



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

ESTIMACIÓN DEL SEXO EN EL
ESQUELETO MEDIANTE EL
ANÁLISIS DE IMÁGENES EN 3D

Estudio de una población mediterránea actual

Tesis Doctoral

Programa Oficial de Doctorado en Biomedicina

Rama Evolución Humana, Antropología Física y Forense

-Directores -

Prof. Dra. Inmaculada Alemán Aguilera

Prof. Dr. Miguel C. Botella López

Ana Patricia García Parra

Granada, 2017

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales

Autora: Ana Patricia García Parra

ISBN: 978-84-9163-259-7

URI: <http://hdl.handle.net/10481/47111>



Universidad de Granada



Como Director de la Tesis y hasta donde mi conocimiento alcanza el trabajo ha sido realizado por el/la doctorando/a bajo mi dirección y se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones. Así mismo, el trabajo reúne todos los requisitos de contenido, teóricos y metodológicos para ser admitido a trámite, a su lectura y defensa pública, con el fin de obtener el referido Título de Doctor, y por lo tanto AUTORIZO la presentación de la referida Tesis para su defensa y mantenimiento de acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 99/2011, de 28 de enero,

As Thesis Supervisor, to the best of my knowledge the work has been undertaken by the doctoral candidate, under my directorship, and authors' citation rights have been duly respected when referring to others' results or publications. The work fulfils all of the requirements necessary, in terms of theoretical and methodological content, for its submission and public defense, with a view to obtaining the Title of Doctor. I therefore AUTHORIZE the presentation of the aforementioned Thesis, to be defended and upheld in accordance with the Royal Decree 99/2011 of 28th January,

Granada, 2 de mayo de 2017

Director/es de la Tesis/Thesis Director(s)

Inmaculada Alemán Aguilera

Miguel C. Botella López

Fdo./Signed:

SR. COORDINADOR DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN BIOMEDICINA
COORDINATOR OF THE BIOMEDICINE DOCTORAL PROGRAMME

El doctorando / The *doctoral candidate* [**Ana Patricia García Parra**] y los directores de la tesis / and the thesis supervisor/s: [**Inmaculada Alemán Aguilera y Miguel C. Botella López**]

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

/

Guarantee, by signing this doctoral thesis, that the work has been done by the doctoral candidate under the direction of the thesis supervisor/s and, as far as our knowledge reaches, in the performance of the work, the rights of other authors to be cited (when their results or publications have been used) have been respected.

Lugar y fecha / Place and date:

Granada, 2 de mayo de 2017

Director/es de la Tesis / Thesis supervisor/s;

Doctorando / Doctoral candidate:



Firma / Signed



Firma / Signed

Agradecimientos

Este trabajo no se hubiese podido llevar a cabo sin la ayuda, apoyo, ánimo y colaboración de muchas personas, a las que les estoy enormemente agradecida.

En primer lugar, gracias a Miguel Botella por acogerme con los brazos abiertos en el Laboratorio de Antropología. Sus sabios consejos, personales y académicos, me acompañarán toda la vida.

A Inmaculada Alemán, muy en especial, porque este trabajo es continuación del suyo, y por su apoyo, cariño, amabilidad...Por estar siempre ahí cuando se necesita, con una sonrisa. Gracias de corazón. Esta tesis te la debía.

A las Profesoras Sylvia Jiménez, Carmen García y Rosa Maroto, imprescindibles del laboratorio, por estar disponibles a escuchar y ayudar en todo.

A Fernando Navarro, compañero de “habitáculo” en el antiguo laboratorio, por guiarme en mis primeros pasos con el Osirix y la base de datos.

A Joan Viciano, por su meticulosidad, disciplina y saber hacer, por ayudarme con la estadística, por tantos buenos ratos compartidos. Para mí, un ejemplo a seguir.

A Mirjana Djorojevic, compañera de mesa, de ordenador, de medidas y de buenos momentos.

A Ángela Fernández, por su ayuda, su sinceridad y sus consejos.

A Javier Irurita, por su buen humor, su disponibilidad y amabilidad.

A Cristina Domínguez, gran forense, también compañera de laboratorio y de risas y cañas por el Albaycín. Gracias por tantos y tantos buenos momentos. ¡Granada y yo, te echamos de menos!

A Sandra López, a Beatriz Sánchez, a Ariagna Guaimacuto y al resto de compañeros que formáis esa gran familia que es el Laboratorio de Antropología, de la que he tenido la inmensa suerte de formar parte, de todos vosotros he aprendido muchísimo.

Gracias al Servicio de Salud de Castilla La Mancha (SESCAM) y a Emucesa (compañía responsable del Cementerio de San José de Granada) por permitirme acceder al material de estudio.

No me puedo olvidar de mi estancia en el Departamento de Ciencias de la Vida de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Coimbra, y de las personas que allí me acogieron:

Gracias, en primer lugar, a la Profesora Eugènia Cunha, por permitirme acceder a las colecciones portuguesas, por su recibimiento y sus consejos.

Gracias también a la Profesora Ana Luísa Santos, por su amabilidad y disponibilidad durante mi estancia allí.

Y gracias al CEI Biotic de la Universidad de Granada, a través del cual pude realizar la estancia en la Universidad de Coimbra.

A mi familia, en especial a mis padres, Ginés y Ana, por ser un ejemplo de trabajo, disciplina y esfuerzo, que han inculcado a todos sus hijos.

A mis hermanos, Belia y José, por sus ánimos; y a Ginés y a Clara, por su inestimable ayuda con las traducciones en inglés!

Y a Jaime, por su generosidad y paciencia conmigo durante estos últimos meses, por leerse esta tesis y animarme a que la terminara. Y por darme, casi a la fuerza, el empujón final.

¡Gracias a todos!

Resumen

Se ha estimado el sexo en el húmero, la clavícula, el esternón y la escápula en imágenes en 3D, con el fin de comprobar si las funciones discriminantes obtenidas de imágenes de TC se podrían aplicar a muestras de hueso seco. Además, el esternón se estudió por separado en hueso seco en la colección del cementerio de San José de Granada y sus resultados se testaron en dos colecciones portuguesas.

Los objetivos generales planteados para el análisis en 3D fueron: 1) estudiar el dimorfismo sexual a través de *3D Volume Rendering* de imágenes de TC de tórax; 2) comparar los resultados con la metodología desarrollada en hueso seco sobre una población similar; y 3) testar la fiabilidad de las Técnicas de Imagen a la hora de estimar el sexo.

La muestra se compone de las TC de alta resolución de 559 sujetos vivos realizadas en el SESCAM, de edad y sexo conocidos. Las medidas se han tomado tras realizar una reconstrucción en 3D de cada una de las TC seleccionadas previamente, para lo que se utilizó el programa Osirix para Mac, que convierte a este ordenador en una estación de trabajo PACS DICOM para procesar y visualizar imágenes de TC. Se realizó el análisis estadístico con el programa SPSS v.17 para Windows; se aplicó el test de Lin para comprobar el error inter e intra-

observador y se realizó un estudio de la ANOVA para comprobar si la edad era un factor de sesgo a la hora de estimar el sexo.

Los resultados del análisis discriminante son satisfactorios, con unos porcentajes de asignación correcta similares a los obtenidos en hueso seco. Mediante el test t de Student, se encontraron diferencias significativas entre las medidas tomadas en 3D y las tomadas en hueso seco (salvo en el caso de la clavícula y la longitud del borde lateral y la anchura máxima de la escápula). No obstante, los puntos de corte de las funciones univariantes son similares a las de hueso seco, por lo que se alcanzan porcentajes de asignación correcta elevados al aplicar las funciones a las muestras de hueso seco. El error inter o intra-observador es insignificante, salvo en el grosor del esternón y en la anchura y el borde lateral de la escápula.

El estudio refleja la utilidad de las Técnicas de Imagen a la hora de estimar el sexo. La metodología desarrollada se puede aplicar a muestras de hueso seco.

Abstract

Sex in the humerus, clavicle, sternum and scapula has been estimated in 3D images, in order to verify if the discriminant functions obtained from MSCT images could be applied to samples of dry bone. In addition, the sternum was studied separately in dry bone in the collection of the cemetery of San José de Granada and its results were tested in two Portuguese collections.

The general objectives for the 3D analysis were: 1) to study sexual dimorphism through 3D Volume Rendering of MSCT images of the chest; 2) to compare the results with the methodology developed in dry bone on a similar population; and 3) to test the reliability of Image Techniques when it comes to estimate sex.

The sample is composed of the high resolution MSCT of 559 living subjects (age and sex known) performed in the SESCAM.. These measurements have been taken after performing a 3D reconstruction of each of the MSCTs previously selected, using Osirix program for Mac, which turns this computer into a PACS DICOM workstation to process and display MSCT images . Statistical analysis was performed with the SPSS v.17 program for Windows; Lin test was applied to verify the inter- and intra-observer error and a study of ANOVA was performed to check if age was a factor of bias when estimating sex.

The results of the discriminant analysis are satisfactory, with correct assesment percentages similar to those obtained in dry bone. Thanks to the help of Test T of Student we could see notable differences between measurements taken in 3D and the other ones taken in dry bone (except for the clavicle and the lateral border length and the maximum width of the scapula). However, the cut-off points of the univariate functions are similar to those of dry bone, so high correct assignment percentages are achieved when applying the functions to the dry bone samples. The inter- or intra-observer error is insignificant except for the thickness of the sternum as well as the width and lateral border lenght of the scapula.

The study reflects the usefulness of Image Techniques in estimating sex. Developed methodology can be applied to samples of dry bone.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	9
RESUMEN	13
ABSTRACT	15
1. INTRODUCCIÓN	
1.1. LA ANTROPOLOGÍA FORENSE	25
1.2. ESTIMACIÓN DEL SEXO	31
1.2.1. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN EL HÚMERO	35
1.2.2. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN LA CLAVÍCULA	45
1.2.3. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN LA ESCÁPULA	50
1.2.4. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN EL ESTERNÓN	56
1.3. HUESO SECO VERSUS HUESO <i>IN VIVO</i>	66
1.4. APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE IMAGEN EN ANTROPOLOGÍA FORENSE	70

1.4.1. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TC	72
1.4.2. LA TC EN ANTROPOLOGÍA FORENSE	79
1.4.2.1. LA TC EN LA ESTIMACIÓN DEL SEXO	81
1.4.1.2. LA TC EN LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD	84
1.4.2.3. LA TC EN LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA	86
1.4.1.4. LA TC EN EL ESTUDIO DE LOS TRAUMATISMOS DEL ESQUELETO Y LAS PATOLOGÍAS ÓSEAS	87
1.4.1.5. LA TC EN EL ESTUDIO DE LAS MOMIAS	89
1.4.3. EL PROGRAMA OSIRIX	95
2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	101
3. MATERIAL Y METODOLOGÍA	103
3.1. COLECCIÓN SESCOAM DEL LAB. DE ANTROPOLOGÍA	104
3.1.1. ESTUDIO DEL HÚMERO EN 3D	108
3.1.2. ESTUDIO DE LA CLAVÍCULA EN 3D	110

3.1.3. ESTUDIO DE LA ESCÁPULA EN 3D	111
3.1.4. ESTUDIO DEL ESTERNÓN EN 3D	114
3.2. COLECCIÓN SAN JOSÉ DEL LAB. DE ANTROPOLOGÍA	116
3.3. COLECCIÓN DE SANTARÉM	119
3.4. COLECCIÓN IDENTIFICADA DE COIMBRA (CISC)	120
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	121
3.6. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTER E INTRA-OBSERVADOR	124
3.7 ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)	127
3.8. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL, ASIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE	129
3.9. MÉTODOS DE VALIDACIÓN	132
3.9.1. VALIDACIÓN CRUZADA	132
3.9.2. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN HUESO SECO	133
4. RESULTADOS	135
4.1. ESTUDIO DEL HÚMERO EN 3D	135
4.1.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR	136

4.1.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)	138
4.1.3. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL, ASIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE	138
4.1.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN	142
4.1.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA	142
4.1.4.2. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN HUESO SECO	144
4.2. ESTUDIO DE LA CLAVÍCULA EN 3D	148
4.2.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR	150
4.2.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)	151
4.2.3. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL, ASIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE	151
4.2.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN	154
4.2.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA	154
4.2.4.2. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN HUESO SECO	156
4.3. ESTUDIO DE LA ESCÁPULA EN 3D	160
4.3.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR	163
4.3.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)	164
4.3.3. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL, ASIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE	167

4.3.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN	173
4.3.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA	173
4.3.4.2. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN HUESO SECO	179
4.4. ESTUDIO DEL ESTERNÓN EN 3D	187
4.4.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR	189
4.4.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)	191
4.4.3. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE	193
4.4.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN	196
4.4.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA	196
4.4.4.2. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN HUESO SECO	199
4.5. ESTUDIO DEL ESTERNÓN EN HUESO SECO	206
4.5.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR	208
4.5.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA)	210
4.5.3. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE	212
4.5.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN	214
4.5.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA	214
4.5.4.2. COMPROBACIÓN DE LA VALIDEZ DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN OTRAS SERIES IDENTIFICADAS	219

5. DISCUSIÓN	225
5.1. ESTIMACIÓN DEL SEXO EN HÚMERO EN 3D	225
5.2. ESTIMACIÓN DEL SEXO EN CLAVÍCULA EN 3D	229
5.3. ESTIMACIÓN DEL SEXO EN ESCÁPULA EN 3D	234
5.4. ESTIMACIÓN DEL SEXO EN ESTERNÓN EN HUESO SECO Y EN 3D	238
6. CONCLUSIONES	247
7. CONCLUSIONS	251
8. BIBLIOGRAFÍA	255
9. ANEXOS	291

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA ANTROPOLOGÍA FORENSE

La Antropología Forense surge como rama de la Antropología Física que, con fines forenses, se ocupa de la identificación¹ de restos humanos más o menos esqueletizados (Stewart, 1979), así como de las causas y circunstancias de la muerte (Isca, 1981). Mientras que la Antropología Física se centra en el estudio de restos arqueológicos, la Antropología Forense lo hace en el de restos esqueléticos recientes.

La identificación de un cadáver es crucial tanto por razones legales (administrativas, criminales, de seguros, etc.) como por razones éticas (familiares). Cuando el cuerpo se encuentra mal preservado, momificado, esqueletizado o incluso quemado, es fundamental recurrir a las técnicas de la Antropología Forense para su identificación (Ciaffi et al., 2011).

¹ La *identidad* es la asociación de caracteres que individualizan a una persona y la diferencian de las demás; la *identificación* es el procedimiento mediante el cual se recogen y agrupan sistemáticamente esos caracteres (Correa Ramírez, 1990).

Un profundo conocimiento en Osteología se presenta como requisito indispensable en esta disciplina, lo que explica el hecho de que sus orígenes se entremezclen con los de la Anatomía, aunque ésta se centre en el estudio del modelo teórico y aquella en las variaciones de éste.

Los primeros intentos para comprender el esqueleto humano no tienen una fecha definida, pero los podemos remontar a 2000 años atrás, cuando el médico griego Galeno de Pérgamo (162 A.C.) profundizó en el estudio anatómico en animales -cerdos y monos-, dada la prohibición, en esa época, de diseccionar cadáveres humanos, de acuerdo con la ley Romana. Sus ideas, errores anatómicos incluidos, dominaron la Medicina y la Anatomía occidental durante los siguientes mil años (Alsina, 1990).

Tuvieron que pasar bastantes siglos, antes de que Andreas Vesalio, médico de cámara del emperador Carlos V, procediera a diseccionar un cuerpo humano, y luego ensamblara el esqueleto, hueso por hueso. Plasmó sus estudios en una extensa obra, publicada en 1543, "*De Humani Corporis Fabrica*", que lo convirtió en Padre de la Anatomía Humana Moderna (Lippert, 2000).

Más tarde, en 1878, Thomas Dwight, profesor en Harvard y considerado por T. Dale Stewart "Padre de la

Antropología Forense en Estados Unidos”, en un salto cualitativo, afirmó que los huesos de una persona pueden revelar múltiples detalles específicos, tales como el sexo, la edad y la estatura. A finales del siglo XIX esa idea ayudaría a resolver un caso de homicidio, gracias al antropólogo George A. Dorsey. Mediante la anatomía comparada de pequeños fragmentos de hueso con el esqueleto humano y el de distintos animales, estableció que pertenecían a una mujer, Louisa Luetgert, asesinada por su marido (Burns, 2008).

Aunque muchos antropólogos contribuyeron al desarrollo de la disciplina, Wilton M. Krogman (1902-1987) en 1939 con su “Guía para la identificación de material esquelético humano” publicada en el *FBI Law Enforcement Bulletin*, mostró a las instituciones legales la importancia de la Antropología Física en la identificación de restos humanos (Burns, 2008; Dirkmaat y Cabo, 2012).

Mientras que en Estados Unidos la Antropología Forense se desarrolló como una sub-disciplina de la Antropología Física, en Europa, ha estado tradicionalmente ligada a la Medicina Forense (Prieto, 2008).

La Antropología Forense del siglo XXI se centra, por una parte, en el estudio de restos esqueléticos, lo que abarca

tanto la recuperación como el análisis de los mismos. Cattaneo (2007) lo resume en:

- *Búsqueda y recuperación de restos humanos.* - En lugares donde aparezcan restos esqueletizados o quemados, es necesario que quien observe, registre y recupere los mismos sea alguien con amplios conocimientos y experiencia en osteología. Debe estar capacitado para hacer un inventario rápido de todos los huesos, así como reconocer los mismos, con el fin de recuperar todo el esqueleto. La falta de preparación, sobre todo cuando se trata de recuperar restos de individuos no adultos hace que se pierda mucha información que puede ser muy relevante en casos de homicidios, personas desaparecidas, etc...
- *Determinación de la especie* (si son o no restos humanos).
 - Un error a la hora de confundir huesos humanos con los de otras especies puede tener muy graves repercusiones.
- *Intervalo postmortem y procesos tafonómicos.* - La data de la muerte es primordial por razones legales. El Código Penal en su artículo 131 establece la prescripción del delito a los 20 años cuando la pena máxima señalada al mismo sea prisión de 15 o más años, salvo que se trate de delitos de lesa humanidad, terrorismo, genocidio o contra las personas y bienes protegidos en caso de conflicto armado, en cuyos casos el delito no prescribe.

- *Determinación del perfil biológico.* Una de las tareas más importantes del antropólogo forense consiste en estimar la edad, el sexo, el patrón ancestral, la estatura y las patologías que presentan unos restos óseos.
- *Reconstrucción craneo-facial.* Cuando se dispone del cráneo se puede llegar a recrear el rostro de una persona mediante los puntos craneométricos, una serie de cálculos y la pericia del artista. El más llamativo de los casos es el de restos paleo-antropológicos, como las reconstrucciones faciales de Neanderthal, Australopithecus, etc.
- *Análisis de traumatismos – Determinación de la causa y manera de la muerte.* Fundamental para saber si la muerte fue natural, accidental u homicida.

Por otro lado, Cattaneo (2007) señala que el papel del antropólogo forense también incluye hoy cada vez más el estudio de personas vivas:

- *Identificación de personas vivas.* Tanto de casos de desaparecidos, homicidas, terroristas, etc.
- *Estimación de la edad por razones de imputabilidad.* Sobre todo para establecer la imputabilidad en casos de delitos o de inmigración ilegal.

En España, aunque es una disciplina joven, se encuentra en pleno desarrollo, y de vigente actualidad. La Ley de la Memoria Histórica (ley 52/2007 de 26 de diciembre) estableció hace unos años el derecho a recuperar e identificar los cadáveres de los represaliados tras la Guerra Civil y durante la dictadura. Esta ley en sus artículos 11, 12 y 13 reconoce “(...) *la colaboración de las Administraciones Públicas con los particulares para la localización e identificación de víctimas (...), la elaboración de “(...) un protocolo de actuación científica y multidisciplinar que asegure la colaboración institucional y una adecuada intervención en las exhumaciones (...)*” así como las “*autorizaciones administrativas para actividades de localización e identificación*”.

Etxeberría (2004) expone que el mejor equipo de técnicos llamados a intervenir en esos casos debía estar constituido por:

- Antropólogos forenses (especialistas en Antropología Física)
- Patólogos forenses (médicos especialistas en Medicina Legal y Forense)
- Odontólogos forenses (odontólogo) y
- Biólogos forenses (experto en Genética).

Los primeros resultados de las investigaciones al amparo de esta ley, los recoge el Ministerio de Justicia en su página web <http://mapadefosas.mjjusticia.es/>, donde muestra la localización geográfica de fosas y lugares de enterramiento de las que se dispone información. Para cada fosa puede verse el número de registro, la comunidad autónoma, la provincia, la localidad, el tipo de intervención y la entidad informante. Dispone asimismo de un buscador de víctimas que permite localizar aquellas registradas en la Oficina de Víctimas. De cada una puede visualizarse el nombre, apellidos, fosa, localidad, sexo, edad, fecha de nacimiento, lugar de nacimiento, profesión, lugar de residencia, fecha de fallecimiento, fecha de inhumación y fecha de exhumación.

1.2. ESTIMACIÓN DEL SEXO

Aunque en la literatura forense se utilice a menudo la palabra “determinación”² cuando tratamos de averiguar el sexo o la edad de un individuo, en la actualidad se prefiere el término “estimación”³, fundamentalmente por influjo de la

² Según la RAE: “*Señalar o indicar algo con claridad o exactitud*”.

³ Según la RAE: “*Aprecio y valor que se da y en que se tasa y considera algo.*”

lengua inglesa (*estimation* o *assesment*) al ser la dominante en la literatura científica. Si bien es cierto que en castellano “determinar” implica exactitud, y “estimar” conlleva un margen de error, y es esto último lo que se realiza en Antropología Física.

Aclarado lo anterior, la estimación del sexo de un individuo juega un papel crucial tanto en el estudio de casos forenses como en el de arqueológicos, ya que reduce notablemente la posibilidad de identificación de los restos (Loth e Iscan, 2000). Se trata de un primer paso necesario para establecer el resto de parámetros que identifican a una persona, como son la edad, la estatura y la afinidad poblacional. Éstos muchas veces se diagnostican usando estándares específicos para cada sexo (Franklin et al. 2014; Krishan et al. 2016; Ozer et al. 2006; Torimitsu et al. 2016).

Las diferencias sexuales en el esqueleto aparecen antes del nacimiento debido a que las hormonas responsables de esta diferenciación se hallan en muy altas concentraciones desde la décima semana de gestación (Saunders, 2000). Incluso en la etapa embrionaria se ha observado que existen diferencias de desarrollo en función del sexo: los embriones masculinos se dividen más rápido que los femeninos (Bronet et al, 2015).

Este dimorfismo es evidente en la estatura, donde la media en hombres españoles se sitúa actualmente en 174 cm, y en 163 cm en mujeres, según un estudio comparativo de población llevado a cabo en 2009 por la OCDE. Holandeses y daneses con una altura de 182 cm, e islandesas y danesas, con 168 cm, se sitúan a la cabeza del ranking de los 27 países analizados (OCDE, 2009).

Cuando se trata de huesos fragmentados o incompletos, estas diferencias no son tan evidentes. Para diagnosticar el sexo, la Antropología dispone de dos métodos fundamentales (Krishan et al. 2016):

- Uno es el *morfológico*, método que atiende a características del cráneo y la pelvis. Con estos elementos se puede estimar el sexo con un alto grado de acierto. Sin embargo, este método está limitado porque no siempre se dispone de estos huesos y porque no todos los individuos son típicamente masculinos o femeninos.

En general, dentro de una misma población, el esqueleto femenino es un 6% más pequeño que el masculino (Kinght y Saukko, 2004). Los huesos largos del hombre son más pesados y robustos que los de la mujer; las extremidades de estos huesos son de mayor tamaño en el hombre que en la

mujer; las rugosidades para las inserciones musculares son muy marcadas por lo general en el varón, y más suaves y difuminadas en la mujer. Todos estos parámetros deben de ser cuantificables ya que no todos los huesos presentan el mismo grado de dimorfismo (Alemán, 1997).

- Es por lo anterior, que el otro método del que disponemos para la estimación del sexo es el *métrico*, como el empleo de funciones discriminantes, sobre todo cuando se ha perdido la unidad y la relación anatómica del esqueleto, los huesos morfológicamente más indicativos del sexo como son el cráneo y la pelvis, o cuando nos enfrentamos con huesos aislados o fragmentados (Del Río Muñoz, 2001).

El método de funciones discriminantes, desarrollado por Fisher en 1936, usa medidas de individuos de sexo conocido para predecir el de individuos de sexo desconocido (Ubelaker, 1989) y es por esto que se trata de una de las mejores herramientas estadísticas empleadas en la identificación individual de los restos óseos (Yoldi et al., 2001). Sin embargo, cabe señalar que las funciones discriminantes sólo tienen validez si van enfocadas a determinar el sexo de los individuos de la misma población con la que se han realizado o con otras que presenten un dimorfismo sexual similar (Di-Bernardo y Taylor, 1983 cfr. en

Alemán 1997, Alemán et al., 2000). Debido a lo anterior, es importante establecer estándares para estimar el sexo de cada población.

1.2.1. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN EL HÚMERO

El húmero, *humerus*, uno de los principales huesos largos del esqueleto, osifica a partir de un centro primario ubicado en la porción media de la diáfisis y de siete centros secundarios, de los cuales tres se localizan en la epífisis proximal (cabeza, troquíter y troquín) y cuatro en la distal (cóndilo, tróclea, epicóndilo lateral y medial). Los tres primeros inician su fusión alrededor del sexto año de edad y se obliteran con la diáfisis hacia los 20 años (Rodríguez Cuenca, 1994).

Las medidas osteométricas tomadas para el estudio del húmero suelen ser (tomadas de Alemán, 1997):

1. Longitud máxima (HLONGM): Distancia entre el punto más proximal de la cabeza y el más distal de la tróclea (Martin 1).

2. Longitud fisiológica (HLONGF): Medida siguiendo el eje de la diáfisis, desde el punto más alto de la cabeza al más distal del cóndilo externo (Martin 2).
3. Perímetro mínimo (HPV): Medido bajo la tuberosidad deltoidea (Martin 7).
4. Perímetro en la mitad (HPER): (Martin 7 a).
5. Diámetro máximo en la mitad (HDMAX): Medida tomada en la mitad de la diáfisis, orientando el hueso hasta obtener la distancia máxima (Martin 5).
6. Diámetro mínimo en la mitad (HDMIN): Medida perpendicular a la anterior (Martin 6).
7. Anchura de la epífisis distal (HANCHD): Distancia entre el punto más saliente del epicóndilo y el más saliente de la epitroclea (Martin 4).
8. Diámetro vertical de la cabeza (HDVC): Distancia entre los bordes proximal y distal de la cara articular humeral (Steel, 1972).
9. Diámetro transversal de la cabeza (HDTRC): Distancia máxima de la superficie articular, en sentido anteroposterior, tomada sobre el cuello anatómico (Dittrick y Suchey, 1986).

La cabeza humeral es una hemiesfera que comprende la epífisis proximal del húmero, cuya carilla se articula con la fosa glenoidea de la escápula en la articulación escapulo-humeral (White, 1991). Está orientada hacia arriba, hacia dentro y hacia atrás; ha sido comparada con un tercio de esfera de 30 mm de radio, que dista mucho de ser regular, puesto que su diámetro vertical es de 3 a 4 mm más largo que el anteroposterior.

En un corte vértico-frontal puede comprobarse que su radio de curvatura decrece ligeramente de arriba-abajo y que no existe un solo centro de curvatura, sino que estos son varios. Su eje forma con respecto a la diáfisis un ángulo de 135°, llamado de inclinación, y con el plano frontal uno de 30° llamado de declinación, y está separada del resto de la epífisis superior del húmero por el cuello anatómico, cuyo plano de inclinación sobre la horizontal es de 45° (Kapandji, 1982).

Para diversos autores el dimorfismo sexual es muy marcado en el diámetro vertical de la cabeza humeral. Dwight (1905; cfr. en Bass, 1986: 117) y Krogman e Iscan (1986) mostraron para ésta unas medidas de un mínimo de 44,7 mm cuando se trata de un hombre y de un máximo de 37 mm cuando es una mujer; Stewart (1979) obtuvo unos resultados de 47 mm de máximo para el varón y de 43 mm de mínimo

para la mujer (Burns, 2008). El índice de robustez del húmero (Perímetro x 100/ Long.) suele ser 20 para varones y 19 mujeres.

En la mujer es frecuente la aparición de una variación anatómica que es el agujero o perforación olecraneana. Este agujero puede variar desde 1 mm de diámetro hasta 10 mm y está relacionado con la capacidad de hiperextensión de la articulación del codo (Reverte Coma, 1991). También en la mujer suele estar menos marcada la tuberosidad deltoidea, uno de los indicadores más obvios del grado de desarrollo muscular de la extremidad superior (Burns, 2008).

En el húmero son numerosos los estudios de análisis discriminante que se han realizado, que muestran a este hueso como un buen indicador del sexo. Incluso fragmentado ofrece unos porcentajes de clasificación correcta muy altos, lo que prueba su fiabilidad (Kranioti y Michalodimitrakis, 2009). De estos estudios, realizados sobre muestras de hueso seco, se han obtenido patrones estándar para diversas poblaciones:

Steyn e Iscan realizaron un estudio sobre una muestra de individuos sudafricanos descendientes de europeos. Estos autores llegaron a obtener unos resultados del 92,5% de fiabilidad al combinar el diámetro vertical de la cabeza y la anchura de la epífisis distal y de un 94,7% cuando tomaron

sólo esta última medida. Estos resultados los compararon con los de sudafricanos no descendientes de europeos, para los que obtuvieron un 93,1% de acierto para la longitud máxima y el diámetro vertical de la cabeza, y un 96% para sólo esta última medida (Steyn e Iscan, 1999).

Posteriormente, Robinson y Bidmos testaron la validez de los resultados obtenidos por Steyn e Iscan para los individuos sudafricanos descendientes de europeos. Para ello usaron tres colecciones que pertenecían a individuos de diferentes regiones de Sudáfrica con el fin de compararlas. Llegaron a la conclusión de que esta población forma un grupo homogéneo y por tanto, respaldaron los resultados de Steyn e Iscan (Robinson y Bidmos, 2009).

Iscan et al. estudiaron el dimorfismo sexual entre diferentes poblaciones asiáticas. Para ello determinaron el sexo a través del húmero en chinos, japoneses y tailandeses. Obtuvieron que el diámetro vertical de la cabeza es la medida más efectiva para diagnosticar a chinos (81%; combinada con la longitud máxima llega a un 86,9%), mientras que para japoneses y tailandeses lo es la anchura de la epífisis distal (90% y 93% respectivamente; y llega en tailandeses al 97% cuando se combina con el diámetro transversal de la cabeza y con el diámetro mínimo en la mitad). Sus resultados mostraron

que el húmero determina mejor el sexo en tailandeses, mientras que para chinos es mejor el fémur. Estos autores comprobaron también que las fórmulas desarrolladas para una población pierden precisión y fiabilidad cuando se aplican a otra, por lo que es preciso el desarrollo de patrones estándar para cada una de ellas. Así pusieron de manifiesto que las afinidades poblacionales son un factor crucial a tener en cuenta a la hora de determinar el sexo (Iscan et al., 1998). La existencia de diferencias biológicas significativas entre las poblaciones de diferentes regiones asiáticas ha sido recalada por diversos estudios (Brace et al. 1991, Hanihara et al. 1992 y Pietrusewsky et al. 1997 cfr. en Iscan et al, 1998).

Kranioti y Michalodimitrakis estudiaron una serie de 168 húmeros pertenecientes a una muestra de individuos contemporáneos de la isla de Creta. Cuando aplicaron todas las medidas tomadas (la longitud máxima, el diámetro vertical de la cabeza, los diámetros máximo y mínimo en la mitad, la anchura de la epífisis distal y el perímetro en la mitad) un 92,3% de los casos fueron correctamente clasificados; el diámetro vertical de la cabeza tomado de manera aislada ofreció un 89,9% de fiabilidad (Kranioti y Michalodimitrakis, 2009).

Carretero et al. sobre población portuguesa obtuvieron unos resultados de 94,1% para el diámetro transversal de la cabeza y de un 89% para el diámetro vertical (Carretero, et al., 1995).

Mall et al. para población alemana combinaron la longitud máxima y el diámetro vertical de la cabeza humeral; obtuvieron unos porcentajes de acierto del 93,2% y del 90,4% cuando tienen sólo en cuenta las medidas de esta última (Mall et al., 2001).

Frutos sobre población de Guatemala obtuvo unos resultados del 98,5% al combinar el diámetro transversal de la cabeza, el diámetro mínimo en la mitad y la anchura de la epífisis distal, y de un 95,5% para el diámetro transversal de la cabeza humeral aislado (Frutos, 2005).

Sobre una muestra de 70 esqueletos de la población de Medellín, Rosique-Gracia et al. obtuvieron para el húmero un 93,8% de aciertos. Las variables más discriminativas fueron: el diámetro transversal de la cabeza, el diámetro vertical de la cabeza, la longitud máxima y la anchura de la epífisis distal (Rosique-Gracia et al., 2004). Moore, también en población colombiana, obtuvo para el diámetro vertical de la cabeza del

húmero un porcentaje de 86% de aciertos, con un punto de corte de 42,95 mm (Moore et al., 2016).

Alemán et al. estudiaron una serie de 95 húmeros (45 pertenecientes a hombres y 50 a mujeres) de individuos actuales del tipo mediterráneo. Obtuvieron un porcentaje de asignación correcta del 96,72% en base a dos variables: el diámetro vertical de la cabeza y la anchura de la epífisis distal. Cuando tomaron el diámetro vertical y el transversal de la cabeza obtuvieron un 92,98% de aciertos, y un 90% con solo el primero de estos (Alemán et al., 2000).

Estos autores recalcan que, al menos en el húmero, las zonas articulares son las que muestran mayor discriminación entre hombres y mujeres (Dwight, 1904; Carretero, 1995; Alemán 1997, cfr. en Alemán et al., 2000).

Del estudio de población española contemporánea en hueso seco, Alemán (1997) extrajo las funciones discriminantes para el húmero que recogen los cuadros 1 y 2, con sus respectivos porcentajes de asignación correcta.

Cuadro 1. Funciones discriminantes. Húmero derecho

Funciones discriminantes	Punto de corte	% de fiabilidad
(Anch. epífisis distal 0,1611815) + (Diám. vertical cabeza 0,2784763) – 20,7144816	0,11595	91,67%
(Diám. vertical cabeza 0,2972574) + (Diám. trans. cabeza 0,2197503) – 21,255461	0,07595	92,98%
(Diám. vertical cabeza 0,4136169) – 17,5369729	-0,05569	83,08%
(Anch. epífisis distal 0,3022333) + 16,6640438	0,01487	90,91%
(Perímetro mín. 0,2480896) – 14, 6330603	0,066125	84,09%

Cuadro 2. Funciones discriminantes. Húmero izquierdo

Funciones discriminantes	Punto de corte	% de fiabilidad
(Anch. epífisis distal 0,1942838) + (Diám. vertical cabeza 0,2553405) – 21,4663382	- 0,06649	96,72%
(Diám. vertical cabeza 0,3013011) + (Diám. trans. cabeza 0,2203650) – 21,3930828	-0,108665	92,00%
(Diám. vertical cabeza 0,4679099) – 19,6851745	-0,057465	91,30%
(Anch. epífisis distal 0,3176395) – 17,3679211	0,01569	90,41%
(Perímetro mín. 0,6874048) + (Perímetro máx. 0,4208571) – 14,9189324	0,06574	81,40%

Cuadro 3. Resumen de los porcentajes de fiabilidad para diferentes poblaciones. (Modificado y ampliado de *Kranioti et al. Sexual Dimorphism of the Humerus in Contemporary Cretans—A Population-Specific Study and a Review of the Literature. Forensic Science International, 2009; 54: 999*).

Población	VARIABLES seleccionadas	% de aciertos	Mejor variable aislada	% de aciertos
Portuguesa	Diám. transv. cabeza Anch. epífisis distal	94,1%	Diám. vert. cabeza	89%
Sudafric. desc. eur.	Anch. epífisis distal Diám. vert. cabeza	92,5%	Anch. epífisis distal	94,7%
Sudafric. no desc. eur.	Long. máxima Diám. vert. cabeza	93,1%	Diám. vert. cabeza	96%
China	Long. máxima Diám. vert. cabeza Anch. epífisis distal	86,8%	Diám. vert. cabeza	80,5%
Japonesa	Perímetro en la mitad Anch. epífisis distal Diám. vert. cabeza Diám. mín. mitad Perímetro en la mitad	92,4%	Anch. epífisis distal Anch. epífisis distal	89,9% 93,3%
Tailandesa	Diám. vert. cabeza Anch. epífisis distal	97,1%	Diám. transv. cabeza	95,5%
Guatemalt.	Diám. transv. cabeza Diám. mín. mitad Anch. epífisis distal	98,5%		
Alemana	Long. máxima Diám. vert. cabeza	93,2%	Diám. vert. cabeza	90,4%
Cretense	Diám. mín. mitad Anch. epífisis distal Long. máxima Diám. vert. cabeza	92,9%	Diám. vert. Cabeza	89,9%
Española	Diám. vert. Cabeza Anch. epífisis distal	96,7%	Anch. epífisis distal	91,7%

1.2.2. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN LA CLAVÍCULA

La clavícula, *clavicula*, junto con la escápula, forman lo que se conoce como cintura escapular, que rodea casi por completo la parte superior del tronco y proporciona una suspensión flexible a los brazos.

Osifica a partir de dos centros primarios que aparecen fusionados al nacer y de un centro secundario en su epífisis medial. Al carecer de epífisis lateral, todo el desarrollo tiene lugar en el extremo esternal. Esta epífisis clavicular medial es la última en fusionarse en el cuerpo humano entre los 20-25 años (Burns 2008; Schulz et al. 2005).

Su forma de *S* hace que su extremo medial se articule con el manubrio del esternón y el lateral con el acromion de la escápula. Para localizar su lateralidad se observa la fosa costal en el lado inferior de su extremo medial y el tubérculo conoide en el inferior lateral (Burns, 2008).

Para el estudio de la clavícula se toman las medidas osteométricas descritas por Martin y Knusmann (1988):

1. Longitud máxima (CLLONG): Distancia máxima obtenida entre los extremos esternal y acromial de la clavícula (Martin 1).
2. Perímetro en la mitad (CLPER): (Martin 6).

La clavícula suele ser, como ocurre con el resto de huesos, más robusta y larga en el hombre que en la mujer. Según Reverte Coma (1991), si la longitud de la clavícula es superior a 150 mm suele tratarse de un varón; si está por debajo de 138 mm, de una mujer. No obstante, existen variaciones en estas dimensiones respecto al sexo que se encuentran en relación con el tipo de trabajo realizado desde la juventud. Según el índice de robustez (Perímetro x 100/Longitud), podemos clasificar las clavículas en gráciles ($\geq 23,4$), medianas (23,5- 25,4) y robustas ($\leq 25,5$). Las primeras suelen ser femeninas, las últimas, masculinas y las intermedias suelen ser dudosas.

La clavícula también ha sido estudiada en hueso seco de diferentes poblaciones, que muestran su alto grado de dimorfismo.

