas de regresión propuestas por Monum *et al.* (2020) fueron levemente inferiores a los proporcionados por este trabajo. A este respecto, la mejor puntuación compuesta para la estimación etaria arrojó un coeficiente de determinación (R²) de 0,608 en varones y 0,590 en mujeres, con un error estándar de la estimación de 12,44 años en varones y 14,65 años en mujeres.

Previamente, también Monum *et al.* (2017) evaluaron la utilidad de la calcificación del cartílago costal en una población de varones tailandeses, a través de una muestra de 136 radiografías torácicas, a través del método de Garvin (2010) y aplicando una serie de fórmulas de regresión, con las que obtuvieron resultados relativamente positivos (Monum *et al.*, 2017).

La osificación del cartílago de la primera costilla en concreto ha sido objeto de diferentes estudios a través del análisis de imágenes. Entre ellos, cabe mencionar el trabajo de Moskovitch *et al.* (2010), quienes evaluaron el método de Kunos *et al.* (1999) sobre la calcificación del cartílago de la primera costilla en una población francesa (n = 160, entre 15 y 30 años). Los resultados obtenidos por los autores ponen de manifiesto la utilidad del análisis de imagen para la estimación de la edad a través de la osificación del primer cartílago costal, especialmente en grupos jóvenes, dadas las características de su muestra (Moskovitch *et al.*, 2010).

De igual modo, el estudio de Garamendi *et al.* (2011) en población española evalúa la utilidad de la osificación de la epífisis medial de la clavícula y la calcificación del cartílago de la primera costilla a través de radiografías. Con una muestra de 123 individuos de origen español (61 varones, 62 mujeres, con edades comprendidas entre los 5 y los 75 años), se aplicó en ellos el método de Schmeling para la fusión de la epífisis medial clavicular y el método de Michelson para la osificación del primer cartílago costal. Según los resultados obtenidos, la fusión completa de la epífisis medial clavicular se da en edades superiores a los 20 años, mientras que la osificación completa del cartílago costal podía darse a partir de los 25 años (Garamendi *et al.*, 2011).

Asimismo, la sinostosis de los segmentos esternales, al igual que en hueso seco, también ha sido estudiada mediante el análisis de imágenes. Ejemplo de ello es el trabajo ya mencionado de Bacci *et al.* (2018), así como el de Umap *et al.* (2013), quien estudió la utilidad del TAC en la estimación etaria a través de la sinostosis xifo-esternal en población india. Utilizando una muestra de 50 individuos (26 varones, 24 mujeres), con edades comprendidas entre los 25 y los 45 años, los resultados obtenidos indicaron que la fusión xifo-esternal se daba a partir de los 30 años, incrementándose con la edad, reportando que todas las mujeres de su muestra presentaban fusión total a partir de los 40 años, mientras que el 71,42% de los varones de 41-45 años presentaban fusión total, con un 28-56% presentando fusión parcial (Umap *et al.*, 2013).

Igualmente, Shedge *et al.* (2021) estudiaron una muestra de 148 individuos (74 varones y 74 mujeres), en este caso para evaluar la utilidad de la fusión de las esterneras para la estimación etaria de adolescentes y adultos jóvenes, entre 16 y 18 años, a través de imágenes procedentes de TAC en población india. Así, valorando la correlación de los grados de sinostosis de las esterneras con la edad, la cual resultó ser significativa ($p < 0,001$), y proponiendo modelos de regresión lineal, los resultados indicaron que la fusión esterneral puede concebirse como un método útil para la estimación de la edad de juveniles y adultos jóvenes con propósitos forenses (Shedge *et al.*, 2021).

Oktay y Aytaç (2022), finalmente, evaluaron la utilidad de la fusión de la articulación manubrio-esternal y de la calcificación de la segunda costilla en relación con la edad en población turca. Para ello, estudiaron una muestra de 200 individuos, con edades comprendidas entre los 30 y los 80 años. El estudio puso de manifiesto que, si bien ambos factores aumentaron con la edad de forma progresiva, los rangos etarios eran demasiado amplios, por lo que los valores obtenidos podían ser de apoyo para los métodos clásicos de estimación etaria, pero no podían ser empleados como indicadores independientes de la edad (Oktay y Aytaç, 2022).

Recientemente, el estudio del deep learning en materia de estimación de sexo y edad también ha despuntado, con resultados prometedores. Sirva como ejemplo el estudio de Yi *et al.* (2021), con una muestra realmente amplia de radiografías procedentes de población estadounidense: un total de 112120 radiografías torácicas, de 48780 mujeres y 63340 varones, con edades comprendidas entre uno y 95 años. A su vez, emplearon una

submuestra de 662 radiografías procedentes de población china para la validación externa.

Los resultados indicaron que la inteligencia artificial fue capaz de estimar con bastante precisión el sexo de ambas poblaciones, al igual que fue capaz de diferenciar entre individuos adultos e individuos infantiles, resultando de gran utilidad en materia de diagnóstico del perfil osteobiológico mediante análisis radiográfico (Yi *et al.*, 2021).

De igual manera, cabe destacar también el estudio de Gámez-Granados *et al.* (2022), en el que, a través de inteligencia artificial, aplican la metodología de Todd (1920) para la estimación de la edad a través de la sínfisis púbica. En este aspecto, y con una muestra de 637 pubis masculinos de población mediterránea (se evitaron los pubis femeninos para no sesgar la metodología, considerando que el método de Todd fue propuesto originalmente para varones (Gámez-Granados *et al.*, 2022)), con edades comprendidas entre los 18-60 años, los resultados pusieron de manifiesto la utilidad de la inteligencia artificial a la hora de estimar la edad en casos forenses, si bien presentó ciertas limitaciones a la hora de su aplicación, pero sin duda abre la puerta a nuevas líneas de investigación conjuntas entre Antropología Forense e Inteligencia Artificial.

Así pues, las diferentes disimilitudes en los resultados obtenidos con la aplicación de estos métodos en diferentes poblaciones puede explicarse por las diferencias propias de cada uno de los grupos poblacionales, poniendo de manifiesto la necesidad del desarrollo y validación de los diferentes métodos en distintos grupos poblacionales (Cunha *et al.*, 2009; Monum *et al.*, 2020), siempre teniendo en cuenta las limitaciones que el estudio de la osificación de los cartílagos costales puede tener (Garvin, 2010). Los diferentes métodos de estimación etaria a través de la cavidad torácica mediante análisis de imágenes y sus resultados se sintetizan en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5. Resumen de los diferentes métodos de estimación etaria mediante análisis de imágenes a través de la cavidad torácica.

Autor	Población	Tamaño muestral	Metodología
McCormick y Stewart (1988)	Mixta	1965 radiografías	Osificación de cartílagos torácicos

Barrès <i>et al.</i> (1989)	N/A	N/A	Osificación de cartílagos torácicos
Moskovitch <i>et al.</i> (2010)	Francesa	160 radiografías	Calcificación del cartílago de la primera costilla
Garamendi <i>et al.</i> (2011)	Española	123 radiografías (61h; 62m)	Osificación de la epífisis medial de la clavícula y el cartílago de la primera costilla
Umap <i>et al.</i> (2013)	India	50 TACs (26h; 24m)	Sinostosis esternal
Monum <i>et al.</i> (2017)	Tailandesa	136 radiografías (solo varones)	Calcificación del cartílago costal + análisis de regresión
Monum <i>et al.</i> (2020)	Japonesa	320 TACs (170h; 150m)	Osificación de cartílagos torácicos + Regresión exponencial
Shedge <i>et al.</i> (2021)	India	148 TACs (74h; 74m) de adolescentes y adultos jóvenes	Fusión de esternobras + Regresión lineal
Yi <i>et al.</i> (2021)	Estadounidense y china	112120 radiografías de población EEUU (63340h; 48780m) y 662 radiografías de población china para validación	Inteligencia Artificial aplicada al análisis torácico
Oktay y Aytacı (2022)	Turca	200 TACs	Sinostosis de la articulación manubrio-esternal y calcificación del cartílago de la segunda costilla
Gámez-Granados <i>et al.</i> (2022)	Española	637 pubis masculinos	Inteligencia Artificial aplicada a la sínfisis púbica
Este trabajo (2023)	Española	280 TACs (140h; 140m)	Osificación de cartílagos torácicos + Regresión exponencial

8.5. Síntesis final

Como se ha podido reflejar a lo largo de los capítulos anteriores, así como en este mismo, el potencial de los huesos que conforman la caja torácica en materia de estimación tanto de sexo como de edad resulta evidente, a la luz de los diferentes trabajos referenciados que se han ido publicando en los últimos lustros.