Cuadro 4. Estudios y porcentaje de fiabilidad para la clavícula

Autor	Población	Variables	% de asignación correcta
Akhlaghi (2012)	Iraní	Longitud ($F \leq 136 \leq M$)	85%
Papaioannou (2012)	Griega	Longitud ($F \leq 145 \leq M$)	86.4%
Katzmarzyc (2002)	Sri Lanka	Longitud ($F \leq 151 \leq M$)	100 % (F) / 19% (M)
Frutos (2002)	Guatemalteca	Longitud + Perímetro Longitud ($F \leq 140 \leq M$)	94,8% 88.7%
McCormick (1991)	/ North American	Longitud + Perímetro	89% (F) / 94% (M)
Murphy (1986)	Nueva Zelanda		97.7% (M)
Jit & Singh (1966)	India		80.54% (M) 86.69% (F)
Moore (2016)	Colombiana	Longitud ($F \leq 145,79 \leq M$)	82,6%
Alemán (1997)	Española	Longitud ($F \leq 140,15 \leq M$) ($F \leq 142,80 \leq M$)	89.74% (derecha) 93.33% (izquierda)

En todas las poblaciones estudiadas, los porcentajes de asignación correcta superan el 80% (cuadro 4). En cuanto a la asimetría, Katzmarzyc (2002) encontró que las clavículas izquierdas son más largas que las derechas tanto en los hombres (de 0,5 a 12 mm) como en mujeres (de 1 a 9,5 mm) asiáticas. Este autor no halló ninguna clavícula femenina que superase los 151 mm, mientras que muchas de las masculinas si eran inferiores a esa longitud, por lo que el sesgo de sexo es muy marcado en su estudio.

En cuanto a los puntos de corte extraídos de su longitud, estos varían de los 136 mm obtenidos por Akhlaghi (2102) en población iraní; los 145,79 por Moore (2016) en colombiana o los 151 por Katzmarzyc (2002) en población de Sri Lanka.

Del estudio de población española contemporánea en hueso seco, Alemán (1997) extrajo las funciones discriminantes para la clavícula que recogen los cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Funciones discriminantes. Clavícula derecha

Funciones discriminantes	Punto de corte	% de fiabilidad
$(\text{Longitud } 0,0880433) + (\text{Perímetro } 0,1878838) - 18,7083881$	0	92,31%
$(\text{Longitud } 0,1277818) - 17,9091141$	0	89,74%
$(\text{Perímetro } 0,3268640) - 11,0441572$	0,01112	82,35%

Cuadro 6. Funciones discriminantes. Clavícula izquierda

Funciones discriminantes	Punto de corte	% de fiabilidad
$(\text{Longitud } 0,0915518) + (\text{Perímetro } 0,213395) - 20,1782329$	0,103035	94,77%
$(\text{Longitud } 0,1277818) - 17,9091141$	0,084775	93,33%
$(\text{Perímetro } 0,3621042) - 12,0165704$	0,0604	85,39%

1.2.3. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN LA ESCÁPULA

La escápula (del latín *scapula*) u omóplato (del griego *omo*, hombro, y *plato*, ancho) es un hueso plano que se articula con el húmero en la fosa glenoidea y con la clavícula en el borde anterior del acromion. Se desarrolla gracias a una combinación de osificación endocondral⁴ (fosa glenoidea lateralmente hasta borde vertebral) e intramembranosa⁵ (el cuerpo). Su centro primario de osificación se encuentra cerca del centro superior de la misma y alcanza pleno desarrollo cumplidos los 20 años. La apófisis coracoides se forma a partir de otro centro de osificación que aparece en el primer año de vida y se fusiona alcanzados los 15-17 años. Alrededor de los bordes de la escápula surgen varios centros secundarios de osificación (Burns, 2008):

- la epífisis glenoidea se fusiona a los 17-18 años,
- la epífisis acromial hacia los 20 años,
- el ángulo inferior y el borde medial hacia los 23 años.

⁴ Osificación del interior hacia el exterior a partir de cartílago hialino.

⁵ La osificación ocurre dentro de una membrana de tejido conjuntivo, no hay cartílago.

Las medidas osteométricas más frecuentes tomadas en este hueso son:

1. Longitud máxima (ELONGM): Distancia lineal desde el ángulo superior al inferior de la escápula (Martin 1)
2. Anchura máxima (EANM): Distancia lineal desde el punto más lateral hasta el punto medio del borde dorsal de la cavidad glenoidea (Martin 2a)
3. Longitud máxima de la espina (ELONGE) : (Martin 7)
4. Longitud del borde lateral (ELONBL): Distancia lineal desde el ángulo inferior al ángulo inferior de la cavidad glenoidea (Martin 3)
5. Longitud máxima de la coracoides (ELONGC): (Martin 11)
6. Altura de la cavidad glenoidea (CAVGLEAL): Distancia lineal desde la prominencia glenoidea superior a la inferior (Frutos, 2002).
7. Anchura de la cavidad glenoidea (CAVGLEAN): Distancia lineal desde la prominencia glenoidea medial a la lateral (Frutos, 2002).

La forma de la cavidad glenoidea se presenta como un indicador de la lateralidad izquierda/derecha. En el adulto es más común que el borde dorsal aparezca biselado en el lado

dominante y afilado en el otro, debido a cambios osteoartrotríticos. El desarrollo del borde es inhibido en el lado dominante por extensión repetida del brazo (Burns, 2008).

En cuanto a la forma de la escápula, depende tanto de la altura como del sexo del individuo (Anetzberger y Putz 1996a). En general, la escápula femenina suele ser más grácil y de menor tamaño que la masculina. La cavidad glenoidea también suele ser más ancha (30 mm o más) en el hombre que en la mujer y el índice glenoideo ($\text{Anchura} \times 100 / \text{Altura}$) también es mayor en el varón (Reverte Coma, 1991).

Dwight (1894 cfr. en Reverte Coma, 1991) fue el primero en estudiar el dimorfismo sexual de la escápula, en población norteamericana. Desarrolló un método por el que valores inferiores a 140 mm para la altura máxima de la escápula correspondían a féminas, y valores por encima de 170 mm a varones. Esto dejaba un amplio intervalo de individuos con valores entre 140 y 170 mm en los que el sexo quedaba indeterminado.

Más tarde, Hanihara (1954 cfr. en Reverte Coma, 1991) estudió este hueso en población japonesa moderna. Mediante análisis discriminante obtuvo un porcentaje de asignación correcta del sexo de entre el 94,1 y el 96,8%.

En 2010, Dabbs y Moore Jansen testaron el método de Dwight sobre la misma población que usó éste (población norteamericana de finales del siglo XIX y principios del XX). Estos investigadores encontraron que el 68,74% de los individuos de una muestra de 803 quedaban con el sexo sin determinar. A raíz de esto realizaron un análisis más detallado de la escápula y obtuvieron un porcentaje de asignación correcta del sexo del 95,8% con cinco variables y del 91,3% con solo dos (altura máxima y anchura de la escápula) (Dabbs y Moore-Jansen, 2010).

Son muchos los estudios realizados en la escápula sobre diversas poblaciones, que incluyen desde indígenas guatemaltecos contemporáneos (Frutos, 2002) a poblaciones polinesias prehistóricas (Murphy, 1986), población italiana contemporánea (Di Vella et al., 1994), brasileña (Costa et al. 2016) o población egipcia perteneciente al Imperio Nuevo (Dabbs, 2010). En todos ellos se obtienen unos rangos de precisión similares que van del 82 al 95%, con lo que se confirma el marcado dimorfismo sexual que presenta la escápula.

Cuadro 7. Estudios y porcentaje de fiabilidad para la escápula

Autor	Población	Variables	% de asignación correcta
Di Vella (1994)	Italiana	CAVGLEAL +ELONGC +ELONGE	95%
Papaioannau (2012)	Griega	ELONGM (F<148,78<M) ESANM (F<99,87<M) CAVGLEAL (F<35,81<M) CAVGLEAN (F<26,82<M)	91,2% 88,4% 89,8% 87,8%
Hudson (2016)	Mejicana	CAVGLEAL+CAVGLEAN CAVGLEAL (F<36,30<M) CAVGLEAN (F<26,36<M)	88,7% 83,6% 89,3%
Frutos (2002)	Guatemala	CAVGLEAL (F<34,30<M) CAVGLEAN (F<24,79<M)	90,20% 90%
Dabbs y Moore- Jansen (2010)	Norteamericana	ELONGM + ESANM	91,3%
Moore (2016)	Colombiana	ELONGM (F<145,73<M) ESANM (F<98,15<M)	86,1% 84,6%

Del estudio de población española contemporánea en hueso seco, Alemán (1997) extrajo las funciones discriminantes para la escápula que muestran los cuadros 8 y 9.

Cuadro 8. Funciones discriminantes. Escápula derecha

Funciones discriminantes	Punto de corte
(ELONGM 0,1171523) - 17,186584	($F \leq 146,70 \leq M$)
(EANM 0,2146065) - 20,9046	($F \leq 97,41 \leq M$)
(ELONGBL 0,143686) - 18,0921180	($F \leq 125,91 \leq M$)

Cuadro 9. Funciones discriminantes. Escápula izquierda

Funciones discriminantes	Punto de corte
(ELONGM 0,1223981) - 17,9783277	($F \leq 146,88 \leq M$)
((EANM 0,2146574) - 21,0592735	($F \leq 98,11 \leq M$)
(ELONGBL 0,1363568) - 17,3611985	($F \leq 127,32 \leq M$)

1.2.4. ANÁLISIS DISCRIMINANTE EN EL ESTERNÓN

El esternón, *sternum*, corresponde al hueso del tórax. En el adulto lo forman tres elementos:

- el manubrio, en su parte superior, forma la escotadura yugular en la base de la garganta entre las dos clavículas, claramente visible en el individuo vivo;
- el cuerpo del esternón, que se articula en su parte superior con el manubrio por medio de un cartílago, pero ambos no comparten plano, sino que forman un ángulo a unos cinco centímetros por debajo de la incisura yugular. El cuerpo se suele fusionar con el manubrio en los individuos de mayor edad;
- la apófisis xifoides, en su parte inferior, que se articula con el cuerpo del esternón, también por medio de cartílago, que suele osificar hacia la mediana edad, con la consiguiente fusión de ambos elementos.

Al esternón se unen las diez costillas superiores a través de los cartílagos costales. El que corresponde a la primera

costilla se une al manubrio, el de la segunda lo hace a la unión del manubrio con el cuerpo esternal. Las costillas 3^a a 7^a se unen al cuerpo; las 8^a a 10^a forman una conexión cartilaginosa única y se unen a la 7^a en el borde inferior del cuerpo esternal.

El esternón osifica a partir de seis centros primarios. El manubrio y los tres segmentos superiores del cuerpo ya están presentes al nacer. El cuarto segmento aparece durante el primer año de vida y la apófisis xifoides empieza a formarse cumplidos 3 años. Los segmentos esternales se fusionan entonces secuencialmente entre sí en sentido cráneo-caudal (cuadro 10).

Cuadro 10. Edades básicas de fusión en el esternón (Burns, 2008)

Segmentos 3 y 4	4-10 años	Segmento 1 con 2, 3 y 4	15-20 años
Segmento 2 con 3 y 4	11-16 años	Xifoides con cuerpo	40 + años

Las medidas osteométricas definidas en la literatura que se toman para su estudio son:

1. Longitud del manubrio (ESLONGM): distancia tomada desde la concavidad de la escotadura yugular en su parte más profunda y anterior hasta la cara inferior del manubrio, en su línea media sagital y borde anterior (Martin, 2).
2. Longitud del cuerpo esternal (ESLONGC): la mayor distancia entre su extremo superior, en el punto anterior de la línea media sagital, hasta el extremo inferior en su unión con el apéndice xifoides (Martin 3).
3. Longitud total del esternón (ELONGT): corresponde a la suma de las longitudes del manubrio y el cuerpo (Martin 1).
4. Anchura del manubrio (ESANM): distancia entre los puntos medios de cada una de las carillas articulares del manubrio para el primer cartílago costal a cada lado (Martin 4).
5. Anchura del cuerpo del esternón a nivel de la 1ª esternebra (ESANCS₁): distancia mínima a nivel de la línea que une los puntos medios de cada una de las carillas articulares del cuerpo para el segundo y tercer cartílago costal a cada lado (Martin 6).
6. Anchura del cuerpo del esternón a nivel de la 3ª esternebra (ESANCS₃): distancia mínima a nivel de la línea que une

los puntos medios de cada una de las carillas articulares del cuerpo para el cuarto y quinto cartílago costal a cada lado.

7. Grosor (G). Distancia delimitada entre los bordes anterior y posterior del cuerpo del esternón en su parte superior en su media línea sagital.

Además, a partir de las medidas anteriores se calculan los siguientes índices:

1. Índice esternal o índice cuerpo-manubrio (IE) =
$$\frac{ESLONGM}{ESLONGC} \times 100.$$

2. Área esternal (AE)

$$= (ESLONGM+ESLONGC) \times \frac{ESANM+ESANCS^1+ESANCS_3}{3}.$$

Con una alta tasa de recuperación en un contexto forense, el esternón es un elemento muy útil en el análisis antropológico (Papaioannou et al., 2012). Se emplea como medida antropológica para la determinación del sexo ya desde el siglo XVIII (Dorado et al., 2007).

El primer autor en observar el dimorfismo sexual presente en el esternón fue Wenzel en 1788 (Ashley, 1956 cfr. en Hunnargi et al, 2008). Sus conclusiones fueron apoyadas después por Feigal en 1837 (Jit et al., 1980 cfr. en Hunnargi et

al., 2008), Hyrtl en 1893 (Dahiphale et al., 2002 cfr. en Hunnargi et al., 2008) y Dwight en 1890 (Hunnargi et. al., 2008).

Hyrtl (1893) definió la conocida como “ley de Hyrtl” que se basa en el hecho de que el manubrio es relativamente más largo en la población femenina, y esto podría utilizarse para determinar el sexo. Clásicamente expresa que en el hombre el manubrio tiene una longitud menor que la mitad de la longitud del cuerpo, mientras en la mujer esta relación es superior. Así, el índice de longitud del manubrio $\times 100 /$ longitud del cuerpo resultaría menor de 50 en los hombres y mayor en las mujeres (Hyrtl, 1893 cfr. en Ramadan et al., 2010).

Desde entonces se han desarrollado leyes o reglas sobre diferentes poblaciones para estimar el sexo en función de la longitud del esternón (cuadro 11). De estas reglas se obtiene un punto de corte cuyos valores superiores pertenecen a varones, e inferiores a mujeres. El primero fue Ashley en 1956, que, para población europea desarrolló la “regla del 149”, en la que el esternón masculino supera los 149 mm de longitud, mientras que el femenino es inferior. Tras el éxito de éste, Jit et al. en 1980 obtuvieron la “regla 136” para población del norte de La India; Dahiphale et al. en 2002 formularon la “regla 129” sobre población de la región de Marathwada, también en La India.

Además de estas reglas, en el esternón también se han estudiado otras medidas mediante análisis discriminante. De esta manera, Rother et al. en 1975 determinaron satisfactoriamente el sexo a partir de la longitud, anchura y grosor del esternón (Hunnargi et al., 2008). Zhang et al (2016), mediante el estudio de TC de 255 individuos de población china, estimaron el sexo con un 81,6% de fiabilidad tomando la longitud total, el índice esternal y la anchura del manubrio. Unos resultados similares obtuvieron Torimitsu et al. (2015) sobre el esternón de población japonesa.

Cuadro 11. Reglas obtenidas para la longitud del esternón y porcentajes de fiabilidad

Población	Estudio	Reglas	Porcentaje de fiabilidad		
			Mas. (%)	Fem. (%)	Total
Europea	Ashley	La regla 149	80.4	76.7	78.5
	Jit et. al	La regla 136	78	86	82
India	Dahiphale et al.	La regla 129	83	91.7	87.3

	Hunnargi et al.	La regla 131	77.5	85.3	81.4
	McCormick	La regla 148			85.2
Australiana	Franklin et al.	La regla 141			83.4
Turca	Ramadan et al.	La regla 142	80	86	83
Africana	Macaluso	La regla 136	79.7	88	83.8
USA	Bongiovanni et al.	La regla 146	77	86	81.5
Española	San José		93.1	84.6	89.1
Portuguesa	Santarém XXI	La regla 142	71.4	85.7	78.5
	CISC		88.9	95.3	92.1

Otros estudios han hecho hincapié en que la precisión a la hora de estimar el sexo a través del esternón se puede incrementar cuando se tienen en cuenta las mediciones realizadas a la cuarta costilla y/o el patrón de mineralización de la misma (Iscan, 1985 y McCormick y Stewart, 1983 cfr. en Ramadan et al., 2010).

Es por lo anterior que, aunque nuestro estudio no las incluye, por su relación anatómica con el esternón, queremos mencionar la importancia tanto del cartílago costal como de las costillas. El cambio que éstas experimentan con la edad se aprecia en su unión con el cartílago, pues a medida que esta unión con el transcurso de los años experimenta esfuerzos, el hueso responde remodelándose sin cesar y osificando el cartílago anexo.

La primera costilla ha sido estudiada por Kunos et al. (1999) quienes la consideraron un indicador de la edad favorable debido a tres cualidades fundamentales: es un hueso inequívocamente identificable; el hueso y su cartílago presentan un inicio temprano y un periodo prolongado de remodelación a partir de la octava década de la vida; y por último, estudios radiográficos demostraron que el patrón de osificación de esta costilla se produce en dirección costocondral a esternal, más que en costillas inferiores (Nishino, 1969 cfr. en Kunos et al., 1999).

En cuanto al cartílago costal, su importancia radica en que resulta un indicador fiable tanto de la edad como del sexo de un individuo. Estudios radiológicos y morfológicos sobre el cartílago costal han revelado que se producen patrones de osificación de éste en relación con la edad (Michelson, 1934;

Falconer, 1938; King, 1939, Hass, 1943, Stewart, 1954, Dearden et al., 1974, Semine and Damon, 1975, McCormick, 1980, McCormick and Stewart, 1983, 1988, Kampen et al., 1995 y Barchilon, et al., 1996 cfr. en Kunos et al., 1999) y también con el sexo (Rejtarová, 2009). En relación a este último, Fischer en 1955 señaló que las diferencias producidas en los patrones de osificación entre hombres y mujeres eran debidas a la influencia de factores endocrinos en la osificación del cartílago hialino (Fischer, 1955 cfr. en Rejtarová, 2009). Algo más tarde, en 1966, Elkenes y Sanders, por separado, también describieron estas diferencias en sus estudios. En 1970, Navani et al. señalaron tres patrones distintos de osificación del cartílago costal en las costillas inferiores a partir de las radiografías torácicas de sujetos vivos de la población de Boston y llegaron a determinar el sexo con este método con una fiabilidad del 93 al 95% (Nageshkumar y Lakshman, 1988).

Los estudios sobre el cartílago costal son realizados sobre radiografías, aprovechando el hecho de que éste no aparece a no ser que esté osificado (Navani et al., 1970; Simon y Hamilton, 1978 cfr. en Nageshkumar y Lakshman, 1988). La edad mínima de aparición de la osificación ronda los 15-20 años, aunque puede presentarse antes como en un chico mexicano de 11 años descrito por Michelson en 1934. Los

principales patrones de osificación del cartílago costal se recogen en el cuadro 12.

Cuadro 12. Principales patrones de osificación del cartílago costal (Burns, 2008)

Periférico	<i>Osificación de los márgenes del cartílago costal superior e inferior.</i>
Centro-lingual	<i>Osificación central en forma de pirámide con comienzo en la fosa costal.</i>
Centro-globular	<i>Osificación en forma de glóbulos en la zona central.</i>
Centro-lingual y globular	<i>Combinación de ambos tipos de patrones.</i>
Mixto	<i>Combinación del patrón periférico y de los centrales.</i>
Indiferente	<i>Osificación incipiente sin diferenciación específica de los patrones sexuales</i>

1.3. HUESO SECO VERSUS HUESO *IN VIVO*

El esqueleto a menudo es lo único que subsiste de los individuos tras su muerte, por lo que el conocimiento de la osteología es requisito indispensable para la lectura del registro físico de lo humano (Burns, 2008). El hueso proporciona gran cantidad de información, tanto de las características del individuo en particular, como de la población a la que pertenece.

Se trata de un tejido dinámico que crece y cambia durante el desarrollo, por lo que su morfología se ve alterada durante la vida (White, 1991) y, lógicamente, tras la muerte. En el individuo adulto el hueso se renueva completamente cada 7-10 años, pues al tratarse de un tejido metabólicamente muy activo está sujeto a un proceso de remodelado constante (Subirà i Galdácano, 2001, cfr. en Campillo, 2001). Pese a tratarse del tejido más pesado del ser humano (junto a los dientes), su densidad se encuentra entre 2 y 3 g/cm³, está configurado de tal manera que con un peso mínimo presenta la máxima solidez (Lippert, 2000). La forma definitiva de cada hueso es fruto de las fuerzas que actúan sobre él: *compresión*

por el peso que soporta y *tensión* que le aplican los músculos que intervienen en él. Ambas fuerzas son máximas en las partes externas del hueso y mínimas en las internas, lo que hace que el tejido óseo compacto sea imprescindible en su parte externa; y el esponjoso lo sea en su parte interna -aunque las trabéculas de este último se disponen en la dirección de las cargas aumentando su resistencia-. El anatomista Julius Wolf (1892) observó que los cambios producidos en la función del hueso provocan alteraciones definitivas en su estructura: el hueso crece y se desarrolla bajo tensión y se reabsorbe bajo compresión crónica⁶ (Burns, 2008).

Al morir, durante el proceso de esqueletización, el hueso va perdiendo progresivamente consistencia y peso. A los cinco años carece de cartílago y ligamentos; aproximadamente a los 10 años tras la muerte desaparece la materia en el canal medular. A partir de los 50 años de este proceso se vuelve quebradizo, frágil y poroso. Los métodos para la data de los restos óseos incluyen desde el uso de luz ultravioleta (al disminuir las proteínas con el tiempo,

⁶ Esta característica del hueso es conocida como Ley de Wolf y expresa que *“todo cambio estructural de un hueso es producto de un fenómeno dinámico de adaptación a las demandas mecánicas que le impone el medio”*.

disminuye la fluorescencia del hueso), la termogravimetría, la histopatología...

Cuadro 13. Data de la muerte en restos óseos*.

Data de la muerte	Consistencia	UV	Adipocira	Médula	Tejidos blandos	Imp. grasa
0-10	+	+	+	+	+	+
10-20	+	+	+	+	+	(+)
20-30	+	+	+	+		
30-50	+	+	+			
50-100	+	+	(+)			
100-500	+	(+)				
500-1000	(+)					

*Extraído de la Conferencia “Data de la muerte en el cadáver reciente y antiguo”. Profa. Elisa Cabrerizo. VI Curso Avanzado de Antropología Forense. Granada, 2010.

Las características del hueso seco pues, distan mucho de las del hueso *in vivo*, ya que éste pierde sus funciones básicas de soporte, protección, movimiento, sujeción, formación de células sanguíneas (hematopoyesis) y almacenamiento de minerales, quedando sólo su estructura inorgánica. Así, el componente orgánico del hueso constituye

el 35 por ciento de la masa ósea formada por células, fibras de colágeno y sustancia de base (polisacáridos proteínicos, líquidos y metabolitos). El resto, el 65 por ciento, corresponde al componente inorgánico de la masa ósea compuesta de sales minerales, esencialmente fosfato de calcio, que forma cristales y se acumula densamente en la matriz extracelular de las fibras de colágeno, recibiendo el nombre esta estructura cristalina de hidroxiapatita (Burns, 2008).

Estas diferencias se observan también en el caso de las fracturas, ya que las producidas sobre hueso seco (cuando éste ya ha perdido la mayoría de sus componentes orgánicos), siguen patrones diferentes a las que ocurren en el *perimortem*, cuando aún se produce la reacción de formación de callo óseo (Botella, 1999).

En las epífisis de los huesos largos, en lugar de periostio, el hueso se halla recubierto de una capa de cartílago articular, que proporciona una superficie lubricada, elástica y resistente a la fricción. Este cartílago articular, junto con la membrana y el líquido sinovial, permite el deslizamiento entre las superficies óseas en contacto en las diartrosis o articulaciones sinoviales, como ocurre en el caso de la articulación escápulo-humeral.

Uno de los objetivos de este estudio consiste en comparar las mediciones realizadas en el hueso esquelizado frente a aquellas tomadas en el hueso a través de imágenes de TC de individuos vivos con la intención, en ambos casos, de diagnosticar el sexo y ver si las condiciones del hueso vivo/seco interfieren en esto.

1.4. APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE IMAGEN EN ANTROPOLOGÍA FORENSE

En Antropología Forense “comparar” es fundamental para llegar a la identificación correcta de un individuo. Si tenemos unos restos pero no tenemos con qué cotejarlos (fotografías, radiografías, huellas dactilares, ADN, etc.) muy difícilmente podremos averiguar la identidad de la persona a la que pertenecieron esos restos.

El descubrimiento de los rayos X en 1895 por Wilhem Conrad Röntgen, mientras experimentaba con radiación electromagnética, hizo que el uso de radiografías se empezara a aplicar rápidamente en todos los campos de la Medicina (Brogdon, 1998). En poco tiempo se consolidó como método

de identificación positiva dentro de la práctica forense (Poulsen y Simonsen 2007).

En 1896 el doctor Arthur Shuster los aplicó por primera vez en Medicina Forense (Reverte Coma, 1991); Schüller, en 1921, descubrió la individualidad de los senos frontales; Culbert y Law, en 1926, ampliaron las características individualizadoras del cráneo. Hacia mediados de los años 40 se extendió el uso de la radiografía al esqueleto *postcraneal* en busca de rasgos únicos para la identificación (Kahana, 2009).

Desde entonces, los métodos radiológicos abarcan tanto el diagnóstico de patologías y traumatismos del esqueleto (Kranioti et al., 2009), como la identificación positiva de individuos (Haglund and Fligner 1993).

Hacia finales del siglo XX se introdujeron técnicas digitales dentro del campo de la Radiología, haciendo posible que la imagen se vea reconstruida en la pantalla de un ordenador. En los últimos años, gracias al auge de los modernos métodos de imagen como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia nuclear magnética (RNM), se ha abierto la posibilidad de trabajar con datos reales y tridimensionales de la superficie y las estructuras

internas corporales, al tratarse éstas de técnicas no invasivas (O'Donnell y Woodford, 2008; Thali et al., 2009).

La tomografía (del griego *τόμον* que significa *corte*), representa los cortes o secciones de un objeto al ser atravesado por rayos X, a la vez que dicho objeto es sometido a rotación (Gómez-Esteban, 2008). Fue descrita por primera vez en 1972 y supuso una auténtica revolución en el campo de la Radiología al introducir el plano axial. Hasta ese momento, la Radiología solo representaba las densidades de los tejidos que atravesaba, por lo que sólo se podían definir las diferentes estructuras si tenían a su lado otra de menor densidad. Además, la radiología convencional sólo era capaz de diferenciar entre cuatro niveles de densidad (aire, agua, grasa y calcio), frente a la gama de 2000 densidades de grises diferentes que es capaz de diferenciar la TC.

1.4.1. FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LA TC

Un aparato de TC consta de un anillo en el que se introduce el objeto a observar - el paciente-, un emisor y un receptor de rayos X, y un ordenador. El haz de rayos X, tras atravesar un área anatómica, incide en el detector que envía la señal a un ordenador, que la analiza y cuantifica mediante

algoritmos (Ovelar Ferrero et al., 2014). Esto es posible gracias a que los distintos tejidos corporales tienen diferente densidad, y absorben mayor o menor cantidad de rayos X, y estas diferencias son las que se traducen en la imagen (Figura 1).

Para su reconstrucción, la imagen se divide en cuadrículas mediante un sistema de abscisas y ordenadas, a cuyo conjunto se le denomina matriz. A su vez, ésta se compone de pequeños cuadrados denominados píxeles. Los tejidos contenidos en un píxel atenúan la proyección de rayos X, lo que da al píxel un valor de atenuación medio, el cual se compara con el valor de atenuación del agua y se representa en la denominada escala Hounsfield. En ésta, las diferencias de absorción se expresan en Unidades Hounsfield (UH), y van desde -1000 UH para el aire a +1000 UH para la densidad metálica, pasando por el valor 0 que corresponde al agua (en esta escala se asigna arbitrariamente al agua el valor de atenuación de 0 UH). De acuerdo a esto, la grasa tendría un valor aproximado de -100 UH, los tejidos blandos de +20 a +70 UH y el hueso un valor de atenuación superior a los +400 UH (Weir y Murray, 1999).

A cada uno de estos valores se le asigna un tono de gris en la imagen. Como tanto el monitor como el ojo humano no

son capaces de distinguir más allá de 12-16 grises distintos, y el ordenador tiene información entre -1000 y +1000, la imagen se puede representar con el valor central (C: valor medio de UH de la estructura a estudiar) y la anchura de ventana (W: aporta la discriminación entre estructuras, ventanas estrechas permiten mejor discriminación entre estructuras de valores UH cercanos), que más se adecúe al tejido que se esté estudiando.

Otro factor importante en la imagen de TC es el espesor o grosor de corte. En función de éste, podemos encontrar grandes diferencias en la representación de un mismo objeto, al variar la atenuación media de los elementos incluidos en el corte.

En resumen, cuanto mayor sea la matriz y el número de píxeles, menor el espesor de corte y mayor el número de cortes que se realicen, mejor será la imagen obtenida y el estudio realizado.

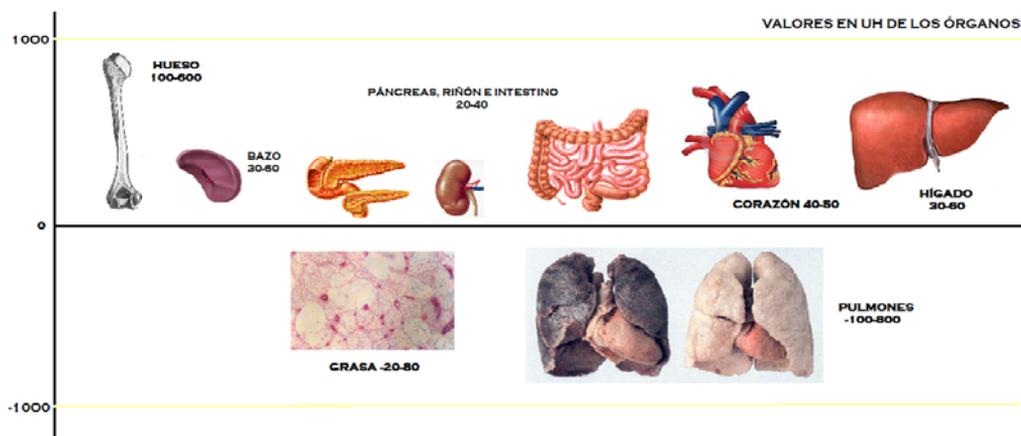


Fig. 1. Valores UH de los distintos tejidos. Imagen modificada de <http://modulotecguana.blogspot.com.es/2012/08/la-escala-de-hounsfield.html>

Aunque los exámenes iniciales en los que se aplicó la TC estaban limitados al cerebro, y ofrecían imágenes de escasa calidad, el método fue aceptado rápidamente por la Neuroradiología. Su inventor, el inglés Godfrey Newbold Hounsfield, que trabajaba como ingeniero en la compañía británica EMI Ltd. (discográfica que descubrió a los Beatles) recibió el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1982, junto a Allan Cormack (autor de los fundamentos matemáticos que condujeron a los modelos de reconstrucción de las imágenes de TC) por su importante contribución al diagnóstico radiológico no invasivo. Desde entonces, se han desarrollado

varias generaciones de TC con el objetivo de ganar velocidad sin perder calidad de imagen.

En la década de 1990, el escáner helicoidal o en espiral permitió la transición de sucesivos cortes hasta completar volúmenes. El inconveniente se hallaba en que dejaba zonas no medidas que debían ser reconstruidas por interpolación de los valores de la sección inmediatamente anterior y de la posterior, lo que influía en la calidad de la imagen y en la de las reconstrucciones.

En 1998, un nuevo avance, el de la TCMC (Tomografía Computarizada Helicoidal Multicorte), acabó con el problema de la interpolación y permitió reconstruir los datos obtenidos en todos los planos, tanto axial, como sagital y coronal, mejorando considerablemente la calidad de los estudios. Ovelar Ferrero et al., señalan las ventajas de la TCMC frente a la monocorte:

1. Adquisición de volúmenes. La imagen en TC traduce la densidad electrónica de órganos y tejidos. Para ello da un valor numérico a cada píxel (UH), que se encuentra en relación con el coeficiente de atenuación (μ) del tejido incluido en cada píxel. A cada uno de estos píxeles corresponde la densidad de un tejido que tiene un grosor (*slice width* o grosor de corte), a cuyo volumen se le denomina vóxel, y es la media de las

densidades del vóxel la que determina el valor del píxel (Fig. 2).

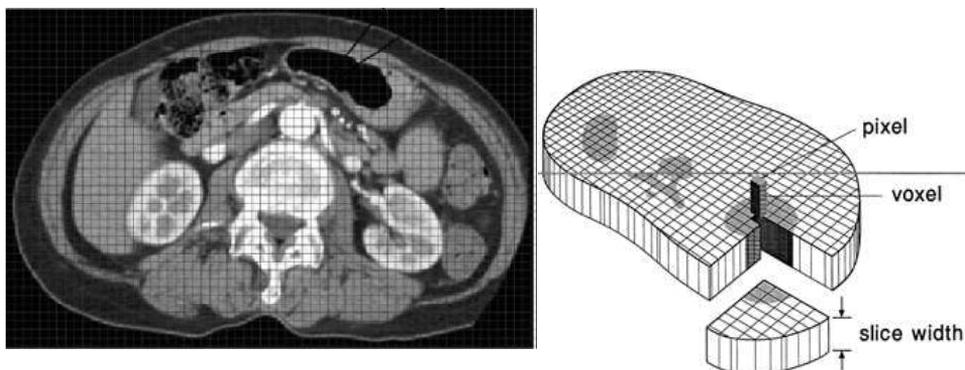


Fig. 2. Cuadrícula de TC (izquierda) y representación valores pixel, vóxel y grosor de corte. Imágenes extraídas de “TC MULTIDETECTOR: Bases de funcionamiento e implicaciones en la patología del Abdomen”. Dr. Juan Sánchez Parrilla. Hospital Universitario del Mar, extraído del sitio http://www.radiolegsdecatalunya.cat/formacio/resums/GB30BA05_R.pdf

2. Alta velocidad en la realización del estudio. Debido a su mayor cantidad de detectores, la TCMD es 8 veces más rápida que una TC axial.

3. Técnicas de Reconstrucción Tridimensional. Mediante fórmulas matemáticas se determina para cada uno de los píxeles del monitor, el porcentaje de datos que le corresponde organizar (vóxel). Entre las más utilizadas están SSD (*Shaded Surface Display*, utiliza un pequeño porcentaje de los datos adquiridos en el estudio), MIP (*Maximum Intensity Projection*,

representa el valor máximo del vóxel) y VRD (*3 Volumen Rendering*). Es este último el que emplea todo el volumen de datos del vóxel en cada píxel de la pantalla y es el que ha sido utilizado para este estudio.

Durante los últimos años la TC ha sufrido un rápido crecimiento y un gran desarrollo tecnológico, y ofrece hoy un rango de aplicación que cubre todas las partes de la anatomía humana, debido a su alta resolución espacial y temporal (Thali et al., 2009).

En cuanto a la RNM, en general, proporciona más información que la TC, en particular de los tejidos blandos, incluyendo su análisis químico mediante espectrografía de hidrógeno, carbono o fósforo. Es importante reconocer su enorme versatilidad comparada con la TC, aunque su aplicación es más complicada que esta última. No obstante, resulta especialmente útil para el examen de víctimas supervivientes de agresiones tales como el estrangulamiento, ya que ayuda a visualizar daños internos que no se podrían detectar a simple vista (Bolliger et al., 2008).

1.4.2. LA TC EN ANTROPOLOGÍA FORENSE

La enorme utilidad de la TC radica en que la información que proporciona se almacena en un protocolo estándar: los llamados ficheros DICOM (*“Digital Imaging and Communications in Medicine”*). Sobre dichos ficheros se pueden realizar multitud de procedimientos de análisis de imagen, tales como visualización interactiva, morfometría, densitometría, reconstrucciones tridimensionales, etc., con la ventaja de que al hacerlo interactivamente no se altera el modelo del que proceden (Aso et al., 2005). Además, los DICOM cuentan con la enorme ventaja de que se pueden almacenar permanentemente en un espacio físico pequeño, por lo que las mediciones realizadas sobre ellos se pueden repetir por el mismo o distintos investigadores cuantas veces sea necesario, lo que resulta en un aumento efectivo de la reproducibilidad intra e inter-observador (Torimitsu et al., 2016).

El conjunto de estos procedimientos que se aplican sobre una imagen digital con una finalidad científica han sido definidos como técnicas de API, y han sido utilizados en Tanatología, Patología, Traumatología y Antropología Forense. Recientemente se ha acuñado el término “virtopsia”

para denominar el conjunto de estas prácticas con finalidad forense (Aso et al., 2005). Aunque algunos autores creen conveniente establecer una terminología estándar dado el incremento de publicaciones en este campo y apuestan por los términos PMCT (*Post Mortem Computed Tomography*) o PMMR (*Post Mortem Magnetic Resonance*) para referirse a los estudios forenses que utilicen este tipo de imágenes (Rutty et al. 2013)⁷.

La TC *postmortem* previa a la autopsia se ha convertido en una práctica estándar en muchos institutos forenses (Torimitsu et al., 2015). Es más, para algunos investigadores el uso de las imágenes de TC incrementa la precisión y reproducibilidad respecto a los métodos tradicionales a la hora de establecer el perfil biológico (Robinson et al., 2008; Ramsthaller, et al., 2010).

Dentro del campo de la Antropología Forense cada vez son más los estudios científicos mediante estos medios, ya que sobre los modelos procedentes de los DICOM obtenidos por

⁷ En nuestro trabajo se ha preferido utilizar el término TC, por un lado, porque se ha realizado en sujetos vivos por lo que no se cree adecuado usar el propuesto por Rutty et al., y por otro, aunque sería más correcto el término TCMC (*Tomografía Computarizada Helicoidal Multicorte*), se ha optado por el abreviado, TC.

TC se pueden realizar mediciones de todos los parámetros antropológicos.

1.4.2.1. LA TC Y LA ESTIMACIÓN DEL SEXO

Kranioti et al. (2009) con el fin de estimar el sexo, utilizaron radiografías digitales de la epífisis proximal del fémur de 106 individuos de Creta, de edad y sexo conocidos. Obtuvieron unos resultados similares a los obtenidos con los métodos convencionales, por lo que presentan este método como una alternativa a aplicar cuando los métodos clásicos no son viables o no se pueden llevar a cabo (cuerpos semidescompuestos de escenas de crímenes o desastres de masas donde la maceración no es una opción).

El análisis de imágenes también permite que se puedan medir y comparar las diferencias de forma y tamaño de los huesos, estén estos completos o en fragmentos, para determinar el sexo. En otro estudio llevado también a cabo por Kranioti et al., desarrollaron un método de análisis morfométrico del húmero a través de radiografías digitales, que permiten medir las diferencias de forma que las técnicas convencionales no permiten. Con este método llegaron a un

acierto del 89,6% para la epífisis proximal del húmero y de un 89,7% para la epífisis distal, al ser combinados tamaño y forma (Kranioti et al., 2009).

Sheng-Bo Yu et al. reconstruyeron a través de tomografías computarizadas las vértebras torácica de 102 individuos coreanos con el fin de determinar el sexo y ofrecen unos resultados que van del 62,7% al 85,3%, según las variables consideradas (Sheng-Bo Yu et al., 2008).

De la cuarta costilla y el esternón de tomografías computarizadas de tórax de 340 pacientes de Turquía, Ramadan et al., testaron la validez de los resultados obtenidos utilizando este método con las técnicas osteométricas clásicas que miden el hueso directamente. Llegaron a la conclusión de que los restos óseos pueden ser medidos tanto directamente como a través de imágenes tomadas de los mismos, sin que por ello se pierda eficacia a la hora de determinar el sexo (Ramadan et al., 2010).

La TC es particularmente útil para la adquisición de información volumétrica, al permitir la reconstrucción en tres dimensiones de las estructuras óseas. Ramsthaler et al. evaluaron las características morfológicas sexuales en el cráneo a través de su reconstrucción en 3D a partir de TC. Esto también les permitió el estudio del volumen craneal. Usando el

método de Knussmann adaptado al análisis de imágenes, sus resultados llegan al 96% de asignaciones correctas, frente al rango de precisión de entre 85-95% de los análisis osteológicos clásicos llevados a cabo en esta región anatómica (Ramsthaller et al., 2010).

Verhoff et al., también sobre el cráneo, llevaron a cabo un estudio en el que compararon las mediciones realizadas con las técnicas convencionales, con las llevadas a cabo sobre las reconstrucciones tridimensionales de esos mismos cráneos tras ser escaneados, con el propósito de comprobar si existen diferencias significativas entre ambos métodos. Su conclusión fue que, si se siguen unos patrones estándar, las mediciones realizadas sobre las imágenes son tan fiables como las tomadas sobre los cráneos (Verhoff et al, 2008).

Djorojevic et al. sobre reconstrucciones en 3D de 150 tomografías de coxal, estimaron el sexo sobre población española mediante análisis discriminante, con una precisión de clasificación de 89,3-95,3%. Testaron sus resultados en 96 esqueletos de otra colección de referencia española contemporánea con un porcentaje de 83,3-95,8% de clasificación exacta (Djorojevic et al., 2014).

1.4.2.2. LA TC Y LA ESTIMACIÓN DE LA EDAD

La TC también es útil cuando se trata de estimar la edad fisiológica, tanto si se trata de individuos vivos como si no. Moskovitch et al., estudiaron los cambios en la morfología del extremo esternal de la primera costilla a partir de las reconstrucciones tridimensionales de tomografías realizadas a sujetos vivos. Al aplicar el método de Kunos et al. se demuestra que el análisis de los cambios que muestra la TC de la primera costilla resulta un indicador fiable para determinar la edad ósea (Moskovitch et al., 2010).

También a través de TC y en este caso, del hueso coxal, Ferrant et al., propusieron un método para determinar la edad de la muerte aplicando los criterios antropológicos clásicos llevados a cabo sobre este hueso (cambios en la sínfisis púbica, en la superficie auricular del ilion), al análisis de imágenes (Ferrant et al., 2009).

Robinson et al., aplicaron la TC al estudio de la pierna y los huesos del pie. Para ello examinaron 15 extremidades inferiores en diferentes estados de descomposición de individuos que habían sido sometidos a una amputación. Realizaron las medidas pertinentes (tibia, calcáneo) tanto en las imágenes aportadas por la TC, como en los huesos

directamente. En ambos casos diagnosticaron el sexo con un 73% de fiabilidad (Robinson et al., 2008).

Dedouit et al. (2007) identificaron a la víctima de un incendio comparando los resultados obtenidos mediante el estudio antropológico clásico, y el llevado a cabo sobre las imágenes reconstruidas en 3D tras realizar una TC a la víctima previa a la autopsia, cuando ésta aún conservaba las relaciones anatómicas del esqueleto. Con ambos métodos llegaron a las mismas conclusiones cuando se trata de estimar el sexo y la edad del individuo; en cuanto a la estatura y el origen étnico los aportó exclusivamente el estudio de las imágenes de TC.

López-Alcaraz et al. (2015), mediante el estudio del pubis y de su sínfisis, en una muestra de 169 individuos de sexo y edad conocidos, correlacionaron la estructura del tejido óseo con varias variables obtenidas a partir del histograma de grises (GLH) de las secciones sagitales de tomografía computarizada con el objetivo de estimar la edad.

1.4.2.3. LA TC Y LA ESTIMACIÓN DE LA ESTATURA

La TC también es útil para estimar la estatura. Giurazza et al. mediante TC torácica de 200 individuos italianos estimaron su estatura a partir de la altura de sus escápulas. (Giurazza et al. 2013). Para ello, previamente a realizarles la TC, midieron a los individuos, y mediante ecuaciones de regresión lineal establecieron la estatura de los sujetos con un porcentaje aceptable de fiabilidad. Realizaron también la estimación de la estatura en TC de cráneo y fémur de población caucásica (Giurazza et al. 2012).

Zhang et al. sobre imágenes en 3D estimaron la estatura sobre población china mediante el estudio de la escápula (Zhang et al. 2016) y también del esternón (Zhang et al. 2015).

Donde hasta la fecha son más abundantes los estudios de estimación de la estatura mediante el análisis de imágenes de TC es en población japonesa. Incluyen la pelvis (Torimitsu et al. 2015b), el fémur (Baba et al. 2016), el radio y el cúbito (Torimitsu et al. 2014b), el sacro y el cóccix (Torimitsu et al. 2014a), la tibia, el peroné y el primer metatarsiano (Hishmat et al. 2015), la segunda vértebra cervical (Torimitsu et al. 2015a) o el cráneo (Torimitsu et al. 2016).

Quizás la falta de estudios de estimación de la estatura en otras poblaciones mediante TC se debe a la dificultad que conlleva realizar la medición de los sujetos, ya que todos estos trabajos se realizaron mediante TC previa a la autopsia, cuando la exposición a la alta dosis de radiación ya no tiene consecuencias.

1.4.2.4. LA TC Y EL ESTUDIO DE LOS TRAUMATISMOS DEL ESQUELETO Y LAS PATOLOGÍAS ÓSEAS

La TC *postmortem* es muy útil para la detección de traumatismos del esqueleto, ya que revela lesiones que pueden pasar desapercibidas en la autopsia convencional, como pueden ser fracturas de los huesos faciales, debido al hecho de que las estructuras faciales rara vez se someten a una autopsia invasiva o destructiva (Jalalzadeh et al., 2015). También es útil en casos de abuso infantil, donde es obligatorio determinar si hay presencia de signos de traumatismos recientes y pasados (Martrille et al., 2006; Solarino et al., 2009).

En cuanto en el estudio de patologías óseas, también se ha constatado su utilidad. Un ejemplo es el de la *cribra orbitalia*, lesión de la órbita ocular asociada a enfermedades

deficitarias como la anemia. Investigaciones recientes la relacionan con anemias megaloblásticas y hemolíticas, escorbuto (déficit de vitamina C) y/o raquitismo (déficit de vitamina D) (Zuckerman et al., 2014). Esta patología aparece con frecuencia en cráneos prehistóricos de niños de todo el mundo. Fue descrita por primera vez por Welcker en 1888 (Wapler et al., 2004). Muchos autores apuntan a que se trata de una etapa inicial de hiperostosis porótica, una lesión porosa de la superficie externa de la bóveda craneal (Stuart-Macadam, 1989; Campillo, 2001). En 1966, Nathan y Haas, la dividieron en tres etapas de desarrollo de la misma condición: 1) *porótica*, consistente en pequeños poros aislados, 2) *cribótica*, en la que los poros son grandes y conglomerados pero conservan su individualidad y 3) *trabecular*, donde las aberturas se han confluído y el hueso que queda entre ellas se ha convertido en una red de trabéculas (Nathan y Haas, 1966 cfr. en Saint-Martin et al. 2015). En 1971, Knip, atendiendo a su morfología y extensión, la clasificó en cuatro grupos, con orificios osteoporóticos de mayores dimensiones en cada estadio (Campillo, 2001). El método tradicional para su estudio ha sido el histológico, aunque se ha constatado su falta de fiabilidad a la hora de abordar esta patología. En población nubia, Wapler et al. (2004) encontraron que un número significativo de lesiones inicialmente identificadas como tal se

debían a osteítis, osteoporosis o resultado de la erosión *postmortem*. La TC representa un método alternativo para la evaluación de la microarquitectura de los huesos arqueológicos (Saint-Martin et al. 2015). Resulta de enorme utilidad para el abordaje de esta lesión, como así apuntan los estudios publicados, ya que se trata de un método no invasivo y de mayor fiabilidad, respecto a los estudios histológicos (Exner et al., 2004; Saint-Martin et al., 2015).

1.4.2.5. LA TC Y EL ESTUDIO DE LAS MOMIAS

Donde quizás más haya llamado la atención mediática y popular, al margen del mundo académico, científico o médico, el uso de la tomografía, ha sido en el estudio de las momias del Antiguo Egipto. El primer autor en usar la TC con este fin fue Harwood-Nash en 1979, sobre el cerebro disecado de un niño y el cuerpo de una mujer joven (Harwood-Nash, 1979). Consideró a la TC como el método más adecuado para el estudio de valiosos restos arqueológicos. Desde entonces se ha extendido su aplicación, tanto si se trata de momias que pertenecen a un contexto forense como arqueológico.

La momificación natural se produce en lugares con baja humedad relativa, temperatura elevada y abundante aire

circulante (Egipto, Atacama, Perú, México, etc.). Consiste en la desecación del cadáver por deshidratación, lo que retrasa o impide su putrefacción (Rodríguez Martín, 1996). La autopsia sobre un cuerpo momificado presenta la dificultad de que los tejidos han perdido su elasticidad y el cuerpo se rompe fácilmente, y es más complicada de realizar cuando se trata de fetos, mucho más frágiles que el esqueleto de un adulto. Dedouit et al. (2008) presentaron un *case report* de un feto momificado de manera natural, para lo que utilizaron como método complementario a la autopsia, la TC. Sobre las imágenes en 3D llevaron a cabo un estudio antropológico virtual para estimar la edad gestacional, hacer un examen exhaustivo del esqueleto y excluir malformaciones. Los resultados obtenidos los compararon con los de la autopsia, concluyendo que la TC es la mejor técnica para el estudio de los cuerpos momificados, ya que de otra manera se pierde información (Dedouit 2008). Dedouit et al., aportan más evidencias que demuestran que la TC resulta indispensable en el estudio de las momias. En otro caso, complementaron con TC, la autopsia convencional que realizaron sobre la momia natural de una mujer siberiana, datada entre los siglos XIV-XIX mediante el método de radiocarbono. Los estudios históricos, etnográficos y biológicos apuntaban a que se trataba de una mujer *udagan*, una chamán. Tanto la TC como

la autopsia confirmaron el sexo femenino. Para estimar la edad, ambos métodos evaluaron tanto la ósea como la dental, y concluyeron que se encontraba entre los 18 (por tener incompleta la fusión de la cresta ilíaca, lo que la situaba en un rango de edad entre los 14-23 años, de acuerdo al método de Suchey) y los 23 años de edad (por no hallarse aún fusionadas las epífisis mediales de las clavículas). En cuanto al patrón ancestral, la TC mostró, de acuerdo a las características craneométricas desarrolladas por Howell, que eran similares a las de la población Buryat, teóricamente la población oriunda de Yakut, la región donde se halló la momia. El estudio antropológico del cráneo reveló que presentaba características mongoloides. En la TC, la técnica de Fully estimó la estatura en 146.6 cm; el estudio antropológico, en 145 cm. El peso sólo se pudo estimar con el estudio de TC, que determinó unos 48.8 Kg. El estudio antropológico confirmó el estatus de virgen propio de las *udagan*, al mostrar intacto el himen tras rehidratar los tejidos blandos. La determinación de la causa de la muerte revelada en el estudio de TC apuntó a una enfermedad infecciosa que desembocó en una septicemia generalizada: una masa pleural sugirió la presencia de un enfisema pulmonar. También presentaba una masa calcificada en la región ilíaca derecha y anquilosis de la articulación sacroilíaca; además de una lesión en T11 que también se

observó en la autopsia. El estudio antropológico confirmó como causa más probable de la muerte una infección pulmonar. Un análisis posterior de ADN de una muestra de la pleura y otra de la lesión vertebral halló en estas la bacteria *Mycobacterium tuberculosis* (Dedouit et al., 2010).

Usui et al. (2012) también mostraron un *case report* de un cuerpo momificado de manera natural, esta vez de un individuo adulto, en el que la TC complementó los resultados de la autopsia. En casos de momificación, los tejidos se hallan fuertemente adheridos unos a otros y resulta difícil examinar algunas regiones anatómicas que son imprescindibles a la hora de descartar la causa de la muerte. En estas ocasiones, resulta de gran utilidad para observar tanto los órganos internos como si hay fracturas en huesos como el hioides, signo de estrangulamiento (Usui et al., 2012).

Jansen et al. testaron el potencial de la TC en el estudio de los procesos de momificación de 25 momias egipcias, logrando diferenciar los pasos llevados a cabo a través de las imágenes obtenidas (las distintas incisiones por donde se sacaban las vísceras) (Jansen, 2002).

Kranioti llevó a cabo el estudio de siete manos momificadas de individuos que habrían vivido entre los siglos XV y el XVIII en Alemania, con el fin de estimar el sexo y

poder extraer más información sobre el significado social de la amputación. Para preservar estas reliquias históricas aplicó la tomografía computarizada por ser una técnica no invasiva que asegura la preservación de los restos (Kranioti, 2016).

Leth en 2009 autopsió y tomografió 250 individuos con el fin de testar la fiabilidad de la TC. En un 13% de los sujetos hizo importantes hallazgos con la TC que no había revelado la autopsia, y en un 48% los hallazgos relevantes de la autopsia no aparecían en la TC. Se pudo establecer la causa de la muerte un 31% de los casos exclusivamente mediante la TC, en un 74%, mediante la autopsia, y en un 22% mediante análisis toxicológicos. Con los datos revelados con la TC combinados con los de la investigación pudieron establecer la causa de la muerte en la mayoría de los casos de traumatismos graves, pero sólo en una minoría de muertes causadas por enfermedad o envenenamiento.

La TC permite visualizar regiones anatómicas, fracturas y órganos internos que son difícilmente visibles en la autopsia. Además, la información que proporciona es en formato digital, lo que permite que los datos puedan ser compartidos y revisados con otros profesionales.

Dentro del ámbito de la Antropología Forense se está haciendo extensivo el uso de estos nuevos métodos de imagen que emplean la tomografía computarizada para reconstruir en tres dimensiones cualquier parte de la anatomía humana, con el fin tanto de poder estimar el sexo, como la edad, la estatura, el origen ancestral o la causa de la muerte. Se presentan como un método tanto alternativo como complementario de las técnicas convencionales, y su empleo resulta especialmente útil para la identificación de víctimas de desastres (Blau et al., 2008).

1.4.3. EL PROGRAMA OSIRIX®



A pesar de los grandes avances tecnológicos en la TC, muchos de los estudios anteriores no serían posibles sin OsiriX®, el software de procesamiento de imágenes DICOM (extensión .dcm) más usado en el mundo, desarrollado por Antoine Rosset, un radiólogo suizo, en 2003, y mejorado tras su paso por la Universidad de California, junto a Osman Ratib y Joris Heuberger.

Este programa ofrece avanzadas técnicas de imagen en 2D y en 3D (Rosset et al., 2004). Sus principales características incluyen visualización, revisión, interpretación y posprocesamiento de imágenes (Weidenhagen et al. 2008). Para ello utiliza dos módulos de reconstrucción multiplanar (MPR)⁸:

MPR 2D Clásico, en el que el programa permite crear un corte en cualquier posición del volumen 3D.

MPR Ortogonal 3D, en el que el programa permite cortes ortogonales en la reconstrucción 3D.

⁸ <http://www.osirix-viewer.com/osirix/osirix-user-manual/>

Y tres módulos de reconstrucción 3D:

3D MIP (Proyección de Intensidad Máxima), donde el programa utiliza una técnica de *ray-tracing*, para identificar el píxel que absorbe mayor intensidad en cada exposición.

3D Volume Rendering (Reconstrucción de Volumen), donde el programa utiliza una técnica de *ray-tracing*, aplicada a cada píxel, dependiendo de su posición y su intensidad. La más usada por producir las mejores imágenes en cada situación (Figura 3 y 4).

3D Surface Rendering (Reconstrucción de Superficie), donde se reconstruyen dos tipos de superficies elegidas por el usuario, basadas en curvas de intensidad *iso-contour*.

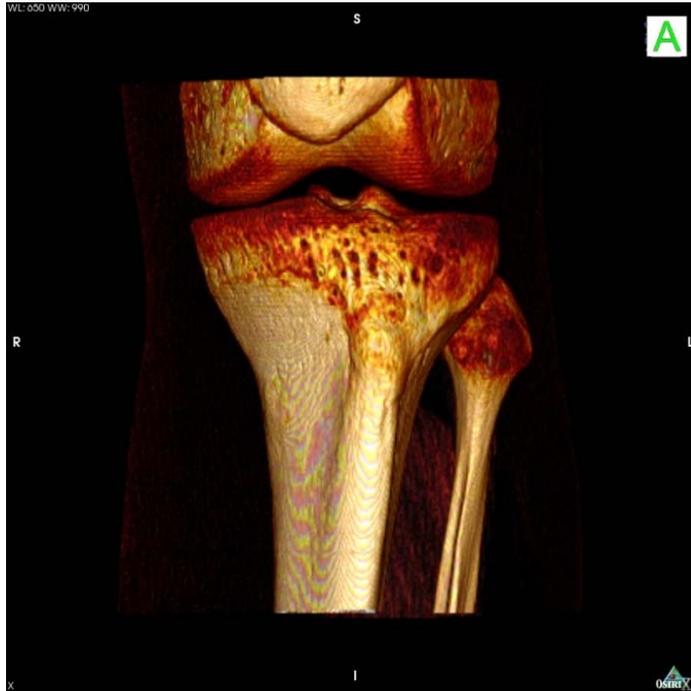


Fig. 3 y 4. 3D Volume Rendering (articulación de la rodilla, arriba; y articulación de la cadera, abajo)



La pantalla principal del programa muestra a la izquierda los estudios de TC con sus respectivos cortes (Figura 5). Las funciones de la barra de herramientas permiten elegir el módulo de reconstrucción. Una vez escogido éste, en el menú de funciones del ratón (*mouse button function*) ya se puede trabajar con la imagen: ajustar el ancho de ventana, mover, hacer zoom, rotar, cortar, medir, trasladar, etc.

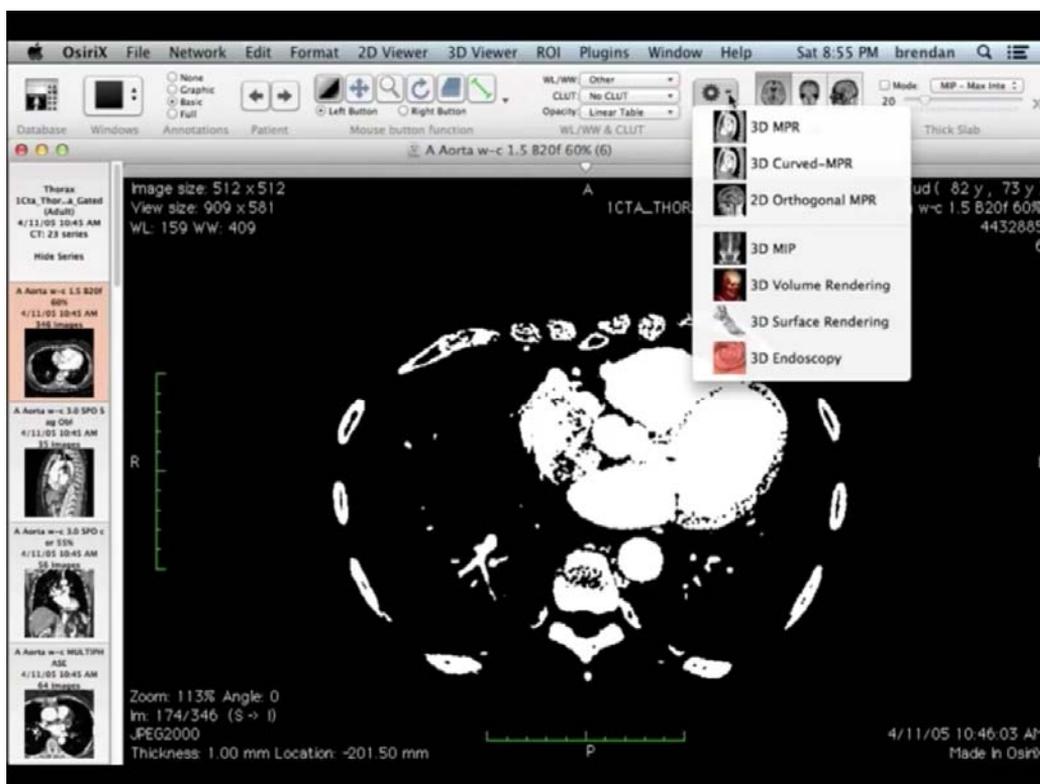
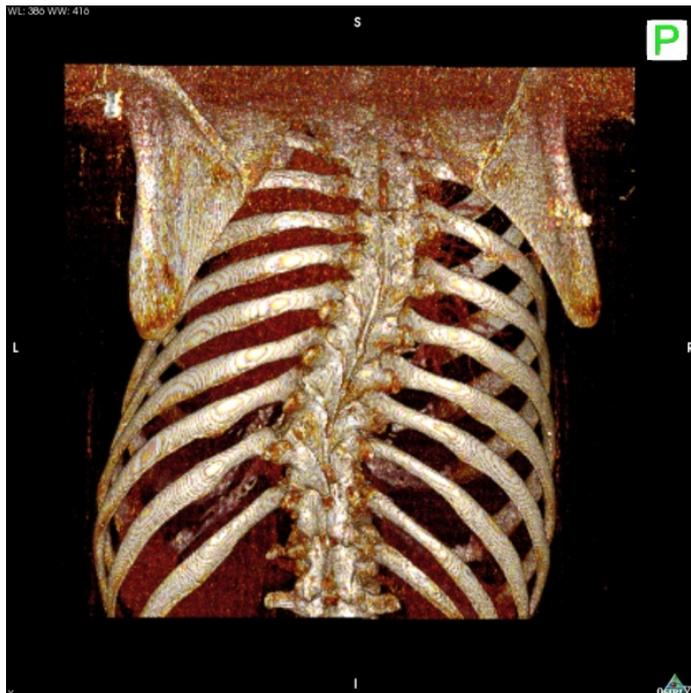


Fig. 5. Estudio de TC de tórax en el programa Osirix, con ventana de selección desplegada, para permitir el acceso a los distintos módulos de reconstrucción.



Fig. 6 y 7. Estudio de TC de columna vertebral (imagen de arriba) y reconstrucción 3D (imagen de abajo).



2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

El avance tecnológico en el campo de la Radiología ha hecho posible la digitalización de ingentes cantidades de material susceptible de estudio para la Antropología, proveniente en su mayoría de pruebas médicas. Esto permite el desarrollo de nuevas metodologías que analizan grandes muestras de población actual.

En base a lo anterior, el objetivo principal de este trabajo es desarrollar una metodología para estimar el sexo en una muestra de imágenes de TC de sujetos vivos, que sea aplicable a hueso seco.

Como objetivos específicos se plantean:

1. Analizar el papel y la repercusión de las Técnicas de Imagen, en general, y de la TC, en particular, en Antropología Forense.
2. Estimar el sexo de una muestra poblacional de edad y sexo conocidos a través de imágenes de TC de tórax en húmero, clavícula, escápula y esternón, mediante análisis discriminante.

3. Comprobar la reproducibilidad y concordancia del método desarrollado.
4. Testar y comparar las funciones discriminantes desarrolladas en imágenes en una muestra de población de afinidad similar de hueso seco, y ver si existen diferencias significativas.
5. Desarrollar funciones discriminantes para el esternón en la colección de hueso seco del cementerio de San José de Granada, que puedan ser comparadas con las que se desarrollen en las imágenes en 3D de este mismo hueso.
6. Comprobar la validez a la hora de estimar el sexo mediante análisis de imágenes, frente a las técnicas clásicas.

3. MATERIAL Y METODOLOGÍA

El material para este trabajo lo han proporcionado dos colecciones del Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada; una de hueso seco perteneciente a la colección del cementerio de San José de Granada, y otra de imágenes PACS⁹ DICOM de una base de datos procedente del SESCAM; y dos colecciones del Departamento de Antropología de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Coimbra (Samtarén y CSIC).

Por un lado, se ha estudiado la base de datos PACS DICOM de la colección del SESCAM. De ahí se han extraído medidas del húmero, la clavícula, la escápula y el esternón. Por el otro, se ha estudiado el esternón en la colección del cementerio de San José de Granada, cuyos resultados obtenidos se han testado en las dos colecciones portuguesas.

⁹ Acrónimo de “*Picture Archiving and Communication System*”.

3.1. COLECCIÓN SESCAM DEL LABORATORIO DE ANTROPOLOGÍA

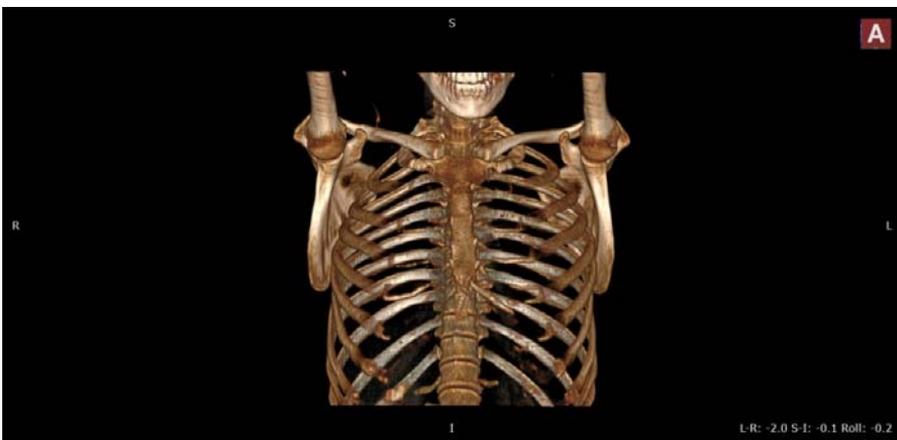
El Laboratorio de Antropología cuenta con una estación PACS que le permite recibir archivos DICOM, previamente anonimizados, del Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (SESCAM). Esta base de datos, en continuo aumento, cuenta en la actualidad con más de 20.000 estudios de TC de personas vivas que se han sometido a ésta prueba en los últimos años, y que, sabemos que pertenecen al grupo mediterráneo. De ellas conocemos el sexo, la edad y la fecha en la que les fue realizada la TC.

En primer lugar, de la base de datos se seleccionaron las TC pertenecientes al tórax; se abrió cada estudio por separado, para comprobar la calidad de la imagen. A la izquierda de la pantalla aparecen las series con el número de cortes por regiones anatómicas. Una vez seleccionado, se extrajeron los datos del individuo de la información contenida en un fichero *Meta Data* (sexo, edad e ID o número de identificación). Las medidas se tomaron tras realizar una reconstrucción en 3D de cada una de las tomografías, para lo que se utilizó el programa OsiriX para Mac. Este programa, como vimos en la introducción, permite tratar la imagen para que la medida que se tome sea lo más exacta posible.

Para la reconstrucción se aplicó el módulo *3D Volume Rendering*, por ser el que produce las mejores imágenes para hueso. De todas las tomografías analizadas, se escogieron aquellas que presentaban una mayor resolución (un mínimo de 64 cortes, con un grosor de entre 1-2 mm), pues a la hora de reconstruir la imagen son las que proporcionan una mayor nitidez y calidad, y por lo tanto, permiten una mayor fiabilidad a la hora de medir. Además, se mantuvo el mismo ancho de ventana para que los píxeles fueran los mismos en todas las reconstrucciones (Fig. 10).

Se tomaron medidas de 559 individuos y se recogieron en una base de datos en SPSS v. 17.0 para Windows para húmero, clavícula y escápula; y en otra por separado, para esternón.

De cada TC no se pudo tomar medidas de todos los huesos estudiados, pues algunos aparecen incompletos, cortados o con peor calidad, por lo que se explican por separado. Además, la finalidad de la tomografía en este caso fue médica, con el objetivo de diagnosticar la patología del individuo que se sometió a ella, por lo que algunos de los que presentaban anomalías tuvieron que ser descartados.



Figs. 8, 9 y 10. TC Tórax - 3D Volume Rendering, con distintas anchuras de ventana.

3.1.1. ESTUDIO DEL HÚMERO EN 3D

La muestra de húmeros se compone de las TC de alta resolución de la región torácica de 176 sujetos vivos (73 varones y 103 mujeres).

Se ha tomado la medida del diámetro vertical de la cabeza del húmero descrita por Steel (1972), por ser la única susceptible de medición en este hueso por la posición en la que son tomadas las TC, la mayoría antero-posteriores siguiendo los protocolos del hospital. Es por lo anterior que ninguna de estas tomografías recoge la imagen del húmero en su totalidad, sólo su porción proximal, y en numerosas ocasiones, no completa.



Fig. 11. Medida del diámetro vertical de la cabeza humeral

Se han utilizado únicamente individuos adultos en los que las epífisis de los huesos están completamente unidas a sus diáfisis (21-87 años). La media de edad de los varones de la muestra es de $54,05 \pm 15,95$, y la de las mujeres es de $54,4 \pm 13,06$ años. Además se han excluido los huesos que presentaban alguna patología, generalmente artrosis.

Para medir el diámetro vertical de la cabeza del húmero hay que tener presente que esta se halla articulada en el sujeto vivo en la cavidad glenoidea de la escápula, por lo que es importante el ángulo en el que se haya realizado la tomografía, ya que en muchas ocasiones este nos impide la obtención de la medida. Como la mayoría de las tomografías torácicas (que son las que han mostrado en su mayoría las cabezas de húmero completas) se realizan con los brazos de los sujetos en flexión máxima y con una ligera rotación externa, para realizar la medición colocamos el hueso en su posición anatómica rotando la imagen 180° . Tras esto se gira tantas veces como sea necesario hasta obtener la posición que permita la medición más exacta posible, se marcan los bordes proximal y distal de la cara articular de la cabeza humeral (Steel, 1972 cfr. en Alemán, 1997), y el programa nos proporcionó la longitud que mide en centímetros (Fig.11).

3.1.2. ESTUDIO DE LA CLAVÍCULA EN 3D

La muestra de clavículas se compone de las TC de alta resolución de la región torácica de 325 sujetos vivos (252 mujeres y 73 hombres). Se han descartado los huesos que presentaban algún tipo de patología (artrosis, fracturas, anomalías congénitas...) y se han usado únicamente individuos adultos (de 21-87 años), en los que la epífisis medial se hallaba fusionada. La media de edad de los varones se sitúa en $54,19 \pm 16,05$ y la de las mujeres en $54,41 \pm 13,06$.

Se ha medido la longitud máxima de la clavícula, definida por Martin y Knussman (1988) como la distancia máxima obtenida entre los extremos acromial y esternal. Para ello se adaptó el método a la toma en imágenes marcando dichos bordes y el programa proporcionó la longitud de dicha distancia en centímetros (Fig. 12).



Fig. 12. Longitud de la clavícula

3.1.3. ESTUDIO DE LA ESCÁPULA EN 3D

La muestra de escápulas se compone de las TC de alta resolución de la región torácica de 559 sujetos vivos (386 mujeres y 173 hombres). Se han descartado aquí también los huesos que presentaban algún tipo de patología (artrosis, fracturas, anomalías congénitas...) y se han usado únicamente individuos adultos en los que todos los centros secundarios de osificación se hallaban fusionados (de 23-87 años). La media

de edad de los varones se sitúa en $54,05 \pm 15,95$, y la de las mujeres en $54,41 \pm 13,06$.

Las medidas que se han podido obtener de las reconstrucciones en 3D han sido, siguiendo el método de Martin y Knussman (1988): la longitud máxima, la anchura máxima y la longitud del borde lateral (Fig. 15) y siguiendo a Frutos (2002), la altura y la anchura de la cavidad glenoidea (Fig. 14 y 15).

Para el estudio de la cavidad glenoidea, se ha de retirar la cabeza del húmero en su totalidad, eliminando todos los píxeles con la herramienta sculp, hasta que se distingan perfectamente los bordes de la cavidad y no puedan ser confundidos con restos de húmero (Fig. 14 y 15).

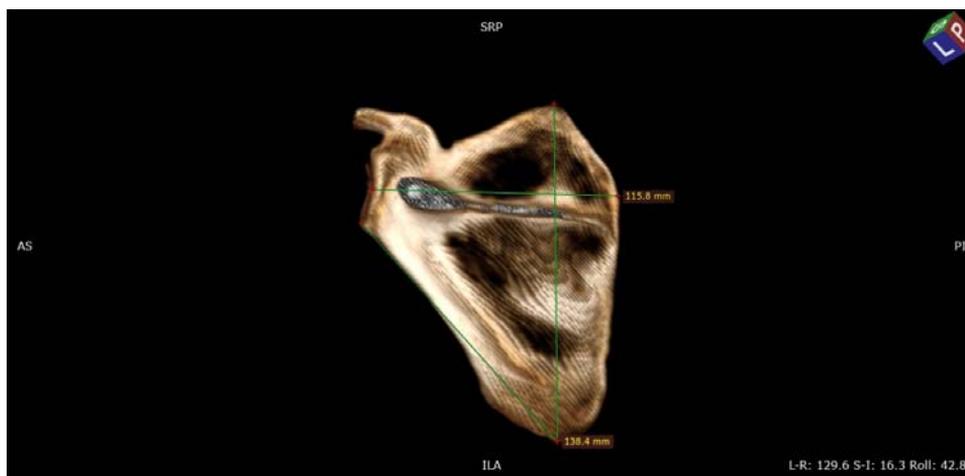


Fig. 13. Longitud máx., anchura máx y longitud borde lateral escápula derecha



Fig. 14 y 15. Altura cavidad glenoidea escápula derecha (arriba) y anchura (abajo).



Para medir la longitud y anchura máximas y la longitud del borde lateral de la escápula, con la herramienta *sculp* se eliminan los restos de espina y apófisis coracoides y acromion y se marcan los puntos de máxima distancia de dichas medidas (Fig. 13). Se trabaja rotando la imagen hasta obtener su posición anatómica, pues aunque la escápula sea un hueso plano, su curvatura puede alterar la medición.

3.1.4. ESTUDIO DEL ESTERNÓN EN 3D

Se han tomado medidas de 202 esternones en 3D, 103 de mujeres y 99 de hombres. Se han descartado los huesos que presentaban algún tipo de patología o lesión (esternotomías, anomalías congénitas...) y se han usado únicamente individuos adultos, en los que están fusionadas todas las esternibras del cuerpo del esternón. La edad de las mujeres se sitúa entre 29 y 83 años, con una media de 50,96, y la de los hombres, entre 21 y 85 con una media de 53,45.

Para la toma de las medidas se siguió el método de Martin y Knussman (1988) adaptado a la medición en imágenes (Fig. 18 y 19).

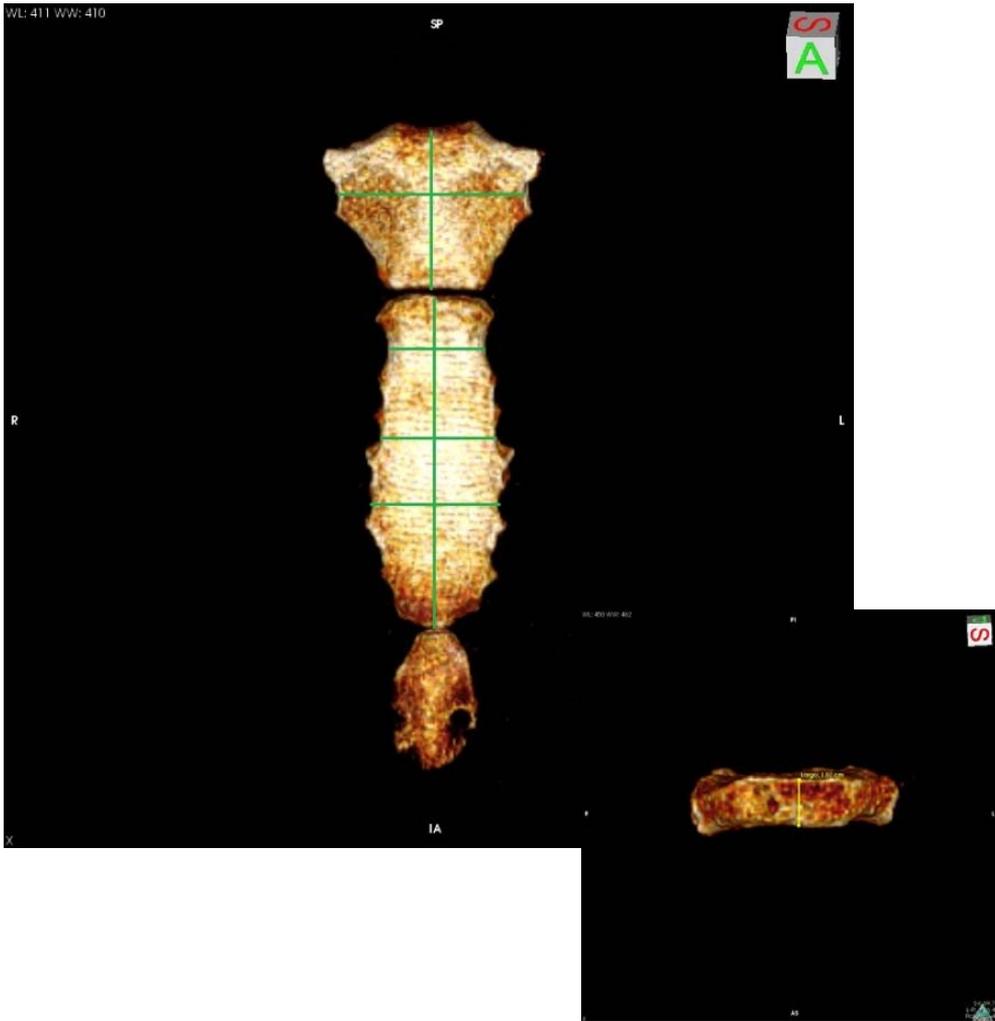


Fig. 18 y 19. Mediciones en esternón 3D: longitudes y anchuras en la imagen izquierda , y grosor a la derecha.

Para medir el grosor, se retiró el manubrio con la herramienta *sculp* y el cuerpo se colocó en una vista superior, y se marcaron los bordes anteriores e inferiores en su porción media.

3.2. COLECCIÓN DEL CEMENTERIO DE SAN JOSÉ (GRANADA)

La colección esquelética de individuos identificados del cementerio municipal de Granada (San José) se inició en 1991, cuando los responsables de este cementerio otorgaron al Laboratorio de Antropología de la Universidad de Granada el permiso para investigar los restos óseos que iban a ser exhumados tras expirar los derechos de sepultura contratados o por haber incumplido el pago conforme a la legislación funeraria (Alemán et al., 2012).

La componen 295 individuos adultos y 230 subadultos, aunque esta cifra se incrementa constantemente porque la limpieza y el análisis de los esqueletos está en curso (Alemán et al., 2012). El estado de conservación es muy bueno, pues se trata de individuos actuales (siglos XX y XXI), que han estado en ataúdes bien preservados hasta su exhumación y limpieza. De todos ellos se conoce la edad, el sexo, la ascendencia y la causa de la muerte.

De esta colección se han medido los esternones de 105 individuos (57 hombres y 48 mujeres) nacidos entre 1902 y 1970, y fallecidos entre 1920 y 2002. El estudio incluye sólo a

adultos en los que están fusionadas todas las esterneras del cuerpo del esternón. La edad media de los hombres es $62,33 \pm 13,03$ y la de las mujeres, $69 \pm 15,11$. Los huesos con algún tipo de patología, principalmente artrosis y fracturas, los que ha sido imposible medir debido a su estado de deterioro, o aquellos huesos sometidos a una esternotomía, se excluyeron del estudio.

Las medidas se han obtenido usando un GT-DC-02 Digital Caliper®, que ofrece una precisión de 0,01 mm. Se tomaron en milímetros, según el método de Martin y Knussman (1988) (Fig. 20 y 21).