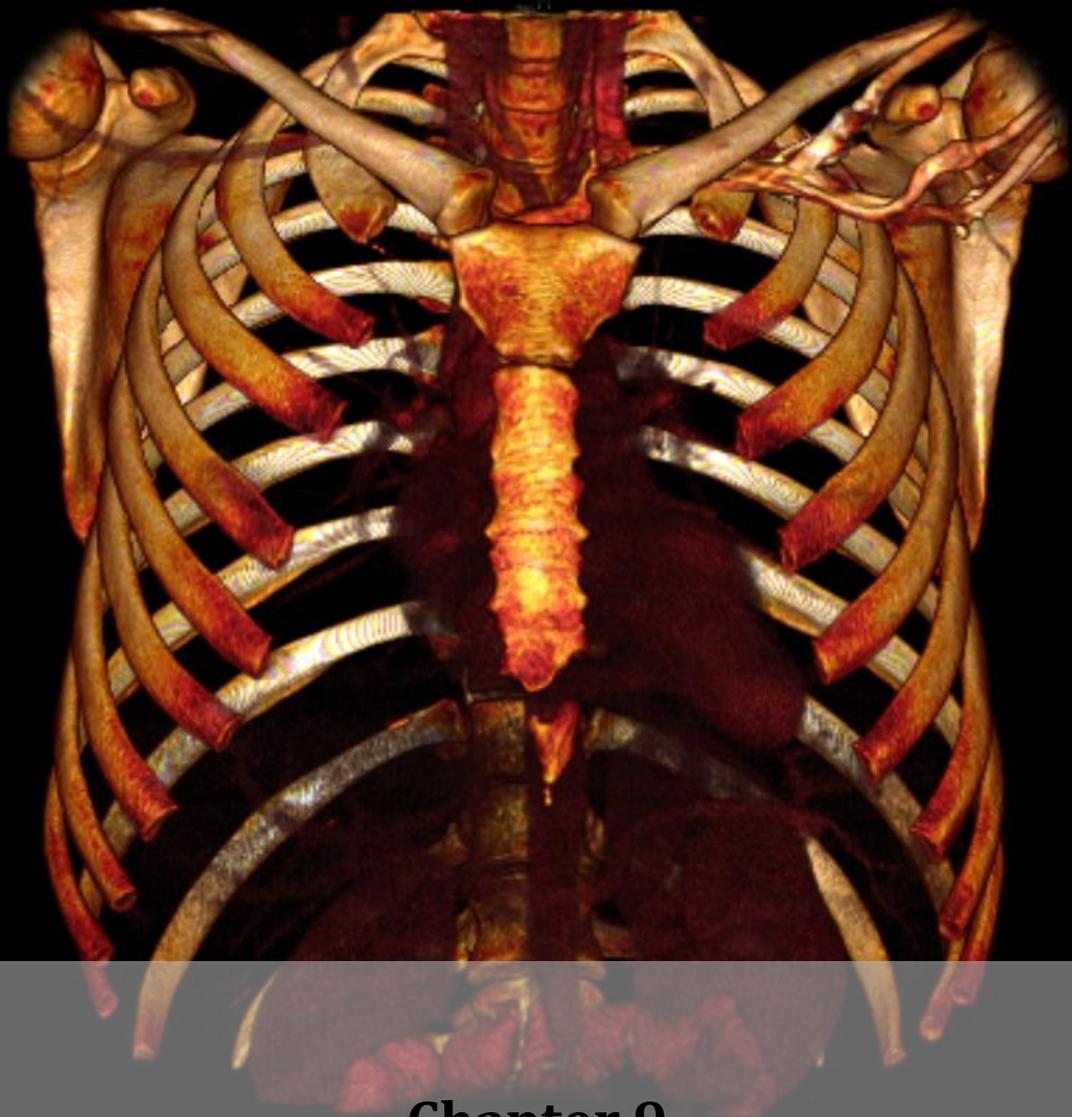
El dimorfismo sexual de los cuellos costales es bastante elevado, permitiendo la clasificación sexual de los restos con unos porcentajes de acierto elevados. Asimismo, dadas las similitudes geográficas con Portugal, las funciones discriminantes desarrolladas para ello pueden ser aplicadas tanto en población española como en población portuguesa actual.

Esto se refleja también en el estudio de imágenes 3D, cuyo análisis ha permitido establecer funciones discriminantes que también permiten estimar el sexo del individuo con una tasa de acierto muy cercana al 90%, por lo que la utilidad para la estimación del sexo en los huesos torácicos es más que evidente, y contrastada por otros autores en diferentes poblaciones.

Con respecto a la estimación de la edad, si bien la sinostosis de los segmentos esternales, de forma aislada, no es útil para la estimación de la edad, pues las diferentes partes que conforman el esternón no siguen un patrón fiable de osificación con la edad, se ha podido verificar que la combinación de la sinostosis de los segmentos esternales, así como la osificación de los cartílagos condrocostales, permiten estimar la edad mediante la aplicación de fórmulas de regresión, con una tasa de acierto moderada.

Estas limitaciones en materia de estimación etaria son compartidas por los diferentes autores mencionados y estudiados, pues la degeneración y calcificación de los cartílagos condrocostales tiende a ser más variable que el propio desarrollo y maduración de las estructuras costales, siendo por ello más complejo estudiar este fenómeno en relación con la edad.

Futuros estudios sobre la cavidad torácica, su desarrollo, metamorfosis y degeneración, podrán seguir aumentando estos resultados, no solo en poblaciones adultas, sino también en poblaciones infantiles, con el propósito de ampliar los conocimientos sobre los huesos torácicos y su potencial para el desarrollo y validación de metodologías útiles para la estimación de sexo y de edad en poblaciones mediterráneas.



Chapter 9
Conclusions

CHAPTER 9

CONCLUSIONS

1. Sexual dimorphism manifests in a high prevalence in the rib neck, a region whose metric analysis proved the existence of such sex differences. In this case, intraobserver and interobserver error showed high reproducibility and reliability in the nine measurements studied for the rib neck metric study.
2. Student's t-tests for independent samples showed significant differences in the means of measurements taken at the neck of the ribs, indicating larger sizes in males than in females.
3. The discriminant functions proposed for the sex estimation through the rib neck provided fairly high accuracy rates, above 80%, and were found to be useful for sex discrimination.
4. The discriminant potential of the first rib is noteworthy, with hit rates ranging from 80,0 to 93,2%. The second best result is given by the fourth rib, whose percentages range between 82,1 and 89,7%, almost 90%. The second and third ribs also give adequate results for sex estimation, with correct classification percentages ranging from 80,1 to 83,8% for the second rib, and 80,0 to 87,2% for the third rib.
5. Results from the validation of the functions in a second Spanish subsample were also very positive, with correct classification rates ranging from 85,4 to 96,4% for the first rib, 76,8 to 93,0% for the second rib, 76,9 to 83,6% for the third rib and 79,7 to 89,1% for the fourth rib.
6. With regard to the validation of the discriminant functions in Portuguese populations, the data in the CISC collection indicated unfavourable results in the first rib, especially in the case of males, whose correct classification reached very poor values, around 50-60%, while in females they were above 90-95%. This trend changed in the second to fourth ribs, where the correct classification values in both sexes became more balanced.

7. In the case of the CEI-XXI collection, the percentages of correct classification in both sexes for the first rib were more balanced, although slightly lower than in the original collection. These data increased for the third and fourth ribs, sometimes surpassing the original collection.

8. In summary, the applicability of the discriminant functions to the Portuguese population of the 21st century is possible, with slightly lower hit rates than in the original population, but with percentages ranging between 76,6 and 85,7% in the first rib, 80,4 and 84,4% in the second, 83,2 and 92,6% in the third and 79,8 and 88,7% in the fourth.

9. For its part, the synostosis of the sternal segments in adult individuals has proven not to be a useful method for age estimation. Although the intraobserver and interobserver error results were excellent, given the simplicity of the method, the results showed no correlation with age.

10. In this aspect, the fusion of the manubrium-sternal joint showed a low correlation with age ($p = 0.643$); similarly, 71% of the sternums studied showed an absence of manubrium-sternal synostosis, with the percentage in individuals aged 60-69 years being 83%. In turn, xipho-sternal synostosis provided a more significant result ($p = 0,004$), although the results were not clear for the age estimation.

11. With respect to the estimation of sex through 3D chest images, the metric study of these images provided very positive results through the application of discriminant functions. In this sense, the intraobserver and interobserver error showed high reproducibility and reliability in the different measures studied.