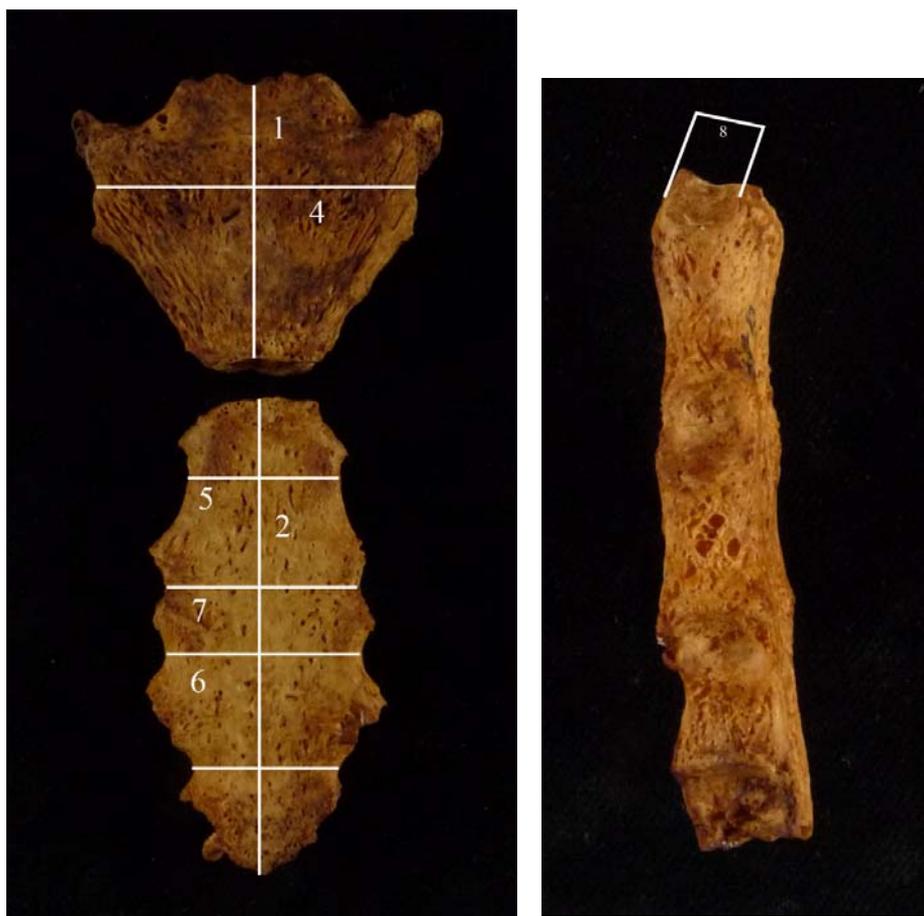


Fig. 20 y 21. Mediciones en esternón hueso seco; a la derecha, grosor.

En este caso, fue imposible medir la anchura del manubrio porque muestra signos de osificación con el cartílago en casi todos los individuos. De hecho, en algunas de ellos, el manubrio se halla fusionado con la primera costilla

uni o bilateralmente. A falta de esta medida no es posible obtener el área del esternón. En los esternones con la apófisis xifoides osificada al cuerpo, este último sólo es medido en aquellos con una unión mesoxiphoidal visible y bien definida (Jit et al., 1989). Lo mismo se estableció para el manubrio: los que se hallaban fusionados con el cuerpo no han sido medidos, excepto aquellos que presentan unión bien definida manubrio-cuerpo. La apófisis xifoides no se incluyó en el estudio a causa de la alta variabilidad que presenta. De un total de 294 adultos estudiados, fue posible medir el esternón de 105 individuos.

3.3. COLECCIÓN DE ESQUELETOS IDENTIFICADOS DEL SIGLO XXI (SANTARÉM XXI)

La colección osteológica de individuos identificados de referencia portuguesa más reciente es el resultado de la colaboración entre la Cámara Municipal de Santarém (responsable de Cementerio dos Capuchos) y el Departamento de Ciencias de la Vida de la Universidad de Coimbra (Curate et al., 2013).

En Portugal, el Decreto-Ley 411/98 de 30 de diciembre establece en su artículo 21 la posibilidad de realizar

exhumaciones transcurridos tres años del deceso, siempre y cuando el cadáver se encuentre ya esqueletizado. Esta colección la componen los cuerpos no reclamados por las familias, una vez transcurrido el plazo legal. Consta de 118 esqueletos adultos de ambos sexos y rango de edad de 20 a 99 años, cuyos individuos murieron entre 1995 y 2007 y fueron exhumados entre 1999 y 2013 (Ferreira et al., 2013). La media de edad de los hombres es de 70 años y la de las mujeres 82, reflejando las tasas actuales de mortalidad de la población adulta portuguesa. Se midió una muestra de 50 esternones en esta colección siguiendo el método doble ciego.

3.4. COLECCIÓN DE ESQUELETOS IDENTIFICADOS DE COIMBRA (CISC)

Esta colección, reunida por el profesor Eusébio Tamagnini desde 1915, consta de 505 esqueletos completos procedentes del cementerio principal de Coimbra, el Cementerio de Conchada. Se compone de esqueletos de individuos nacidos entre 1817 y 1924 y fallecidos entre 1904 y 1938 (Rocha, 1995). Casi todos ellos son de nacionalidad portuguesa, salvo seis de ascendencia africana, dos españoles y un brasileño. El rango de edad de los sujetos es de 7 a 96 años (Cunha y Wasterlain, 2007), pero este estudio incluyó sólo

adultos. La principal causa de muerte de los individuos de la colección fue la tuberculosis (Santos, 2000; Santos et Roberts, 2001).

Para nuestro estudio se tomaron medidas en 100 esternones, siguiendo también el método doble ciego.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La estadística es la herramienta fundamental en investigación, pues provee a los métodos científicos de un protocolo estandarizado para recoger, organizar, analizar e interpretar datos, lo que permite extraer conclusiones válidas basadas en tal análisis. Es una ciencia transversal a multitud de disciplinas.

En este estudio, una vez obtenidas las muestras de cada variable para cada una de las colecciones, como se ha descrito anteriormente, se ha llevado a cabo un análisis estadístico con el paquete SPSS v. 17.0 para Windows; la base de datos se diseñó con el mismo programa.

Para conocer las características de cada muestra, lo primero que se ha realizado es un análisis descriptivo en el que

se ha estimado el tamaño de la muestra, la media, la desviación estándar, la varianza y los valores máximo y mínimo para cada variable que se estudia, teniendo en cuenta el lado al que pertenece (salvo en el esternón).

La prueba de Kolmogorov-Smirnov (o prueba K-S) es un test no paramétrico que comprueba si cada muestra es representativa de la población que estudia; es decir, si cumple el criterio de normalidad (si los valores se encuentran dentro de la campana de Gauss, y no son valores extremos).

El test t de Student para muestras independientes se realiza tanto para analizar la posible existencia de asimetrías entre las medidas de ambos lados, como para comprobar si existen diferencias significativas¹⁰ entre los sexos masculino y femenino. En ambos casos se ha considerado un nivel de significación de $p \leq 0,05$ ¹¹. Este test permite contrastar la hipótesis de igualdad de medias entre dos grupos independientes, a partir de las medias obtenidas en una muestra aleatoria extraída de cada una de ellos. Esta prueba

¹⁰ Una *diferencia “estadísticamente significativa”* significa que existe evidencia estadística de que hay una diferencia y de que ésta no es debida al azar, pero en ningún caso la cuantifica.

¹¹ El *nivel de significación* es el riesgo o la probabilidad que voluntariamente asume el investigador de equivocarse al rechazar la hipótesis nula, cuando en realidad es cierta. Este riesgo se establece normalmente en 0,05 (Pita Fernández y Pértega Díaz, 2001).

asume en ambos grupos la distribución normal de la variable contrastada, por lo que dicho supuesto debe ser confirmado antes de proceder con el contraste.

El estadístico de contraste se basa en la tipificación de la diferencia observada entre las medias muestrales:

$$T = \frac{(x_1 - x_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sigma_{x_1 - x_2}}$$

Para determinar si las varianzas poblacionales son iguales (homocedasticidad) o difieren (heterocedasticidad) se debe de llevar a cabo un contraste de homogeneidad de varianzas a través del test de Levene. En el caso de que las varianzas sean iguales, solo será necesario estimar un parámetro σ^2 a partir de las varianzas muestrales S_1^2 y S_2^2 . De esta forma el estadístico de contraste T para varianzas iguales queda así:

$$T = \frac{(x_1 - x_2)}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + \frac{(n_2 - 1)}{n_1 + n_2} - 2\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Este estadístico se distribuye según el modelo de probabilidad t de Student con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad.

Puesto que se conoce la distribución t de Student, se puede conocer automáticamente la probabilidad asociada a cualquier valor de T con los grados de libertad correspondientes. Cuando esa probabilidad sea menor que el nivel de significación seleccionado ($p = 0,05$), la probabilidad de que las medias poblacionales sean iguales es extremadamente baja (Varela Mollou y Rial Boubeta, 2008).

3.6. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR

El término concordancia hace referencia al grado en que dos o más observadores, métodos, técnicas u observaciones están de acuerdo sobre el mismo fenómeno observado (Cortés-Reyes, 2009). Es un requisito para que un método sea reproducible, es decir, pueda ser aplicado por el mismo o distinto investigador a lo largo del tiempo.

La concordancia entre los métodos y sus mediciones puede alterarse por distintos elementos o fuentes de error, como son:

1) la variabilidad de los observadores (*error intra-observador*),

- 2) la variabilidad dada por el instrumento de medida y
- 3) la variabilidad debida a medir en momentos diferentes en el tiempo (*error inter-observador*).

Para corregir el error dado por el instrumento de medida, éste ha de ser preciso y acorde a la medición que se quiera realizar. No se utiliza el mismo para las mediciones en hueso seco, normalmente un calibre digital, que en las imágenes en 3D, un programa informático de medida. La pericia y destreza del investigador también es fundamental para minimizar al máximo este error, que se ha de solventar con la práctica.

Para evaluar la concordancia entre variables continuas, es decir, para cuantificar los errores debidos al investigador, Lin (1989) desarrolló el coeficiente de correlación de concordancia (CCC) que nos permite estimar el error intra e inter-observador. Se obtiene mediante la fórmula:

$$\rho_c = \frac{2\sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\mu_1 - \mu_2)^2}, \text{ donde}$$

σ_{12} = Covarianza, σ = Desviación típica; μ = Media.

Para el cálculo de este coeficiente se utilizó el programa Excell 2010.

Los resultados del coeficiente de correlación de concordancia se sitúan entre -1 (perfecta discordancia) y +1 (concordancia perfecta). De aquí Lin extrajo que si el valor del CCC resulta mayor de 0,99, la concordancia entre las medidas tomadas en dos momentos diferentes por el mismo investigador (error intra- es casi perfecta; si el resultado se encuentra entre 0,95-0,99, el grado de concordancia es sustancial; entre 0,95-0,90, moderado; y un valor inferior a 0,90 indica un grado de concordancia escaso (Lin 1989; Lin 2000).

El CCC se define también por la fórmula $CCC = \rho C_b$, donde se combina una medida de precisión, representada por el coeficiente de correlación (ρ), con una medida de exactitud, representada por el coeficiente de corrección de sesgo (C_b). Esta fórmula permite observar lo lejos que se desvían los datos tomados por dos observadores en una línea a partir del origen y a 45° en un plano cartesiano, que corresponde a la línea de perfecta concordancia. Cuando todos los datos del diagrama de dispersión caen sobre esta línea, habrá reproducibilidad perfecta, es decir, el CCC corresponderá a un valor de +1 (Cortés-Reyes et al., 2009).

Para evaluar el error intra-observador, transcurridas tres semanas de la toma de los datos, se extrajo una muestra al azar

de 30 individuos de los ya medidos, de cada variable estudiada, para realizar una segunda medición. Tras un análisis descriptivo previo, en el que se calcularon covarianza, desviación típica y media, se aplicó la fórmula antes descrita por Lin (1989).

Para la evaluación del error inter-observador en las medidas tomadas en imágenes, se contó con la pericia de un investigador con experiencia en el manejo del programa Osirix. Se le mostró e indicó como debían ser tomadas las medidas y, tras un periodo de entrenamiento previo, este observador las llevó a cabo también en una muestra de 30 individuos sustraídos al azar de la muestra principal. Para las mediciones realizadas en el esternón de hueso seco, se contó con otro investigador experimentado en la toma de medidas osteológicas, que realizó en 30 esternones seleccionados de la muestra principal.

3.7. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA GRUPOS DE EDAD

El Análisis de varianza (ANOVA) de un factor se aplica para comparar varios grupos en una variable cuantitativa. Para

llevarla a cabo se han de cumplir los supuestos de normalidad (prueba K-S) y homogeneidad de varianzas (test de Levene).

Para testar si la edad es un factor de sesgo a la hora de establecer el sexo, las muestras fueron divididas en los siguientes grupos:

- Adultos: 21-40 años
- Maduros: 40-60 años
- Seniles: mayores de 60 años

La ANOVA se utilizó para evaluar la forma en que las mediciones se relacionan con los grupos de edad (nivel de significación $p \leq 0,05$).

Si la ANOVA muestra diferencias significativas ($p \leq 0,05$), se utilizan comparaciones múltiples para evaluar las diferencias *post hoc*, con el fin de comprobar si verdaderamente hay diferencias significativas entre las categorías determinadas por el ANOVA. Si se asume igualdad de varianzas, la prueba de Bonferroni se realiza para determinar la relación entre las mediciones y los grupos de edad (nivel de significación $p \leq 0,05$). Si las varianzas difieren, se pueden llevar a cabo otras pruebas como el test de Games-Howell.

En resumen, los resultados de la ANOVA especifican si existe o no una necesidad de separar por grupos de edad las funciones discriminantes (McBride, 2005).

3.8. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL, ASIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE.

El test *t* de Student para muestras independientes, ya descrito, se llevó a cabo analizando por separado las variables del sexo masculino y femenino para evaluar el grado de dimorfismo; y sobre las variables del lado izquierdo y derecho para evaluar la presencia de asimetrías. En ambos casos se considera un nivel de significación de $p \leq 0,05$.

También se ha medido el índice de dimorfismo sexual

mediante la fórmula $ID = \frac{\Phi_{huesoM}}{\Phi_{huesoF}} * 100$, donde ϕ =media; M= sexo masculino; F= sexo femenino.

Dado que el esqueleto masculino es, en condiciones normales, más grande que el femenino, este índice es siempre mayor de 100 en casi todos los huesos.

Se realizó el análisis discriminante, desarrollado por Fisher en 1936 (Thieme y Schull, 1957), al tratarse de una de

las herramientas estadísticas más utilizadas en Antropología para estimar el sexo de los individuos.

Se aplicó el método por pasos, en el que para la inserción de variables se considera un valor $F \geq 3,84$, y un valor para la eliminación de $F \leq 2,71$. Estos criterios de selección son utilizados por el programa por defecto. Las funciones se extrajeron de la tabla de coeficientes no tipificados.

Los puntos de corte se obtuvieron mediante la realización de una media ponderada de los centroides de los grupos. Una vez que se aplica la función, los valores por encima del punto de corte se consideran como masculinos, los valores por debajo se consideran femeninos, y los valores que coinciden con el punto de corte se clasifican como de sexo indeterminado.

Primero, el programa SPSS realiza un cálculo de la media, la desviación estándar y el número de casos válidos (ponderados y no ponderados) para cada uno de los grupos y para la muestra total. A continuación, genera una tabla con los estadísticos F de Snedecor, que permiten contrastar la hipótesis de igualdad de medias entre los grupos para nuestras variables, y con el estadístico lambda de Wilks. Estos dos

estadísticos muestran el poder de discriminación de cada variable.

La F de Snedecor compara, para cada variable, las desviaciones de las medias de cada uno de los grupos a la media total, entre las desviaciones a la media dentro de cada grupo, por lo que si su valor es elevado, las medias de cada grupo están muy separadas y la variable discrimina bien. Por el contrario, la lambda de Wilks equivale a las desviaciones a la media dentro de cada grupo, entre las desviaciones a la media total sin distinguir grupos, por lo que si su valor es bajo la variable discrimina mucho.

Se realiza seguidamente un test M de Box, que contrasta la hipótesis nula que supone la igualdad de las matrices de varianzas y covarianzas de las variables analizadas en diversos grupos. A continuación, el programa genera una tabla que muestra la matriz de correlaciones intra-grupo combinada, es decir la matriz de correlaciones entre las variables independientes estimada a partir de las correlaciones obtenidas dentro de cada grupo. Seguidamente aparecen los coeficientes de clasificación de Fisher que pueden utilizarse directamente para la clasificación. Se obtiene un conjunto de coeficientes para cada grupo, y se asigna un caso al grupo para el que tiene una mayor puntuación discriminante.

Se llevó a cabo también el método directo para cada una de las variables por separado. Desde el análisis univariado se extrajeron puntos de corte que ya se pueden utilizar para la clasificación, sin el uso de grupos centroides. Para su obtención, la constante se divide por el coeficiente no estandarizado de las funciones discriminantes canónicas. De estos puntos de corte, los valores más altos se consideran como masculinos, los valores por debajo se consideran femeninos, y valores iguales al punto de corte se clasifican como de sexo indeterminado.

3.9. MÉTODOS DE VALIDACIÓN

Para testar la fiabilidad del método desarrollado de funciones discriminantes, se aplicaron las mismas tanto en la muestra con la que se han realizado (validación cruzada) como en otras de dimorfismo similar.

3.9.1. VALIDACIÓN CRUZADA

La validación cruzada comprueba la capacidad predictiva de la función discriminante mediante el procedimiento *leave-one-out classification*. Cada una de estas

funciones se obtiene mediante la eliminación de un caso, entonces, cada caso se clasifica utilizando la función discriminante en la que no haya intervenido.

3.9.2. APLICACIÓN DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN OTRAS SERIES IDENTIFICADAS DE HUESO SECO.

Mediante el test t de Student, las medidas se compararon con las tomadas en hueso seco, en estudios realizados sobre una muestra actual procedente del cementerio de San José de Granada, para comprobar si existen diferencias significativas entre ambas.

Además, se aplicaron las funciones discriminantes obtenidas de este estudio a la colección de hueso seco para comprobar si el método desarrollado a partir de imágenes de TC es aplicable para estimar el sexo en hueso seco.

En el caso del esternón, las funciones discriminantes de hueso seco de la colección del cementerio de San José se testaron en dos colecciones portuguesas (CISC y Santarém XXI). Estas muestras se escogieron por su proximidad cronológica y geográfica a la población con la que fueron desarrolladas las funciones discriminantes. Tanto la

portuguesa como la española se encuentran en la Península Ibérica y ambas pertenecen a población europea mediterránea.

Las funciones obtenidas del esternón de la muestra de SESCAM se aplicaron a su vez en las colecciones citadas de hueso seco.

4. RESULTADOS

4.1. ESTUDIO DEL HÚMERO EN 3D.

Del análisis descriptivo del diámetro vertical de la cabeza del húmero se obtuvieron las características de la muestra que resume la Tabla 1.

Tabla 1. Estadística descriptiva del húmero

Sexo	Lado	N	Media	Mínimo	Máximo	S.D.	Varianza
Masculino	Derecho	80	48,9975	44,00	53,40	2,25933	5,105
	Izquierdo	87	49,0287	44,10	53,40	2,24696	5,049
Femenino	Derecho	292	40,9315	34,50	46,00	2,51584	6,329
	Izquierdo	294	40,7192	35,20	46,90	2,61174	6,821

El test de Kolmogorov-Smirnov señaló una significancia de $2,478 > 0,05$, lo que indica que la distribución de la muestra sigue un patrón normal. Esto refleja que la muestra es representativa de la población que estudia. El test de Levene señaló que se cumple el criterio de homogeneidad de varianzas.

4.1.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR.

El análisis del coeficiente de correlación de concordancia (CCC) indicó una concordancia casi perfecta para el error intra-observador, y un grado de concordancia moderado en el inter-observador (Tabla 2). El método cumple con los criterios de reproducibilidad y concordancia.

Tabla 2. CCC o Test de Lin para el diámetro vertical de la cabeza del húmero

									Intra-observer error	Inter-observer error
	μ_1	μ_2	μ_3	σ_1	σ_2	σ_3	σ_{12}	σ_{13}	$\rho_c = \frac{2\sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\mu_1 - \mu_2)^2}$	$\rho_c = \frac{2\sigma_{13}}{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + (\mu_1 - \mu_3)^2}$
HDVC	40,66	40,65	41,00	16,85	15,45	15,30	16,083	16,07	0,99584831*	0,90011003**

* El test de Lin no reveló errores intra-observador ($p=0,99321397$; grado de concordancia casi perfecto) o inter-observador ($0,90011003$; grado de concordancia moderado).

4.1.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE EDAD.

El análisis de la varianza no mostró diferencias significativas para la cabeza del húmero en relación a la edad.

Tabla 3. Análisis de la varianza para el diámetro vertical de la cabeza del húmero

Dependent variable	Mean Square	F	Sig.
hdvc	72,616	4,332	0.146*

4.1.3. DIMORFISMO SEXUAL, ESTUDIO DE LA SIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE

La prueba de homogeneidad de varianzas, basada en el test de Levene, dio como resultado una significancia de $0,145 > 0,05$, por lo que se acepta la hipótesis nula de homogeneidad de varianzas. Esto establece que las varianzas de las muestras son iguales, y por tanto, el test t de Student se realiza asumiendo este supuesto.

Del test t de Student aplicado para ver la posible existencia de asimetrías se ha obtenido que, aunque las medidas del lado derecho son

ligeramente mayores que las del izquierdo, estas diferencias no son significativas, pues el nivel de significación es mayor que $p \leq 0,05$ (Tabla 4).

Tabla 4. Media, desviación estándar y diferencia entre lados

	N	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
				F	Sig.
Derecho	176	44,99	4,49089		
Izquierdo	176	44,76	4,64058	0,581	0,645

A continuación se realizó el mismo test t de Student, pero analizando por separado las variables de los sexos masculino y femenino. Este test señala la existencia de diferencias muy significativas ($p \leq 0,001$) en esta medida entre varones y mujeres (Tabla 5).

El índice de dimorfismo sexual fue de 120,06 (119,71 en el lado derecho y de 120,41 en el izquierdo).

Tabla 5. Media, desviación estándar y diferencia entre sexos

	N	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
				F	Sig.
Masculino	146	49,53	2,19593		
				2,134	0,000
Femenino	206	41,57	2,40555		

Del análisis discriminante, en primer lugar se obtuvieron la media, la desviación típica y el número de casos válidos (ponderados y no ponderados) para cada uno de los grupos y para la muestra total. A continuación, los valores de la F de Snedecor y la lambda de Wilks, señalaron que la variable con la que contamos discrimina mucho entre los grupos. El test M de Box contrasta la hipótesis nula de que las matrices de covarianzas poblacionales son iguales.

Se obtuvieron las funciones discriminantes de las tablas de coeficientes no estandarizados y los puntos de corte de la media ponderada de los grupos centroides (Tabla 6).

Tabla 6. Funciones discriminantes para el diámetro vertical de la cabeza humeral

Diámetro vertical cabeza húmero	Coefficiente no estandarizado	Constante	Grupo centroide	Punto de corte
Lado derecho			M = 2,570	
F < 44,94* < M	0,406	-17,321	F = -0,704	0,933
Lado izquierdo			M = 2,531	
F < 44,80* < M	0,395	-16,821	F = -0,749	0,891

*punto de corte, valores superiores pertenecen a húmeros masculinos (M) e inferiores a femeninos (F).

Los resultados que se obtienen por medio de las fórmulas discriminantes se hacen al multiplicar el valor de la variable por su correspondiente coeficiente no estandarizado, a cuyo valor hay que sumarle la constante. Si el resultado es mayor que este punto de corte se determinan los restos como pertenecientes a un varón, y si es menor, a una mujer (Aleman, 1997).

Por ejemplo, si tomamos una medida de 44,50 mm del lado derecho de una cabeza humeral, ésta se multiplicaría por 0,406 a lo que se le sumaría -17,321. Esto daría 0,776, que está por debajo del punto de

corte, lo que catalogaría los restos como pertenecientes a una mujer con un 96% de probabilidad.

Pero como en este caso nuestras funciones son univariantes podemos simplificar despejando el valor de corte para cada medida; así se obtienen unos valores de 44,94mm para el lado derecho y de 44,80 mm para el izquierdo. Valores por encima de estos se catalogarían como varones, e inferiores como mujeres.

4.1.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN

4.1.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA

La validación cruzada arrojó unos porcentajes elevados de asignación correcta para el diámetro vertical de la cabeza del húmero, 94,5% para el lado derecho y 97,6% para el izquierdo, con un sesgo de sexo bajo (-8 y -6.2, Tabla 7).

Tabla 7. Porcentaje de clasificación de las funciones discriminantes para el diámetro vertical de la cabeza del húmero. Validación cruzada

		Varones				Mujeres				Promedio	Sesgo de sexo
		Clasificación correcta		Error		Clasificación correcta		Error			
		%	n	%	n	%	n	%	n		
derecho	Original	91,3	73	8,8	7	99,3	290	0,7	2	97,6	-8*
	Validación cruzada	91,3	73	8,8	7	99,3	290	0,7	2	97,6	-8*
izquierdo	Original	89,7	78	10,3	9	95,9	282	4,1	12	94,5	-6,2*
	Validación cruzada	89,7	78	10,3	9	95,9	282	4,1	12	94,5	-6,2*

*Sesgo de sexo= % clasificación correcta varones - % clasificación correcta mujeres.

4.1.4.2. APLICACIÓN DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN HUESO SECO.

Se ha comparado mediante un *test t de Student* para muestras independientes las medidas obtenidas para el diámetro vertical de la cabeza del húmero por Alemán (1997) de la colección del cementerio de San José de Granada, con las obtenidas de las reconstrucciones en 3D. Se muestran los resultados en la Tabla 8. También se ha realizado una estadística comparada de ambas colecciones (Tabla 9).

Tabla 8. Media, desviación estándar y diferencia entre medidas tomadas en el hueso seco (SAN JOSÉ) y a través de TC en el hueso de sujetos vivos (SESCAM).

	N	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
				F	Sig.
SAN JOSÉ	134	41,26	3,43944		
SESCAM	352	42,64	4,22118	9,373	0,000*

* $p \leq 0,05$ indica diferencias muy significativas entre las medias.

Este test señala unas diferencias muy significativas entre ambas colecciones ($p \leq 0,05$).

Tabla 9. Estadística descriptiva comparada de ambas colecciones

Sexo	Lado	Colección	n	Media	Mín.	Máx.	S.D.
Masculino	Derecho	SAN JOSÉ	34	45,1818	38,88	51,06	2,92934
		SESCAM	80	48,9975	44,00	53,40	2,25933
	Izquierdo	SAN JOSÉ	33	44,7722	38,76	49,56	2,56452
		SESCAM	87	49,0287	44,10	53,40	2,24696
Femenino	Derecho	SAN JOSÉ	31	39,3471	35,66	43,74	1,68401
		SESCAM	292	40,9315	34,50	46,00	2,51584
	Izquierdo	SAN JOSÉ	33	39,1230	35,36	42,16	1,53942
		SESCAM	294	40,7192	35,20	46,90	2,61174

La Tabla 10 compara los puntos de corte de las funciones univariantes de ambas colecciones.

Tabla 10. Comparación funciones discriminantes obtenidas del hueso esqueletizado (SAN JOSÉ) y a través de TC del hueso de sujetos vivos (SESCAM)

	Lado derecho	Lado izquierdo
SESCAM	44,94mm	44,80 mm
SAN JOSÉ	42,40 mm	42,07 mm

Tabla 11. Porcentaje de asignación correcta cuando aplicamos las funciones discriminantes obtenidas en el hueso seco a la muestra de SESCAM:

Varones				Mujeres				Promedio
Clasificación		Error		Clasificación		Error		
Correcta				Correcta				
n	%	n	%	n	%	n	%	
146	100	0	0	206	61,16	80	38,83	80,58 %

Tabla 12. Porcentaje de asignación correcta cuando aplicamos las funciones discriminantes obtenidas a partir de TC a la colección de San José

Varones				Mujeres				Promedio
Clasificación		Error		Clasificación		Error		
Correcta				Correcta				
n	%	n	%	n	%	n	%	
60	70	18	30	64	100	0	0	85%

Al aplicar las funciones discriminantes de hueso seco a la muestra de SESCAM, se puede apreciar que estas funciones clasifican al total de los varones (todos tienen un diámetro vertical de la cabeza del húmero superior a 44,94 mm para el lado derecho y 44,80 mm para el izquierdo), mientras que a las mujeres las clasifican con un 61 % de probabilidad (Tabla 11). En el caso contrario, es decir, cuando aplicamos las funciones discriminantes obtenidas de la colección del SESCAM sobre los individuos de la colección de San José, obtenemos los resultados que recoge la tabla 12.

Las funciones obtenidas de la colección del SESCAM clasifican correctamente a todas las mujeres de la colección de SAN JOSÉ, mientras

que a los varones los clasifican con un 70% de probabilidad. En ambos casos, se obtienen porcentajes de fiabilidad por encima del 80%.

4.2. ESTUDIO DE LA CLAVÍCULA EN 3D

Las características de la muestra (estadística descriptiva) para la longitud de la clavícula en ambos sexos se resumen en la Tabla 13.

El test de Kolgomorov-Smirnov muestra un nivel de significación mayor de 0,05, lo que indica que cumple con los criterios de inclusión de normalidad.

El test de Levene señaló que se cumple el criterio de homogeneidad de varianzas.

Tabla 13. Estadística Descriptiva Clavícula 3D

Clavícula	Sexo	n	Mínimo	Máximo	Media	S.D.
Derecha	M	61	132,90	167,20	150,7541	7,17639
	F	246	118,40	152,40	135,5439	6,78627
Izquierda	M	73	132,80	176,40	153,0767	8,22229
	F	252	119,20	152,40	136,1667	6,58143

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

4.2.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERROR INTRA E INTER-OBSERVADOR.

Tabla 14. CCC o Test de Lin para lo longitud de la clavícula

* El test de Lin no reveló errores intra-observador ($p=0.99321397$; grado de concordancia casi perfecto) o inter-

									Intra-observer error	Inter-observer error
	μ_1	μ_2	μ_3	σ_1	σ_2	σ_3	σ_{12}	σ_{13}	$\rho_c = \frac{2\sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\mu_1 - \mu_2)^2}$	$\rho_c = \frac{2\sigma_{13}}{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + (\mu_1 - \mu_3)^2}$
CLLONG	139,84	139,69	138,67	81,26	79,71	78,35	79,95	78,75	0,99321397*	0,95360841*

observador ($p=0.95360841$; grado de concordancia sustancial).

4.2.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE EDAD.

No se hallaron diferencias significativas para la longitud de la clavícula en relación a la edad, por lo que el análisis discriminante se hizo sin dividir la muestra en relación a la edad.

Tabla 15. Análisis de la varianza (ANOVA) para la longitud de la clavícula

Dependent variable	Mean Square	F	Sig.
CLLONG	100,512	1,091	0.337*

* ANOVA produjo un valor de $p > 0.05$ lo que indica que no existen diferencias significativas entre la variable dependiente y los grupos de edad.

4.2.3. GRADO DE DIMORFISMO SEXUAL, ASIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE

El test t de Student para muestras independientes señaló diferencias muy significativas entre las medias de ambos sexos ($p \leq 0,01$; Tabla 16), no así entre las medias de ambos lados ($p \geq 0,05$; Tabla 17). En el primer caso nos indica el marcado dimorfismo sexual de la clavícula, y en el segundo, que no hay una asimetría aparente entre los lados derecho e izquierdo.

Tabla 16. Media, desviación estándar y diferencia entre sexos

Clavícula	Sexo	n	media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig
Derecha	M	61	150,75	7,17639	0,043	0,000*
	F	246	135,54	6,78627		
Izquierda	M	73	153,08	8,22229	4,855	0,000*
	F	252	136,17	6,58143		

* $p \leq 0,05$, lo que indica diferencias muy significativas entre las medias.

Tabla 17. Media, desviación estándar y diferencia entre lados

Clavícula	Lado	n	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig
Masculina	Derecho	61	150,75	7,17639	1,351	0,087*
	Izquierdo	73	153,08	8,22229		
Femenina	Derecho	246	135,54	6,78627	0,136	0,299*
	Izquierdo	252	136,17	6,58143		

* $p \geq 0,05$, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las medias de ambos lados.

El índice de dimorfismo sexual es de 111, 82 (111,22 en el lado derecho y de 112,42 en el izquierdo).

Se ha obtenido una función discriminante para cada lado que marca un punto de corte de 138,25 mm para el lado derecho y 140,21 para el izquierdo (Tabla 18).

Tabla 18. Funciones discriminantes para la longitud de la clavícula

Clavícula	Coefficiente no estandarizado	Constante	Grupo centroide	Punto de corte
Lado derecho	0,146	-20,185	M = 1,775	0,6675
F < 138,25* < M			F = -0,440	
Lado izquierdo	0,143	-20,050	M = 1,878	0,667
F < 140,21* < M			F = -0,544	

*punto de corte, valores superiores pertenecen a clavículas masculinas (M) e inferiores a femeninas (F).

4.2.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN

4.2.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA

La validación cruzada arrojó unos grados de precisión a la hora de estimar el sexo de 87,5% en la clavícula derecha y 89,8%% en la izquierda (Tabla 19). El sesgo de sexo es bajo en ambos lados (2,8 para las clavículas derechas y 0,7 para las izquierdas).

**Tabla 19. Porcentajes de clasificación correcta y error de cada una de las funciones discriminantes.
Validación cruzada.**

		Varones				Mujeres				Promedio	Sesgo de sexo
		Clasificación correcta		Error		Clasificación correcta		Error			
		%	n	%	n	%	n	%	n		
Clavícula derecha	Original	91,5	54	8,5	5	87	214	13	32	87,9	4,5*
	Validación cruzada	89,8	53	10,2	6	87	214	13	32	87,5	2,8*
Clavícula izquierda	Original	90,4	66	9,6	7	90,5	228	9,5	24	90,5	-0,1*
	Validación cruzada	90,4	66	9,6	7	89,7	226	10,3	26	89,8	0,7*

*sesgo de sexo=% de clavículas masculinas correctamente clasificadas - % de clavículas femeninas correctamente clasificadas.

4.2.4.2. COMPARACIÓN CON LA COLECCIÓN DE SAN JOSÉ (HUESO SECO)

El test *t* de Student para muestras independientes señaló que no existen diferencias significativas entre las medias de ambas colecciones ($p \geq 0,05$, Tabla 20).

Tabla 20. Media, desviación estándar y diferencia entre medias (*t* de Student) de ambas colecciones.

Clavícula	Colección	n	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig
Derecha	San José	78	140,15	11,37989	2,761	0,549*
	SESCAM	151	141,04	10,21206		
Izquierda	San José	75	142,80	12,16747	2,361	0,807*
	SESCAM	161	142,42	10,73660		

* $p \geq 0,05$, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las medias de ambas colecciones.

Se compararon los puntos de corte de las funciones discriminantes de ambas colecciones (Tabla 21). La diferencia fue de 1 mm para la clavícula derecha y de 2 mm para la izquierda, siendo los valores mayores en el caso de San José.

Tabla 21. Comparación funciones discriminantes clavícula colección San José y colección SESCAM

	Clavícula derecha	Clavícula izquierda
SAN JOSÉ	139,91	142,78
SESCAM	138,25	140,21

Se han testado las funciones discriminantes obtenidas, aplicando cada una de las funciones discriminantes a la colección contraria y se han obtenido los porcentajes de asignación correcta que muestran las Tablas 22 y 23.

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Tabla 22. Porcentaje de asignación correcta cuando se aplican las funciones discriminantes obtenidas en el hueso seco a la muestra de SESCAM.

	Varones				Mujeres				Promedio	Sesgo de sexo
	Clasificación correcta		Error		Clasificación correcta		Error			
	%	n	%	n	%	n	%	n		
Lado derecho	94,54	52	5,45	3	69,23	63	30,77	28	81,88*	25,31
Lado izquierdo	93,55	58	6,45	4	79,12	71	20,88	19	86,34*	14,43

Tabla 23. Porcentaje de asignación correcta cuando se aplican las funciones discriminantes obtenidas en las imágenes en 3D a la muestra de San José.

	Varones				Mujeres				Promedio	Sesgo de sexo
	Clasificación correcta		Error		Clasificación correcta		Error			
	%	n	%	n	%	n	%	n		
Lado derecho	89,75	35	10,25	4	85,29	34	14,70	5	87,52*	4,46
Lado izquierdo	97,14	34	2,86	1	82,35	34	17,65	6	89,75*	14,79

4.3. ESTUDIO DE LA ESCÁPULA EN 3D

Los resultados de la estadística descriptiva para la muestra de escápula los recoge la Tabla 24.

La prueba de Kolgomorov-Smirnov muestra una significancia de $p > 0,05$ para todas las variables, lo que indica que la muestra cumple con los criterios de inclusión de normalidad. El test de Levene señaló que las varianzas de población son homogéneas.

Tabla 24. Estadística descriptiva. Escápula 3D

Variables	Sexo	Lado	n	Media	Mín.	Máx.	S.D.	Varianza
Longitud de la escápula	M	Derecho	173	159,68	134,90	177,30	9,25864	85,722
		Izquierdo	169	159,88	134,10	184,70	9,24260	85,426
	F	Derecho	386	137,75	121,30	151,50	7,07246	50,020
		Izquierdo	354	138,02	118,30	163,60	8,01022	63,793

	M	Derecho	153	135,17	105,40	158,30	9,02514	81,453
		Izquierdo	147	136,11	112,30	158,80	9,21255	84,871
Longitud del borde lateral	F	Derecho	312	117,11	97,60	140,90	8,24550	67,988
		Izquierdo	310	118,11	101,10	134,50	6,82773	46,618
Anchura máxima	M	Derecho	142	106,46	86,00	124,00	6,94164	48,186
		Izquierdo	137	107,83	92,10	123,40	6,34336	40,238
	F	Derecho	314	92,90	79,80	105,50	5,09862	25,996
		Izquierdo	308	93,51	80,90	106,70	4,94438	24,452
Altura cavidad glenoidea	M	Derecho	65	37,97	34,500	41,20	1,45860	2,128
		Izquierdo	55	37,80	32,40	41,60	1,59425	2,542
	F	Derecho	186	32,70	21,90	37,70	2,10566	4,434
		Izquierdo	174	32,55	25,10	37,60	1,96327	3,854

	M	Derecho	70	27,27	22,40	34,10	1,69024	2,857
Anchura cavidad glenoidea		Izquierdo	56	26,75	24,10	34,60	1,73351	3,005
	F	Derecho	188	23,11	20,10	28,10	1,36247	1,856
		Izquierdo	180	22,81	20,00	29,20	1,50244	2,257

El índice glenoideo fue de 71,35 en el caso de la escápula masculina y de 70,6 en la femenina.

4.3.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERROR INTRA E INTER-OBSERVADOR.

Tabla 25. CCC o Test de Lin para la escápula

									Intra-observador	Inter-observador
	μ_1	μ_2	μ_3	σ_1	σ_2	σ_3	σ_{12}	σ_{13}	$\rho_c = \frac{2\sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\mu_1 - \mu_2)^2}$	$\rho_c = \frac{2\sigma_{13}}{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + (\mu_1 - \mu_3)^2}$
ELONGM	138,5	139,6	137,6	124,5	111	110,5	106,7	104,8	0,91134175*	0,90265899*
	4	7	3	7		9	4	7		
ELONGBL	118,5	119,6	120,0	165,6	168,3		76,84	74,89	0,91176964*	0,887615923****
	9	2	3	9	8	163,4	5	6		
						2				
EANM	94,27	95,28	93,59	42,16	38,82	40,15	37,32	35,68	0,9104623*	0,895689230****
							9	9		
CAVGLEAN	23,91	23,68	23,61	5,24	5	4,93	5,007	4,968	0,97290365**	0,925689756*
C										
CAVGLEALT	33,59	33,39	33,72	7,405	7,413	7,956	7,472	7,023	0,99078813***	0,912222339*

* El CCC muestra un grado de concordancia moderado ($0,90 < p < 0,95$). ** El CCC muestra un grado de concordancia sustancial ($0,95 < p < 0,99$).

*** El CCC muestra un grado de concordancia casi perfecto ($p > 0,99$). **** El CCC muestra un grado de concordancia pobre ($p < 0,90$).

Tanto los errores intra como inter-observador, fueron menores en las medidas tomadas en la cavidad glenoidea (casi perfecto para la altura y sustancial para la anchura en el caso del error intra-observador; y moderado en ambas medidas el caso del error inter-observador). En cambio, al tomar la longitud del borde lateral y la anchura máxima se produce error inter-observador, aunque éste no sea muy elevado.

4.3.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE EDAD

No se hallaron diferencias significativas para la cavidad glenoidea de la escápula en relación a la edad. Sin embargo, ANOVA señaló diferencias significativas para la longitud (máxima y borde lateral) y anchura, por lo que se realizó un test *post hoc* basado en la prueba de Bonferroni.

Tabla 26. Análisis de la varianza

Variable dependiente	Mean Square	F	Sig.
ELONGM	2064,279	13,138	0,001**
ELONGBL	895,576	6,510	0,002**
EANM	422,992	6,185	0,002**
CAVGLEANC	0,970	0,211	0,646*
CAVGLEALT	0,806	0,083	0,773*

* $p > 0,05$ señala que no existen diferencias significativas en relación a la variable seleccionada y la edad.

** $p < 0,05$ señala diferencias significativas en relación a la variable seleccionada y la edad.

Multiple Comparisons**Tabla 27. Test de Bonferroni. Variable dependiente: Escápula_longitud máxima**

lado	(I) grupos de edad	(J) grupos de edad	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
Derecho	Adulto=21-40	Maduro=41-60	2,88415	1,45097	,142*	-,6000	6,3683
		Senil=61-85	-3,48119	1,63248	,100*	-7,4012	,4388
	Maduro=41-60	Adulto=21-40	-2,88415	1,45097	,142*	-6,3683	,6000
		Senil=61-85	-6,36534	1,25046	,100*	-9,3680	-3,3627
	Senil=61-85	Adulto=21-40	3,48119	1,63248	,100*	-,4388	7,4012
		Maduro=41-60	6,36534	1,25046	,100*	3,3627	9,3680
Izquierdo	Adulto=21-40	Maduro=41-60	2,50138	1,50234	,289*	-1,1063	6,1090
		Senil=61-85	-3,74061	1,67007	,077*	-7,7510	,2698
	Maduro=41-60	Adulto=21-40	-2,50138	1,50234	,289*	-6,1090	1,1063
		Senil=61-85	-6,24199	1,27760	,050*	-9,3100	-3,1740
	Senil=61-85	Adulto=21-40	3,74061	1,67007	,077*	-,2698	7,7510
		Maduro=41-60	6,24199	1,27760	,050*	3,1740	9,3100

* El test de Bonferroni indica diferencias no significativas en relación a la edad ($p > 0,05$)

Multiple Comparisons

**Tabla 28. Test de Bonferroni. Variable dependiente:
Escápula_longborde lateral**

lado	(I) grupos de edad	(J) grupos de edad	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
Derecho	Adulto=21-40	Maduro=41-60	1,13175	1,42011	1,000	-2,2795	4,5430
		Senil=61-85	-3,48127	1,64663	,105	-7,4367	,4741
	Maduro=41-60	Adulto=21-40	-1,13175	1,42011	1,000	-4,5430	2,2795
		Senil=61-85	-4,61302	1,27940	,001	-7,6863	-1,5397
	Senil=61-85	Adulto=21-40	3,48127	1,64663	,105	-,4741	7,4367
		Maduro=41-60	4,61302	1,27940	,001	1,5397	7,6863
Izquierdo	Adulto=21-40	Maduro=41-60	1,96447	1,31780	,410	-1,2012	5,1302
		Senil=61-85	-3,91630	1,53722	,033	-7,6091	-,2235
	Maduro=41-60	Adulto=21-40	-1,96447	1,31780	,410	-5,1302	1,2012
		Senil=61-85	-5,88078	1,21410	,050	-8,7973	-2,9642
	Senil=61-85	Adulto=21-40	3,91630	1,53722	,033	,2235	7,6091
		Maduro=41-60	5,88078(*)	1,21410	,000	2,9642	8,7973

* El test de Bonferroni indica diferencias no significativas en relación a la edad (p>0,05).

Multiple Comparisons

**Tabla 29. Test de Bonferroni. Variable dependiente:
Escápula_anc_máx.**

lado	(I) grupos de edad	(J) grupos de edad	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Upper Bound	Lower Bound
Derecho	Adulto=21-40	Maduro=41-60	1,02964	1,00181	,914	-1,3770	3,4363
		Senil=61-85	-2,15179	1,15445	,189	-4,9251	,6216
	Maduro=41-60	Adulto=21-40	-1,02964	1,00181	,914	-3,4363	1,3770
		Senil=61-85	3,18143(*)	,90482	,001*	-5,3551	-1,0078
	Senil=61-85	Adulto=21-40	2,15179	1,15445	,189	-,6216	4,9251

		Maduro=41-60	3,18143(*)	,90482	,001*	1,0078	5,3551
Izquierdo	Adulto=21-40	Maduro=41-60	,57155	1,02221	1,000	-1,8843	3,0274
		Senil=61-85	-2,69943	1,17913	,067	-5,5322	,1334
	Maduro=41-60	Adulto=21-40	-,57155	1,02221	1,000	-3,0274	1,8843
		Senil=61-85	-	,91994	,001*	-5,4811	-1,0608
	Senil=61-85	Adulto=21-40	2,69943	1,17913	,067	-,1334	5,5322
		Maduro=41-60	3,27098(*)	,91994	,001*	1,0608	5,4811

* The mean difference is significant at the .05 level.

4.3.3. DIMORFISMO SEXUAL, ASIMETRÍA Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE

El test *t* de Student para muestras independientes señaló diferencias muy significativas entre las medias de ambos sexos ($p \leq 0,01$, Tabla 30), no así entre las medias de ambos lados ($p \geq 0,05$, Tabla 31). En el primer caso nos indica el marcado dimorfismo sexual de la escápula, y en el segundo, que no hay una asimetría aparente entre los lados derecho e izquierdo.

El índice de dimorfismo sexual fue para la longitud máxima de 115,92 en la escápula derecha y 115,85 en la izquierda; para la longitud del borde lateral, 115,01 y 114,84; para la anchura máxima, 114,21 y 114,97; para la anchura de la cavidad glenoidea, 118 y 117,26; y para la altura de la cavidad glenoidea, 116,11 y 116,14.

Tabla 30. Media, desviación estándar y diferencia entre sexos (t de Student)

		N	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig.
ELONGM	Masculino	342	159,7863	9,23767	25,171	0,000*
	Femenino	768	177,8828	7,53750		
ELONGBL	Masculino	313	135,2393	9,24806	16,139	0,000*
	Femenino	678	117,6729	7,62283		
EANM	Masculino	291	106,7715	6,86205	40,376	0,000*
	Femenino	676	93,1846	4,97144		
CAVGLEANC	Masculino	126	27,0413	1,72196	1,966	0,000*
	Femenino	368	22,9701	1,43845		
CAVGLEALT	Masculino	120	37,8975	1,51815	5,508	0,000*
	Femenino	360	32,6350	2,03656		

**p<0,05, lo que indica que existen diferencias significativas entre las medias de ambos sexos.

**Tabla 31. Media, desviación estándar y diferencia entre lados
(t de Student)**

		N	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig.
ELONGM	Derecha	559	144,54	12,8047	0,978	0,814*
	Izquierda	551	144,7238	13,12180		
ELONGBL	Derecha	499	122,7958	11,85766	2,152	0,243*
	Izquierda	492	123,6524	11,22806		
EANM	Derecha	488	96,8994	8,35163	0,302	0,162*
	Izquierda	479	97,6543	8,40725		
CAVGLEANC	Derecha	258	24,2430	2,35428	0,956	0,190*
	Izquierda	236	23,7521	2,28926		
CAVGLEALT	Derecha	251	34,0701	3,02930	0,337	0,358*
	Izquierda	229	33,8197	2,92750		

* $p \geq 0,05$, lo que indica que no existen diferencias significativas entre las medias de ambos lados.

Las funciones discriminantes extraídas para la escápula tanto por el método por pasos, como por el método univariante, se recogen en las Tablas 32 y 33.

Tabla 32. Funciones discriminantes escápula derecha 3D

Funciones y variables seleccionadas	Coefficiente no estandarizado	Constante	Grupo centroide	Punto de corte
Función 1				
EANM	0,075	-21,924	M = 2,223	0,6305
ELONGM	0,101		F = -0,962	
Función 2				
CAVGLEAL	0,166			
CAVGLEAN	0,379	-20,884	M = 2,720	0,954
ELONGBL	-0,029		F = -0,812	
ELONGM	0,068			
Función 3				
CAVGLEAL	0,275	-19,949	M = 2,421	0,7895
CAVGLEAN	0,437		F = -0,842	
Función 4				
ELONGM	0,128	-18,500	M = 1,939	0,535
			F = -0,869	
F <144,53* < M				
Función 5				
EANM	0,174	-16,888	M = 1,603	0,4525
			F = -0,698	
F <97,06* < M				

Función 6 ELONGBL	0,117	-14,335	M = 1,400 F = -0,655	0,3725
F <122,52* < M				
Función 7 CAVGLEAL	0,510	-17,384	M = 1,993 F = -0,696	0,6485
F <34,09* < M				
Función 8 CAVGLEAN	0,686	-16,627	M = 2,076 F = -0,773	0,6515
F <24,24* < M				

Tabla 33. Funciones discriminantes escápula izquierda 3D

Funciones y variables seleccionadas	Coefficiente no estandarizado	Constante	Grupo centroide	Punto de corte
Función 1 EANM ELONGM	0,105 0,073	-20,849	M = 2,160 F = -0,870	0,645
Función 2 CAVGLEAL CAVGLEAN EANCM ELONGM	0,227 0,259 0,042 0,047	-24,317	M = 3,047 F = -0,751	1,148
Función 3 CAVGLEAL CAVGLEAN	0,364 0,380	-21,335	M = 2,605 F = -0,808	0,8985

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Función 4 ELONGM	0,119	-17,247	M = 1,807 F = -0,799	0,504
F <144,93* < M				
Función 5 EANCM	0,184	-17,933	M = 1,803 F = -0,767	0,518
F <97,46* < M				
Función 6 ELONGBL	0,129	-15,983	M = 1,558 F = -0,710	0,424
F <123,20* < M				
Función 7 CAVGLEAL	0,531	-17,969	M = 2,118 F = -0,669	0,7245
F <33,84* < M				
Función 8 CAVGLEAN	0,641	-15,227	M = 1,925 F = -0,599	0,663
F <23,75* < M				

4.3.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN

4.3.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA

La validación cruzada arrojó porcentajes elevados de asignación correcta para la mayoría de las funciones discriminantes de la escápula como recogen las Tablas 34 y 35, por encima del 90% de asignaciones correctas para las funciones 1-4 y 7 y 8, y por encima del 80% para la 5 (anchura máxima) y la 6 (longitud del borde lateral), similares para ambas escápulas.

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Tabla 34. Porcentaje de clasificación correcta y validación cruzada para la escápula derecha 3D

		Masculino				Femenino				Total	Sesgo de sexo**
		Porcentaje correcto		Error		Porcentaje correcto		Error			
		%	n	%	n	%	n	%	n		
Function 1	Original	84,6	121	15,4	22	98,8	332	1,2	4	94,6	-14,2
	Cross Validation	84,6	121	15,4	22	98,8	332	1,2	4	94,6	-14,2
Function 2	Original	91,7	44	8,3	4	100	156	0	0	98	-8,3
	Cross Validation	85,4	41	14,6	7	98,7	154	1,3	2	95,6	-13,3
Function 3	Original	92,2	59	7,8	5	96,7	178	3,3	6	95,6	-4,5
	Cross Validation	90,6	58	9,4	6	96,7	178	3,3	6	95,2	-6,1

Function 4	Original	78,6	136	21,4	37	99,5	384	0,5	2	93	-20,9
	Cross Validation	78,6	136	21,4	37	99,5	384	0,5	2	93	-20,9
Function 5	Original	73,0	108	27,0	40	96,5	328	3,5	12	89,3	-23,5
	Cross Validation	73,0	108	27,0	40	96,5	328	3,5	12	89,3	-23,5
Function 6	Original	76,7	122	23,3	37	93,5	318	6,5	22	88,2	-16,8
	Cross Validation	76,7	122	23,3	37	93,5	318	6,5	22	88,2	-16,8
Function 7	Original	89,2	58	10,8	7	97,8	182	2,2	4	95,6	-8,6
	Cross Validation	89,2	58	10,8	7	97,8	182	2,2	4	95,6	-8,6
Function 8	Original	85,7	60	14,3	10	96,8	182	3,2	6	93,8	-11,1
	Cross Validation	85,7	60	14,3	10	96,8	182	3,2	6	93,8	-11,1

*Sesgo de sexo = % de varones correctamente clasificados - % de féminas correctamente clasifica

Tabla 35. Porcentaje de clasificación correcta y validación cruzada para la escápula izquierda 3D

		Male				Female				Total	Sex bias*
		Percentage correct		Error		Percentage correct		Error			
		%	n	%	n	%	n	%	n		
Function 1	Original	85,3	116	14,7	20	97,6	326	2,4	8	94	-12,3
	Cross Validation	85,3	116	14,7	20	97,6	326	2,4	8	94	-12,3
Function 2	Original	94,4	34	5,6	2	98,6	140	1,4	2	97,8	-4,2
	Cross Validation	91,7	33	8,3	3	98,6	140	1,4	2	97,2	-6,9
Function 3	Original	94,4	51	5,6	3	98,9	172	1,1	2	97,8	-4,5
	Cross Validation	94,4	51	5,6	3	98,9	172	1,1	2	97,8	-4,5

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Function 4	Original	76,9	130	23,1	39	97,4	372	2,6	10	91,1	-20,5
	Cross Validation	76,9	130	23,1	39	97,4	372	2,6	10	91,1	-20,5
Function 5	Original	79	113	21	30	96,4	324	3,6	12	91,2	-17,4
	Cross Validation	79	113	21	30	96,4	324	3,6	12	91,2	-17,4
Function 6	Original	74,7	115	25,3	39	97	328	3	10	90	-22,3
	Cross Validation	74,7	115	25,3	39	96,4	326	3,6	12	89,6	-21,7
Function 7	Original	85,5	47	14,5	8	98,9	172	1,1	2	95,6	-13,4
	Cross Validation	85,5	47	14,5	8	98,9	172	1,1	2	95,6	-13,4
Function 8	Original	76,8	43	23,2	13	95,6	172	4,4	8	91,1	-18,8
	Cross Validation	76,8	43	23,2	13	95,6	172	4,4	8	91,1	-18,8

4.3.4.2. APLICACIÓN EN LA COLECCIÓN DE SAN JOSÉ (HUESO SECO)

El test *t* de Student entre ambas muestras (Tablas 36 y 37) señaló diferencias significativas para la anchura máxima de la escápula ($p=0,011$ para la derecha y $p=0,004$ para la izquierda), la longitud máxima ($p=0,003$ y $p=0,004$, respectivamente) y la anchura de la cavidad glenoidea ($p=0,000$, en ambos lados); no así para la longitud del borde lateral ($p=0,173$ y $p=0,209$) ni para la altura de la cavidad glenoidea ($p=0,055$ y $p.=0,079$).

Tabla 36. Media, desviación estándar y diferencia entre medias (*t* de Student) de ambas colecciones. Escápula derecha.

		n	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig.
ELONGM	SESCAM	223	152,33	13,66288	1,233	0,003*
	San José	69	146,70	12,69128		
ELONGBL	SESCAM	194	128,36	12,86813	3,141	0,173**
	San José	63	125,91	10,68793		
EANM	SESCAM	189	100,76	9,74296	7,002	0,011*
	San José	66	97,41	6,95689		
CAVGLEALT	SESCAM	158	34,87	3,20118	0,064	0,055*
	San José	42	36,01	3,19795		
CAVGLEANC	SESCAM	164	24,89	2,55377	0,015	0,000**
	San José	42	26,46	2,55685		

*nivel de significación $p \leq 0,05$; **nivel de significación $p > 0,05$

Tabla 37. Media, desviación estándar y diferencia entre medias (*t* de Student) de ambas colecciones. Escápula izquierda.

		N	Media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig.
ELONGM	SESCAM	222	152,45	14,03607	1,521	0,004*
	San José	69	146,81	12,75047		
ELONGBL	SESCAM	195	129,68	12,78063	5,533	0,209**
	San José	55	127,32	10,23727		
EANM	SESCAM	187	102,63	11,68173	9,905	0,004*
	San José	62	98,11	6,95689		
CAVGLEALT	SESCAM	142	34,59	3,14869	0,004	0,079**
	San José	39	35,59	3,10465		
CAVGLEANC	SESCAM	146	24,33	2,49487	0,003	0,000*
	San José	45	26,26	2,56461		

*nivel de significación $p \leq 0,05$; **nivel de significación $p > 0,05$

Al comparar las funciones discriminantes univariantes de ambas colecciones, obtenemos los resultados que recoge la Tabla 38, donde se aprecian unos valores más altos para la altura y anchura de la cavidad glenoidea así como para las longitudes máxima y del borde lateral, en el caso de San José; y similar entre ambas colecciones en el caso de la anchura máxima de la escápula.

Tabla 38. Comparación funciones discriminantes escápula San José/SESCAM.

		Escápula derecha	Escápula izquierda
ELONGM	San José	146,70	146,88
	SESCAM	144,53	144,93
EANM	San José	97,41	98,11
	SESCAM	97,06	97,46
ELONGBL	San José	125,91	127,32
	SESCAM	122,52	123,20
CAVGLEALT	San José	35,99	35,55
	SESCAM	34,09	33,84
CAVGLEANC	San José	26,49	26,26
	SESCAM	24,24	23,75

A pesar de las diferencias entre ambas colecciones, la aplicación de las funciones discriminantes realizadas sobre la escápula en 3D a la muestra de San José alcanza porcentajes de asignación correcta que van del 72,4 (para la altura de la cavidad glenoidea) al 93% (para la anchura y la longitud máxima de la escápula) (Tabla 39).

Tabla 39. Aplicación de las funciones discriminantes a la muestra de hueso seco.

		Escápulas masculinas				Escápulas femeninas				Total	Sesgo de sexo*
		Asignación correcta		Error		Asignación correcta		Error			
		%	n	%	n	%	n	%	n		
Función 1	Lado derecho	88,8	24	11,11	3	96,7	30	3,23	1	92,75	-7,9
	Lado izquierdo	100	24	0	0	87,1	27	12,9	4	93,55	12,9
Función 3	Lado derecho	87	20	13	3	78,6	11	21,4	3	83,8	8,4
	Lado izquierdo	84,2	16	15,8	3	81,3	13	18,8	3	82,9	2,9
Función 4	Lado derecho	84,2	32	15,8	6	93,7	30	6,3	2	88,95	-9,5
	Lado izquierdo	94,1	32	5,9	2	85,3	29	14,7	5	89,7	8,8

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Función 5	Lado derecho	93,5	29	6,5	2	78,8	26	21,2	7	86,15	14,7
	Lado izquierdo	96,7	29	3,3	1	78,6	22	21,4	6	87,65	18,1
Función 6	Lado derecho	87,1	27	12,9	4	75	18	25	6	81,05	12,1
	Lado izquierdo	90,3	28	9,7	3	82,6	19	17,4	4	86,45	7,7
Función 7	Lado derecho	88,5	23	11,5	3	56,3	9	43,8	7	72,4	32,2
	Lado izquierdo	87	20	13	3	62,5	10	37,5	6	74,7	24,5
Función 8	Lado derecho	100	26	0	0	56,3	9	43,8	7	78,1	43,7
	Lado izquierdo	96	24	4	1	60	12	40	8	78	36

4.4. ESTUDIO DEL ESTERNÓN EN 3D.

La estadística descriptiva para cada uno de los sexos se muestra en la Tabla 40.

El test K-S señaló que la muestra cumple con el criterio de normalidad; así mismo el test de Levene señaló la homogeneidad de varianzas.

Tabla 40. Estadística Descriptiva. Grado de significancia entre los sexos (*t* de Student)

Variables	Sexo	N	Mínimo	Máximo	Media	S.D.	Sig.
Longitud manubrio	M	88	42,30	59,70	50,6011	3,82489	0,000*
	F	103	34,50	52,90	44,2330	4,01876	
Anchura manubrio	M	67	44,50	83,20	58,6567	7,27137	0,000
	F	92	39,60	60,10	49,4717	4,31428	
Longitud cuerpo	M	94	88,10	141,80	105,7596	8,89971	0,000*
	F	102	56,30	112,30	85,8471	9,43713	
Longitud	M	86	136,10	187,80	156,2919	10,05739	0,000*

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

total	F	102	99,90	157,40	130,0206	9,41844	
Grosor	M	80	9,30	19,10	12,7800	1,98139	0,000*
	F	91	6,50	15,30	10,6516	1,56065	
Anchura máxima	M	90	20,70	49,70	33,0222	5,03790	0,000*
	F	91	16,60	43,20	27,8659	4,03406	
Anchura 1ª est.	M	98	19,90	36,10	26,4684	3,62285	0,000*
	F	102	12,00	32,80	22,3814	3,04214	
Anchura 3ª est.	M	90	18,80	49,70	32,8444	5,10411	0,000*
	F	92	16,60	43,20	27,6413	4,09414	
Índice esternal	M	86	32,44	61,44	48,2187	5,32293	0,000*
	F	102	35,95	77,44	52,2198	8,46183	
Área esternal	M	56	3802,24	8990,3	6151,56	944,51	0,000*
	F	81	2344,32	5641,92	4278,52	534,47	

4.4.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERROR INTRA E INTER-OBSERVADOR.

El test de Lin señaló para el error intraobservador un grado de concordancia casi perfecto para la longitud del cuerpo; sustancial, para el resto de variables, salvo para el grosor donde el grado de concordancia es pobre. En cuanto al error interobservador, el grado de concordancia resultó sustancial para la longitud del cuerpo; moderado para la longitud del manubrio y la anchura en la tercera esternebra y pobre en el grosor y la anchura en la primera esternebra.

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Tabla 41. Coeficiente de Correlación de Concordancia o Test de Lin para la escápula

	μ_1	μ_2	μ_3	σ_1	σ_2	σ_3	σ_{12}	σ_{13}	Intra-observer error	Inter-observer error
									$\rho_c = \frac{2\sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\mu_1 - \mu_2)^2}$	$\rho_c = \frac{2\sigma_{13}}{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + (\mu_1 - \mu_3)^2}$
LONGM	45,83	46,26	45,82	17,34	13,86	15,82	14,85	16,03	0,96642475	0,946504409
ANCM	51,62	50,07	52,62	64,13	35,82	63,84	38,76	61,73	0,95737891	0,90173973
LONGC	95,97	95,83	94,59	137,513	146,305	117,703	140,569	122,9	0,990485665	0,976506525
Grosor	11,55	10,9	16,44	3,247	2,92	3,03	2,83	12,84	0,85929195	0,83569473
SBWS₁	23,36	23,14	23,11	10,43	10,97	10,20	9,395	10,24	0,98910352	0,87550466
SBWS₃	28,24	27,80	28,11	11,36	11,01	11,57	11,39	11,80	0,98752333	0,935846666

4.4.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA LOS DIFERENTES GRUPOS DE EDAD.

El estudio de la varianza indicó un valor de $p > 0,05$ para la mayoría de variables del esternón, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los grupos de edad y cada una de estas variables dependientes.

Sin embargo, ANOVA indicó un valor de $p \leq 0,05$ para la longitud del cuerpo y el grosor, por lo que se hizo necesario determinar por un segunda prueba si la edad influye en estas variables. Se realizó la prueba de Bonferroni, que dio un resultado de $p > 0.05$, no encontrando diferencias significativas en los diferentes grupos de edad y las variables grosor y longitud del cuerpo. Por lo tanto, los tres grupos de edad se agruparon en análisis posteriores.

Tabla 42. Análisis de la Varianza.

Dependent variable	Mean Square	F	Sig.
Longitud manubrio	34,743	1,357	0,260*
Anchura manubrio	47,284	0,882	0,416*
Longitud cuerpo	974,723	5,558	0,004**
Grosor	16,468	4,014	0,020**
Anchura 1ª est.	61,624	4,158	0,17*
Anchura 3ª est.	142,180	5,312	0,06*

* $p > 0.05$ indica que no existen diferencias significativas entre los grupos de edad y la variable dependiente.

** $p \leq 0.05$, indica que es necesario determinar si la edad influye en estas variables a través del test de Bonferroni.

Multiple Comparisons

Tabla 43. Test de Bonferroni. Dependent Variable: Esternón_longitud cuerpo

(I) Grupo de edad	(J) Grupo de edad	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Upper Bound	Lower Bound
Adulto=Edad=21-40	Maduro=Edad=41-60	-,42881	2,31626	1,000*	-6,0226	5,1650
	Senil=Edad=61-100	-8,82632(*)	3,06062	,113*	16,2178	-1,4348
Maduro=Edad=41-60	Adulto=Edad=21-40	,42881	2,31626	1,000*	-5,1650	6,0226
	Senil=Edad=61-100	-8,39751(*)	2,63563	,115*	14,7626	-2,0324
Senil=Edad=61-100	Adulto=Edad=21-40	8,82632(*)	3,06062	,013*	1,4348	16,2178
	Maduro=Edad=41-60	8,39751(*)	2,63563	,015*	2,0324	14,7626

* The mean difference is significant at the .05 level.

Multiple Comparisons

Tabla 44. Test de Bonferroni. Dependent Variable: Esternón_grosor

(I) Grupo de edad	(J) Grupo de edad	Mean Difference (I- J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Upper Bound	Lower Bound
Adulto=Edad=21-40	Maduro=Edad=41-60	-,79310	,37749	,111*	-1,7059	,1197
	Senil=Edad=61-100	-1,46492(*)	,54008	,022*	-2,7709	-,1589
Maduro=Edad=41-60	Adulto=Edad=21-40	,79310	,37749	,111*	-,1197	1,7059
	Senil=Edad=61-100	-,67182	,47306	,472*	-1,8158	,4721
Senil=Edad=61-100	Adulto=Edad=21-40	1,46492(*)	,54008	,022*	,1589	2,7709
	Maduro=Edad=41-60	,67182	,47306	,472*	-,4721	1,8158

* The mean difference is significant at the .05 level.

4.4.3. DIMORFISMO SEXUAL Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE

La prueba t de Student para muestras independientes mostró una alta significación entre las medias de los sexos en cada una de las variables (Tabla 40, $p \leq 0,001$).

Del análisis discriminante por pasos se extrajeron las funciones 1 a 3 que recoge la Tabla 45, y del análisis univariado el resto, de la 4 a la 10.

Tabla 45. Funciones discriminantes esternón 3D

Funciones y variables seleccionadas	Coefficiente no estandarizado	Constante	Grupo centroide	Punto de corte
Función 1				
Longitud manubrio	0,168	-17,552	M = 1,838	0,264
Longitud cuerpo	0,90		F = -1,310	
Función 2				
Longitud manubrio	0,180		M = 1,300	0,212
Anchura manubrio	0,099	-13,679	F = -0,876	
Función 3				
Longitud cuerpo	0,088		M = 1,229	0,0535
Grosor	0,184	-12,372	F = -1,122	
Anchura 3ª est.	0,059			
Función 4				
Longitud manubrio			M = 0,874	0,064
F <47,24* < M	0,254	-12,000	F = -0,746	
Función 5				
Anchura manubrio			M =0,925	0,1255
F <53,36* < M	0,174	-9,284	F = -0,674	

Función 6				
Longitud cuerpo			M = 1,128	0,044
F <95,30* < M	0,109	-10,388	F = -1,040	
Función 7				
Grosor			M = 0,640	0,0385
F <11,65* < M	0,565	-6,581	F = -0,563	
Función 8				
Anchura 1ª est.			M = 0,624	0,012
F <24,42* < M	0,299	-7,302	F = -0,600	
Función 9				
Anchura 3ª est.			M = 0,569	0,006
F < 30,27* < M	0,216	-6,538	F = -0,557	
Función 10				
Anchura máxima			M = 0,568	0,003
F < 30,46* < M	0,219	-6,672	F = -0,562	

*punto de corte, valores superiores pertenecen a esternones masculinos (M) e inferiores a femeninos (F).

4.4.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN

4.4.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA

Los resultados de la clasificación original y de la validación cruzada señalaron los mayores porcentajes de clasificación correcta para las funciones 1 y 3, como se recoge en la Tabla 46, con valores por encima del 90% y un sesgo de sexo bajo (-4,6 y -0,3, respectivamente); las funciones 2, 5 y 6 con porcentajes por encima del 80%, y también un sesgo de sexo bajo; y las restantes (función 4 y funciones 7-10), del 78 al 71,9%.

Tabla 46. Porcentajes de clasificación correcta y error de cada una de las funciones discriminantes. Validación cruzada.

		Varones				Mujeres				Promedio	Sesgo de sexo
		Clasificación correcta		Error		Clasificación correcta		Error			
		%	n	%	n	%	n	%	n		
Función 1	C. original	91,9	79	8,1	7	92,2	94	7,8	8	92	-0,3
	V.cruzada	89,5	77	10,5	9	94,1	96	5,9	6	91,5*	-4,6
Función 2	C. original	85,5	53	14,5	9	88	81	12	11	87	-2,5
	V.cruzada	83,9	52	16,1	10	86,9	80	14,1	12	85,4*	-3
Función 3	C. original	90,5	67	9,5	7	90,2	74	9,8	8	90,4	-0,3
	V.cruzada	90,5	67	9,5	7	90,2	74	9,8	8	90,4*	-0,3
Función 4	C. original	73,9	65	26,1	23	81,6	84	18,4	19	78	-7,7

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

	V.cruzada	73,9	65	26,1	23	81,6	84	18,4	19	78	-7,7
Función 5	C. original	76,1	51	23,9	16	87	80	13	12	82,4	-10,9
	V.cruzada	76,1	51	23,9	16	87	80	13	12	82,4*	-10,9
Función 6	C. original	85,1	80	14,9	14	85,3	87	14,7	15	85,2	-0,2
	V.cruzada	85,1	80	14,9	14	85,3	87	14,7	15	85,2*	-0,2
Función 7	C. Original	58,8	47	41,3	33	84,6	77	15,4	14	72,5	-25,8
	V.cruzada	67,5	54	32,5	26	75,8	69	24,2	22	71,9	-8,3
Función 8	C. Original	67,3	66	32,7	32	79,4	81	20,6	21	73,5	-12,1
	V.cruzada	67,3	66	32,7	32	79,4	81	20,6	21	73,5	-12,1
Función 9	C. Original	73,3	66	26,7	24	78,3	72	21,7	20	75,8	-5
	V.cruzada	73,3	66	26,7	24	78,3	72	21,7	20	75,8	-5
Función 10	C. Original	72,2	65	27,8	25	76,9	70	23,1	21	74,6	-4,7
	V.cruzada	72,2	65	27,8	25	76,9	70	23,1	21	74,6	-4,7

*funciones más discriminantes entre el esternón masculino y femenino.

4.4.4.2 COMPARACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN HUESO SECO.

El test t de Student de ambas colecciones halló diferencias significativas en el grosor y la anchura de la 1ª esternebra, tal y como se recoge en la Tabla 47.

Tabla 47. Media, desviación estándar y diferencia entre medias (t de Student) de ambas colecciones

Variable	Colección	n	media	S.D.	Diferencia entre medias	
					F	Sig
Longitud manubrio	San José	63	47,74	4,85156	0,744	0,430
	SESCAM	191	47,17	5,04955		
Longitud cuerpo	San José	77	96,05	13,39966	0,011	0,718
	SESCAM	196	95,40	13,54150		
Longitud total	San José	55	142,47	15,62251	0,545	0,860
	SESCAM	188	142,03	16,31258		
Grosor	San José	94	12,37	1,86517	0,053	0,005*
	SESCAM	171	11,65	2,06113		
Anchura 1ª ester.	San José	96	25,70	3,93498	0,201	0,007*

	SESCAM	200	24,38	3,91023		
Anchura 3 ^a ester.	San José	82	31,31	5,73106	0,742	0,132
	SESCAM	182	30,21	5,29548		
Anchura máxima	San José	71	32,08	5,74108	0,890	0,029*
	SESCAM	181	30,43	5,23159		

* $p \leq 0,05$, lo que indica diferencias muy significativas entre las medias.

Al comparar las funciones univariantes (Tabla 48) obtenidas de la colección en hueso seco respecto a las imágenes de TC, se aprecia que tanto la longitud del manubrio como la del cuerpo difieren en escasos 0,4 y 0,6 mm respectivamente, mientras que tanto el grosor como las anchuras del cuerpo del esternón son ligeramente superiores en el hueso seco.

Tabla 48. Comparación funciones discriminantes univariantes del esternón colección San José y colección SESCAM

	Longitud manubrio	Longitud cuerpo	Longitud total	Grosor	Anchura 1ª ester.	Anchura 3ª ester.	Anchura máxima
San José	47,63	95,91	141,98	12,36	25,66	31,31	32,11
SESCAM	47,24	95,30	141,94	11,65	24,42	30,27	30,46

Al aplicar las funciones discriminantes obtenidas de las imágenes de TC se obtienen los porcentajes de asignación correcta que recoge la tabla 49. Las funciones que mejor clasifican a los esternones como femeninos o masculinos de las tres muestras son la función 1, la 2, la 4 y la 6.

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Tabla 49. Aplicación de las funciones discriminantes en tres muestras de hueso seco

		Masculino				Femenino				Porcentaje	
		Porcentaje correcto		Error		Porcentaje correcto		Error		Total	Sex bias
		%	n	%	n	%	n	%	n		
Function 1	San José	88,2	30	11,8	4	84,4	28	15,6	5	86,3*	3,8
	CISC	87	40	13	6	84	42	16	8	85,5*	3
	Santarém XXI	80,9	17	19,1	4	81,2	13	18,8	3	81,05*	-0,3
Function 2	San José	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CISC	86,4	38	13,6	6	83,3	40	16,7	8	84,8*	3,1
	Santarém XXI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Function 3	San José	51,3	19	48,7	18	100	23	0	0	75,6	-48,7

	CISC	23,8	10	76,2	32	100	35	0	0	61,9	-76,2
	Santarém XXI	35,7	5	64,3	9	100	8	0	0	67,8	-64,3
Function 4	San José	87,9	29	12,1	4	83,3	25	16,7	5	85,6*	6,6
	CISC	84,4	38	15,6	7	65,9	31	34,1	16	75,15	18,5
	Santarém XXI	80,9	17	19,1	4	81,2	13	18,8	3	81,05*	-0,3
Function 5	San José	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CISC	65,2	30	34,8	16	92	46	8	4	78,6	-26,8
	Santarém XXI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Function 6	San José	90,5	38	9,5	4	87,5	28	12,5	4	89*	3
	CISC	68,1	32	31,9	15	93	40	7	3	80,5*	-24,9
	Santarém XXI	66,6	10	33,3	5	86,6	13	13,4	2	76,6	-20

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Function 7	San José	84,3	43	15,7	8	64,1	25	35,9	14	74,2	20,2
	CISC	75,5	37	24,5	12	65,1	28	34,9	15	70,3	10,4
	Santarém XXI	80	16	20	4	31,6	6	68,4	13	55,8	48,4
Function 8	San José	81,5	44	18,5	10	66,7	28	33,3	14	74,1	14,8
	CISC	73,3	33	26,7	12	80,5	33	19,5	8	76,9	-7,2
	Santarém XXI	66,7	14	33,3	7	61,1	11	38,9	7	63,9	5,6
Function 9	San José	83,3	45	16,7	9	71,4	30	28,6	12	77,3	11,9
	CISC	72,7	32	27,3	12	76,9	30	23,1	9	74,8	-4,2
	Santarém XXI	57,1	12	42,9	9	55,5	10	44,5	8	56,3	1,6
Function 10	San José	88,7	47	11,3	6	80	32	20	8	84,3*	8,7
	CISC	79,1	34	20,9	9	83,3	30	16,7	6	81,2*	-4,2
	Santarém XXI	68,4	13	31,6	6	56,2	9	43,8	7	62,3	12,2

Índice esternal

Al aplicar la Ley de Hyrtl, con un punto de corte de 50% se obtiene un índice de clasificación de 62,8%. Los resultados mostraron que en las mujeres el manubrio en relación con el cuerpo del esternón es mayor que en los hombres. Aunque se cumple la ley de Hyrtl, hay una considerable superposición entre los hombres y las mujeres.

Tabla 50. Índice esternal (IE) y ley de Hyrtl

	Masculino				Femenino				Total
	Porcentaje correcto		Error		Porcentaje correcto		Error		
	%	n	%	n	%	n	%	n	
IE (punto de corte: 50.35)	67,4	58	32,6	28	57,8	59	42,2	43	62,2
Ley de Hyrt (punto de corte: 50)	67,4	58	32,6	28	58,8	60	41,2	42	62,8

4.5. ESTUDIO DEL ESTERNÓN DE LA COLECCIÓN SAN JOSÉ

Las características de la muestra (estadística descriptiva para todas las variables del esternón) en ambos sexos se presentan en la Tabla 51.

El test de Kolgomorov-Smirnov mostró una significación mayor que 0,05 para todas las variables, lo que indica que éstas siguen un patrón normal: la muestra cumple con los criterios de inclusión de normalidad.

El test de Levene mostró que las varianzas poblacionales son homogéneas. Debido a estos dos hechos, la prueba t de Student se aplicó al análisis de dimorfismo sexual.

Tabla 51 . Estadística Descriptiva Esternón Hueso Seco

Variables	Sexo	N	Media	Mín	Max	S.D.	Sig.
Longitud manubrio	M	33	50.2318	42.22	63.05	4.47854	0.000*
	F	30	44.9693	35.50	56.81	3.69193	
Longitud cuerpo	M	43	104.7879	89.43	129.45	8.32633	0.000*
	F	34	84.7712	71.65	101.34	8.66620	
Longitud total	M	29	154.1341	137.96	187.41	9.52599	0.000*
	F	26	129.4715	114.87	146.21	9.59184	
Grosor	M	51	13.3365	9.75	16.68	1.57664	0.000*
	F	43	11.2305	7.70	13.93	1.51005	
Anchura máxima	M	43	34.6126	25.55	45.08	4.83285	0.000*
	F	28	28.1889	16.43	35.18	4.81705	
Anchura 1ª esternebra	M	54	27.7091	21.48	37.09	3.59374	0.000*
	F	42	23.1260	15.55	28.74	2.66069	
Anchura 3ª esternebra	M	49	33.7692	25.13	45.08	4.86097	0.000*
	F	33	27.6488	16.43	35.18	4.96103	

Índice esternal	M	29	47.6629	40.42	61.74	5.31358	0.001*
	F	26	54.0349	41.74	69.35	7.23452	

* $p \leq 0.05$, el test t de Student indica diferencias muy significativas entre las medias de ambos sexos.