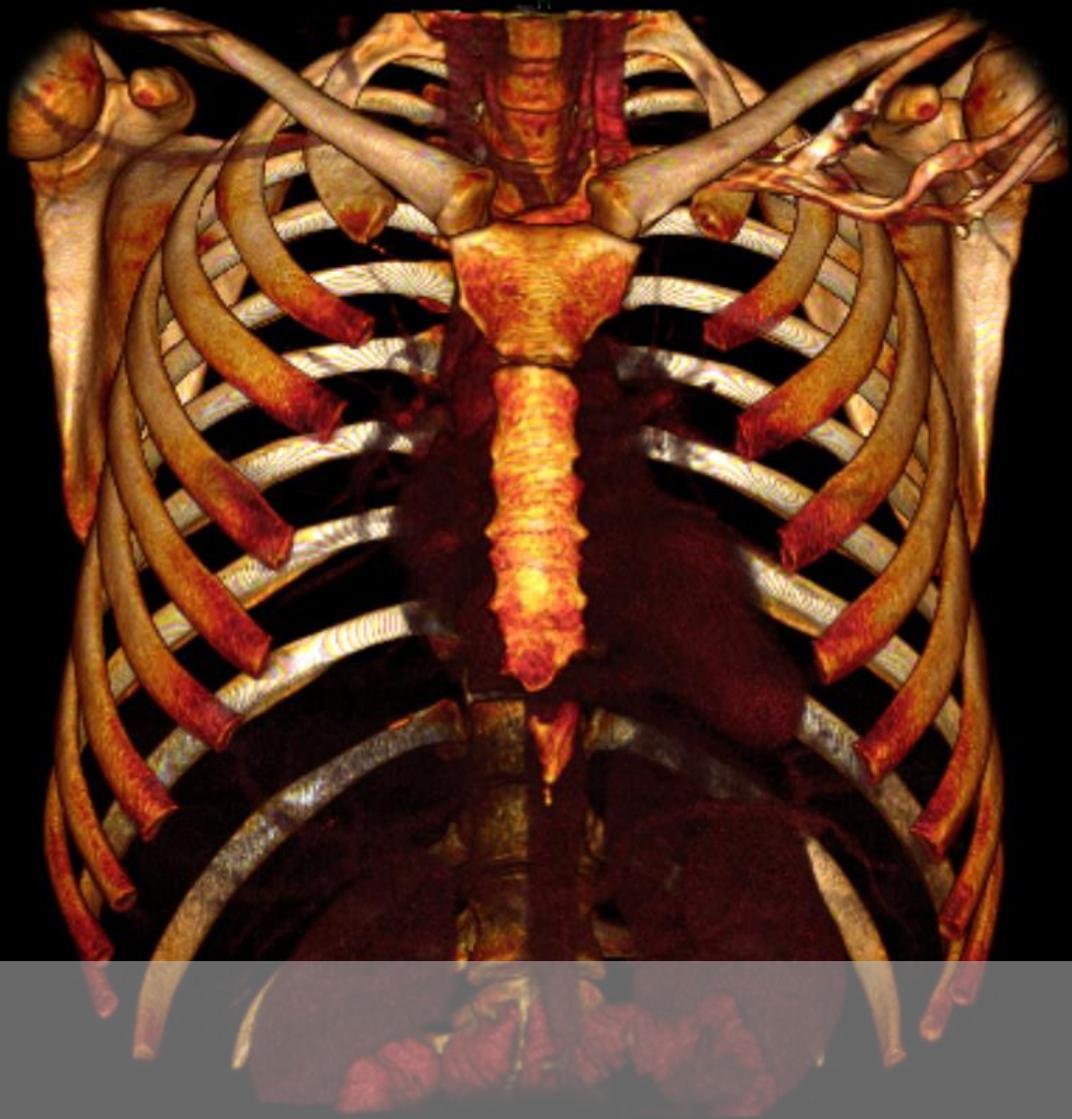
12. The univariate discriminant functions proposed for the estimation of sex yielded correct classification percentages below the minimum 80% required to be considered, except in two cases, for the variables CAL and AE, which provided a hit rate of 81,1% and 85,1% respectively.

13. With regard to the multivariate discriminant analysis, three discriminant functions were obtained that also provided very positive results. It is worth highlighting the function obtained for the variables MAL1, MAN, MG, CAL, CG, R4R and R5L, which allows a correct classification rate of 89,6% to be achieved. The two remaining multivariate discriminant functions, given by the variables MG, CAL, CG, AE, CLD and R4R, and MAL1, MAN, CAL, R4R and R4L respectively, also yielded very favourable results, 87,9% in both cases.

14. Finally, concerning the estimation of age through the study of the ossification and degeneration of the thoracic grid by means of 3D imaging, the results also showed its usefulness in this aspect. Thus, the variables analysed showed a good correlation with the age of the individuals studied, according to the results of Spearman's r coefficient, with the exception of the manubrium-sternal fusion (MC), the results of which did not show a significant correlation with age. The best result was provided by the LOF variable, with a value of $r = 0,740$ ($p = 0,000$), in the case of males, and the LOS variable in the case of females, with a value of $r = 0,792$ ($p = 0,000$).

15. With these data, different models combining the variables were proposed to design regression formulae. The model that provided the best coefficient of determination was model 7, with an R^2 of 0,733 for males and 0,744 for females. It was followed by model 6, with an R^2 of 0,722 for males and 0,742 for females.

16. In conclusion, the potential of the thoracic cage bones for the estimation of the osteobiological profile (sex and age) is very high, considering the results obtained, both in skeletal remains and through the use of 3D images.



Referencias

REFERENCIAS

A

Adams, S. M., Bosch, E., Balaesque, P. L., Ballereau, S. J., Lee, A. C., Arroyo, E., López-Parra, A. M., *et al.* (2008). The Genetic Legacy of Religious Diversity and Intolerance: Paternal Lineages of Christians, Jews, and Muslims in the Iberian Peninsula. *The American Journal of Human Genetics*, 83(6), 725–736. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2008.11.007>

AEAOF. (2020). *Muerte en la frontera: Resumen y Conclusiones de las XII Jornadas de la Asociación Española de Antropología y Odontología Forense (AEAOF)*. <https://aeaof.com/media/document/Resumen%20y%20conclusiones%20de%20las%20XII%20Jornadas%20de%20la%20AEAOF.%20Muerte%20en%20la%20Frontera FINAL.pdf>

Aghayev, E., Staub, L., Dirnhofner, R., Ambrose, T., Jackowski, C., Yen, K., Bolliger, S., Christe, A., Roeder, C., Aebi, M., Thali, M. J. (2008). Virtopsy - The concept of a centralized database in forensic medicine for analysis and comparison of radiological and autopsy data. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 15(3), 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2007.07.005>

Ahmed, A. A., Alshammari, F. O., Alrafiaah, A. S., Almohaisani, A. A., Al-Mohrej, O. A., Alkubaidan, F. O. (2017). Estimation of sex in a contemporary Saudi population based on sternal measurements using multidetector computed tomography. *HOMO- Journal of Comparative Human Biology*, 68(6), 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.jchb.2017.11.001>

Ahmed, A. A., Koko, A. O., Elsayed, M. M. (2021). Multi-detector computed tomography for the estimation of sex from sternal medullary cavity measurements in Sudanese individuals. *Forensic Science International: Reports*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.fsir.2021.100244>

Aiello, L. C. (1992). Allometry and the analysis of size and shape in human evolution. *Journal of Human Evolution*, 22(2), 127–147. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(92\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0047-2484(92)90034-7)

Aiello, L. C., Wheeler, P. (1995). The Expensive-Tissue Hypothesis: The Brain and the Digestive System in Human and Primate Evolution. *Current Anthropology*, 36(2), 199–221. <http://www.jstor.org/stable/2744104>

Alemán Aguilera, I., Botella López, M. C., Ruiz Rodríguez, L. (1997). Determinación del sexo en el esqueleto poscraneal. Estudio de una población mediterránea actual. *Arch. Esp. Morfol.*, 2, 69–79.

Alemán Aguilera, I., Botella López, M. C., Viciano Badal, J. (2013). Criterios de estimación del sexo. In F. Serrulla Rech (Ed.), *Recomendaciones en Antropología Forense* (pp. 57–69). Asociación Española de Antropología y Odontología Forense.

Alemán, I., Irurita, J., Valencia, A. R., Martínez, A., López-Lázaro, S., Viciano, J., Botella, M. C. (2012). Brief communication: The Granada osteological collection of identified infants and young children. *American Journal of Physical Anthropology*, 149(4), 606–610. <https://doi.org/10.1002/AJPA.22165>

Ali, M. I. M., Mosallam, W., Mostafa, E. M., Aly, S. M., Ali, N. M. (2021). Sternum as an indicator for sex and age estimation using multidetector computed tomography in an Egyptian population. *Forensic Imaging*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.fri.2021.200457>

AlQahtani, S. J., Hector, M. P., Liversidge, H. M. (2010). The London atlas of human tooth development and eruption. *American Journal of Physical Anthropology*, 142(3), 481–490. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.21258>

Ambrose, J., Hounsfield, G. (1973). Computerized transverse axial tomography. *Br J Radiol*, 46(542), 148–149. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4686818>

Arlegi, M., García-Sagastibelza, A., Veschambre-Couture, C., Gómez-Olivencia, A. (2022). Sexual dimorphism in the first rib of Homo sapiens. *Journal of Anatomy*, 240(5), 959–971. <https://doi.org/10.1111/joa.13594>

Ashley, G. T. (1954). The morphological and pathological significance of synostosis at the manubrio-sternal joint. *Thorax*, 9, 159–166.