4.5.1. REPRODUCIBILIDAD Y CONCORDANCIA. ERRORES INTRA E INTER-OBSERVADOR.

El análisis del coeficiente de correlación de concordancia (CCC) indicó una concordancia casi perfecta en todas las variables, habiendo estimado errores, tanto intra-e inter-observador, salvo en el grosor que indica un grado sustancial en ambos (Tabla 52). El método cumple con los criterios de reproducibilidad y concordancia.

Tabla 52. Coeficiente de Correlación de Concordancia (CCC) o Test de Lin

	μ_1	μ_2	μ_3	σ_1	σ_2	σ_3	σ_{12}	σ_{13}	Intra-observer error $\rho_c = \frac{2\sigma_{12}}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + (\mu_1 - \mu_2)^2}$	Inter-observer error $\rho_c = \frac{2\sigma_{13}}{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + (\mu_1 - \mu_3)^2}$
ML	48.05	48.12	48.19	34.66	34.91	34.65	34.75	34.63	0.99905535*	0.99901095*
SB	99.99	99.97	99.87	337.14	338.89	339.97	337.98	338.5	0.99990986*	0.99984222*
T	12.73	12.79	12.93	5.21	5.25	4.87	5.22	4.99	0.98771215**	0.98537381**
SBMW	30.87	30.85	31.15	17.89	17.44	18.84	17.64	18.31	0.99865367*	0.9947728*
SBWS ₁	26.15	26.07	26.19	17.33	17.51	17.83	17.40	17.53	0.99889199*	0.99715268*
SBWS ₃	30.87	30.86	31.15	17.89	17.44	18.84	17.64	18.31	0.99865367*	0.9947728*

*CCC muestra un grado de concordancia casi perfecto. **CCC muestra un grado de concordancia sustancial.

4.5.2. ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) PARA DIFERENTES GRUPOS DE EDAD

El estudio de la varianza indicó un valor de $p > 0,05$ para la longitud y anchura del manubrio, la longitud del cuerpo y la anchura máxima y en la 3ª esternebra, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los grupos de edad y cada una de estas variables dependientes (Tabla 53).

Sin embargo, ANOVA indicó un valor de $p \leq 0,05$ para la anchura en la 1ª esternebra, por lo que se hizo necesario determinar por un segunda prueba si la edad influye en esta variable. Se realizó la prueba de Bonferroni, que dio un resultado de $p > 0,05$, no encontrando diferencias significativas en los diferentes grupos de edad y dicha variable (Tabla 54). Por lo tanto, los tres grupos de edad se agruparon en análisis posteriores.

Tabla 53. Análisis de la Varianza.

Dependent variable	Mean Square	F	Sig.
Longitud manubrio	11,085	0,622	0,541*
Longitud cuerpo	307,532	1,835	0,170*
Anchura 1ª esternebra	54,765	3,870	0,026**
Anchura 3ª esternebra	17,705	0,501	0,609*
Anchura máxima	25,483	0,731	0,487*
Grosor	6,539	1,722	0,187*

*ANOVA indica un valor $p > 0,05$, por lo que no existen diferencias significativas entre estas variables y los grupos de edad; ** $p \leq 0,05$, indica que es necesario determinar si la edad influye en esta variable mediante Post Hoc Tests.

**Tabla 54. Test de Bonferroni . Variable dependiente:
Anchura 1ª esternebra**

(I) Age group	(J) Age groups	Mean		Sig.	95% Confidence Interval	
		Difference (I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
Adult=Age=21-40	Mature	-4.9264	2.07947	0.062*	-10.0347	0.1819
	Senile	-2.6134	1.95936	0.561*	-7.4266	2.1999
Mature=Age=41-60	Adult	4.9264	2.07947	0.062*	-0.1819	10.0347
	Senile	2.3130	1.04275	0.090*	-0.2485	4.8746
Senile=Age=>60	Adult	2.6134	1.95936	0.561*	-2.1999	7.4266
	Mature	-2.3130	1.04275	0.090*	-4.8746	0.2485

* $p > 0.05$, lo que señala que no existen diferencias significativas para la anchura de la 1ª esternebra en relación a los grupos de edad.

4.5.3. DIMORFISMO SEXUAL Y ANÁLISIS DISCRIMINANTE.

La prueba *t* de Student para muestras independientes mostró una alta significación entre las medias de los sexos en cada una de las variables (Tabla 51, $p \leq 0,001$).

La Tabla 55 proporciona los coeficientes de las funciones discriminantes para predecir el sexo, generados a través del análisis de inclusión por pasos (función 1-3) y del método directo (función 4-10). En el primer caso, para utilizar cada fórmula, cada medición es multiplicada por su coeficiente no estandarizado y al resultado se le añade la constante. El resultado se compara con el punto de corte (media de los centroides de los grupos); valores más altos se consideran masculinos, los valores por debajo se consideran femeninos, y los valores iguales, de sexo indeterminado.

Tabla 55. Funciones discriminantes esternón hueso seco

Funciones y variables seleccionadas	Coficiente no estandarizado	Constante	Grupo centroide	Punto de corte
Función 1				
Longitud total	0.093		M = 1.122	
Anchura máxima	0.091	- 16.464	F = - 1.871	- 0.3745
Función 2				
Longitud del cuerpo	0,107	- 13.684	M = 1.024	- 0.366
Anchura máxima	0,099		F = - 1.756	

Función 3				
Longitud del manubrio	0.181			
Grosor	0.283	- 17.912	M = 0.985	- 0.3285
Anchura 1ª esternebra	0.223		F = - 1.642	
Función 4				
Longitud del cuerpo	0.118	- 11.318	M = 1.043	- 0.138
	F < 95,91* < M		F = - 1.319	
Función 5				
Longitud del manubrio	0.243	- 11.575	M = 0.608	- 0.0305
	F < 47,63* < M		F = - 0.669	
Función 6				
Longitud total	0.105	- 14.908	M = 1.220	- 0.0705
	F < 141,98* < M		F = - 1.361	
Función 7				
Grosor	0.647	- 8.000	M = 0.623	- 0.058
	F < 12,36* < M		F = - 0.739	
Función 8				
Anchura máxima	0.207	- 6.646	M = 0.525	- 0.1405
	F < 32,11* < M		F = - 0.806	

Función 9			M = 0.623	
Anchura 1ª esternebra	0.311	- 7.982	F = - 0.801	- 0.089
	F < 25,66* < M			

Función 10			M = 0.503	
Anchura 3ª esternebra	0.204	- 6.387	F = - 0.746	- 0.1215
	F < 31,31* < M			

Función 11			M = -0.488	0.028
Índice esternal	0.159	-8.030	F = 0.544	
	F > 50.50* > M			

*Punto de corte (valores por encima de este punto pertenecen a esternones masculinos y por debajo a femeninos, salvo para el IE, donde los valores más altos pertenecen a fémias).

4.5.4. MÉTODOS DE VALIDACIÓN.

4.5.4.1. VALIDACIÓN CRUZADA.

La Tabla 56 resume las tasas de exactitud de la predicción, tanto para los datos originales como para la clasificación *leave-one-out*. Para el método *stepwise*, la validación cruzada demostró que las mayores tasas de exactitud son proporcionadas por la longitud del cuerpo del esternón combinado con la anchura máxima (90,7% de la muestra del estudio

correctamente clasificada) y la longitud total del esternón con la anchura máxima (91,8%).

Las funciones 4-11 se obtuvieron al realizar el análisis discriminante de cada variable separadamente por el método directo. Las variables con mayor precisión fueron la longitud total del esternón (89,1%), de la que se obtuvo "la regla 142" y la longitud del esternón (87%) con un punto de corte de 96 mm. Las variables restantes con las tasas de exactitud más bajas (funciones 7-11) son la anchura de la 3ª esternebra (70,7%) y el grosor del esternón (74,5%). De estas variables que proporcionan tasas de exactitud más bajas debe notarse que, aunque han arrojado diferencias muy significativas entre las medias de ambos sexos según la prueba de Student, el alto grado de dispersión de los valores limita su utilidad en algunos casos (Jit et al., 1980).

Los sesgos de sexo en las funciones multivariadas cruzadas son bajos, con individuos masculinos y femeninos igualmente clasificados (-0,8, función 3, 4,1, función 1), excepto para la función 2 (7,7). Los sesgos de las funciones univariadas van desde un mínimo de 0,1 para el grosor del cuerpo del esternón hasta un máximo de 13,6 para la longitud del manubrio.

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Tabla 56. Porcentajes de clasificación correcta de las funciones discriminantes. Validación cruzada.

		Masculinos				Femeninos				Total	Sesgo de sexo*
		% de asignación correcta		Error		% de asignación correcta		Error			
		%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Función 1	Original	96.2	25	3.8	1	94,1	16	5.9	1	95.3	2.1
	Validación cruzada	92.3	24	7.7	2	88.2	15	11.8	2	90.7	4.1
Función 2	Original	94.7	36	5.3	2	87.0	20	13.0	3	91.8	7.7
	Validación cruzada	94.7	36	5.3	2	87.0	20	13.0	3	91.8	7.7
Función 3	Original	89.7	26	10.3	3	87.0	20	13.0	3	88.5	2.7
	Validación cruzada	86.2	25	13.8	4	87.0	20	13.0	3	86.5	-0.8

Función 4	Original	88.4	38	11.6	5	85.3	29	14.7	5	87	3.1
	Validación cruzada	88.4	38	11.6	5	85.3	29	14.7	5	87	3.1
Función 5	Original	69.7	23	30.3	10	83.3	25	16.7	5	76.2	-13.6
	Validación cruzada	69.7	23	30.3	10	83.3	25	16.7	5	76.2	-13.6
Función 6	Original	93.1	27	6.9	2	84.6	22	15.4	4	89.1	8.5
	Validación cruzada	93.1	27	6.9	2	84.6	22	15.4	4	89.1	8.5
Función 7	Original	74.5	38	21.6	13	74.4	32	25.6	11	74.5	0.1
	Validación cruzada	74.5	38	21.6	13	74.4	32	25.6	11	74.5	0.1
Función 8	Original	74.4	32	25.6	11	78.6	22	21.4	6	76.1	-4.2
	Validación cruzada	74.4	32	25.6	11	78.6	22	21.4	6	76.1	-4.2
Función 9	Original	70.4	38	29.6	16	81.0	34	19.0	8	75	-10.6

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

	Validación cruzada	70.4	38	29.6	16	81.0	34	19.0	8	75	-10.6
Función 10	Original	69.4	34	30.6	15	72.7	24	27.3	9	70.7	-3.3
	Validación cruzada	69.4	34	30.6	15	72.7	24	27.3	9	70.7	-3.3
Función 11	Original	75.9	22	24.1	7	69.2	18	30.8	8	72.7	6.7
	Validación cruzada	75.9	22	24.1	7	69.2	18	30.8	8	72.7	6.7

*Sex bias= % males correctly classified - % females correctly classified.

4.5.4.2. APLICACIÓN DE LAS FUNCIONES DISCRIMINANTES EN DOS SERIES PORTUGUESAS DE ESQUELETOS IDENTIFICADOS: SANTARÉM XXI Y CISC.

La Tabla 57 enumera los resultados de la aplicación de las funciones discriminantes en las muestras esqueléticas portuguesas. Las variables con mayores tasas de exactitud en ambas muestras son la longitud total del esternón combinada con la anchura máxima (92,3% de la muestra CISC correctamente clasificada y 83,5% de Santarém XXI) y la longitud total del esternón (92,1% y 78,5%, respectivamente). Otras variables con buenas tasas de exactitud son la longitud del manubrio (80,5% de la muestra de Santarém XXI correctamente clasificada) y la longitud total del esternón combinada con la anchura máxima (85,4% de la muestra CISC correctamente clasificada). Las variables con las tasas de exactitud más bajas son la anchura en la primera y la tercera esternebra (61.45% y 65.30%, respectivamente) y la longitud del cuerpo del esternón con la anchura máxima (63.55%), en el caso de la muestra de Santarém XXI; y el índice del esternón (65,10%) y la anchura en la 1ª esternebra (72,75%), en el caso de la muestra CISC.

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Tabla 57. Comprobación de la fiabilidad de las funciones discriminantes en dos muestras de individuos identificados de Portugal: Santarém XXI y CISC.

		Male				Female				Accuracy	
		Percentage correct		Error		Percentage correct		Error		Total	Sex bias**
		%	n	%	n	%	n	%	n	%	
Function 1	Santarém XXI	80.0	8	20.0	2	87.5	7	12.5	1	83.75	-7.5
	CISC	87.5	35	12.5	5	97.1	33	2.9	1	92.30*	-9.6
Function 2	Santarém XXI	57.1	8	42.9	6	70.0	7	30.0	3	63.55	-12.9
	CISC	73.8	31	26.2	11	97.1	33	2.9	1	85.45	-23.3
Function 3	Santarém XXI	83.3	15	16.7	3	68.8	11	31.3	5	76.05	14.5

	CISC	86.4	38	13.6	6	73.8	31	26.2	11	80.10	12.6
Function 4	Santarém XXI	64.7	11	35.3	6	87.5	14	12.5	2	76.10	-22.8
	CISC	70.8	34	29.2	14	93.0	40	7.0	3	81.90	-22.2
Function 5	Santarém XXI	81.8	18	18.2	4	79.2	19	20.8	5	80.50	2.6
	CISC	85.4	41	14.6	7	61.5	32	38.5	20	73.45	23.9
Function 6	Santarém XXI	71.4	10	28.6	4	85.7	12	14.3	2	78.50	-14.3
	CISC	88.9	40	11.1	5	95.3	41	4.7	2	92.10*	-6.4
Function 7	Santarém XXI	81.8	18	18.2	4	66.7	14	33.3	7	74.25	15.1
	CISC	67.3	33	32.7	16	73.9	34	26.1	12	70.60	-6.6
Function 8	Santarém XXI	62.5	10	37.5	6	80.0	8	20.0	2	71.25	-17.5
	CISC	61.9	26	38.1	16	88.2	30	11.8	4	75.05	-26.3

Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

Function 9	Santarém XXI	54.5	12	45.5	10	68.4	13	31.6	6	61.45	-13.9
	CISC	57.4	27	42.6	20	88.1	37	11.9	5	72.75	-30.7
Function 10	Santarém XXI	55.6	10	44.4	8	75.0	9	25.0	3	65.30	-19.4
	CISC	69.8	30	30.2	13	88.6	31	11.4	4	79.20	-18.8
Function 11	Santarém XXI	71.4	10	28.6	4	71.4	10	28.6	4	71.40	0
	CISC	51.1	23	48.9	22	79.1	34	20.9	9	65.10	-28

Índice esternal

Al aplicar la ley de Hyrtl, con un punto de corte de 50% se obtiene un índice de clasificación de 74,5%. Los resultados mostraron que en el 73,1% de las mujeres el manubrio en relación con el cuerpo del esternón es mayor que en los hombres y en 75,9% de los hombres el manubrio en relación con el cuerpo del esternón es más corto que en las mujeres (Tabla 58). Aunque la ley Hyrtl se cumple, hay una considerable superposición entre los hombres y las mujeres.

Tabla 58. Índice esternal(IE) y Ley de Hyrtl

	Masculinos				Femeninos				Total
	%		Error		%		Error		
	asignación correcta				asignación correcta				
	%	n	%	n	%	n	%	n	%
IE (Punto de corte= 50.5)	75.9	22	24.1	7	69.2	18	30.8	8	72.7
Ley de Hyrtl (Punto de corte= 50)	75.9	22	24.2	7	73.1	19	26.9	7	74.5

5. DISCUSIÓN

Los resultados generales que arroja el análisis discriminante desarrollado en imágenes son satisfactorios; demuestran el dimorfismo sexual que presentan los huesos estudiados y cumplen con los criterios de precisión y fiabilidad requeridos en Antropología. Sin embargo, al comparar con la muestra de hueso seco, se producen diferencias según la medida y el hueso analizados.

5.1. ESTUDIO DEL HÚMERO EN 3D

Como señalábamos en la introducción, numerosos estudios sobre húmero en distintas poblaciones, indican que se trata de un hueso que permite estimar el sexo con gran fiabilidad (Kranioti y Michalodimitrakis, 2009).

Los resultados confirman estudios anteriores en los que se pone de manifiesto que las zonas articulares como la cabeza humeral muestran una gran discriminación entre varones y mujeres. Así, combinando el diámetro vertical de la cabeza del húmero junto con la anchura de la epífisis distal, Alemán

(1997) alcanzó el 96,72% de asignación correcta, valor similar al obtenido aquí para el diámetro vertical aislado (97,6%).

Al comparar las muestras de hueso seco respecto a imágenes mediante el test t de Student, se señalaron diferencias significativas. La media para el diámetro de la cabeza humeral de hueso seco fue de 41,26, mientras que la de 3D fue de 42,64 mm. Lo mismo ocurre al comparar las funciones univariantes sustraídas de ambas colecciones, una media de 2 mm superiores a las arrojadas en imágenes respecto a las obtenidas en hueso seco. Esto puede ser debido a varios factores:

A que se utilizan distintos instrumentos de medida, con sus respectivos márgenes de error. En el caso de las imágenes, aunque se utilice un mismo ancho de ventana, en la reconstrucción de una superficie curva como es la cabeza del húmero, se puede sobreestimar la medida al marcar los píxeles de ambos extremos.

A que las poblaciones, aunque de genética similar, pertenecen a distinto ámbito temporal. De los sujetos de la colección de San José, los más recientes fallecieron en la década de 1970. Esto supondría que estos individuos vivieron su etapa de crecimiento en torno a los años 20, y las condiciones medioambientales no debían ser las más

adecuadas. Si estos individuos sufrieron durante su desarrollo alguna crisis de escasez de alimentos, esto habría repercutido a la hora de desarrollar todo su potencial genético. Los sujetos de la colección de SESCAM, aparte de que se hallaban vivos cuando se les realizó la TC, se desarrollaron a mediados del siglo XX, con unas condiciones de vida diferentes a los anteriores. Estudios recientes sobre población americana señalan que las influencias ambientales en el esqueleto (aumentos en el índice de masa corporal, mejoras en la salud, eliminación de enfermedades infecciosas, etc.), producen cambios en las dimensiones y en la maduración ósea, que hacen necesario que los protocolos forenses utilizados para deducir información sobre los rasgos biológicos de población actual deban derivarse de poblaciones modernas (Langley y Cridlin, 2016).

No obstante, estas diferencias concuerdan con los resultados obtenidos por Dedouit et al., (2007), que, al comparar las mediciones realizadas sobre las imágenes de TC y las realizadas sobre hueso, las primeras son algo superiores tanto para la cabeza del fémur como para la cabeza humeral y la cavidad glenoidea de la escápula.

Al aplicar las funciones discriminantes de cada colección a la contraria, se invierten los porcentajes de

clasificación correcta; las funciones obtenidas en el hueso seco clasifican a todos los varones cuyas medidas se toman en el hueso vivo, porcentaje que disminuye al 80% cuando se aplican las funciones obtenidas del hueso vivo sobre la colección del cementerio de San José, y a la inversa ocurre en el caso de las mujeres; las funciones del SESCAM aplicadas sobre los individuos de San José las clasifican con un 100% de probabilidad y en el caso contrario, con un 85% de probabilidad. Esto se debe a que todas las medidas tomadas en sujetos vivos son algo superiores tanto en varones como en mujeres, lo que hace que nuestras funciones puedan clasificar a los varones de San José con toda probabilidad, mientras que el caso de las mujeres sea más susceptible de error; y a la inversa ocurre al aplicar las funciones obtenidas del hueso seco a la muestra del SESCAM. En ambos casos se obtienen porcentajes de fiabilidad por encima del 80%.

Los resultados generales que se obtienen del análisis de imágenes en este hueso son satisfactorios, y el método cumple con los criterios de reproducibilidad y concordancia. No hemos encontrado estudios concretos sobre estimación del sexo en el húmero mediante el análisis de imágenes de TC, aunque como hemos visto, se trata de un método fiable que permite la asignación correcta del sexo con un alto porcentaje de acierto.

5.2. ESTUDIO DE LA CLAVÍCULA EN 3D

El análisis discriminante sobre diversas poblaciones estudiadas en hueso seco señala que la clavícula permite estimar el sexo con gran fiabilidad (Akhlaghi et al., 2012; Frutos, 2002; Jit y Singh, 1966; Katzmarzyk, 2002; Králík et al., 2014; McCormick et al., 1991; Murphy, 1986; Papaioannou et al., 2012; Parsons, 1916; Terry, 1932). En muchas de las poblaciones sobre las que se ha aplicado se obtienen elevados porcentajes de precisión para su longitud máxima. En población mediterránea, Alemán (1997) sobre hueso seco obtuvo un 89,74 % de fiabilidad para la longitud de la clavícula derecha y un 93,33% para la izquierda, porcentajes similares a los de nuestro estudio en 3D (87,9% y 90,5%, respectivamente).

Los puntos de corte extraídos de las funciones discriminantes univariantes son los valores que identifican, en este caso, a las clavículas como masculinas o femeninas. Parsons sobre población inglesa (Parsons, 1916) y Papaioannou sobre población griega (Papaioannou et al., 2012) lo hallaron en 145 mm (por encima de este valor se catalogarían las clavículas como masculinas, y por debajo, como femeninas).

Katzmarzyc lo estableció en 151 mm, pero consideramos que este punto tan elevado no es válido ya que, aunque asigna correctamente el sexo del 100% de las mujeres, sólo lo hace con el 19% de los hombres (no halló ninguna clavícula femenina por encima de 151 mm, pero sí muchas masculinas inferiores a esta longitud), con un promedio de 59,5% asignaciones correctas (Katzmarzyk, 2002). Akhlagi et al. (2012) en población iraní lo obtuvieron en 136 mm con un 85% de fiabilidad; Frutos en 140 mm y un 88,7% (Frutos, 2002). En nuestro caso los puntos de corte se sitúan en 138 mm para la clavícula derecha y 140 mm para la izquierda, puntos cercanos a los de Alemán (139 y 142 mm, respectivamente) obtenidos sobre población similar en hueso seco.

Los estudios de la asimetría en los huesos humanos han mostrado que ésta es mayor en los miembros superiores que en los inferiores (Kujanova et al., 2008). Dentro de las extremidades superiores, la derecha presenta mayor longitud y tamaño en el húmero, radio y cúbito. Sin embargo, tanto estudios convencionales sobre hueso seco (Haque et al., 2011; Jit y Singh, 1966; Katzmarzyk, 2002; Parsons, 1916; Terry, 1932) como sobre imágenes en 3D (Daruwalla et al., 2010; Fatah et al., 2012) han mostrado que las clavículas se desvían de este patrón: las izquierdas son más largas que las derechas,

aunque esta tendencia no sea estadísticamente significativa (Daruwalla et al. 2010; Harrington et al. 1993).

Alemán (Alemán 1997) obtuvo 2 mm de diferencia entre ambas clavículas, al igual que en nuestro estudio, siendo mayores las izquierdas. Katzmarzyc encontró lo mismo tanto en hombres (de 0,5 a 12 mm) como en mujeres (de 1 a 9,5 mm) en un estudio que realizó sobre población de Sri Lanka (Katzmarzyk, 2002). Haque et al. en población nepalí halló también que las clavículas izquierdas eran una media de 2,32 mm más largas que las derechas (Haque et al. 2011).

El estrés biomecánico es la principal explicación para la asimetría de los miembros (Ruff y Jones, 1981). Auerbach y Raxter (2008) encontraron que los patrones de actividad y de carga contribuyen significativamente a la asimetría de la clavícula. Para Daruwalla et al. (2010) y Mays et al. (1999), la lateralidad de la mano dominante es un factor determinante de la longitud de la clavícula.

Por otro lado, Fatah et al. encontraron que este patrón de asimetría en la clavícula difiere entre hombres y mujeres. En ellos la asimetría de la clavícula es significativamente

mayor en todas las dimensiones, mientras que en las mujeres esta asimetría es más variable. Su hipótesis es que esto se debe a las diferencias en la fuerza muscular entre hombres y mujeres (Fatah et al., 2012).

Al contrario que ocurre en otras poblaciones, Haque et al. no encontraron un gran dimorfismo sexual en la clavícula de los nepalíes (Haque et al., 2011). Esto demuestra que las funciones discriminantes sólo tienen validez si van enfocadas a estimar el sexo de los individuos que presenten un dimorfismo sexual similar a la población con la que se han realizado (Aleman, 1997). Esta disparidad es debida a diferencias genéticas y factores medioambientales, que afectan al crecimiento y a los patrones de actividad entre hombres y mujeres (Akhlaghi et al., 2012). En su estudio sobre población rural guatemalteca, Frutos señaló que las condiciones bajo las cuales crece esta población incluyen la desnutrición, la exposición a enfermedades infecciosas, la falta de atención médica, y la ausencia de suministro de agua potable (Frutos, 2002). Cuando estas condiciones mejoran, esta población puede aumentar su tamaño corporal 5,5 cm en una sola generación, como Bogin observó en niños guatemaltecos rurales indígenas que viven en los Estados Unidos (Bogin, 1995).

Al comparar mediante el test t de Student las muestras de San José y de SESCAM, no se hallaron diferencias significativas, al contrario de lo que ocurría en la cabeza del húmero.

Al aplicar las funciones discriminantes obtenidas de imágenes 3D sobre la muestra de hueso seco, se alcanzan unos porcentajes de asignación correcta de 87,52 para el lado derecho y de 89,75% para el lado izquierdo, por lo que el método se puede aplicar a colecciones de hueso seco.

Los estudios de TC sobre la clavícula se han centrado hasta ahora por un lado, en el estudio de sus variaciones anatómicas (Daruwalla et al. 2010; Fatah et al. 2012; Lucet et al. 1996; Matsumura et al. 1997), y por otro, en la estimación de la edad (Bassed et al. 2011a; Bassed et al. 2011b; Kellinghaus et al. 2010; Li et al. 2001; Schulz et al. 2005; Schulze et al. 2006; Zhao et al. 2011). Aunque si los hay sobre otros huesos (Kranioti et al. 2011; Moskovitch, 2010; Ramadan, 2010; Ramsthaller, 2010; Robinson, 2008), no hemos encontrado estudios concretos sobre estimación del sexo en la clavícula mediante el análisis de imágenes de TC, aunque como hemos visto, se trata de un método fiable que permite la asignación correcta del sexo con un alto porcentaje de acierto.

5.3. ESTUDIO DE LA ESCÁPULA EN 3D

Estudios previos de diferentes poblaciones, sobre todo en hueso seco (Ozer et al., 2006; Dabbs, 2010; Dabbs y Moore-Jansen, 2010; Papaionnou et al., 2012; Hudson et al., 2016), han revelado que las escápulas masculinas son significativamente más grandes que las femeninas. Hrdlička (1942) señaló que el desarrollo muscular y la actividad física afectaban al crecimiento y desarrollo de la escápula. Así, posteriormente, otros autores han remarcado que las características sexualmente dimórficas de la escápula son el resultado de la compleja relación entre factores genéticos y ambientales. Han propuesto a los genes, las hormonas y los patrones de actividad como mecanismos para el desarrollo sexualmente dimórfico de la escápula (Anetzberger y Putz, 1996b).

En cuanto a la asimetría de las escápulas, Dabbs y Moore-Jansen (2010) encontraron que el tamaño y la forma escapular pueden ser bilateralmente asimétricos. Las medidas escapulares tomadas en población española contemporánea no señalan diferencias significativas en cuanto a la simetría, como tampoco lo encontró Giurazza et al. (2013) sobre población caucásica.

En el presente estudio, salvo la longitud del borde lateral (89%) y la anchura máxima (88%), el resto de variables permiten la clasificación correcta de más del 90% de los sujetos.

El análisis de la cavidad glenoidea destaca por los porcentajes de asignación correcta obtenidos, ya que tanto si disponemos de su altura (95%) como de su anchura (91%), es capaz de discriminar muy eficazmente el sexo en población mediterránea, como ocurre en otras muestras estudiadas. Hudson et al. en población mexicana encontraron también porcentajes elevados de asignación correcta para la cavidad glenoidea, que oscilan del 83 (altura) al 89% (anchura). Papaioannou et al. en población griega también obtuvo porcentajes similares (Papaioannou et al. 2012), lo mismo que Peckmann et al., para población chilena (Peckmann et al. 2016).

Los estudios de imágenes de escápulas en 3D para la estimación del sexo, son escasos, pero con resultados similares a los de hueso seco. Torimitsu et al. (2016) en población japonesa obtuvo unos porcentajes que oscilan entre el 94,5% atendiendo a la altura, anchura máxima y anchura de la cavidad glenoidea y el 91,3% para la altura máxima. En cuanto

a la cavidad glenoidea, sus porcentajes son inferiores a los nuestros, 84,9 para la anchura y 75,7 para la altura.

Probablemente para corregir el error intra e inter-observador, Giurazza et al. en población italiana propusieron tomar la *longitud escapular longitudinal*, que definen como la distancia entre el ángulo inferior de la escápula y el margen superior del apófisis coracoides, y la *longitud escapular transversa*, como la distancia entre el borde medial y el borde inferior de la cavidad glenoidea. Obtuvieron unos porcentajes de fiabilidad de 84 y 87%, respectivamente.

Paulis et al. (2015) sobre población egipcia midieron, siguiendo a Giurazza et al., la *longitud escapular longitudinal*, y la *longitud escapular transversa*, consiguiendo unos porcentajes de asignación correcta de 89% para la primera, y de 90,5% para esta última.

Zhang et al. (2016) sobre población china obtuvieron unos porcentajes de acierto de 86,7% en el análisis por pasos, y de entre el 81,2 (longitud del borde) y el 85,5% (altura máxima) de las funciones univariantes.

En el presente estudio, la precisión y la reproducibilidad de las medidas escapulares se encuentran dentro de los estándares aceptables para la cavidad glenoidea y la longitud

máxima de la escápula. Se produce error interobservador para la anchura máxima y la longitud del borde lateral, probablemente corregible con la práctica. Tal vez, para evitar esto, se podrían cambiar en estudios futuros las medidas por las propuestas por Giurazza et al., para la longitud de la escápula y comprobar si producen menor error interobservador.

El análisis métrico, por lo general, disminuye el aspecto subjetivo de la estimación del sexo. Giurazza et al. señalaron que las mediciones en el esqueleto utilizando imágenes de TC se pueden normalizar tomando como referencia marcos anatómicos prominentes. De manera similar, Franklin no encontró que existan diferencias entre las mediciones realizadas en hueso seco respecto a las tomadas sobre imágenes de TC (Franklin et al., 2013).

Al testar el método en hueso seco se obtuvieron porcentajes de clasificación correcta que van desde el 93,55 al 81,0%.

Aunque los resultados son satisfactorios, se necesitan más estudios que examinen la viabilidad de la estimación del

sexo usando la escápula en otras poblaciones utilizando imágenes en 3D (Torimitsu et al., 20016).

5.4. ESTUDIO DEL ESTERNÓN

5.4.1. COLECCIÓN DE SAN JOSÉ (HUESO SECO)

Los resultados obtenidos en la colección de San José (hueso seco), muestran que el dimorfismo sexual en este hueso permite estimar el sexo con un alto grado de precisión en población española contemporánea.

La validación cruzada señaló como variables individuales más dimórficas a la longitud del cuerpo y a la longitud total, mientras que el grosor, la longitud y la anchura del esternón en la primera y tercera esternibras son las que menos dimorfismo sexual presentan. Por otro lado, la longitud total de esternón con la anchura máxima, o la longitud del cuerpo con la anchura máxima, son las funciones discriminantes con rangos de mayor precisión.

El método también fue validado mediante la aplicación de las funciones discriminantes en dos muestras portuguesas (hueso seco) con un dimorfismo sexual similar: la colección de esqueletos identificados del siglo XXI (Santarém XXI) y la

colección de esqueletos identificados de Coimbra (CISC). Los resultados han sido muy satisfactorios, especialmente en el caso de la muestra CISC, con tasas de precisión del 92,3% para la función 1 y del 92,1% para la función 6. Las variables con las tasas de exactitud más altas son casi idénticas en las tres muestras: la longitud total del esternón combinada con la anchura máxima (90,7% de la muestra de San José correctamente clasificada, 92.3% de la muestra CISC y 83.75% de la muestra de Santarém XXI) y la longitud total del esternón (89.1% de la muestra de San José correctamente clasificada, 92.1% de la muestra CISC y 78.5% de la muestra de Santarém XXI). De hecho, en este caso, las funciones desarrolladas con la muestra de San José clasifican mejor a los individuos de la muestra CISC que a los propios individuos de San José, con los que han sido realizadas. Por el contrario, la muestra de Santarém XXI presenta las tasas de exactitud más bajas para todas las variables del esternón. Aun así, las funciones discriminantes obtenidas de la colección de San José resultan muy eficaces para la estimación del sexo en ambas muestras portuguesas.

El mismo patrón dimórfico se repite en estudios previos, con mediciones tanto en hueso seco como en radiografías, en gran variedad de poblaciones. Macaluso

obtuvo rangos de precisión aproximadamente similares en población africana (86,4% de la longitud del cuerpo y la anchura del manubrio; 85,4% para la longitud del cuerpo y la anchura en la primera esternebras; 83,5% para la longitud del cuerpo y el 83% de la longitud total) (Macaluso, 2010). Ramadan et al., mediante el análisis de TC en la población turca, obtuvo rangos de precisión de 83% de la longitud total (Ramadan, 2010); Dahiphale et al., 87%, también de la longitud total (Dahiphale, 2002); Pons (1955), 89% en la población portuguesa. Para la población de los Estados Unidos, Bongiovanni y Spradley (2012) obtuvieron rangos de precisión del 84% para todas las variables del esternón y del 81% para la longitud total del esternón.

Sin embargo, hay una cierta especificidad poblacional en el dimorfismo del esternón, muy probablemente debida a la combinación de factores genéticos, ambientales y socio-culturales (Franklin, 2012). Esto se puede observar en la variación entre poblaciones, de acuerdo a las reglas para la estimación de sexo mediante la longitud total del esternón. Jit et al. obtuvieron "la regla 136" (Jit, 1980) y Dahiphale et al., "la regla 129" (Dahiphale, 2002), ambos en dos grupos de población de la India. Ashley en población europea desarrolló "la regla 149"(Ashley, 1956), mientras que, en este estudio se ha obtenido "la regla 142" para población española, la misma

obtenida por Ramadan et al. en población estadounidense (Ramadan, 2010). Macaluso obtuvo "la regla 136" en población africana (Macaluso, 2010) y Franklin et al. "la regla 141" en población australiana (Franklin, 2012). La tendencia general indica que el esternón de africanos y de las poblaciones en India es, en promedio, más pequeño que el esternón en población de Europa, EEUU y Australia (Bongiovanni y Spradley, 2012). Es obvio que, al menos, la longitud total del esternón varía sustancialmente entre poblaciones, y por ello, es necesario desarrollar funciones específicas para cada grupo humano.

Aunque los individuos de la muestra son de edad avanzada, se ha demostrado que ésta no es un factor de sesgo en la estimación del sexo en el esternón adulto. Ramadan et al. también encontraron que el efecto de la edad sobre todas las medidas del esternón fue estadísticamente insignificante (Ramadan, 2010).

Los resultados del análisis del índice esternal mostraron que en las mujeres, el manubrio en relación con el cuerpo del esternón es mayor que en los hombres, como también ocurre en otras poblaciones (Bongiovanni y Spradley, 2012; Dahiphale, 2002; Franklin, 2012; Macaluso, 2010; Ramadan, 2010; Schaefer y Black, 2007). Se cumple la ley de Hyrtl,

pero sólo en el 75,9% de hombres y el 73,1% de las mujeres; no hay un sesgo sexual alto, pero los rangos de baja precisión que muestra esta ley la hace no aplicable en la población española para estimar el sexo. Estudios anteriores hicieron hincapié en el bajo cumplimiento, en general, de esta ley: Dwight la encontró aplicable sólo en el 59,1% de los varones y el 60,4% de mujeres; Ashley mostró su cumplimiento en el 64,7% de los hombres y el 69,2% de las mujeres en la población africana, y 52,9% y 69,3% respectivamente de la población europea; Bongiovanni y Spradley, sólo en el 61% de los varones y el 55,6% de las mujeres. Del mismo modo, el índice del esternón tampoco ha aportado una precisión adecuada para la estimación del sexo en este y otros estudios previos.

El dimorfismo sexual presente en el esternón de la colección del cementerio de San José de Granada permite estimar el sexo de los individuos con rangos de precisión del 90% cuando la longitud del cuerpo del esternón se combina con la anchura máxima o la longitud total con la anchura máxima en población española actual. Las variables individuales más discriminativas son la longitud total del esternón, cuya "regla 142" estima el sexo en el 89,1% de los casos, y la longitud del cuerpo, cuyo punto de corte de 96 mm discrimina el 87% de los casos. Estos resultados se publicaron en 2014 en la revista *Forensic Science Internacional*.

En general, hubo coincidencia entre los estudios previos y los resultados obtenidos. La longitud total del esternón y la longitud del cuerpo prueban ser el indicador más fiable en la estimación del sexo, y por otro lado, el grosor, la anchura en la primera esternebra, la anchura en la tercera esternebra y el índice del esternón se halló que contienen un elevado sesgo sexual. Aunque se cumple la ley de Hyrtl, no es útil para estimar el sexo de la población española

5.4.2. COLECCIÓN SESCAM (IMÁGENES 3D)

En cuanto a los resultados del estudio del esternón en 3D, las variables individuales más dimórficas en esta muestra corresponden a la longitud del cuerpo (85,2% de asignaciones correctas) y a la anchura del manubrio (82,4%), mientras que el grosor (72,5%), y la anchura en la primera (73,5%) y tercera esternebras (75,8%) son las que menos dimorfismo sexual presentan.

La longitud del manubrio combinada con la longitud del cuerpo, o la longitud del cuerpo con el grosor y la anchura en la 3ª esternebra, son las funciones discriminantes con rangos de mayor precisión (92% y 90,4% de asignaciones correctas, respectivamente).

Ambos resultados son similares en ambas colecciones, salvo por la anchura del manubrio, que no pudo ser tomada en hueso seco.

Al comparar con la muestra de hueso seco, el test t de Student señaló diferencias significativas en el grosor, la anchura de la 1ª esternebra y la anchura máxima; no así en la longitud del manubrio, la longitud del cuerpo y la anchura de la 3ª esternebra. Las funciones univariantes extraídas de ambas colecciones son bastante similares en cuanto a las longitudes tanto de manubrio (punto de corte en 47,63 mm en el caso de San José, y de 47,24 mm en el de SESCAM) como de cuerpo del esternón (95,91 y 95,30 mm, respectivamente), aunque de media algo superiores en el caso de San José. De ambas colecciones se extrajo la misma “regla del 142” para la longitud total del esternón. En cuanto al grosor y a las anchuras de las esterneas, las funciones univariantes de San José se sitúan entre 1 y 2 mm por encima de las de SESCAM.

Al aplicar las funciones discriminantes a las tres muestras de hueso seco se obtienen porcentajes elevados de clasificación correcta. La función 1 (longitudes del manubrio y cuerpo o longitud total) es la que mejor clasifica a las tres muestras con unos porcentajes de 86,3 para la población de San José; 85,5 para la del cementerio de Coimbra; y 81,05

para la de Santarém. La función 6 (longitud del cuerpo) es la que mejor clasifica a los individuos, con un 89% para la muestra de San José.

Los estudios llevados a cabo en imágenes en 3D del esternón aunque no muy abundantes, señalan que el método es tan fiable como el realizado en hueso seco. Zhang et al. (2016), mediante el estudio de TC de 255 individuos de población china, estimaron el sexo con un 81,6% de fiabilidad tomando la longitud total, el índice esternal y la anchura del manubrio. Unos resultados similares obtuvieron Torimitsu et al. (2015) sobre el esternón de población japonesa y Ramadan et al. sobre el de población de Anatolia (Ramadan, 2010).