Ateşoğlu, S., Deniz, M., Uslu, A. İ. (2018). Evaluation of the morphological characteristic and sex differences of sternum by multi-detector computed tomography. *Folia Morphologica (Poland)*, 77(3), 489–497. <https://doi.org/10.5603/FM.a2018.0002>

B

Bacci, N., Nchabeleng, E. K., Billings, B. K. (2018). Forensic age-at-death estimation from the sternum in a black South African population. *For Sci Int.*, 282, 233.e1-233.e7. <https://doi.org/10.1016/J.FORSIINT.2017.11.002>

Bakici, R. S., Oner, Z., & Oner, S. (2021). The analysis of sacrum and coccyx length measured with computerized tomography images depending on sex. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/S41935-021-00227-5/TABLES/14>

- Barnes, E. (1994). *Developmental Defects of the Axial Skeleton in Palaeopathology*. University Press of Colorado.
- Barres, D. R., Durigon, M., Paraire, F. (1989). Age estimation from quantitation of features of "chest plate" X-rays. *Journal of Forensic Sciences*, 34(1), 228–233. <https://doi.org/10.1520/jfs12626j>
- Beach, FA. (1978). Human sexuality and evolution. In SL. Washburn & ER. McCown (Eds.), *Human Evolution: Biosocial Perspectives* (pp. 123–153). Cummings.
- Bedalov, A., Bašić, Ž., Marelja, I., Dolić, K., Bukarica, K., Missoni, S., Šlaus, M., Primorac, D., Andjelinović, Š., Kružić, I. (2019). Sex estimation of the sternum by automatic image processing of multi-slice computed tomography images in a Croatian population sample: A retrospective study. *Croatian Medical Journal*, 60(3), 237–245. <https://doi.org/10.3325/cmj.2019.60.237>
- Bellemare, F., Jeanneret, A., Couture, J. (2003). Sex differences in thoracic dimensions and configuration. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 168(3), 305–312. <https://doi.org/10.1164/rccm.200208-8760C>
- Bellemare, F., Fuamba, T., Bourgeault, A. (2006). Sexual dimorphism of human ribs. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 150(2–3), 233–239. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2005.04.002>
- Bernier, F. (1684). Nouvelle division de la terre par les différentes espèces ou races d'hommes qui l'habitent. *Journal Des Sçavans*, 6, 133–140.
- Botella López, M. (2022). Algunas observaciones sobre la Antropología Física española. In M. Botella López, I. Alemán Aguilera, C. J. García García, S. A. Jiménez-Brobeil, R. M. Maroto Benavides, F. Navarro Merino (Eds.), *Miradas Actuales a la Antropología* (pp. 1–16). Sociedad Española de Antropología Física y Universidad de Granada.
- Brooks, S., Suchey, J. M. (1990). Skeletal age determination based on the os pubis: A comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Human Evolution*, 5(3), 227–238. <https://doi.org/10.1007/BF02437238>
- Brothwell, DR. (1987). *Desenterrando huesos: la excavación, tratamiento y estudio de restos del esqueleto humano*. Antropología Series. Sección de Obras de Antropología. Fondo de Cultura Económica.
- Bruzek, J. (2002). A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *American Journal of Physical Anthropology*, 117(2), 157–168. <https://doi.org/10.1002/AJPA.10012>
- Buikstra, J. E., & Ubelaker, D. H. (1994). *Standards for Data Collection from human skeletal remains*. Arkansas Archeological Survey Research Survey n° 44.

C

- Caballero, B., & Popkin, B. (2002). *The Nutrition Transition. Diet and Disease in the Developing World*. Academic Press.
- Calder, WA, I. (1984). *Size, Function, and Life History*. Cambridge University Press.
- Cameriere, R., Ferrante, L., Cingolani, M. (2006). Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *International Journal of Legal Medicine*, 120(1), 49–52. <https://doi.org/10.1007/s00414-005-0047-9>
- Cameriere, R., de Angelis, D., Ferrante, L., Scarpino, F., Cingolani, M. (2007). Age estimation in children by measurement of open apices in teeth: a European formula. *International Journal of Legal Medicine*, 121(6), 449–453. <https://doi.org/10.1007/s00414-007-0179-1>
- Cameriere, R., Pacifici, A., Pacifici, L., Polimeni, A., Federici, F., Cingolani, M., Ferrante, L. (2016). Age estimation in children by measurement of open apices in teeth with Bayesian calibration approach. *Forensic Science International*, 258, 50–54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.11.005>
- Cardoso, H. F. V. (2008). Age estimation of adolescent and young adult male and female skeletons II, epiphyseal union at the upper limb and scapular girdle in a modern Portuguese skeletal sample. *American Journal of Physical Anthropology*, 137(1), 97–105. <https://doi.org/10.1002/AJPA.20850>
- Carter, D. R., Mikic, B., Padian, K. (1998). Epigenetic mechanical factors in the evolution of long bone epiphyses. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 123(2), 163–178. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.1998.tb01298.x>
- Carter, D. R., Beaupré, G. S. (2000). *Skeletal Function and Form: Mechanobiology of Skeletal Development, Aging, and Regeneration*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511574993>
- Cattaneo, C. (2007). Forensic anthropology: developments of a classical discipline in the new millennium. *Forensic Science International*, 165(2–3), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.05.018>
- Cattaneo, C., Mazzarelli, D., Cappella, A., Castoldi, E., Mattia, M., Poppa, P., de Angelis, D., Vitello, A., Biehler-Gomez, L. (2018). A modern documented Italian identified skeletal collection of 2127 skeletons: the CAL Milano Cemetery Skeletal Collection. *Forensic Science International*, 287, 219.e1-219.e5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.03.041>
- Chandrakanth, H., Kanchan, T., Krishan, K., Arun, M., Kumar, G. N. P. (2012). Estimation of age from human sternum: An autopsy study on a sample from South India. *International Journal of Legal Medicine*, 126(6), 863–868. <https://doi.org/10.1007/S00414-012-0752-0/FIGURES/1>

- Chapman, T., Lefevre, P., Semal, P., Moiseev, F., Sholukha, V., Louryan, S., Rooze, M., & van Sint Jan, S. (2014). Sex determination using the probabilistic sex diagnosis (DSP: Diagnose sexuelle probabiliste) tool in a virtual environment. *For Sci Int*, 234, 189.e1-189.e8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.10.037>
- Chen, J. M. (1952a). Studies on the morphogenesis of the mouse sternum. I. Normal embryonic development. *Journal of Anatomy*, 86(4), 373-386. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12999640>
- Chen, J. M. (1952b). Studies on the morphogenesis of the mouse sternum. II. Experiments on the origin of the sternum and its capacity for self-differentiation in vitro. *Journal of Anatomy*, 86(4), 387-401. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12999641>
- Christensen, A. M., Crowder, C. M. (2009). Evidentiary Standards for Forensic Anthropology. *Journal of Forensic Sciences*, 54(6), 1211-1216. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01176.x>
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Ed. Psych. Measurement*, 20, 37-46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Cöloğlu, A. S., Işcan, M. Y., Yavuz, M. F. (1998). Sex determination from the ribs of contemporary Turks. *Journal of Forensic Sciences*, 43(2), 273-276. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9544535/>
- Comité Intl. de la Cruz Roja. (2012). *Los Convenios de Ginebra del 12 de agosto de 1949*. <https://www.icrc.org/es/doc/assets/files/publications/convenios-gva-esp-2012.pdf>
- Cox, R. M. (2010). Body Size and Sexual Dimorphism. In M. D. Breed & J. Moore (Eds.), *Encyclopedia of Animal Behavior* (pp. 220-225). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045337-8.00117-0>
- Crapo, R. O., Morris, A. H., Gardner, R. M. (1982). Reference values for pulmonary tissue volume, membrane diffusing capacity, and pulmonary capillary blood volume. *Bull Eur Physiopathol Respir*, 18(6), 893-899. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6927541>
- Cunha, E., & Wasterlain, S. (2007). The Coimbra identified osteological collections. *Skeletal Series in Their Socioeconomic Context. Documenta Archaeobiologiae*, 5, 23-33.
- Cunha, E., Baccino, E., Martrille, L., Ramsthaler, F., Prieto, J., Schuliar, Y., Lynnerup, N., Cattaneo, C. (2009). The problem of aging human remains and living individuals: A review. *Forensic Science International*, 193(1-3), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.09.008>
- Cunningham, C., Scheuer, L., Black, S. (2016). Developmental Juvenile Osteology. In *Developmental Juvenile Osteology: Second Edition*. Elsevier Inc.

D

Darwish, R. T., Abdel-Aziz, M. H., el Nekiedy, A.-A. M., Sobh, Z. K. (2017). Sex determination from chest measurements in a sample of Egyptian adults using Multislice Computed Tomography. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 52, 154–158. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.09.006>

Davies-Barrett, A. M., Antoine, D., Roberts, C. A. (2019). Inflammatory periosteal reaction on ribs associated with lower respiratory tract disease: A method for recording prevalence from sites with differing preservation. *American Journal of Physical Anthropology*, 168(3), 530–542. <https://doi.org/10.1002/ajpa.23769>

Dedouit, F., Bindel, S., Gainza, D., Blanc, A., Joffre, F., Rougé, D., Telmon, N. (2008). Application of the Iscan Method to Two- and Three-Dimensional Imaging of the Sternal End of the Right Fourth Rib*. *Journal of Forensic Sciences*, 53(2), 288–295. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00642.x>

Delgado, J., Jaimes, C., Gwal, K., Jaramillo, D., Ho-Fung, V. (2014). Sternal development in the pediatric population: evaluation using computed tomography. *Pediatric Radiology*, 44(4), 425–433. <https://doi.org/10.1007/s00247-013-2841-8>

Digangi, E. A., Bethard, J. D., Kimmerle, E. H., Konigsberg, L. W. (2009). A new method for estimating age-at-death from the first rib. *American Journal of Physical Anthropology*, 138(2), 164–176. <https://doi.org/10.1002/AJPA.20916>

Dirkmaat, D. C., Cabo, L. L., Ousley, S. D., Symes, S. A. (2008). New perspectives in forensic anthropology. *American Journal of Physical Anthropology*, 137(S47), 33–52. <https://doi.org/10.1002/ajpa.20948>

Dorado-Fernández, E., Cáceres-Monllor, D. A., Carrillo-Rodríguez, M. F., Botella-López, M., Murillo-González, J. (2021). The sternum as a sex discriminator in a contemporary Spanish population. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 29(1), 96–104. <https://doi.org/10.4323/rjlm.2021.96>

Duarte, C., Maurício, J., Pettitt, P. B., Souto, P., Trinkaus, E., van der Plicht, H., Zilhão, J. (1999). The early Upper Paleolithic human skeleton from the Abrigo do Lagar Velho (Portugal) and modern human emergence in Iberia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(13), 7604–7609. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.13.7604>

Dwight, T. (1881). *The sternum as an index of sex and age*.

E

Eijgelaar, A., Bijtel, J. H. (1970). Congenital cleft sternum. *Thorax*, 25(4), 490. <https://doi.org/10.1136/thx.25.4.490>

Ekizoglu, O., Hocaoglu, E., Inci, E., Bilgili, M. G., Solmaz, D., Erdil, I., Can, I. O. (2014). Sex estimation from sternal measurements using multidetector computed tomography. *Medicine (United States)*, 93(27). <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000240>

England, MA. (1990). *A Colour Atlas of Life Before Birth*. Wolfe.

Engum, S. A. (2008). Embryology, sternal clefts, ectopia cordis, and Cantrell's pentalogy. *Seminars in Pediatric Surgery*, 17(3), 154–160. <https://doi.org/10.1053/j.sempedsurg.2008.03.004>

F

Fairbairn, D. J. (2016). *Sexual Dimorphism* (E. B. Kliman, Ed.; pp. 105–113). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800049-6.00157-8>

Fazekas, I. Gy., Kósa, F. (1978). *Forensic Fetal Osteology*. Akadémiai Kiadó.

Ferembach, D., Swidetzky, I., Stoukal, M. (1980). Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons. *Journal of Human Evolution*, 9(7), 517–549. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(80\)90061-5](https://doi.org/10.1016/0047-2484(80)90061-5)

Ferrante, L., Cameriere, R. (2009). Statistical methods to assess the reliability of measurements in the procedures for forensic age estimation. In *International Journal of Legal Medicine* (Vol. 123, Issue 4, pp. 277–283). <https://doi.org/10.1007/s00414-009-0349-4>

Ferreira, M. T. (2012). *Para lá da morte: Estudo tafonómico da decomposição cadavérica e da degradação óssea e implicações na estimativa do intervalo pós-morte*. Universidade de Coimbra.

Ferreira, M. T., Vicente, R., Navega, D., Gonçalves, D., Curate, F., Cunha, E. (2014). A new forensic collection housed at the University of Coimbra, Portugal: The 21st century identified skeletal collection. *Forensic Science International*, 245, 202.e1–202.e5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.09.021>

Ferreira, M. T., Coelho, C., Makhoul, C., Navega, D., Gonçalves, D., Cunha, E., Curate, F. (2021). New data about the 21st Century Identified Skeletal Collection (University of Coimbra, Portugal). *International Journal of Legal Medicine*, 135(3), 1087–1094. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02399-6>

Flecker, H. (1932). Roentgenographic Observations of the Times of Appearance of Epiphyses and their Fusion with the Diaphyses. *J Anat*, 67(Pt 1), 118–164.3. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17104405>

Fokin, A. A., Steuerwald, N. M., Ahrens, W. A., Allen, K. E. (2009). Anatomical, Histologic, and Genetic Characteristics of Congenital Chest Wall Deformities.

Seminars in Thoracic and Cardiovascular Surgery, 21(1), 44–57.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2009.03.001>

Franklin, D., Flavel, A., Kuliukas, A., Cardini, A., Marks, M. K., Oxnard, C., O'Higgins, P. (2012). Estimation of sex from sternal measurements in a Western Australian population. *Forensic Science International*, 217(1–3), 230.e1-230.e5.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.11.008>

Frazer, DW. (1984). Biological and cultural change in the European Late Pleistocene and Early Holocene. In FH. Smith & F. Spencer (Eds.), *The Origins of Modern Humans: A World Survey of the Fossil Evidence* (pp. 211–250). Wiley-Liss.

Frazer, D. W., Wolpoff, M. H. (1985). Sexual Dimorphism. *Ann Rev Anthropol.*, 14(1), 429–473. <https://doi.org/10.1146/annurev.an.14.100185.002241>

Frazer, JE. (1948). *The Anatomy of the Human Skeleton* (4^o Edition). Churchill.

G

Gámez-Granados, J. C., Irurita, J., Pérez, R., González, A., Damas, S., Alemán, I., Córdón, O. (2022). Automating the decision making process of Todd's age estimation method from the pubic symphysis with explainable machine learning. *Information Sciences*, 612, 514–535. <https://doi.org/10.1016/J.INS.2022.08.110>

Garamendi, P. M., Landa, M. I., Botella, M. C., Alemán, I. (2011). Forensic Age Estimation on Digital X-ray Images: Medial Epiphyses of the Clavicle and First Rib Ossification in Relation to Chronological Age*,†. *Journal of Forensic Sciences*, 56(s1), S3–S12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01626.x>

García Parra, A. P. (2017). *Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D: Estudio de una población mediterránea actual*. <http://hdl.handle.net/10481/47111>

García-Martínez, D., Torres-Tamayo, N., Torres-Sanchez, I., García-Río, F., Bastir, M. (2016). Morphological and functional implications of sexual dimorphism in the human skeletal thorax. *American Journal of Physical Anthropology*, 161(3), 467–477. <https://doi.org/10.1002/AJPA.23051>

García-Parra, P., Pérez Fernández, T., Djorojevic, M., Botella, M., Alemán, I. (2014). Sexual dimorphism of human sternum in a contemporary spanish population. *Forensic Science International*, 244, 313.e1-313.e9.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.06.019>

Garvin, H. M. (2010). Limitations of cartilage ossification as an indicator of age at death. *Age Estimation in the Human Skeleton*, 118–133.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84886156505&partnerID=40&md5=b4bdb2956e8a0b00ee9f902fc8bd7229>

Gautam, R., Shah, G., Jadav, H., Gohil, B. (2003). The Human Sternum - as An Index of Age & Sex. *Journal of the Anatomical Society of India*, 52(1), 1–3.

Gaya Sancho, B. (2019). *Estudio morfométrico del sacro. Estimación del sexo y comparación de poblaciones actuales*. <http://hdl.handle.net/10481/57420>

Geddes, A. C. (1912). The Ribs in the Second Month of Development. *J Anat Physiol*, 47(Pt 1), 18–30. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17232940>

Genovés, S. (1959). L'estimation des différences sexuelles dans l'os coxal: différences métriques et différences morphologiques. *Bulletins et Mémoires de La Société d'anthropologie de Paris*, 10(1), 3–95. <https://doi.org/10.3406/bmsap.1959.2750>

Ghorbanlou, M., Moradi, F., Asgari, H. R. (2022). Morphometric study of sternum by computed tomography in an Iranian population: A method to discriminate between male and female. *Forensic Imaging*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.fri.2022.200501>

Glücksmann, A. (1981). *Sexual Dimorphism in Human and Mammalian Biology and Pathology*. Academic Press.

Godinho, V. (1975). *A estrutura da antiga sociedade Portuguesa* (V. Godinho, Ed.). Arcadia.

Grant, J. (1944). *A Method of Anatomy* (3^o Ed.). Williams and Wilkins.

Gumpel-Pinot, M. (1984). Muscle and skeleton of limbs and body wall. In NA. le Douarin & A. McLaren (Eds.), *Chimeras in Developmental Biology* (pp. 281–310). Academic Press.

H

Hounsfield, GN. (1973). Computerized Axial Scanning (tomography). 1: Description of system. *Br J Radiol*, 46, 1016–1022.

Hounsfield, GN. (1976). Picture Quality of Computed Tomography. *Am J Roentgenol*, 127, 3–9.

I

İşcan, M. Y., Loth, S. R., Wright, R. K. (1984). Metamorphosis at the sternal rib end: A new method to estimate age at death in white males. *American Journal of Physical Anthropology*, 65(2), 147–156. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330650206>

İşcan, M. Y. (1985). Osteometric analysis of sexual dimorphism in the sternal end of the rib. *Journal of Forensic Sciences*, 30(4), 1090–1099. <https://doi.org/10.1520/jfs11050j>

İşcan, M. Y., Loth, S. R., & Wright, R. K. (1985). Age estimation from the rib by phase analysis: white females. *J Forensic Sci*, 30(3), 853–863. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4031812>

İşcan, M. (1989). *Age Markers in the Human Skeleton*. Charles C. Thomas.