Aunque se cumple la ley de Hyrtl, los resultados son similares a los obtenidos en el esternón de hueso seco.

6. CONCLUSIONES

De los objetivos que nos planteamos al principio de este trabajo, podemos extraer las siguientes conclusiones:

1.- La creciente digitalización y los avances en tomografía computarizada están permitiendo el desarrollo de nuevas metodologías en Antropología Forense. Su repercusión se muestra en el aumento sustancial de los estudios que aplican las Técnicas de Imagen para extraer estándares de población de todos los parámetros antropológicos. En pocos años, podemos prever, serán el método predominante por su rapidez y fiabilidad.

2.- Las funciones discriminantes obtenidas de las reconstrucciones en 3D de tomografías computarizadas del húmero, clavícula, escápula y esternón coinciden en el marcado dimorfismo sexual que presentan estos huesos en población mediterránea contemporánea. Permiten estimar el sexo con unos porcentajes aceptables de fiabilidad:

Para el diámetro vertical de la cabeza del húmero, se han alcanzado unos porcentajes de asignación correcta del 97,6% (lado derecho) y del 94,5% (lado izquierdo); para la longitud de la clavícula, del 87,9 (lado derecho) y 90,5% (lado izquierdo); para la escápula, del 95,6 para la combinación de la anchura y de la altura de la cavidad glenoidea, y del 94,6% para la anchura y la longitud máxima de la escápula; y para el esternón, del 91,5% para la longitud del manubrio combinada con la longitud del cuerpo esternal.

3.- El método desarrollado en imágenes cumple con unos criterios aceptables de reproducibilidad y concordancia. El error intra-observador es insignificante en la mayoría de las medidas. En los casos en los que el error inter-observador es mayor, se debe a la dificultad de la toma de una medida en particular (como puede ser el grosor del esternón o la anchura y longitud máxima de la escápula).

4.- Al aplicar las funciones discriminantes desarrolladas en imágenes en muestras de hueso seco, se obtienen porcentajes de asignación correcta elevados, similares a los obtenidos con la metodología convencional. Esto implica una serie de ventajas importantes, entre las que destaca la posibilidad de investigar grandes colecciones óseas a partir de imágenes, que ofrecen el grado de fiabilidad requerido en

Antropología Física y Forense. Además, se pueden almacenar permanentemente en un espacio físico pequeño, por lo que las mediciones se pueden realizar repetidamente, lo que resulta también en un aumento efectivo de la reproducibilidad intra e interobservador.

5.- Del estudio concreto del esternón, tanto en hueso seco como en 3D se ha extraído la misma regla de “142” para su longitud total y se ha llegado a la misma conclusión respecto a la ley de Hyrtl.

6.- Este estudio se suma a los ya existentes que muestran que las mediciones osteológicas tradicionales pueden ser adquiridas de reconstrucciones tridimensionales de tomografías computarizadas. En ausencia de colecciones esqueléticas documentadas contemporáneas, o cuando éstas son pequeñas, las pruebas médicas como la TC ofrecen una fuente apropiada, confiable y representativa de datos actuales específicos para cada población, a partir de los cuales se pueden desarrollar estándares esqueléticos, tanto para estimar el sexo, la edad, la estatura o la afinidad poblacional.

La aplicación de la TC para el análisis de imágenes puede pues considerarse tanto un sustituto eficaz de las técnicas osteométricas clásicas, sobre todo cuando éstas no

puedan llevarse a cabo, como un método complementario. Por ello, supone una herramienta complementaria a las técnicas convencionales de identificación.

La colección del SESCAM del Laboratorio de Antropología ofrece la posibilidad de realizar estándares de todos los parámetros antropológicos para la población española contemporánea.

7. CONCLUSIONS

From the objectives that we propose at the beginning of this research, it is possible to conclude that:

1.- Increasing digitalization and advances in computed tomography are allowing the development of new methodologies in Forensic Anthropology. This repercussion is shown in the substantial increase of the studies that apply the Techniques of Image to extracts standards of population of all the anthropological parameters. We can predict that in a few years this will be the predominant method thanks to its speed and its reliability.

2.- The discriminant functions achieved from 3D reconstructions of computed tomography scans of the humerus, the clavicle, the scapula and the sternum coincide in the marked sexual dimorphism that these bones present in a contemporary Mediterranean population. They allow the estimation of sex with acceptable accuracy rates:

For the vertical diameter of humerus' head, cross-validation shows accuracy rates of 97.6% (right side) and 94.5% (left side); for clavicle length, 87.9 (right side) and

90.5% (left side); for the scapula, 95.6 for the combination of the width and height of the glenoid cavity, and 94.6% for the width and the maximum length of the scapula; and for the sternum, 91.5% for the length of the manubrium along with the sternal body length.

3.- The method developed in 3D images accomplishes suitable criteria of reproducibility and concordance. Intra-observer error is trifling in most measures. In cases where the inter-observer error is greater, it is due to the difficulty of taking a particular measurement (such as the sternum thickness or the width and maximum length of the scapula).

4.- When we apply the discriminant functions developed in images in samples of dry bone, high accuracy are obtained, similar to those we got with the conventional methodology. This involve a number of important advantages. Among these advantages, we can find the possibility of investigating big bone collections from images, which offer the degree of reliability required in Physical and Forensic Anthropology. In addition, they can be stored permanently in a small physical space, so measurements can be performed repeatedly, which also results in an effective increase in intra- and inter-observer reproducibility.

5. From the concrete study of the sternum, in both dry and 3D bone, the same rule of "142" has been extracted for its total length and the same conclusion has been reached regarding Hyrtl's Law.

6.- This study supports the existing ones which show that traditional osteological measurements can be acquired from three-dimensional reconstructions of CT scans. In the absence of contemporary documented skeletal collections, or when these are small, medical tests such as CT provide an appropriate, reliable and representative source of current population-specific data from which skeletal standards can be developed, both for estimating sex, age, height, or ancestry.

Using CT for image analysis can be considered as an efficient substitute for classical osteometric techniques, especially when these can't be performed as a complementary method. Therefore, it is a complementary tool to conventional identification techniques.

The collection of the SESCAM from Anthropology Laboratory offers the possibility of realizing standards of all the anthropological parameters for the contemporary Spanish population.

8. BIBLIOGRAFÍA

Akhlaghi M, Moradi B, Hajibeygi M (2012) Sex determination using anthropometric dimensions of the clavicle in Iranian population. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 19(7):381-385.

Alemán Aguilera I (1997) Determinación del sexo en restos esqueléticos. Estudio de una población mediterránea actual. Tesis Doctoral; Universidad de Granada, Granada.

Alemán Aguilera I, Botella López M, Ruíz Rodríguez L (1997) Determinación del sexo en el esqueleto postcraneal. Estudio de una población mediterránea actual. *Archivo Español de Morfología* 2: 69-79.

Alemán Aguilera I, Botella López M, Ruíz Rodríguez L (2000) Determinación sexual mediante análisis discriminante del húmero. *Tendencias actuales de Investigación en la Antropología Física Española* 159-164.

Alemán Aguilera I, Botella López M, Souich Ph Du (1999) Aplicación de las funciones discriminantes en la determinación del sexo. Estudios de Antropología Biológica IX: 221-230.

Alemán Aguilera I, Irurita J, Valencia AR, Martínez A, López-Lazaro S, Viciano J, et al. (2012) Brief communication: The Granada osteological collection of identified infants and young children. Am J Phys Anthropol 149(4):606-10.

Alsina J (1990) Los orígenes helénicos de la medicina occidental. Ed. Lumen. Barcelona.

Anetzberger H, Putz R (1996a) The scapula: Principles of construction and stress. Acta anatomica 156(1):70-80.

Anetzberger H, Putz R (1996b) The Scapula: Principles of Construction and Stress. Cells Tissues Organs 156(1):70-80.

Asala SA, Bidmos MA, Dayal, MR (2004) Discriminant function sexing of fragmentary femur of South African blacks. Forensic Sci Int. 145:25-9.

- Ashley GT (1956) The relationship between the pattern of ossification and the definitive shape of the mesosternum in man. *J Anat* 90(1):87-105.
- Aso J, Martínez-Quiñones JV, Aso-Vizán J, Pons J, Arregui R, Baena S (2005) Virtopsia. Aplicaciones de un nuevo método de inspección corporal no invasiva en ciencias forenses. *Cuadernos de Medicina Forense* II: 40.
- Auerbach BM, Raxter MH (2008) Patterns of clavicular bilateral asymmetry in relation to the humerus: variation among humans. *J Hum Evol* 54(5):663-674.
- Baba M, Hyodoh H, Okazaki S, Shimizu J, Mizuo K, Rokukawa M, Watanabe S, Matoba K, Inoue H (2016) Stature estimation from anatomical landmarks in femur using *postmortem* CT. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 7:28-32.
- Bakieva M, González Such J, Jornet J (2014) SPSS: ANOVA de un factor. InnovaMIDE. Grupo de Innovación Educativa. Universitat de Valencia. http://www.uv.es/innovamide/spss/SPSS/SPSS_0702b.pdf.

Bardaine M, Rolland Y, Tréguier C, Claeysen-Rolland V, Dagherne M, Broussine L, Jouan H, Roussey M (1996) Contribution du scanner crânien post-mortem à l'étude de la mort subite du nourrisson. Arch. Pediatr: 661-667.

Barrier ILO, L'Abbé EN (2008) Sex determination from the radius and ulna in a modern South African sample. Forensic Sci Int: 179: 85.e1-85.e7.

Bass WM (1986) Human Osteology: A Laboratory and field Manual of the Human Skeleton. Columbia, Missouri: Missouri Arch. Society, Special Public. No.2.

Bassed RB, Briggs C, Drummer OH (2011a) Age estimation using CT imaging of the third molar tooth, the medial clavicular epiphysis, and the sphenoid-occipital synchondrosis: A multifactorial approach. Forensic Sci Int 212(1-3).

Bassed RB, Drummer OH, Briggs C, Valenzuela A (2011b) Age estimation and the medial clavicular epiphysis: analysis of the age of majority in an Australian population using computed tomography. Forensic Sci Med Pathol 7(2):148-154.

- Beck JJW (2011) What is the future of imaging in forensic practice?. *Radiography* 17:212-217.
- Blau S, Robertson S, Johnston M (2008) Disaster Victim Identification: New Applications of *Postmortem* Computed Tomography. *Forensic Science International* 53 (4): 956-961.
- Bobinson C, Eisma R, Morgan B, Jeffery A, Graham E, Black S, Ritty G (2008) Anthropological Measurements of Lower Limb and Foot Bones Using Multi Detector Computed Tomography. *Forensic Science International* 53 (6): 1289-1295.
- Bogin B (1995) Plasticity in the Growth of Mayan Refugee Children Living in the United States. En *Human Variability and Plasticity*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Bolliger SA, Thali MJ, Ross F, Buck U, Naeter S, Vock P (2008) Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. *Forensic Medicine* 18: 273-282.
- Bongiovanni R, Spradley MK (2012) Estimating sex of the human skeleton based on metrics of the sternum. *Forensic Sci Int* 219(1-3).
- Botella M, Alemán I (1998) Las huellas del canibalismo. *Arch. Esp. Morfol* 3: 75-86.

- Botella M, Alemán I, Jiménez S (1999) Los huesos humanos. Manipulación y alteraciones. Ed. Bellaterra. Barcelona.
- Brogdon BG (1998) The scope of forensic radiology. Clin Lab Med 18(2):203.
- Bronet F, Nogales MC, Martínez E et al. (2015) Is there a relationship between time-lapse parameters and embryo sex? Fertility and sterility 103 (2):396-401.
- Burns KR (2008) Manual de Antropología Forense. Ediciones Bellaterra. Barcelona.
- Cameriere R, De Luca S, De Angelis D, Merelli V, Giuliadori A, Cingolani M, et al. (2012) Reliability of Schmelting's stages of ossification of medial clavicular epiphyses and its validity to assess 18 years of age in living subjects. International Journal of Legal Medicine 126(6):923-32.
- Campillo D. (2001) Introducción a la Paleopatología. Ed. Bellaterra. Barcelona.
- Carretero JM, Lorenzo C, Arsuaga JL (1995) Análisis Multivariante del húmero en la colección de restos identificados de la Universidad de Coimbra. Antropol. Port 13: 39–56.
- Cattaneo C (2007) Forensic Anthropology: developments of a classical discipline in the new millennium. Forensic Sci Int.165 (2-3):185-193.

- Ciaffi R, Gibelli D, Cattaneo C (2011) Forensic Radiology and personal identification of unidentified bodies: a review. *La Radiología médica* 116(6):960-968.
- Correa Ramírez A (1990) Identificación forense. Ed. Trillas. México DF.
- Cortés-Reyes E, Rubio-Romero J, Gaitán-Duarte H (2009) Métodos estadísticos de la evaluación de la concordancia y la reproducibilidad de pruebas diagnósticas. *Rev Colomb Obstet Ginecol* 61:247-255.
- Costa ACO, de Albuquerque PPF, de Albuquerque PV, de Oliveira BDR, de Albuquerque YML, Caiaffo V (2016) Morphometric analysis of the scapula and their differences between females and males. *Int J Morphol* 34(3):1164-1168.
- Cunha E, Wasterlain S (2007) The Coimbra identified osteological collections, in: G. Grupe, J. Peters (Eds.), *Skeletal Series and Their Socio-Economic Context*, Rahden/ Westf, Verlag Marie Leidorf GmbH:23 - 33.
- Curate F, Albuquerque A, Cunha E (2013) Age at death estimation using bone densitometry: Testing the Fernandez Castillo and Lopez Ruiz method in two

documented skeletal samples from Portugal. *Forensic Sci Int* 226: 296.e1–296.e6.

Dabbs GR, Moore-Jansen PH (2010) A method for estimating sex using metric analysis of the scapula. *J Forensic Sci* 55(1):149-152.

Dabbs GR (2010) Sex determination using the scapula in New Kingdom skeletons from Tell El-Amarna. *HOMO - Journal of Comparative Human Biol*:61(6):413-420.

Dahiphale VP, Baheete BH, Kamkhedkar, SG (2002) Sexing the human sternum in Marathwada region. *J Anat Soc India* 5:162-167.

Daruwalla ZJ, Courtis P, Fitzpatrick C, Fitzpatrick D, Mullett H (2010) Anatomic variation of the clavicle: a novel three-dimensional study. *Clin Anat* 23(2):199-209.

Dedouit F, Guilbeau-Frugier C, Telmon N, Gainza D, Otal P, Joffre F, Rougé D (2008) Virtual autopsy and Forensic Anthropology of a mummified fetus: a report of one case. *J Forensic Sci* 53(1):208-212.

Dedouit F, Géraut A, Baranov V, Ludes B, Rougé D, Telmon A, Crubézy E (2010) Virtual and macroscopical studies of mummies. Differences or complementarity? Report of a natural frozen Siberian mummy. *Forensic Sci Int*, 200: e7-e13.

- Dedouit F, Telmon N, Costagliola R, Otal P, Joffre F, Rougé D (2007) Virtual Anthropology and Forensic Identification: Report of one case. *Forensic Science International* 173: 182-187.
- Del Río Muñoz PA, Sánchez Sánchez JA, Prieto Carrero JL (2001) Estimación del sexo en la mandíbula mediante funciones discriminantes. *Cuadernos de Medicina Forense* 26: 21-28.
- Dirkmaat DC, Cabo LL (2012) Forensic Anthropology: Embracing the New Paradigm, in *A Companion to Forensic Anthropology* (ed D. C. Dirkmaat), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/9781118255377.ch1.
- Di Vella G, Campobasso CP, Dragone M, Introna F (1994) *J Biol - Boc Soc It. Biol. Sper*: 12 - Vol LXX:299-355.
- Djorojevic M, Roldán C, García-Parra P, Alemán, I, Botella M (2014) Morphometric sex estimation from 3D computed tomography *os coxae* model and its validation in skeletal remains *Int J Legal Med* 128:879 - 888.
- Dorado Fernández E, Sáez AS, Moro, JI (2007) Determinación antropológica del sexo a través del esternón. *Rev de la Escuela de Medicina Legal*: 27-29.

Dwight T (1881) The sternum as an index of sex and age. *J Anat* 15:327-230.

Eshak GA, Ahmed HM, Abdel Gawad EAM (2011) Gender determination from hand bones length and volume using multidetector computed tomography: A study in Egyptian people. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, doi:10.1016/j.jflm.2011.04.005.

Etxeberria Gabilondo, Francisco (2004) Panorama organizativo sobre antropología y patología forense en España. Algunas propuestas para el estudio de fosas con restos humanos de la Guerra Civil Española de 1936. Unpublished document.

Exner S, Bogusch G, Sokiranski R (2004) *Cribræ orbitalia* visualized in computed tomography. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 186(2):169-172.

Ezawa H, Yoneyama R, Kandatsu S, Yoshikawa K, Tsujii H, Harigaya K (2003) Introduction of autopsy imaging redefines the concept of autopsy: 37 cases of clinical experience. *Pathology International* 53:865-873.

Fatah EEA, Shirley NR, Mahfouz MR, Auerbach BM (2012) A three-dimensional analysis of bilateral directional

asymmetry in the human clavicle. *Am J Phys Anthropol* 149(4):547-559.

Ferrán M (1997) *SPSS para WINDOWS. Programación y Análisis Estadístico*. Editorial Mc.Graw Hill.

Ferrant O, Rougé-Maillart C, Guittet L, Papin F, Clin B, Fau G, Telmon N (2009) Age and death estimation of adult males using coxal bone and CT scan: A preliminary study. *Forensic Science International*, 186: 14-21.

Ferreira MT (2012) *Para la dá da morte*. Ph.D. dissertation on Forensic Anthropology. Coimbra: Universidade de Coimbra. Coimbra.

Franklin D, Cardini A, Flavel A, Marks MK (2014) Morphometric analysis of pelvic sexual dimorphism in a contemporary Western Australian population. *International Journal of Legal Medicine* 128(5):861-872.

Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A, Marks MK, Hart R, Oxnard C, O'Higgins P (2013) Concordance of traditional osteometric and volume-rendered MSCT interlandmark cranial measurements. *International Journal of Legal Medicine* 127(2):505-520.

Franklin D, Flavel A, Kuliukas, A, Cardini A, Marks MK, Oxnard C, O'Higgins P (2012) Estimation of sex from sternal measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 217(1-3).

Frutos L (2005) Metric determination of sex from the humerus in a Guatemalan forensic sample. *Forensic Science International*, 147 (2-3): 153–157.

Frutos L (2002) Determination of sex from the clavicle and scapula in a Guatemalan contemporary rural indigenous population. *Am J Foren Med Path* 23(3):284-288.

Garamendi PM, Landa MI, Botella MC, Aleman I (2011) Forensic age estimation on digital x-ray images: medial epiphyses of the clavicle and first rib ossification in relation to chronological age. *J Forensic Sci.*: 56:S3-S12.

Gapert RB, Last J (2009) Sex determination from the foramen magnum: discriminant function analysis in an eighteenth and nineteenth Century British sample. *Int J Legal Med.* 123:25-33.

Giurazza F, Del Vescovo R, Schena E, Battisti S, Cazzato RL, Grasso FR, Silvestri S, Denaro V, Zobel BB (2012) Determination of stature from skeletal and skull

measurements by CT scan evaluation. *Forensic Sci Int* 222(1–3):398.e391-398.e399.

Giurazza F, Del Vescovo R, Schena E, Cazzato RL, D'Agostino F, Grasso RF, Silvestri S, Zobel BB (2013) Stature estimation from scapular measurements by CT scan evaluation in an Italian population. *Legal Medicine* 15(4):202-208.

Gogin B, Loucky J (1997) Plasticity, political economy, and physical growth status of Guatemala Maya children living in the United States. *Am. J. Phys. Anthropol* 102 (1):17-32.

Gómez-Esteban, P (2008) *Tomografías –TEP, TAC, RMN y ecografía*. Ed. Wasona.

Haglund WD, Fligner CL (1993) Confirmation of human identification using computerized tomography (CT). *J Forensic Sci* 38(3):708-712.

Haque MK, Mansur ID, Krishnamurthy A, Karki R, Sharma K, Shakya R (2011) Morphometric analysis of clavicle in nepalese population. *Kathmandu University medical journal (KUMJ)* 9(35):193-197.

Harrington MA, Keller TS, Seiler JG, Weikert DR, Moeljanto E, Schwartz HS. (1993) Geometric-properties and the predicted mechanical-behavior of adult human clavicles. *Journal of Biomechanics* 26(4-5):417-426.

Harwood-Nash DC (1979) Computed tomography of ancient Egyptian mummies. *Journal of computer assisted tomography* 3(6):768-773.

Hishmat AM, Michiue T, Sogawa N, Oritani S, Ishikawa T, Fawzy IA, Hashem MAM, Maeda H (2015) Virtual CT morphometry of lower limb long bones for estimation of the sex and stature using *postmortem* Japanese adult data in forensic identification. *International Journal of Legal Medicine* 129(5):1173-1182.

Hrdlička A (1942) The scapula: visual observations. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 29(1):73-94, 1942

Hunnargi SA, Kanchan T, Lobo SW, Binu VS, Uysal S, Kumar H, Baral P, Herakar NG, Garg RK (2008) Sexual dimorphism of the human sternum in a Maharashtrian population of India: A morphometric analysis. *Leg Med*:10:6-10.

Hunnargi SA, Menezes RG, Kanchan T, Lobo SW, Uysal S, Herekar NG, Krishan K, Garg RK (2009) Sternal index: Is it a reliable indicator of sex in the Maharashtrian population of India? *J Forensic Leg Med.* 16:2:56-58.

Hudson A, Peckmann TR, Logar CJ, Meek, S (2016) Sex determination in a contemporary Mexican population using the scapula. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 37: 91-96.

Iordanidis P (1961) Sex determination by the skeletal bones (atlas, axis, clavicle, scapula, sternum). *Annales de medecine legale, criminologie, police scientifique et toxicologie*: 41:280-91.

Iscan M (1981) Concepts in teaching Forensic Anthropology. *Medical Anthropology Newsletter* 13(1): 10-12.

Iscan M, Loth SR, King CA, Shihai D, Yoshino M (1998) Sexual dimorphism in the humerus: A comparative analysis of Chinese, Japanese and Thais. *Forensic Science International*, 17-29.

Jalalzadeh H, Giannakopoulos GF, Berger FH, Fronczek J, Van de Goot FRW, Reijnders UJ, Zuidema WP (2015) Post-mortem imaging compared with autopsy in trauma victims – A systematic review. *Forensic Sci Int* 257:29-48.

Jansen RJ, Poulus M, Taconis W, Stoker J (2002) High – resolution spiral computed tomography with

multiplanar reformatting , 3D surface –and volume rendering: a non-destructive method to visualize ancient Egyptian mummification techniques. *Computerized Medical Imaging and Graphics* 26:211-216.

Jit I, Singh S (1966) Sexing of adult clavicles. *Indian J Med Res* 54(6):551-&.

Jit I, Jhingan V, Kulkarni, M (1980) Sexing the human sternum. *Am J Ph Anthropology* 53:224-271.

Jit I, Kaur H (1989) Time of fusion of the human sternbrae with one another in northwest India. *American Journal of Physical Anthropology* 80(2): 195-202.

Kahana T (2009) El aporte de la Radiología al avance de la Antropología Forense: perspectiva profesional, tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada.

Kapandji I (1982) Cuadernos de fisiología articular I. Miembro superior. Ed. Toray-Masson. 4º edición.

Katzmarzyk C (2002) Sex determination from the adult clavicle in a south Asian sample. *Am J Phys Anthropol*:92-92.

- Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V, Schmidt S, Schmeling A (2010) Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *International Journal of Legal Medicine* 124(2):149-154.
- Kinght B, Saukko P (2004) *Forensic Pathology*. UK: Arnold.
- Králík M, Urbanová P, Wagenknechtová M (2014) Sex assessment using clavicle measurements: Inter- and intra-population comparisons. *Forensic Sci Int* 234:181.e181-181.e115.
- Kranioti EF, Nathana D, Michalodimitrakis M (2011) Sex estimation of the Cretan humerus: a digital radiometric study. *Int J Legal Med* 125(5):659-667.
- Kranioti EF (2016) PMCT investigation of mummified forensic evidence from medieval Germany. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 6:14-20.
- Kranioti E, Bastir M, Sánchez-Meseguer A, Rosas A (2009) A geometric-morphometric study of the cretan humerus for sex identification. *Forensic Science International*, 189: 111.e1-111e8.

Kranioti E, Michalodimitrakis M (2009) Sexual dimorphism of the humerus in contemporary cretans—a population-specific study and a review of the literature. *Forensic Science International*, 54: 996-1000.

Kranioti E, Vorniotakis N, Galiatsou C, Iscan M, Michalodimitrakis M (2009) Sex identification and software development using digital femoral head radiographs. *Forensic Science International*, 189: 113.e1-113.e7.

Kreitner KF, Schweden FJ, 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):1116-22.

Krishan K, Chatterjee PM, Kanchan T, Kaur S, Baryah N, Singh RK (2016) A review of sex estimation techniques during examination of skeletal remains in Forensic Anthropology casework. *Forensic Sci Int* 261:165.e161-165.e168.

Krogman WM, Iscan MY (1986) *The Human Skeleton in Forensic Medicine*. Springfield, Illinois. Charles C. Thomas Pub.

Koçak A, Aktas EO, Ertük S, Aktas S, Yemisçigil A (2003) Sex determination from the sternal end of the rib by osteometric analysis. *Legal Medicine* 5:100-104.

- Kujanova M, Bigoni L, Velemínska J, Velemínský P (2008) Limb Bones Asymmetry and Stress in Medieval and Recent Populations of Central Europe. *Int J Osteoarchaeol* 18(5):476-491.
- Kunos CA, Simpson SW, Russell KF, Herskovitz I (1999) First rib metamorphosis: its possible utility for human age-at death estimation. *Am J Physical Anthropology* 110:303-323.
- Langley NR, Cridlin S (2016) Changes in clavicle length and maturation in americans: 1840-1980. *Human Biology* 88(1):76-83.
- Leth PM (2009) Computerized Tomography Used as a Routine Procedure at *Postmortem* Investigations. *Am J Forensic Medicine and Pathology* 30(3):219-222.
- Li S, Li Z, Tao L, Xu K (2001) Bone age of the medial extremity of the clavicle: Determination on CT data from 695 individuals in northeast of China. *Journal of China Medical University* 30(Suppl):34-37.
- Lin L (1989) A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Int Biometric Soc* 45:255-268.
- Lin L (2000) A note on the concordance correlation coefficient. *Int Biometric Soc* 56:324-325.
- Lippert H (2000) Anatomía. Estructura y Morfología del cuerpo humano. Ed. Marbán. Madrid.

- López-Alcaraz M, Garamendi PM, Alemán I, Botella M (2015) Image analysis of pubic bone for age estimation in a computed tomography sample. *Int J Legal Med*, 129 (2):335-346
- Loth SR, Iscan M (2000) Determinación del sexo. *Enciclopedia de Ciencias Forenses*, Academic Press, San Diego, California, 252-260.
- Lucet L, LeLoet X, Menard JF, Mejjad O, Louvel JP, Janvresse A, Daragon A. (1996) Computed tomography of the normal sternoclavicular joint. *Skeletal Radiology* 25(3):237-241.
- Macaluso PJ (2010) The efficacy of sternal measurements for sex estimation in South African blacks. *Forensic Sci Int* 202:111.e111-111.e117.
- Macaluso PJ (2011) Sex discrimination from the glenoid cavity in Black South Africans: morphometric analysis of digital photographs. *Int J Legal Med* 125: 773-778.
- Mahfouz M, Badawi A, Merkl B, Abdel Fatah EE, Pritchard E, Kesler K, Moore M, Jantz R, Jantz L (2007) Patella sex determination by 3D statistical shape models and nonlinear classifiers. *Forensic Sci Int*: 173: 161-170.
- Mall G, Hubig M, Büttner A, Kuznik J, Penning R, Graw M (2001) Sex determination and estimation of stature from the long bones of the arm. *Forensic Science International*, 117: 23–30.

- Matsumura JS, Rilling WS, Pearce WH, Nemcek AA, Vogelzang RL, Yao JST (1997) Helical computed tomography of the normal thoracic outlet. *Journal of vascular surgery* 26(5):776-783.
- Martin B, Knussmann R (1988) *Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik*. Fischer G, editor. Stuttgart. New York.
- Martrille L, Cattaneo C, Dorandeu A, Baccino E (2006) A multicentre and prospective study of suspected cases of child physical abuse. *Int J Legal Medicine* 120(2):73-78.
- Mastrángelo P, De Luca S, Alemán I, Botella M (2011) Sex assessment from the carpals bones: Discriminant function analysis in a 20th century Spanish sample. *Forensic Sci Int.*: 206:216.e1-.e10.
- Mays S, Steele J, Ford M (1999) Directional asymmetry in the human clavicle. *Int J Osteoarchaeol* 9(1):18-28.
- McBride GB (2005) A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's concordance correlation coefficient. National Institute of Water and Atmospheric Client Report: HAM2005-062, Hamilton, New Zealand.
- McBride GB (2005) Basic concepts of probability and statistics. *Using Statistical Methods for Water Quality Management: Issues, Problems and Solutions*.

McCormick WF, Stewart JH, Greene H (1991) Sexing of human clavicles using length and circumference measurements. *Am J Foren Med Path* 12(2):175-181.

Menezes RG, Kanchan T, Kumar GP, Rao PPJ, Lobo SW, Uysal S, Krishan K, Kalthur SJ, Nagesh KR, Shettigar S (2009) Stature estimation from the length of the sternum in South Indian males: a preliminary study. *J Forensic Leg Med* 16:441-443.

Moore MK, DiGangi EA, Niño Ruíz FP, Hidalgo Davila OJ, Sanabria Medina C. (2016) Metric sex estimation from the postcranial skeleton for the Colombian population. *Forensic Sci Int* 262:286.e281-286.e288.

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. *Forensic Sci Int* 55(4):865-870.

Murphy AMC (1986) Determination of sex by discriminant function analysis of new-zealand polynesian pectoral girdles. *Proceedings of the University of Otago Medical School* 64(1):17-18.

Nageshkumar G, Lakshman M (1988) Costal cartilage calcification patterns - A clue for establishing sex identity. *Forensic Sci Int* 38(3-45):193-202.

- O'Brien JJ, Battista JJ, Romagnoli C, Chhem RK (2009) CT Imaging of Human Mummies: A Critical Review of the Literature (1979–2005). *Int. J. Osteoarchaeol* 19: 90–98.
- O'Donnell C, Woodford N (2008) Post-mortem radiology - A new sub-speciality?. *Clinical Radiology* 63:1189-1194.
- OECD (2009) "Height", in *Society at a Glance 2009: OECD Social Indicators*, OECD Publishing, Paris. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/soc_glance-2008-26-en.
- Ovelar Ferrero A, Esparza Estaún J, Miquelez Alonso S, Rubio Arróniz A, Lorente Valero MP, Sánchez Rodríguez C (2014) Desentrañando la tecnología de la tomografía computarizada helicoidal multicorte (TCMC). Congreso SERAM.
- Ozer I, Katayama K, Sagir M, Gulec E (2006) Sex determination using the scapula in medieval skeletons from East Anatolia. *Coll Anthropol* 30(2):415-419.
- Papaioannou VA, Kranioti EF, Joveneaux P, Nathena D, Michalodimitrakis M (2012) Sexual dimorphism of the scapula and the clavicle in a contemporary Greek population: applications in forensic identification. *Forensic Sci Int* 217(1-3):231.e231-237.

Parsons FG (1916) On the proportions and characteristics of the modern english clavicle. *Journal of Anatomy* 51:71-93.

Paulis MG, Samra, MFA (2015) Estimation of sex from scapular measurements using CT in Egyptian population sample. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 3:153-157.

Peckmann TR, Logar C, Meek S (2016) Sex estimation from the scapula in a contemporary Chilean population. *Science & Justice* 56(5):357-363.

Persson A, Jackowski C, Engström E, Zachrisson H (2008) Advances of dual-energy imaging in *postmortem* CT. *European Journal of Radiology* 68:446-455.

Pita Fernández S, Pértega Díaz S (2001) Significancia estadística y relevancia clínica. *Cad At Primaria* 8:191-195.

Pons J. (1955) The sexual diagnosis of isolated bones of the skeleton. *Human Biology*, 27:1-12.

Poulsen K, Simonsen J (2007) Computed tomography as routine in connection with medico-legal autopsies. *Forensic Sci Int* 171(2-3):190-197.

- Prieto JL (2008) La Antropología Forense en España desde la perspectiva de la medicina forense. Cuad. med. forense no.53-54.
- Ramadan S, Turkmen N, Dolgun N, Gokharman D, Menezes R, Kacar M, Kosar, U (2010) Sex determination from measurements of the sternum and fourth rib using multislice computed tomography of the chest. *Forensic Sci Int* 197:120-125.
- Ramsthaler F, Kettner M, Gehl A, Verhoff MA (2010) Digital Forensic Osteology: Morphological Sexing of Skeletal Remains using Volume-Rendered Cranial CT Scans. *Forensic Sci Int* 195:148-152.
- Rao NG, Pai LM (1988) Costal cartilage calcification pattern – A clue for establishing sex identity. *Forensic Sci Int* 38:193-202.
- Retjarova O, Hejna P, Bukac J, Slízová D, Krs O (2009) Sexual dimorphism of ossified costal cartilage. Radiograph scan study on Caucasian men and women (Czech population). *Forensic Sci Int* 191: 110.e1-110.e5.
- Reverte Coma, JM (1991) Antropología Forense. Ministerio de Justicia. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Madrid.

- Riepert T, Drechler T, Schildb H, Nafe B, Mattered R (1996)
Estimation of sex on the basis of radiographs of the
calcaneus. *Forensic Sci Int.* 77: 133-140.
- Robinson C, Eisma R, Morgan B, Jeffery A, Graham E, Black
S, Ruddy G (2008) Anthropological measurements of
lower limb and foot bones using Multi Detector
Computed Tomography. *Forensic Sci Int* 53(6):1289-
1295.
- Robinson MS, Bidmos MA (2009) The skull and humerus in
function equations. *Forensic Science International* 186:
the determination of sex: Reliability of discriminant
86.e1-86.e5.
- Rocha MA (1995) Les collections ostéologiques humaines
identifiées du Musée Anthropologie de l'Université de
Coimbra. *Antrpología Portuguesa* 13.
- Rodríguez Cuenca JV (1994) Introducción a la Antropología
Forense. Análisis e identificación de restos óseos
humanos. Dep. de Antropología, Universidad Nacional
de Colombia. Santafé de Bogotá.

- Rodríguez-Martín C (1996) Guanche mummies of Tenerife (Canary Islands): conservation and scientific studies in the CRONOS Project. In: Spindler K., Wilfing H., Rastbichler-Zissernig E., zur Nedden D., Nothdurfter H. (eds) Human Mummies. The Man in the Ice, vol 3. Springer, Vienna.
- Rosset A, Spadola L, Ratib O (2004) OsiriX: An Open-Source Software for Navigating in Multidimensional DICOM Images. *Journal of Digital Imaging* 17(3):205-216.
- Rosique-Gracia J, Ospina Trejos C, Gallego Muñoz PA (2004) Estudio cuantitativo del dimorfismo sexual en restos óseos de la población de Medellín. *Actual Biol*, 26 (80): 50-59.
- Rother P, Hunger H, Liebert U, Seidemann D (1975) Sex differences in the human sternum. *Gegenbaurs morphologisches Jahrbuch*. 121(1):29-37.

- Ruff CB, Jones HH (1981) Bilateral Asymmetry in Cortical Bone of the Humerus and Tibia Sex and Age Factors. *Human Biology* 53(1):69-86.
- Rutty GN, Brogdon G, Dedouit F, Grabherr S, Hatch GM, Jackowski C, Leth P, Persson A, Ruder TD, Shiotani S et al. (2013) Terminology used in publications for *post-mortem* cross-sectional imaging. *International Journal of Legal Medicine* 127(2):465-466.
- Saint-Martin P, Dedouit F, Rérolle C, Guilbeau-Frugier C, Dabernat H, Rougé D, Telmon N, Crubézy E (2015) Diagnostic value of high-resolution peripheral quantitative computed tomography (HR-pQCT) in the qualitative assessment of cribra orbitalia – A preliminary study. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* 66(1):38-43.
- Salvador Figueras M (2000) Análisis Discriminante [en línea] *5campus.com, Estadística* <[http: www.5campus.com/leccion/discri](http://www.5campus.com/leccion/discri)> [28-01-2011].
- Santos AL (2000) A skeletal picture of tuberculosis. Macroscopic, radiological, biomolecular, and historical evidence from the Coimbra Identified Skeletal Collection. Ph.D. dissertation on biological anthropology. Coimbra: Universidade de Coimbra.

- Santos AL, Roberts C (2001) A picture of tuberculosis in young Portuguese people in the earlier 20th century: a multidisciplinary study of the skeletal and historical evidence. *Am J Phys Anthropol* 115: 38-49.
- Saunders S (2000) Subadult skeletons and growth related studies. *Skeletal Biology of Past Peoples: Research Methods*, editado por S. Saunders y A. Katzenberg, pp. 1-20. Wiley-Liss, New York.
- Schaefer MC, Black SM (2007) Epiphyseal union sequencing: aiding in the recognition and sorting of commingled remains. *J Forensic Sci* 52(2):277-285.
- Schulz R, Muhler 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.
- Schulze D, Rother U, Fuhrmann A, Richel S, Faulmann G, Heiland M (2006) Correlation of age and ossification of the medial clavicular epiphysis using computed tomography. *Forensic Sci Int* 158(2-3):184-189.
- Sheng-Bo Yu, U-Young Lee, Dai-Soon Kwak, Yong-Woo Ahn, Chang-Zhu Jin, Jie Zhao, Hong-Jin Sui, Seung-Ho Han (2008) Determination of Sex for the 12th Thoracic Vertebra by Morphometry of Three-dimensional Reconstructed Vertebral Models. *Forensic Science International*: 53 (3): 620-626.

- Singh J, Pathack R, Singh D (2012) Morphometric sex determination from various sterna widths of Northwest Indian sternums collected from autopsy cadavers: A comparison of sexing methods. *Egyptian J Forensic Sci.* 2: 18-28.
- Solarino M, De Filippi C, Solarino B (2009) Radiological and Forensic Medicine aspects of traumatic injuries in child abuse. *Radilogía Médica* 114:1356-1366.
- Stewart TD (1979). *Essential of Forensic Anthropology.* Springfield: Charles C. Thomas.
- Steyn M, Iscan MY (1999) Osteometric variation in the humerus: sexual dimorphism in South Africans. *Forensic Science International*, 106: 77-85.
- Stuart-Macadam, P (1989) Porotic hyperostosis: Relationship between orbital and vault lesions. *Am J Physical Anthropology* 80(2):187-193.
- Subirà i Galdácano E (2001) *La química del hueso y la Paleopatología en Campillo* D (2001) *Introducción a la Paleopatología.* Ediciones Bellaterra. Barcelona.
- Terry RJ (1932) The clavicle of the black american. *Am J Phys Anthropol* 16(3):351-379.

- Thali MJ, Dirnhofer R., Bock P (2009) *The Virtopsy Approach. 3D Optical and Radiological Scanning and Reconstruction in Forensic Medicine.* CRC Press. NW.
- Thieme FP, Schull WJ (1957) Sex determination from the skeleton. *Human Biology* 29(3):242-273.
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Ishii N, Hayakawa M, Yajima D, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F, and Iwase H. 2014a. Stature estimation in Japanese cadavers using the sacral and coccygeal length measured with multidetector computed tomography. *Legal Medicine* 16(1):14-19.
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Hayakawa M, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F, Hoshioka Y et al. . 2015a. Stature estimation in Japanese cadavers based on the second cervical vertebra measured using multidetector computed tomography. *Legal Medicine* 17(3):145-149.
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Hayakawa M, Yajima D, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F et al. . 2014b. Stature estimation based on radial and ulnar lengths using three-dimensional images from multidetector computed tomography in a Japanese population. *Legal Medicine* 16(4):181-186.

- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Hayakawa M, Yajima D, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F et al. . 2015b. Stature estimation in Japanese cadavers based on pelvic measurements in three-dimensional multidetector computed tomographic images. *International Journal of Legal Medicine* 129(3):633-639.
- Torimitsu S, Makino Y, Saitoh H, Sakuma A, Ishii N, Yajima D, Inokuchi G, Motomura A, Chiba F, Yamaguchi R et al. . 2016. Stature estimation from skull measurements using multidetector computed tomographic images: A Japanese forensic sample. *Legal Medicine* 18:75-80.
- Ubelaker DH (1989) *Human Skeletal Remains: Excavation, Analysis, Interpretation*. Washington D.C., Taraxacum.
- Usui A, Kawasumi Y, Hosokai Y, Hayashizaki Y, Saito H, and Funayama M. 2012. Radiological analysis of a naturally mummified body. *Japanese Journal of Radiology* 30(5):458-462.
- Varela Mollou J, Rial Boubeta A (2008) *Estadística práctica para la investigación en ciencias de la salud*. Ed. Netbiblo S.L. La Coruña. 333 pp.

- Verhoff M, Ramsthaler F, Krähahn J, Deml U, Gille R, Grabherr S, Thali M, Kreutz K (2008) Digital Forensic Osteology: Possibilities in cooperation with the Virtopsy® Project. *Forensic Science International*: 174: 152-156.
- Visauta B (1998) *Análisis Estadístico con SPSS para WINDOWS (Vol II. Análisis Multivariante)*. Mc-Graw Hill.
- Wahl J, Graw M (2001) Metric sex differentiation of the pars petrosa ossis temporalis. *Int J Legal Med* 114: 215-223.
- Wapler U, Crubezy E, Schultz M (2004) Is *Cribriformis orbitalis* synonymous with anemysa ? Analysis and interpretation of cranial pathology in Sudan. *Am J Physical Anthropology* 123(4):333-339.
- Weidenhagen R, Meimarakis G, Jauch K-W, Becker CR, Kopp R (2008) OsiriX. *Gefässchirurgie* 13(4):278-290.
- Weilemann Y, Thali MJ, Kneubuehl BP, Bolliger SA (2008) Correlation between skeletal trauma and energy in falls from great height detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT). *Forensic Sci Int* 180:81-85.
- Weir J, Murray A (1999) *Atlas y texto de imágenes radiológicas clínicas*. Ed. Elsevier.
- White TD (1991) *Human Osteology*. Academic Press. San Diego, CA,

- Yoldi A, Alemán I, Botella M (2001) Funciones discriminantes del sexo a partir del ilion en una población mediterránea de sexo conocido. *Revista Española de Antropología Biológica*. 22: 23-38.
- Zhang K, Cui J-h, Luo Y-z, Fan F, Yang M, Li X-h, Zhang W, Deng Z-h. (2016) Estimation of stature and sex from scapular measurements by three-dimensional volume-rendering technique using in Chinese. *Legal Medicine* 21:58-63.
- Zhang K, Luo Y-z, Fan F, Zheng J-q, Yang M, Li T, Pang T, Zhang J, Deng Z-h. (2015) Stature estimation from sternum length using computed tomography–volume rendering technique images of western Chinese. *Journal of Forensic and Legal Medicine* 35:40-44.
- Zhao H, Dong X-A, Zheng T, Qing S-H, Deng Z-H, Zhu G-Y (2011) Skeletal age estimation of sternal end of clavicle in Sichuan Han nationality youth using thin-section computed tomography. *Fa yi xue za zhi* 27(6):417-420.
- Zuckerman MK, Garofalo EM, Frohlich B, Ortner DJ (2014) Anemia or scurvy: A pilot study on differential diagnosis of porous and hyperostotic lesions using differential cranial vault thickness in subadult humans. *International Journal of Paleopathology* 5:27-33.

9. ANEXOS

Se incluyen aquí dos imágenes de la cavidad glenoidea, por su interés, que no han tenido cabida en el texto principal, y los gráficos de frecuencias por sexo para las variables estudiadas y los gráficos de dispersión para el error inter-observador, como representación del test de Lin.

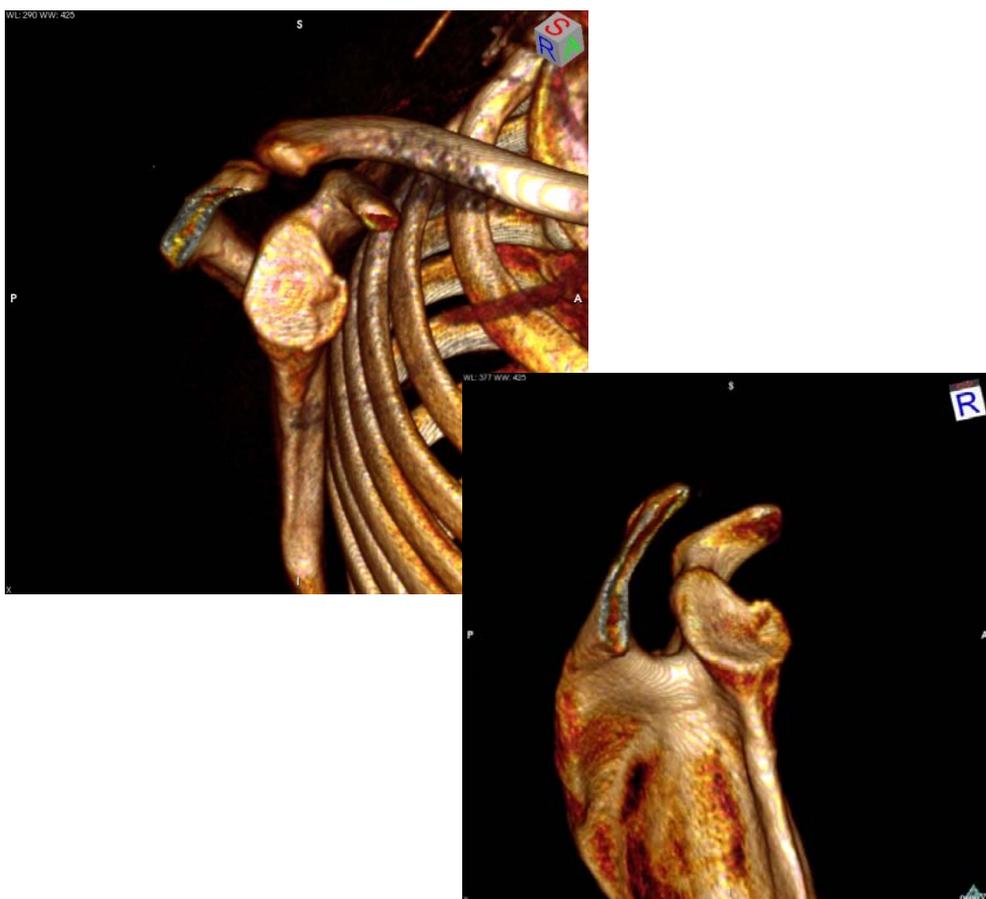
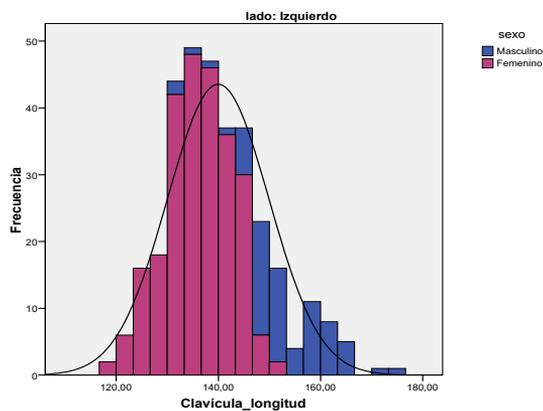
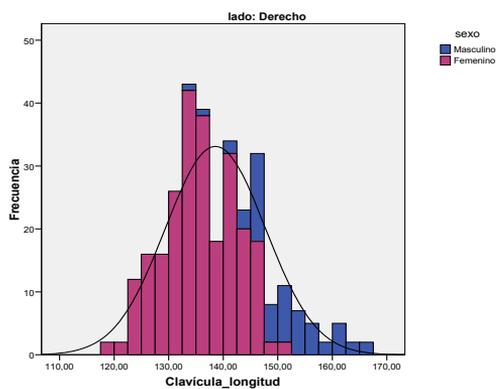
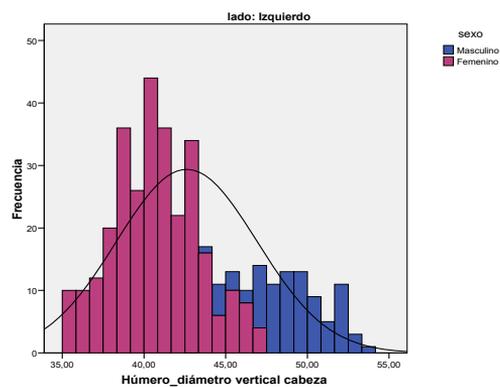
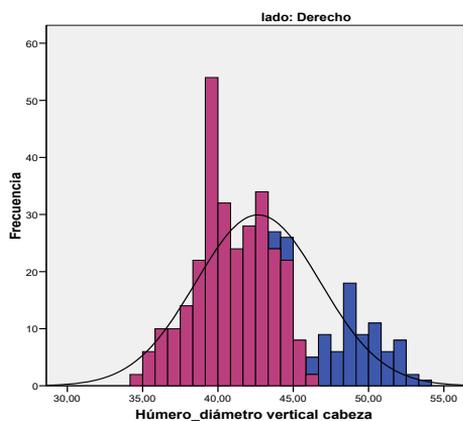
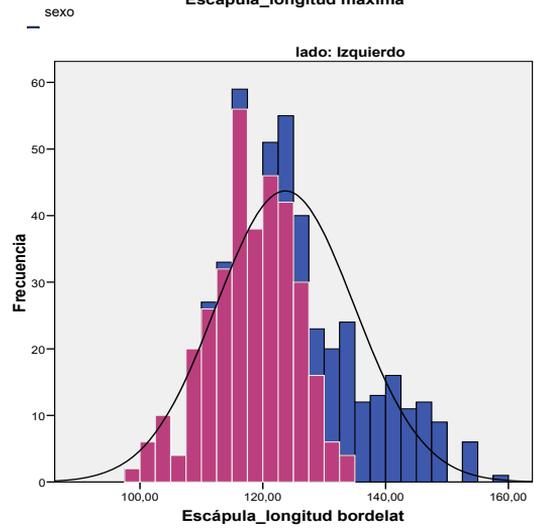
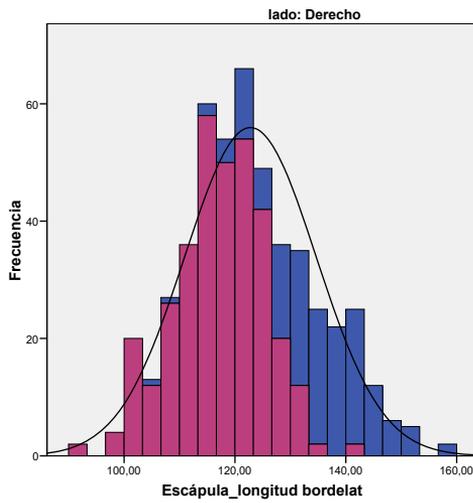
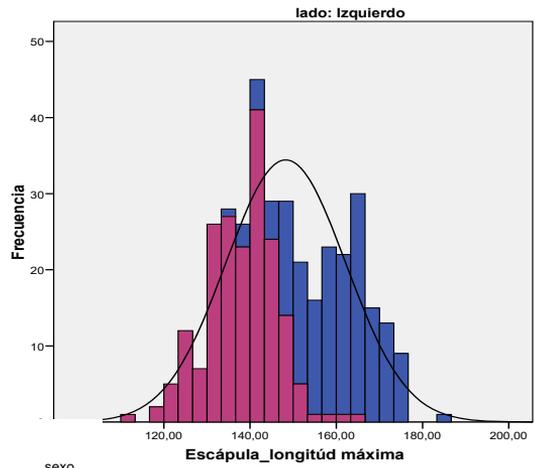
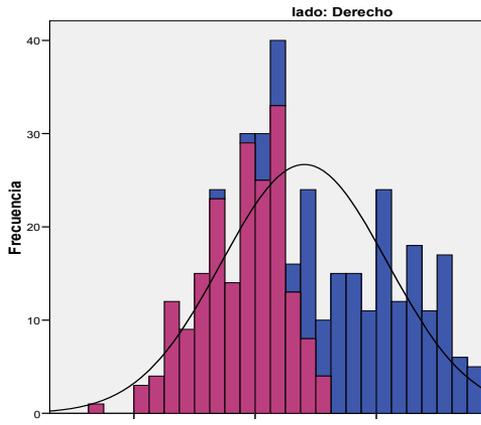


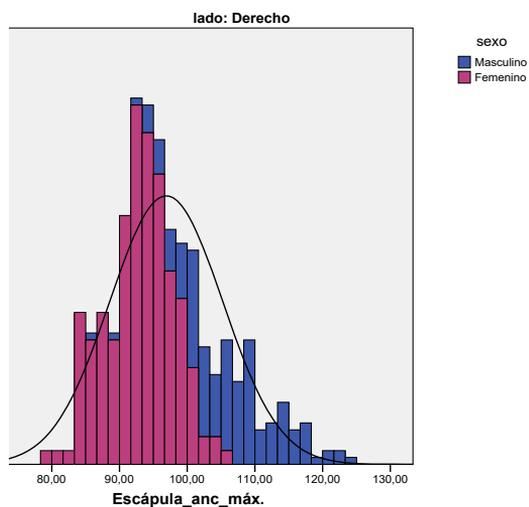
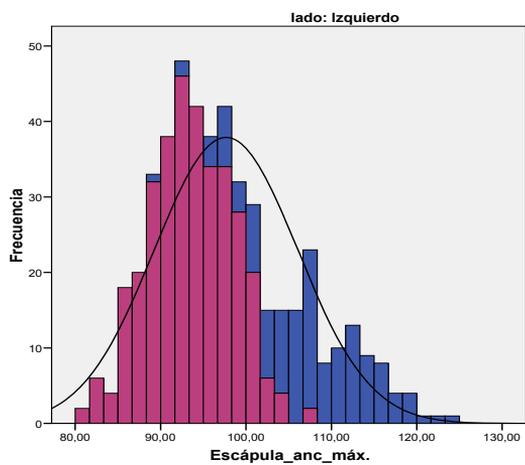
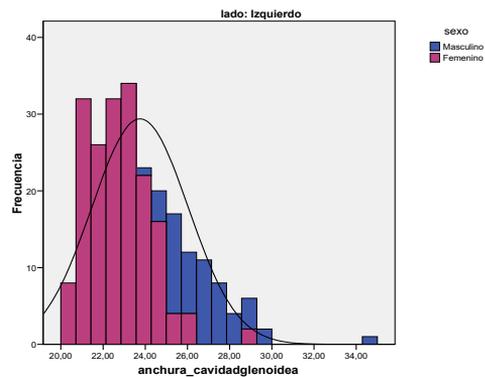
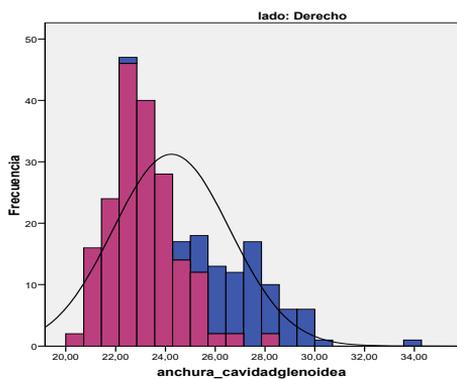
Imagen 1 y 2. Posible lesión provocada por luxación recidivante anterior de hombro

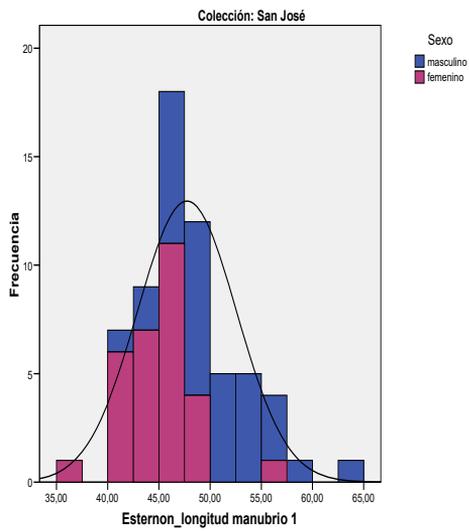
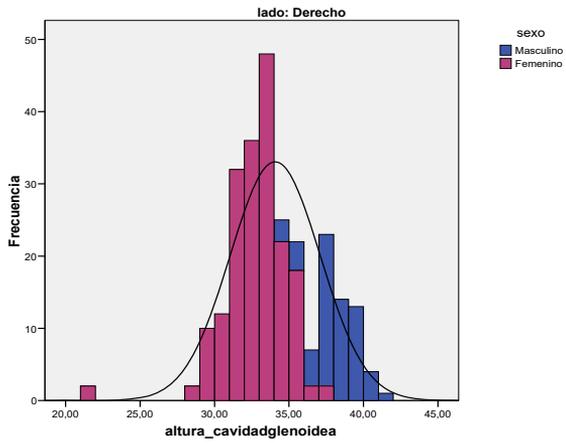
GRÁFICOS 1. FRECUENCIAS POR SEXOS Y CURVA NORMAL PARA LAS MUESTRAS ESTUDIADAS EN 3D DE HÚMERO, CLAVÍCULA Y ESCÁPULA.



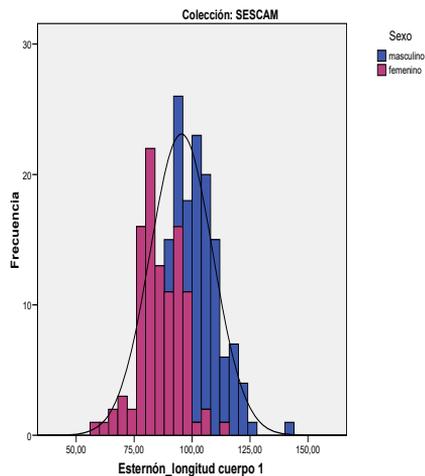
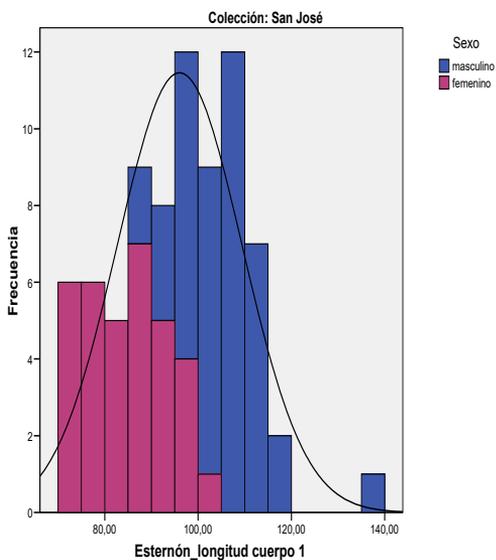
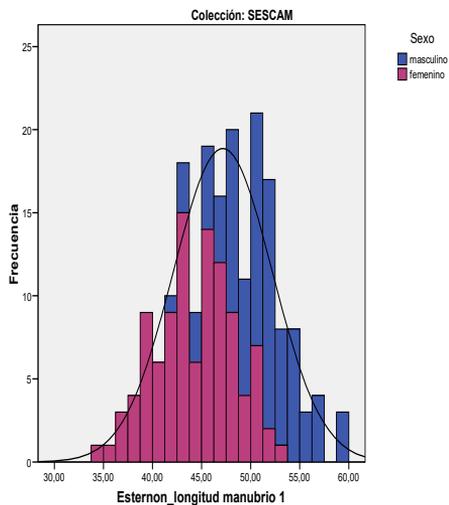
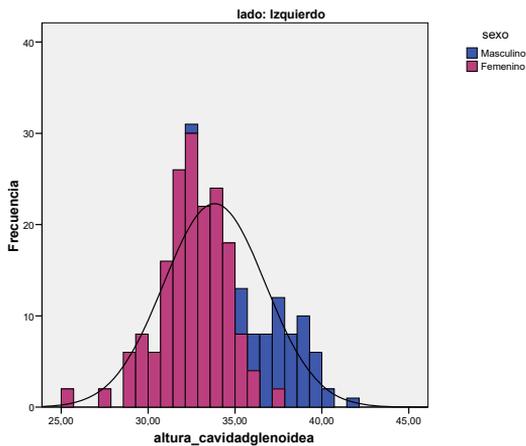


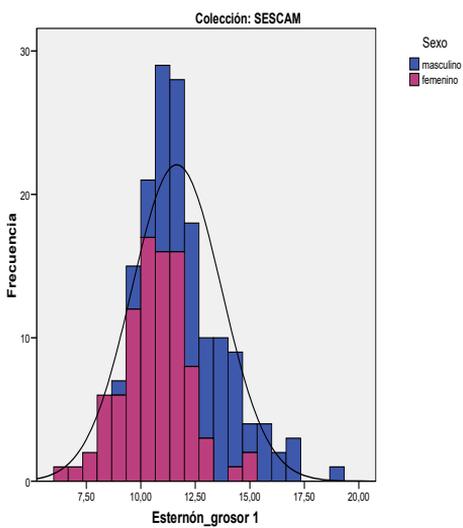
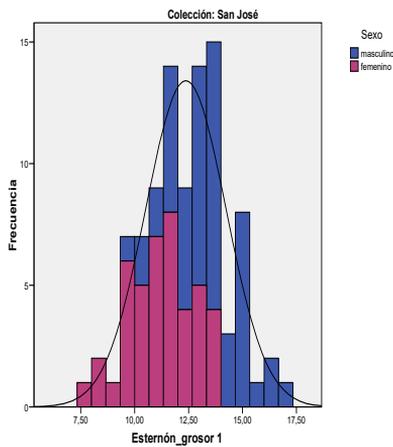
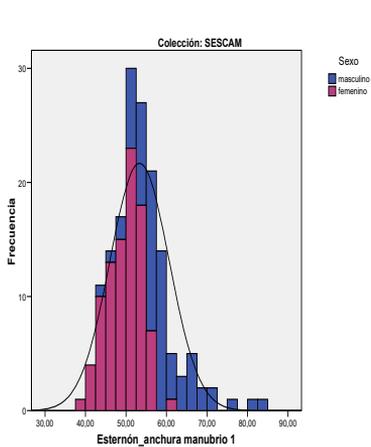
Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D



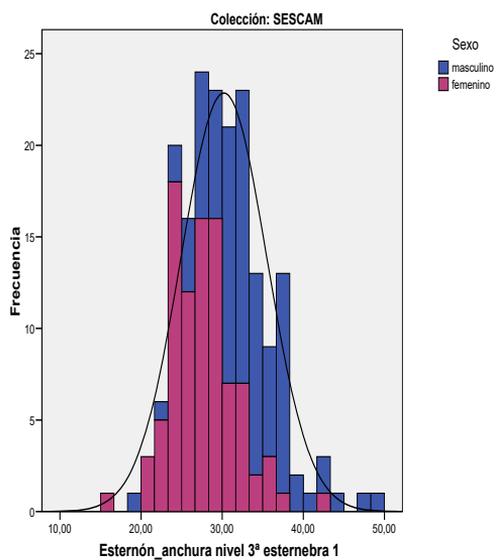
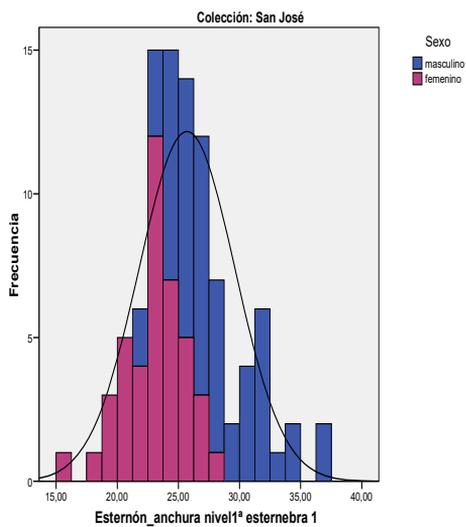
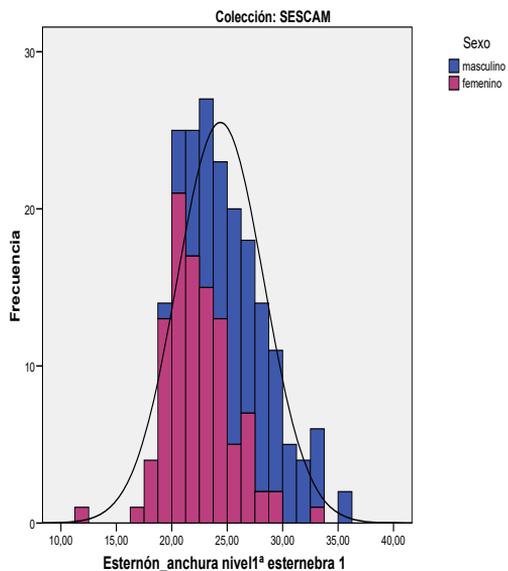
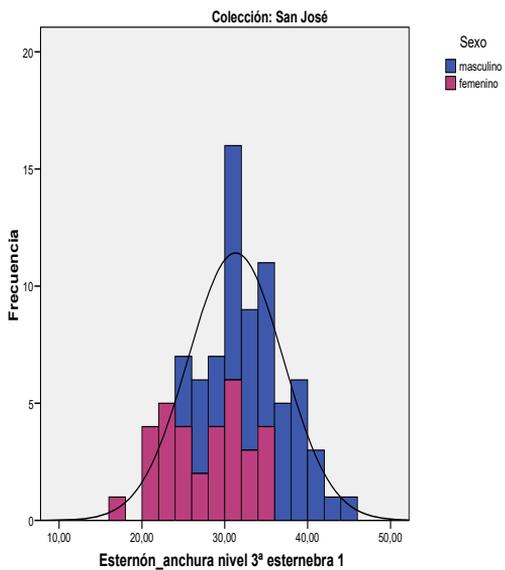


GRÁFICOS 2. FRECUENCIAS POR SEXOS Y CURVA NORMAL PARA LAS MUESTRAS ESTUDIADAS EN ESTERNÓN 3D Y HUESO SECO.



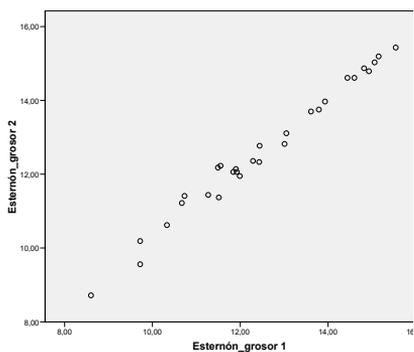
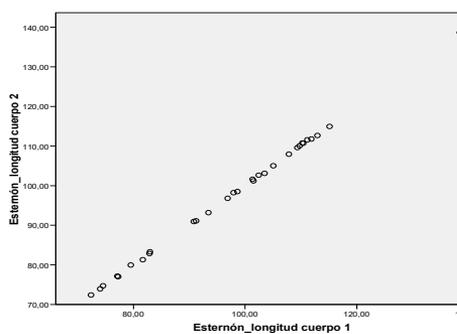
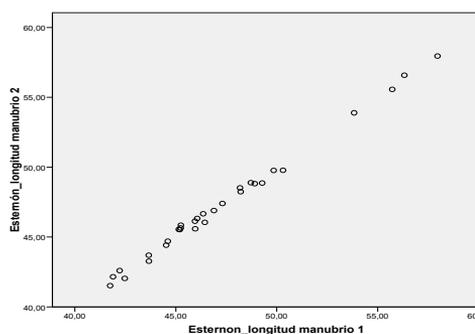


Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

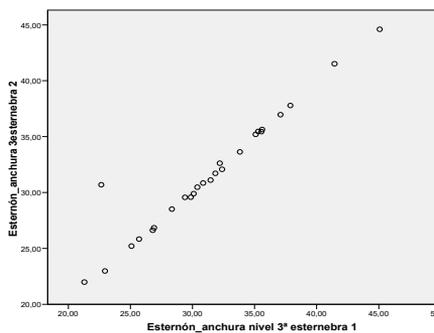
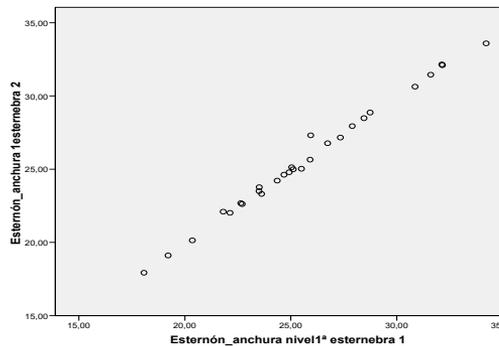
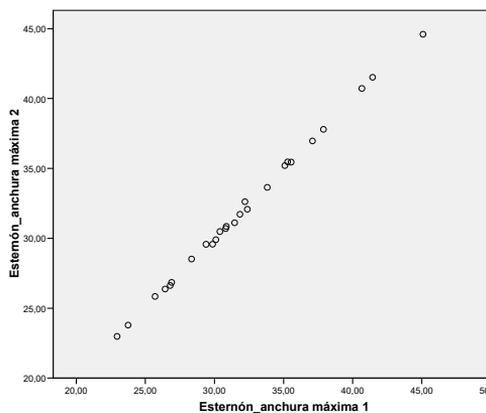


GRÁFICOS 3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA TEST DE LIN

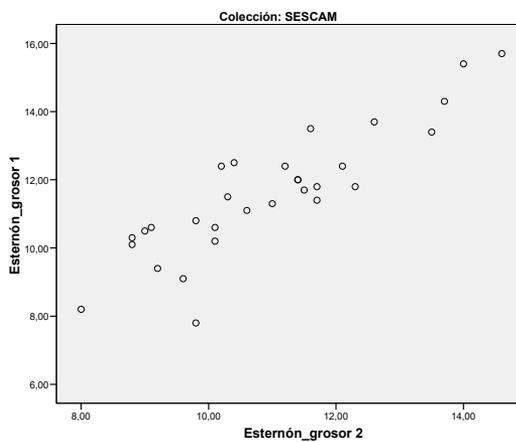
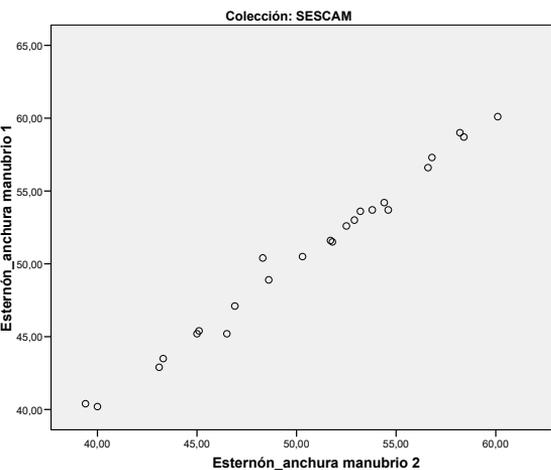
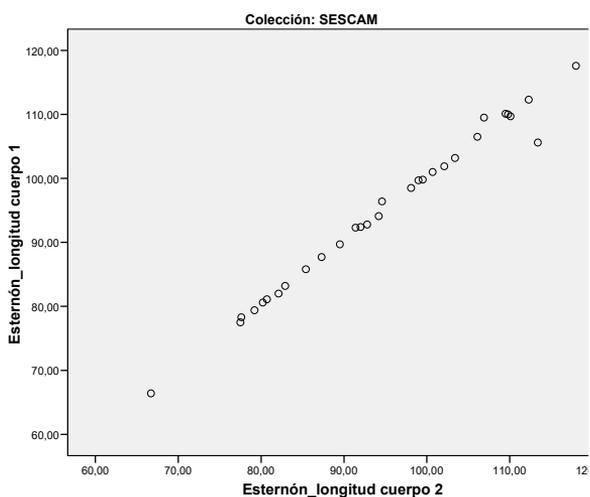
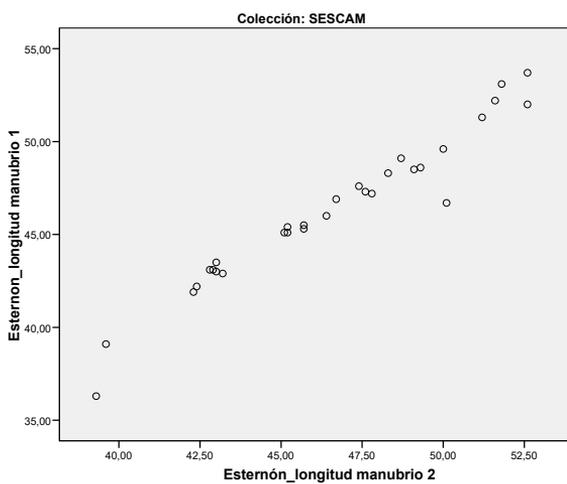
3.1. ESTERNÓN COLECCIÓN SAN JOSÉ- ERROR INTER-OBSERVADOR

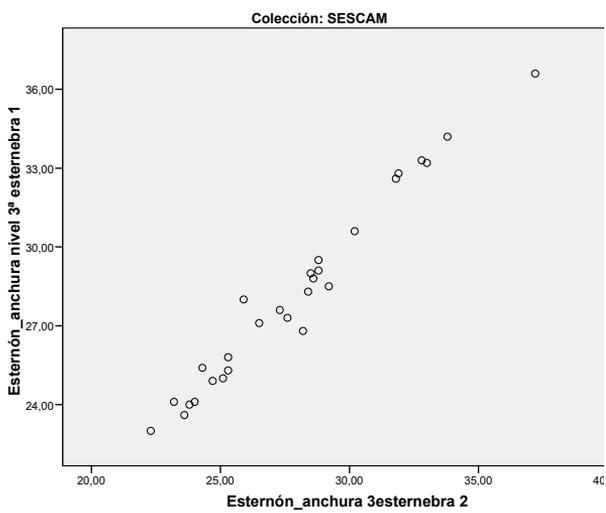
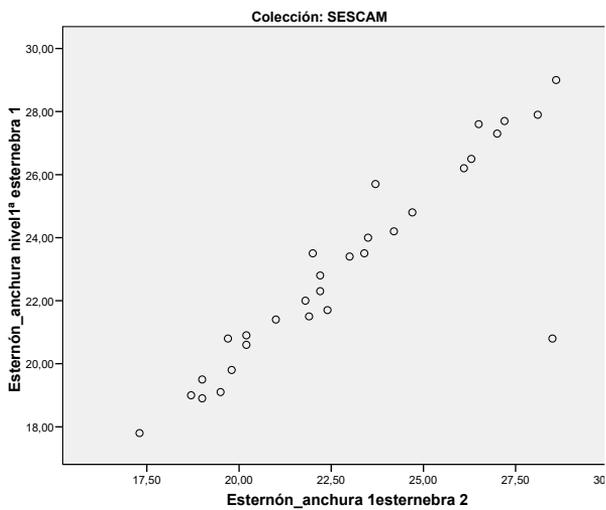


3.2.

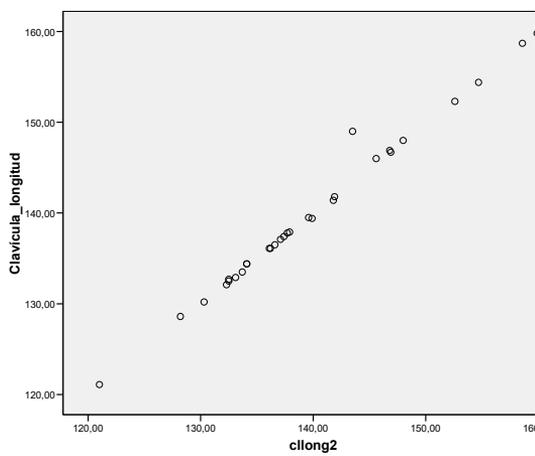
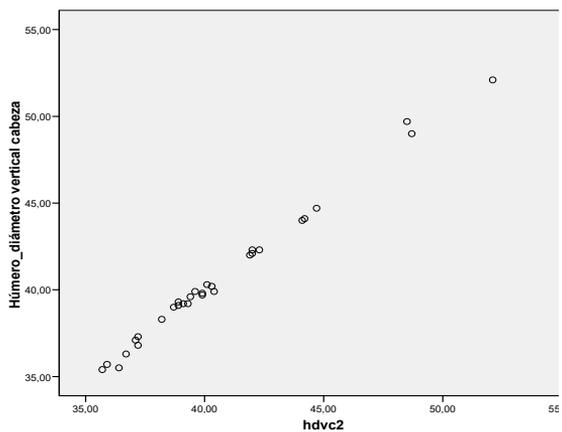


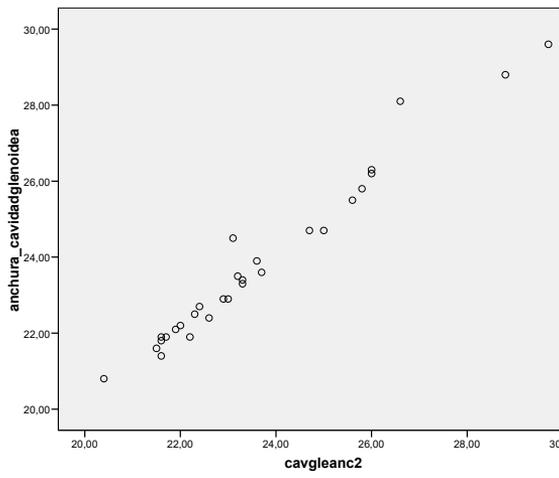
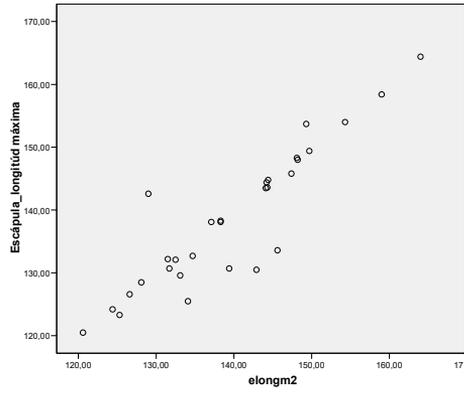
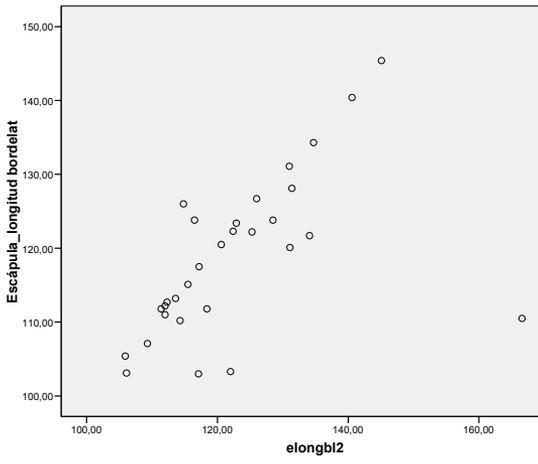
3.2. ESTERNÓN COLECCIÓN SESCAM – ERROR INTER-OBSERVADOR





2.3. HÚMERO-CLAVÍCULA-ESCÁPULA SESCAM- ERROR INTER-OBSERVADOR





Estimación del sexo en el esqueleto mediante el análisis de imágenes en 3D