J

Jackson, A. R. W., Jackson, J. M. (2011). *Forensic Science* (3^a Ed.). Colour Press Ltd.

Jit, I., Bakshi, V. (1986). Time of fusion of the human mesosternum with manubrium & xiphoid process. *Indian J Med Res*, 83, 322–331. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3733193>

Jungers, W. L. (1988). Lucy's length: Stature reconstruction in Australopithecus afarensis (A.L.288–1) with implications for other small-bodied hominids. *American Journal of Physical Anthropology*, 76(2), 227–231. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330760211>

K

Kalbouneh, H., Mubarak, N., Daradkeh, S., Ashour, O., Alkhatib, A. M., Suboh, L., Nofal, A., Mahafzah, W., Alsalem, M. (2021). Estimation of sex based on metrics of the sternum in a contemporary Jordanian population: A computed tomographic study. *Medicine (United States)*, 100(49). <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028169>

Karkhanis, S., Mack, P., Franklin, D. (2015). Dental age estimation standards for a Western Australian population. *Forensic Science International*, 257, 509.e1-509.e9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.06.021>

Kelso, A. (1978). *Antropología Física* (1^o Ed.). Bellaterra Edicions.

Key, C. A., Aiello, L. C., Molleson, T. (1994). Cranial suture closure and its implications for age estimation. *International Journal of Osteoarchaeology*, 4(3), 193–207. <https://doi.org/10.1002/OA.1390040304>

Kistler, M., Bonaretti, S., Pfahrer, M., Niklaus, R., Büchler, P. (2013). The virtual skeleton database: An open access repository for biomedical research and collaboration. *Journal of Medical Internet Research*, 15(11). <https://doi.org/10.2196/jmir.2930>

- Klíma, M. (1968). Early development of the human sternum and the problem of homologization of the so-called suprasternal structures. *Cells Tissues Organs*, 69(4), 473–484. <https://doi.org/10.1159/000143096>
- Koşar, M. İ., Uğuz Gençer, C., Tetiker, H., Yeniçeri, İ. Ö., Çullu, N. (2022). Sex and stature estimation based on multidetector computed tomography imaging measurements of the sternum in Turkish population. *Forensic Imaging*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.fri.2022.200495>
- Kreitner, K. F., Schweden, F., Schild, H. H., Riepert, T., Nafe, B. (1997). Die computertomographisch bestimmte ausreifung der medialen klavikulaepiphyse - Eine additive methode zur altersbestimmung im adoleszentenalter und in der dritten lebensdekade? *RoFo Fortschritte Auf Dem Gebiete Der Rontgenstrahlen Und Der Neuen Bildgebenden Verfahren*, 166(6), 481–486. <https://doi.org/10.1055/S-2007-1015463/BIB>
- Kreitner, K. F., Schweden, F. J., Riepert, T., Nafe, B., Thelen, M. (1998). Bone age determination based on the study of the medial extremity of the clavicle. *European Radiology*, 8(7), 1116–1122. <https://doi.org/10.1007/S003300050518>
- Krenzer, U. (2006). *Compendio de Métodos antropológico forenses para la reconstrucción del perfil osteobiológico*. Centro de Análisis Forense y Ciencias Aplicadas (CAFCA).
- Krishan, K., Chatterjee, P. M., Kanchan, T., Kaur, S., Baryah, N., Singh, R. K. (2016). A review of sex estimation techniques during examination of skeletal remains in forensic anthropology casework. *Forensic Science International*, 261, 165.e1-165.e8. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.02.007>
- Krogman, W. (1962). *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Charles C. Thomas.
- Kubicka, A. M., Piontek, J. (2016). Sex estimation from measurements of the first rib in a contemporary Polish population. *International Journal of Legal Medicine*, 130(1), 265–272. <https://doi.org/10.1007/s00414-015-1247-6>
- Kunos, C. A., Simpson, S. W., Russell, K. F., Hershkovitz, I. (1999). First rib metamorphosis: Its possible utility for human age-at-death estimation. *American Journal of Physical Anthropology*, 110(3), 303–323. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(199911\)110:3<303::AID-AJPA4>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(199911)110:3<303::AID-AJPA4>3.0.CO;2-O)
- Kurki, H. (2005). Use of the first rib for adult age estimation: a test of one method. *International Journal of Osteoarchaeology*, 15(5), 342–350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/oa.788>
- Kvaal, S. I., Kolltveit, K. M., Thomsen, I. O., Solheim, T. (1995). Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Science International*, 74(3), 175–185. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0379-0738\(95\)01760-G](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0379-0738(95)01760-G)

L

Lao, O., Lu, T. T., Nothnagel, M., Junge, O., Freitag-Wolf, S., Caliebe, A., Balascakova, M., Bertranpetit, J., Bindoff, L. A., Comas, D., Holmlund, G., Kouvatzi, A., Macek, M., Mollet, I., *et al.* (2008). Correlation between Genetic and Geographic Structure in Europe. *Current Biology*, 18(16), 1241–1248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.07.049>

Last, R.J. (1973). *Anatomy, Regional and Applied* (5^o Edition). Churchill Livingstone.

Laurenson, R. D. (1964a). The chondrification of the human ilium. *Anat. Record*, 148(2), 197–202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ar.1091480209>

Laurenson, R. D. (1964b). The primary ossification of the human ilium. *Anat Rec.*, 148(2), 209–217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ar.1091480211>

León, P. (1982). *História económica e social do mundo*. Sá da Costa Editora.

Lin, L. I.-K. (1989). A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. *Biometrics*, 45(1), 255–268. <https://doi.org/10.2307/2532051>

Lomauro, A., Aliverti, A. (2018). Sex differences in respiratory function. *Breathe*, 14(2), 131–140. <https://doi.org/10.1183/20734735.000318>

López Alcaraz, M. (2012). *Análisis de imagen para determinación de edad y sexo en pubis, en una muestra de Tomografía Axial Computarizada de sujetos adultos vivos*. Universidad de Granada.

López-Alcaraz, M., Garamendi González, P. M., Alemán Aguilera, I., Botella López, M. (2013). Image analysis of pubic bone for sex determination in a computed tomography sample. *International Journal of Legal Medicine*, 127(6), 1145–1155. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0900-1>

Lovejoy, C. O., Meindl, R. S., Pryzbeck, T. R., Mensforth, R. P. (1985). Chronological metamorphosis of the auricular surface of the ilium: A new method for the determination of adult skeletal age at death. *Am. J Phys Anthropology*, 68(1), 15–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330680103>

Lynch, J. J., Cross, P., Heaton, V. (2017). Sexual Dimorphism of the First Rib: A Comparative Approach Using Metric and Geometric Morphometric Analyses. *Journal of Forensic Sciences*, 62(5), 1251–1258. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13421>

M

Macaluso, P. J. (2010). The efficacy of sternal measurements for sex estimation in South African blacks. *Forensic Science International*, 202(1–3), 111.e1–111.e7. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.07.019>

- Macaluso, P. J., Rico, A., Santos, M., Lucena, J. (2012). Osteometric sex discrimination from the sternal extremity of the fourth rib in a recent forensic sample from Southwestern Spain. *Forensic Science International*, 223(1-3), 375.e1-375.e5. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.09.007>
- Macaluso Jr., P. J., Lucena, J. (2014). Estimation of sex from sternal dimensions derived from chest plate radiographs in contemporary Spaniards. *International Journal of Legal Medicine*, 128(2), 389-395. <https://doi.org/10.1007/s00414-013-0910-z>
- Madrigal, L. (1998). *Statistics for Anthropology* (1º). Cambridge University Press.
- Mann, RW., Murphy, SE. (1990). *Regional Atlas of Bone Disease. A Guide to Pathologic and Normal Variation in the Human Skeleton*. Charles C. Thomas.
- Martin, E. J. (1960). Incidence of bifidity and related rib abnormalities in Samoans. *American Journal of Physical Anthropology*, 18(3), 179-187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330180303>
- Martínez Carrión, J. M. (2011). *La talla de los europeos desde 1700: Tendencias, ciclos y desigualdades*. Sociedad Española de Historia Agraria.
- McCormick, W. F., Stewart, J. H., Langford, L. A. (1985). Sex determination from chest plate roentgenograms. *American Journal of Physical Anthropology*, 68(2), 173-195. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330680205>
- McCormick, W. F., Stewart, J. H. (1988). Age related changes in the human plastron: A roentgenographic and morphologic study. *Journal of Forensic Sciences*, 33(1), 100-120. <https://doi.org/10.1520/jfs12441j>
- McHenry, H. M. (1976). Early hominid body weight and encephalization. *American Journal of Physical Anthropology*, 45(1), 77-83. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330450110>
- McHenry, H. M. (1992). Body size and proportions in early hominids. *American Journal of Physical Anthropology*, 87(4), 407-431. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330870404>
- McHenry, H. M., Coffing, K. (2000). Australopithecus to Homo: Transformations in Body and Mind. *Annual Review of Anthropology*, 29(1), 125-146. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.29.1.125>
- Meindl, R. S., Lovejoy, C. O. (1985). Ectocranial suture closure: A revised method for the determination of skeletal age at death based on the lateral-anterior sutures. *American Journal of Physical Anthropology*, 68(1), 57-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330680106>
- Monum, T., Mekjaidee, K., Pattamapaspong, N., Prasitwattanaseree, S. (2017). Age estimation by chest plate radiographs in a Thai male population. *Science and Justice*, 57(3), 169-173. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2017.02.003>

Monum, T., Makino, Y., Prasitwattanaseree, S., Yajima, D., Chiba, F., Torimitsu, S., Hoshioka, Y., Yoshida, M., Urabe, S., Oya, Y., Iwase, H. (2020). Age estimation from ossification of sternum and true ribs using 3D post-mortem CT images in a Japanese population. *Legal Medicine*, 43, 101663. <https://doi.org/10.1016/j.LEGALMED.2019.101663>

Moskovitch, G., Dedouit, F., Braga, J., Rougé, D., Rousseau, H., Telmon, N. (2010). Multislice computed tomography of the first rib: A useful technique for bone age Assessment. *Journal of Forensic Sciences*, 55(4), 865–870. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01390.x>

Muñoz, A., Maestro, N., Benito, M., Sánchez, J. A., Márquez-Grant, N., Trejo, D., Ríos, L. (2018). Sex and age at death estimation from the sternal end of the fourth rib. Does Íşcan's method really work? *Legal Medicine*, 31, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2017.12.002>

N

Nadal, J. (1988). *La población española (siglos XVI a XX)* (J. Nadal, Ed.). Ariel.

Navarro Merino, F. J. (2011). *Superposición craneofacial para la identificación humana. Un estudio en población mediterránea.* <http://hdl.handle.net/10481/21025>

Noback, C. R., Robertson, G. G. (1951). Sequences of appearance of ossification centers in the human skeleton during the first five prenatal months. *Am. Journal of Anatomy*, 89(1), 1–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aja.1000890102>

Novembre, J., Johnson, T., Bryc, K., Kutalik, Z., Boyko, A. R., Auton, A., Indap, A., King, K. S., Bergmann, S., Nelson, M. R., Stephens, M., Bustamante, C. D. (2008). Genes mirror geography within Europe. *Nature*, 456(7218), 98–101. <https://doi.org/10.1038/nature07331>

O

Odita, J. C., Okolo, A. A., Omene, J. A. (1985). Sternal ossification in normal newborn infants. *Pediatric Radiology*, 15(3), 165–167. <https://doi.org/10.1007/BF02388603>

Ogden, J. A. (1979). The development and growth of the musculo-skeletal system. In J. A. Albright & R. Brands (Eds.), *Scientific Basis of Orthopaedics* (pp. 41–103). Appleton-Century-Crofts.

Oktay, C., Aytaç, G. (2022). Evaluation of manubriosternal joint fusion and second costal cartilage calcification: Are they useful for estimating advanced age groups?

Journal of Forensic Sciences, 67(2), 450–459. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14951>

Oner, Z., Turan, M. K., Oner, S., Secgin, Y., Sahin, B. (2019). Sex estimation using sternum part lengths by means of artificial neural networks. *Forensic Science International*, 301, 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.05.011>

P

Partido Navadijo, M., Fombuena Zapata, I., Borja Miranda, E. A., Alemán Aguilera, I. (2021). Discriminant functions for sex estimation using the rib necks in a Spanish population. *International Journal of Legal Medicine*, 135(3), 1055–1065. <https://doi.org/10.1007/s00414-021-02537-8>

Partido Navadijo, M., Alemán Aguilera, I. (2022). Utility of the sternal synostosis for age-at-death estimation in a Mediterranean population. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 18(4), 423–428. <https://doi.org/10.1007/s12024-022-00506-0>

Partido Navadijo, M., Monge Calleja, Á.M., Ferreira, M.T., Alemán Aguilera, I. (2023). Validation of discriminant functions from the rib necks in two Portuguese adult identified populations. *International Journal of Legal Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s00414-023-02957-8>

Paterson, AM. (1904). *The Human Sternum*. Williams and Norgate.

Peleg, S., Pelleg Kallevag, R., Dar, G., Steinberg, N., Masharawi, Y., May, H. (2020). New methods for sex estimation using sternum and rib morphology. *International Journal of Legal Medicine*, 134(4), 1519–1530. <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02266-4>

Pereira, M. H. (1978). «Decadência» ou subdesenvolvimento: uma reinterpretação das suas origens no caso português. *Análise Social*, 14(53), 7–20. <http://www.jstor.org/stable/41010123>

Petaros, A., Caplova, Z., Verna, E., Adalian, P., Baccino, E., de Boer, H. H., Cunha, E., Ekizoglu, O., Ferreira, M. T., Fracasso, T., Kranioti, E. F., Lefevre, P., Lynnerup, N., Ross, A., *et al.* (2021). Technical Note: The Forensic Anthropology Society of Europe (FASE) Map of Identified Osteological Collections. *Forensic Science International*, 328,. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110995>

Phenice, T. W. (1969). A newly developed visual method of sexing the os pubis. *American Journal of Physical Anthropology*, 30(2), 297–301. <https://doi.org/10.1002/AJPA.1330300214>

Pilbeam, D., Gould, S. J. (1974). Size and scaling in human evolution. *Science*, 186(4167), 892–901. <https://doi.org/10.1126/science.186.4167.892>

Pimenta, J., Lopes, A. M., Carracedo, A., Arenas, M., Amorim, A., Comas, D. (2019). Spatially explicit analysis reveals complex human genetic gradients in the Iberian Peninsula. *Scientific Reports*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44121-6>

R

Radetzki, F., Mendel, T., Noser, H., Stoevesandt, D., Röllinghoff, M., Gutteck, N., Delank, K. S., Wohlrab, D. (2013). Potentialities and limitations of a database constructing three-dimensional virtual bone models. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 35(10), 963–968. <https://doi.org/10.1007/s00276-013-1118-0>

Ramey Burns, K. (2007). *Manual de Antropología Forense*. Bellaterra.

Ramos, R., Vasconcelos e Sousa, B., Monteiro, N. G. (2009). *História de Portugal. A Esfera dos Livros*.

Ratnovsky, A., Elad, D. (2005). Anatomical model of the human trunk for analysis of respiratory muscles mechanics. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 148(3), 245–262. <https://doi.org/10.1016/j.RESP.2004.12.016>

Reverte Coma, J. (1999). *Antropología Forense* (2º Ed.). Secretaría General Técnica del Ministerio de Justicia.

Rodes Lloret, F. (2016). *Cuaderno de prácticas de antropología forense*. Publicacions de la Universitat d'Alacant.

Rodrigues, T. F. (2010). A população portuguesa. Das longas permanências à conquista da modernidade. In M. C. M. Pereira (Ed.), *População e Sociedade: Dinâmicas e perspectivas demográficas do Portugal contemporâneo* (pp. 21–42). CEPESE e Edições Afrontamento.

Rodríguez Cuenca, J.V. (1994). *Introducción a la Antropología Forense. Análisis e Identificación de restos óseos humanos*. Anaconda.

Röntgen, W. C. (1896). On a New Kind of Rays. *Science*, 3(59), 227–231. <https://doi.org/10.1126/science.3.59.227>

Ruff, C. B. (1991). Climate and body shape in hominid evolution. *Journal of Human Evolution*, 21(2), 81–105. [https://doi.org/10.1016/0047-2484\(91\)90001-C](https://doi.org/10.1016/0047-2484(91)90001-C)

Ruff, C. B., Trinkaus, E., Walker, A., Larsen, C. S. (1993). Postcranial robusticity in Homo. I: Temporal trends and mechanical interpretation. *Am J Phys Anthropol.*, 91(1), 21–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330910103>

Ruff, C. B., Trinkaus, E., Holliday, T. W. (1997). Body mass and encephalization in Pleistocene Homo. *Nature*, 387(6629), 173–176. <https://doi.org/10.1038/387173a0>

Ruff, C. (2002). Variation in Human Body Size and Shape. *Ann Rev of Anthropology*, 31(1), 211–232. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.31.040402.085407>

S

Sadler, T. W. (2000). Embryology of the sternum. *Chest Surg Clin N Am*, 10(2), 237–244, v. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10803330>

Santos, A. L. (2000). *A skeletal picture of tuberculosis: macroscopic, radiological, biomolecular and historical evidence from the Coimbra Identified Skeletal Collection*. Universidade de Coimbra.

Santos, A. L. (2020). A particular heritage: The importance of identified osteological collections. *Metode Science Studies Journal*, 2020(10), 91–97. <https://doi.org/10.7203/metode.10.13711>

Schaefer, M., Black, SM., Scheuer, L. (2009). *Juvenile Osteology: A Laboratory and Field Manual*. Academic Press.

Scheuer, Louise., Black, S. M. (2004). *The juvenile skeleton*. Elsevier Academic Press.

Schmeling, A., Schulz, R., Reisinger, W., Mühler, M., Wernecke, K.-D., Geserick, G. (2004). Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *International Journal of Legal Medicine*, 118(1), 5–8. <https://doi.org/10.1007/s00414-003-0404-5>

Schmidt-Nielson, K. (1984). *Scaling: Why is Animal Size so important?* Cambridge University Press.

Schulz, R., Mühler, M., Mutze, S., Schmidt, S., Reisinger, W., Schmeling, A. (2005). Studies on the time frame for ossification of the medial epiphysis of the clavicle as revealed by CT scans. *International Journal of Legal Medicine*, 119(3), 142–145. <https://doi.org/10.1007/S00414-005-0529-9/TABLES/2>

Schünke, M., Schulte, E., & Schumacher, U. (2005). *Prometheus: Texto y Atlas de Anatomía: Vol. Vol. 1*. Editorial Médica Panamericana.

Seno, T. (1961). The origin and evolution of the sternum. *Anat Anz*, 110, 97–101. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13910689>

Sensenig, E. C. (1949). The early development of the human vertebral column. *Contrib Embryol*, 33(213–221), 21–42. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18130382>

Shedje, R., Kanchan, T., Kumar Garg, P., Gupta Dixit, S., Warriar, V., Krishan, K. (2021). Age estimation from sternbral fusion in an Indian population – A computed tomographic evaluation. *Legal Medicine*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101951>

Sideri, S. (1978). *Comércio e Poder. Colonialismo informal nas relações Anglo-Portuguesas*. Cosmos.

Silva, Á. F. (1997). A evolução da rede urbana portuguesa (1801-1940). *Análise Social*, 32(143), 779–814. <https://www.jstor.org/stable/41011289?seq=1>

Singh, J., Pathak, R. K. (2013). Morphometric sexual dimorphism of human sternum in a north Indian autopsy sample: Sexing efficacy of different statistical techniques and a comparison with other sexing methods. *For Sci Int*, 228(1–3), 174.e1-174.e10. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.03.020>

Smith, M. M., Hall, B. K. (1990). Development and evolutionary origins of vertebrate skeletogenic and odontogenic tissues. *Biological Reviews*, 65(3), 277–373. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1990.tb01427.x>

Spiegel, P. K. (1995). The first clinical X-ray made in America--100 years. *Am J Roentg.*, 164(1), 241–243. <https://doi.org/10.2214/ajr.164.1.7998549>

Squires, K., García-Mancuso, R. (2021). Ethical challenges associated with the study and treatment of human remains in anthropological sciences in the 21st century. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, 23(2). <https://doi.org/10.24215/18536387E034>

Steinbock, R. T. (1976). *Developmental Defects of the Axial Skeleton in Palaeopathology*. Charles C. Thomas.

Stewart, T. D. (1954). Metamorphosis of the joints of the sternum in relation to age changes in other bones. *American Journal of Physical Anthropology*, 12(4), 519–536. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ajpa.1330120405>

Stewart, TD., Kerley, ER. (1979). *Essentials of Forensic Anthropology: Especially as Developed in the United States*. Charles C. Thomas, Limited.

Stini, WA. (1985). Growth rates and sexual dimorphism in evolutionary perspective. In RI. Gilbert & JH. Mielke (Eds.), *The Analysis of Prehistoric Diets* (pp. 191–226). Academic Press.

Sycamore, L. K. (1944). Common congenital anomalies of the bony thorax. *American Journal of Roentgenology*, 51, 593–599.

Szilvássy, J. (1977). Estimation of age by the sternal articular surfaces of the clavicle. *Beitr Gerichtl Med*, 35, 343–345. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/199155>

T

Testut, L., & Latarjet, A. (1921). *Anatomía Humana* (Vol. 1). Salvat.

- Tobias, P. (1985). The negative secular trend. *Journal of Human Evolution*, 14(4), 347–356. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0047-2484\(85\)80041-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0047-2484(85)80041-5)
- Tomaszewska, I. M., Fraczek, P., Gomulska, M., Pliczko, M., Źliwińska, A., Salapa, K., Chrzan, R., Kowalski, P., Nowakowski, M., Walocha, J. A. (2014). Sex determination based on the analysis of a contemporary Polish population's palatine bones: A computed tomography study of 1,200 patients. *Folia Morphologica (Poland)*, 73(4), 462–468. <https://doi.org/10.5603/FM.2014.0069>
- Torimitsu, S., Makino, Y., Saitoh, H., Sakuma, A., Ishii, N., Inokuchi, G., Motomura, A., Chiba, F., Hoshioka, Y., Iwase, H. (2015). Estimation of sex in Japanese cadavers based on sternal measurements using multidetector computed tomography. *Legal Medicine*, 17(4), 226–231. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2015.01.003>
- Torres-Tamayo, N., García-Martínez, D., Lois Zloliniski, S., Torres-Sánchez, I., García-Río, F., Bastir, M. (2018). 3D analysis of sexual dimorphism in size, shape and breathing kinematics of human lungs. *Journal of Anatomy*, 232(2), 227–237. <https://doi.org/10.1111/JOA.12743>
- Torwalt, C. R. M. M., Hoppa, R. D. (2005). A test of sex determination from measurements of chest radiographs. *Journal of Forensic Sciences*, 50(4), 785–790. <https://doi.org/10.1520/jfs2004425>
- Trinkaus, E. (1981). Neanderthal limb proportions and cold adaptation. In CB. Stringer (Ed.), *Aspects of Human Evolution* (pp. 187–224). Taylor & Francis.
- Tsou, P. M., Yau, A., Hodgson, A. R. (1980). Embryogenesis and prenatal development of congenital vertebral anomalies and their classification. *Clin Orthop Relat Res*, 152, 211–231. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7438606>
- Tsubaki, S., Morishita, J., Usumoto, Y., Sakaguchi, K., Matsunobu, Y., Kawazoe, Y., Okumura, M., Ikeda, N. (2017). Sex determination based on a thoracic vertebra and ribs evaluation using clinical chest radiography. *Legal Medicine*, 27, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2017.06.003>

U

- Ubelaker, D. H. (2008). Issues in the Global Applications of Methodology in Forensic Anthropology*. *Journal of Forensic Sciences*, 53(3), 606–607. <https://doi.org/10.1111/J.1556-4029.2008.00717.X>
- Umap, R., Bardale, R., Shriramwar, P. (2013). Utility of spiral multislice CT scan in estimation of age from sternum: a preliminary study. *J. Forensic Med. Sci. Law*, 22(2), 1–4. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85038833839&partnerID=40&md5=ebf572721b69d85c9181c58af52ac43c>

Uysal Ramadan, S., Gokharman, D., Kacar, M., Tuncbilek, I., Kosar, U. (2005). Estimation of sex by 3D CT measurements of the foramen magnum. *Journal of Forensic Sciences*, 50(6), 1310–1314.

Uysal Ramadan, S., Türkmen, N., Dolgun, N. A., Gökharman, D., Menezes, R. G., Kacar, M., Koşar, U. (2010). Sex determination from measurements of the sternum and fourth rib using multislice computed tomography of the chest. *Forensic Science International*, 197(1–3), 120.e1-120.e5.
<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.12.049>

V

Verbout, A. J. (1985). *The Development of the Vertebral Column*. Springer Berlin.

Viciano Badal, J. (2012). *Métodos odontométricos para la estimación del sexo en individuos adultos y subadultos*. <http://hdl.handle.net/10481/23983>

W

Weinmann, JR., Sicher, H. (1947). *Bone and Bones: Fundamentals of Bone Biology*. Henry Kimpton.

White, J. C., Poppel, M. H., Adams, R. (1945). Congenital malformations of the first thoracic rib; a cause of brachial neuralgia which simulates the cervical rib syndrome. *Surg Gynecol Obstet*, 81, 643–659.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21005312>

White, T. D., Black, M. T., Folkens, P. A. (2011). *Human Osteology (3^o Ed.)*. Academic Press.

Whitehead, R. H., Waddell, J. A. (1911). The early development of the mammalian sternum. *American Journal of Anatomy*, 12(1), 89–106.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/aja.1000120105>

Wiredu, E. K., Kumoji, R., Seshadri, R., Biritwum, R. B. (1999). Osteometric analysis of sexual dimorphism in the sternal end of the rib in a west African population. *Journal of Forensic Sciences*, 44(5), 921–925.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10486942/>

Wong, M., Carter, D. R. (1988). Mechanical stress and morphogenetic endochondral ossification of the sternum. *JBJS*, 70(7).
https://journals.lww.com/jbjsjournal/Fulltext/1988/70070/Mechanical_stress_and_morphogenetic_endochondral.6.aspx

Y

Yi, P. H., Wei, J., Kim, T. K., Shin, J., Sair, H. I., Hui, F. K., Hager, G. D., Lin, C. T. (2021). Radiology “forensics”: determination of age and sex from chest radiographs using deep learning. *Emergency Radiology*, 28(5), 949–954. <https://doi.org/10.1007/s10140-021-01953-y>

Z

Zoido Naranjo, F., & Arroyo Pérez, A. (2003). La población de España. In VV.AA. (Ed.), *Tendencias demográficas durante el siglo XX en España*. Instituto Nacional de Estadística y Universidad de Sevilla.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA