



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE CIENCIAS**

---

---

***PROPUESTA Y VALIDACIÓN DE MÉTODOS  
COMPUTACIONALES PARA ESTIMACIÓN DE EDAD  
A LA MUERTE MEDIANTE LA SÍNFISIS PÚBLICA EN  
POBLACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO.  
APLICACIÓN EN EL ÁMBITO FORENSE.***

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**MÉNDEZ VEGA GIL ALINA MARISSA**

**DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. LORENA VALENCIA CABALLERO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX.**

**2024**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**DATOS DE LA ALUMNA**

Méndez Vega Gil Alina Marissa

[marissa.mendez@ciencias.unam.mx](mailto:marissa.mendez@ciencias.unam.mx)

Licenciatura en Biología

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Número de cuenta: 10700630-5

**DATOS DE LA TUTORA**

Dra. Lorena Valencia Caballero

Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México

[loreval@unam.mx](mailto:loreval@unam.mx)

**SINODAL 1**

Dra. Angelica González Oliver.

**SINODAL 2**

M. en C. Rafael Martínez López.

**SINODAL 3**

Dr. Diego Pineda Martínez.

**SINODAL 4**

M. en A. Eduardo Espejel Santillán.



Science is much more than a body of knowledge.  
It's a way of thinking

~ Carl Sagan ~

**Para Urbano Méndez López †,  
mi pilar más grande, mi mejor amigo y el mejor padre.**

## ÍNDICE.

Agradecimientos.....	1
Resumen.....	4
Introducción.....	6
1. Relación Biología - Antropología.....	11
2. Antropología física y su aplicación en el ámbito forense.....	11
3. Estimación de edad en antropología forense.....	25
4. La sínfisis púbica y su papel en la estimación de edad.....	28
5. Desarrollo embrionario y cambios morfológicos de la sínfisis púbica a lo largo de la vida.....	28
6. Antecedentes metodológicos de la estimación de edad por medio de la sínfisis púbica y propuestas recientes.....	34
<b>6.1 Métodos Clásicos.....</b>	<b>34</b>
<b>6.2 Nuevas Propuestas.....</b>	<b>37</b>
7. Materiales y métodos.....	41
<b>7.1 La muestra.....</b>	<b>41</b>
<b>7.2 Osteotecnia.....</b>	<b>44</b>
<b>7.3 Digitalización 3D.....</b>	<b>47</b>
<b>7.4 Clasificación por el método de Suchey – Brooks.....</b>	<b>51</b>
<b>7.5 Clasificación mediante el software “forAge”.....</b>	<b>51</b>
<b>7.6 Análisis estadístico.....</b>	<b>53</b>
8. Resultados.....	56
<b>8.1 Comparación entre la edad estimada mediante el hueso y el modelo 3D.....</b>	<b>58</b>
<b>8.2 Comparación entre metodologías computacionales y método de Suchey – Brooks.....</b>	<b>59</b>
<b>8.3 Evaluación de la estimación de edad por el software “forAge” en sexo femenino.....</b>	<b>60</b>
9. Discusión.....	61
<b>9.1 ¿Se pierde información al utilizar el modelo tridimensional en lugar del hueso físico?.....</b>	<b>62</b>
<b>9.2 ¿La herramienta computacional resulta ser más confiable y precisa que el método tradicional de Suchey – Brooks?.....</b>	<b>65</b>
<b>9.3 ¿La herramienta computacional es útil para estimar edad en nuestra población?.....</b>	<b>68</b>
<b>9.4 ¿La herramienta computacional es útil para estimar edad en individuos de sexo femenino?.....</b>	<b>69</b>
<b>9.5 Nueva propuesta metodológica.....</b>	<b>71</b>
<b>9.6 Limitaciones.....</b>	<b>74</b>

10. Conclusiones .....	76
REFERENCIAS.....	78
ANEXOS .....	83
<b>ANEXO 1. Métodos generales de estimación de edad en Antropología Forense.....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO 2. Métodos convencionales para estimar edad en sínfisis púbica.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXO 3. Plantillas utilizadas para aplicar el método de Suchey – Brooks para individuos masculinos y femeninos.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO 4. Plantillas utilizadas para aplicar el método de Suchey – Brooks a modelos 3D de individuos masculinos. ....</b>	<b>94</b>
<b>ANEXO 5. Organización de la base de datos utilizada para crear la red neuronal secuencial.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXO 6. Comportamiento de los datos analizados mediante el método de Suchey – Brooks. ....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXO 7. Gráfica de valores de la función de pérdida (MSE) durante el entrenamiento y sobre la validación.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO 8. Gráfica comparativa de las estimaciones realizadas por ambos métodos.....</b>	<b>98</b>

## **Agradecimientos.**

Al Dr. Diego Pineda Martínez, ex jefe del Departamento en Material Biológico Humano, por brindarme su apoyo durante mi estancia en éste.

A la Dra. Lorena Valencia Caballero por su total apoyo durante el desarrollo de este trabajo, por impulsarme siempre a ser una excelente profesionista y por todas esas buenas experiencias que vivimos en aquel viaje a España. Más que mi tutora y profesora la siento como parte de mi familia.

A mis padres por apoyarme para que pudiera cumplir todos mis sueños, por su paciencia y comprensión, por estar siempre que los he necesitado y darme todo en esta vida.

A mis tíos, Héctor Bruno Vega Gil Hernández † y Gustavo Áyax Vega Gil Hernández †, quienes se fueron de mi vida demasiado pronto y no pudieron estar conmigo en este momento tan importante. Gracias por tanto, se perfectamente que mi vida sin ustedes hubiera sido muy diferente. Ambos me enseñaron que no hay imposibles cuando uno realmente quiere las cosas. Los llevo en mi corazón siempre.

A mi madrina Andrea González Loyola por estar al pendiente de mí durante mi estancia en “Prepa 2” y por brindarme la increíble oportunidad de ingresar a mi querida UNAM. Por ella soy quien soy actualmente y es algo que no podré pagarle nunca. Mi amor por ella es infinito.

Al Dr. Isaí Martínez Torres y la Dra. Nínive Rodríguez, quienes me apoyaron siempre, me motivaron a terminar este trabajo y me ayudaron a obtener la seguridad y confianza en mí misma que tanto me faltaba.

A Ulises Juárez Guzmán, la persona que me ha impulsado cada día a ser mejor persona, cumplir todos mis sueños y que ha estado en los mejores y peores momentos de mi vida.

A todos mis amigos, por echarme porras siempre que me hacía falta motivación para finalizar este proyecto.

A mi Gustavito y Brunito que sin saberlo y a su corta edad han sido mi refugio, mi lugar seguro y mi motivación en los días más complicados. Gracias por alegrar cada uno de mis días y apapachar mi corazón cuando más lo necesito.

A mi hermano, Gustavo Camacho, porque a pesar de nuestras diferencias siempre me ha brindado su apoyo y protección, algo que le agradeceré toda la vida.

Al M. en C Rafael López Martínez, por toda su orientación y apoyo para la obtención de los resultados del presente trabajo. Sin su apoyo esto definitivamente no se hubiera podido completar.

Al Dr. Leopoldo Ruiz Huerta, por permitirme ingresar a su laboratorio y proporcionarme el equipo necesario para la realización del presente trabajo.

A la DGAPA – PAPITT por su apoyo económico al proyecto 131/2018 “Elaboración de parámetros de edad a través de la cuarta costilla y la sínfisis púbica”, cuyo resultado es la presente tesis. Gracias a su colaboración fue posible la completa dedicación a la elaboración del presente trabajo.

A las pasantes de antropología física: Julia Stephan Sánchez Torrijos y Belem Cisneros Díaz por su apoyo y orientación en la realización del presente trabajo.

A los técnicos forenses Arturo Juan Feria Segura y Gonzalo Mejía Medina por su apoyo en el proceso de obtención, conformación y traslado de la muestra utilizada en el presente trabajo.

## Resumen

La estimación de edad para los estudios antropológicos físicos y forenses es fundamental junto con otros datos demográficos y biológicos ya que permiten que se lleve a cabo la identificación e individualización de una persona (viva o muerta). En México se presenta un rezago en el área de las ciencias forenses entre ellas la antropología física forense, que también debe lidiar con el uso de técnicas antiguas empleadas durante el proceso de identificación humana. En la presente investigación se evalúan las técnicas utilizadas convencionalmente y una nueva técnica basada en el uso de herramientas computacionales para la estimación de la edad. Además, se propone una nueva técnica que permita obtener resultados más objetivos y precisos en individuos mexicanos no identificados mediante el uso de redes neuronales a partir del análisis de imágenes tridimensionales de la sínfisis púbica. Para ello, se conformó una muestra de 140 sínfisis púbicas (89 masculinos y 51 femeninos) de individuos de origen mexicano. Se generaron los modelos tridimensionales de dichas estructuras, se utilizó la herramienta computacional “forAge” y se aplicó el método de Suchey-Brooks (1990) con el objetivo de establecer: 1) si la herramienta computacional resultaba ser más confiable y precisa que la metodología utilizada convencionalmente, y 2) si ambas metodologías son aplicables a nuestra población.

Se observaron diferencias significativas entre la edad cronológica y estimada por la metodología computacional y el método de Suchey-Brooks (1990) y ambos subestiman la edad. Asimismo, y a pesar de lo mencionado anteriormente, el método de Suchey – Brooks (1990) presenta un menor sesgo y una baja imprecisión lo que conduce a inferir que es el método que estima de “mejor manera” la edad. Aun así, se sigue manteniendo la opinión de que no resulta ser un método preciso ni confiable ya que, finalmente, al depender de la pericia y entrenamiento visual de quien lo aplica, se obtiene como resultado lo que uno quiere ver, catalogándose por esto como un método altamente subjetivo. En cuanto a la herramienta computacional, aún no resulta ser más precisa que el método convencional dado que ambos tienen parámetros establecidos en muestras que distan biológicamente de la mexicana. Sin embargo, ésta muestra confiabilidad porque realiza el análisis mediante cálculos matemáticos, analizando la superficie y características de la sínfisis, eliminando el problema de subjetividad que presenta el método convencional de Suchey – Brooks (1990).

Finalmente, se comparó el desempeño del método observacional de Suchey - Brooks contra el método automatizado de clasificación de una red neuronal secuencial propuesto a partir de los datos capturados en cada fase del método. El método de Suchey – Brooks obtuvo un Error Cuadrático Promedio (RMSE)<sup>1</sup> mayor al obtenido por la red neuronal (164.80 vs. 115.58). Esto indica que el método de Suchey Brooks presenta un mayor error al momento de realizar la estimación de la edad. Por otra parte, la red neuronal secuencial es capaz de predecir edades puntuales en lugar de intervalos, lo que la hace mejor.

---

<sup>1</sup> El Error Cuadrático Promedio, RMSE por sus siglas en inglés, es uno de los dos indicadores de rendimiento principales para un modelo predictivo de regresión. Mide la diferencia media entre los valores previstos por el modelo predictivo y los valores reales. RMSE con valor 0 indica que el modelo tiene un ajuste perfecto. Cuanto menor sea el RMSE, mejor será el modelo y sus predicciones.

## **Introducción.**

La estimación de la edad es fundamental para los estudios antropológicos físicos y forenses, junto con otros datos demográficos y biológicos, ya que permite llevar a cabo la identificación e individualización de una persona (viva o muerta). En México, existe un retraso en el área de las ciencias forenses, incluyendo la antropología física forense, y en particular en las técnicas utilizadas durante el proceso de identificación de cadáveres. Asimismo, a partir del año 2007, en todo el territorio mexicano se presentó un aumento de la criminalidad que, hasta la actualidad, no ha disminuido (Brokmann Haro, 2017). Según datos de la Plataforma México, red nacional que alberga las bases de datos criminalísticas, en los últimos años se tiene un registro de más de 100,000 asesinatos, 40,000 personas desaparecidas y 36,708 personas fallecidas no identificadas, y estas cifras siguen en aumento. Un ejemplo de esto son los datos recopilados y presentados en el informe del colectivo "Movimiento por Nuestros Desaparecidos" en 2020, que indica que el número de personas fallecidas no identificadas fue de 52,004. Aunque esta cifra es oficial, solo se trata de una estimación y, en realidad, el número podría ser mayor (Movimiento por Nuestros Desaparecidos en México, 2021).

En 2021, se recopilaron nuevos datos que revelaron que entre el 1 de diciembre de 2006 y el 31 de julio de 2021, se habían registrado 75,755 personas desaparecidas y más de 30,000 cuerpos sin identificar en los Servicios Médicos Forenses. Hasta noviembre de 2021, se habían registrado un total de 95,000 personas desaparecidas y, al año siguiente, esta cifra aumentó a 109,171 personas y 52,000 personas no identificadas en fosas y morgues de todo el país. Actualmente, hasta febrero de 2023, la cifra de personas desaparecidas no localizadas va en 111,594 personas (Comisión Nacional de Búsqueda, 2018; Los Angeles Times, 2022; ONU México, 2021).

Esta circunstancia ha provocado una mayor sensibilización acerca de la necesidad de disponer de mejores herramientas para ayudar a identificar a estas personas, así como un mayor número de personal calificado en el área. Asimismo, y si comparamos con otros países, en México no disponemos de un registro nacional que reúna información de los cadáveres no identificados, en el que se incluyan datos biológicos para poder hacer una confrontación que permita agilizar el proceso de identificación. Aunque se han creado algunas bases de datos, su uso es muy limitado debido a la falta de personal calificado, así

como a que los registros suelen ser rudimentarios, incompletos y poco actualizados (Movimiento por Nuestros Desaparecidos en México, 2021). Asimismo, desde el punto de vista antropológico, existen los siguientes inconvenientes: 1) Los métodos actualmente utilizados en el campo son subjetivos y dependen de la valoración visual y la experiencia del especialista. Esto es que, la percepción no es igual entre dos personas, y además no hay elementos métricos precisos. 2) Estos métodos se originaron a partir de muestras muy antiguas. Por ejemplo, el método de Suchey-Brooks para estimación de edad mediante la sínfisis púbica, el cual es el más utilizado, se desarrolló con base en una muestra norteamericana de 1970; sin embargo, las características de esta población difieren biológicamente y temporalmente de la mexicana. 3) Puesto que estos métodos fueron elaborados por personas de habla inglesa, al traducir los términos utilizados para designar las estructuras óseas se pierde el significado original, lo que dificulta que la evaluación entre compañeros sea la misma.

En consecuencia, este trabajo es el primer paso en la propuesta y creación de nuevas técnicas que permitan obtener resultados más objetivos y precisos para la estimación de la edad en individuos mexicanos no identificados, así como comenzar a establecer parámetros que sean aplicables a nuestra población y, en un futuro, aportar información para poder desarrollar esos registros nacionales de los que carecemos actualmente.

Para realizar esta investigación, se inició por reunir una colección ósea de sínfisis púbicas de individuos originarios de la Ciudad de México. A continuación, se realizó la estimación de edad mediante el análisis de esta estructura utilizando el método de Suchey-Brooks (1990) y la herramienta computacional “forAge” con el objetivo de compararlos y establecer: 1) si la herramienta computacional resultaba ser más confiable y precisa que la metodología utilizada convencionalmente, y 2) si la metodología computacional era aplicable a una muestra de individuos de origen mexicano. Se optó por el método de Suchey – Brooks debido a que es el más empleado para la estimación de la edad a través de la sínfisis púbica por su facilidad de aplicación, y el software “forAge” debido a que: 1) para desarrollarlo, las autoras analizaron una parte de nuestra muestra (solo sexo masculino) y 2) de las nuevas metodologías computacionales desarrolladas hasta el momento, es de las pocas que cuenta con un programa que puede ser descargado, lo que facilita su uso y el poder aplicarlo a datos digitales de otras muestras de distintas poblaciones.

Para poder utilizar el software, se necesitaron modelos tridimensionales de las estructuras óseas por lo que se realizó la digitalización de cada una de ellas. Asimismo, se estimó la edad tanto en el hueso como en los modelos tridimensionales mediante el método convencional, con el objetivo de determinar si se pierde o no información de la estructura al utilizar el modelo en lugar del hueso. De igual modo, se utilizó el software "forAge" en la muestra de individuos de sexo femenino, aunque este fue desarrollado con base en una muestra de sexo masculino, con el objetivo de evaluar si es funcional para estimar edad en individuos femeninos o es necesario desarrollar uno exclusivo para este sexo.

La herramienta computacional "forAge", desarrollada por Stoyanova y sus colaboradores entre 2015 y 2017, está compuesta por 5 métodos que utilizan las coordenadas tridimensionales de los modelos, mismas que se analizan mediante algoritmos que proporcionan una estimación de la edad. Al combinar estos métodos, se producen estimaciones de edad objetivas que son comparables con las técnicas de envejecimiento tradicionales como el método de Suchey-Brooks.

El método de Suchey – Brooks se originó a partir de una muestra compuesta por diferentes grupos poblacionales (europeos y, en menor medida, mexicanos, africanos y estadounidenses), haciendo uso de la identificación de diversos cambios morfológicos asociados con la edad, que no necesariamente se presentan de la misma forma en todos los grupos y que no son detectados homogéneamente por el especialista que aplica el método (error del observador). Por tanto, considerando lo anterior, una de las hipótesis de este trabajo era que este método sería menos preciso y presentaría un mayor sesgo al aplicarlo en una muestra contemporánea de origen mexicano en comparación con los resultados obtenidos al aplicarlo en muestras de origen similar a aquellas con las que fue desarrollado.

Además de comparar, evaluar y determinar la idoneidad de estas metodologías, este trabajo también plantea el desarrollo de una metodología original basada en el uso de redes neuronales, teniendo en cuenta las ventajas que supone el uso de éstas, su capacidad para auto revisarse y realizar actividades cada vez más complejas, automatizadas y precisas. Se espera que esta nueva herramienta simplifique y acelere el proceso de identificación en un futuro.

A continuación, se presentará una breve explicación del contenido de cada uno de los capítulos que conforman el trabajo actual.

En el capítulo 1 "*Relación biología- antropología*" se presenta una explicación concisa de la relación entre la biología y la antropología. Esta conexión se ve reflejada en diversos aspectos, siendo uno de los más notables la evolución y filogenia de los seres vivos, incluyendo al hombre y otros primates. Los estudios en esta área se fundamentan en el análisis de los cambios corporales, los cuales solo pueden apreciarse de manera apropiada mediante el uso de la antropometría, la cual es una rama de la antropología. Las mediciones antropométricas proporcionan a la biología procedimientos adecuados para el estudio de la variabilidad orgánica. Además, la biología también tiene un papel muy relevante en el campo de la antropología, pues fue quien le brindó su sustento teórico y metodológico para conformarse como una ciencia.

En el capítulo 2 "*Antropología física y su aplicación en el ámbito forense*" se explica el objeto de estudio y técnicas utilizadas en el campo de la antropología física, así como su aplicabilidad al ámbito legal, dando lugar a la antropología física forense. Igualmente, se presenta de forma concisa la aplicación de esta derivación de la antropología en nuestro país, las situaciones en las que ha proporcionado información y la metodología que se aplica para obtener dicha información.

En el capítulo 3 "*Estimación de la edad en antropología forense*" se explica cómo se puede estimar la edad, la serie de cambios observables en las estructuras óseas conforme el individuo va envejeciendo, la serie de variaciones que pueden afectar el diagnóstico de la edad, así como los métodos empleados para estimar la edad (mayormente explicados en el Anexo 1).

El capítulo 4, "*Desarrollo embrionario y cambios morfológicos de la sínfisis púbica a lo largo de la vida*", se pretende proporcionar una explicación sobre el desarrollo de esta estructura desde las etapas iniciales del desarrollo humano e indicar las etapas que son relevantes en este proceso para la estimación de edad. Asimismo, se hace mención a algunos de los cambios degenerativos, secuenciales y progresivos que se emplean en la formulación de la literatura sobre los estándares que facilitan la estimación de la edad.

En el capítulo 5, "*La sínfisis púbica y su papel en la estimación de edad*", contiene una revisión de la biología de esta estructura; cómo los cambios morfológicos con base en los

procesos biológicos permiten que se realice la estimación de edad en ella y explica por qué es el rasgo anatómico más usado en el proceso de estimación de edad.

En el capítulo 6, "*Antecedentes metodológicos de la estimación de edad por medio de la sínfisis púbica y propuestas recientes*", se hace un resumen de todas las metodologías convencionales propuestas, las características de cada una de ellas, qué rasgos morfológicos evalúan y cómo realizan la asignación de la edad. Asimismo, se mencionan las nuevas metodologías desarrolladas hasta el momento, que se basan en el uso de modelos tridimensionales que son analizados mediante herramientas computacionales.

El capítulo 7 presenta la composición de la muestra analizada, el tratamiento aplicado a las piezas óseas, el proceso de digitalización y edición de los modelos tridimensionales, la estimación de la edad con las metodologías anteriormente mencionadas y como se realizó el análisis de los resultados.

Los resultados se presentan en el capítulo 8, mientras que la discusión y conclusiones del presente estudio se presentan en los capítulos 9 y 10, respectivamente.

## **1. Relación Biología - Antropología.**

A lo largo de la historia, la humanidad ha tratado de comprender mejor sus orígenes y características, tanto físicas como sociales (Lagunas, 2002). Para estudiar a la especie humana se hace uso de la antropología, que se relaciona con la biología en los siguientes aspectos: 1) ambas estudian a seres vivos, pero la antropología estudia exclusivamente al humano, 2) la biología le proporciona a la antropología el sustento teórico y metodológico que la hizo consolidarse como una ciencia y 3) ambas estudian la evolución, filogenia, origen y variabilidad de los humanos, pero la antropología extiende su trabajo a la cultura y la sociedad. La antropología ha considerado que el hombre es un ser cultural y, por ende, no es posible estudiar su biología sin tener en cuenta sus aspectos culturales y de comportamiento (Lagunas, 2002).

## **2. Antropología física y su aplicación en el ámbito forense.**

La antropología física, al ser una rama de la antropología general, se dedica al estudio de las poblaciones humanas actuales y pasadas. Esta disciplina se ocupa de temas como el surgimiento, crecimiento y desarrollo, distribución geográfica, procesos de salud – enfermedad, etc. de los grupos humanos pasados y presentes, pero, sobre todo, estudia la variabilidad humana contemporánea con el objetivo de entender sus causas y consecuencias (Lagunas, 2002; Moreno, 2018). Para estudiar esta variabilidad se ha enfocado en todas aquellas similitudes o diferencias que puede haber entre poblaciones humanas desaparecidas. Esta tarea se realiza a través de la osteología antropológica, que se ha establecido como uno de los grandes campos del quehacer antropofísico (Lagunas, 2002). La osteología antropológica se centra en el estudio del crecimiento y desarrollo, estructura, función y variación de los huesos a partir del análisis del esqueleto, teniendo en cuenta los efectos del origen genético, edad, sexo, dieta, trauma, enfermedad, etc. sobre ellos. Se realiza este análisis con la intención de determinar las características de los individuos, sus condiciones de vida, y cómo su esqueleto fue modificado por una serie de factores físico – biológicos, ambientales y culturales (Burns, 2007; Escorcía Hernández, 2015). La osteología proporcionará una gran cantidad de información relevante acerca de la persona fallecida, tales como: una descripción de su aspecto en vida, una evaluación de su salud y enfermedad, el reconocimiento de actividades habituales, así como también la identificación de la persona,

la determinación de la causa, mecanismo y tiempo aproximado de muerte, y la información de acontecimientos posteriores a la muerte, siempre y cuando se tengan en cuenta las condiciones en las que se encuentren los restos óseos y la disponibilidad de información previa a la muerte (Burns, 2007).

Los últimos cuatro puntos aportados por la osteología, junto con los conocimientos adquiridos a través de la somatología (variabilidad de la expresión fenotípica poblacional de rasgos faciales y corporales) y la ontogenia (crecimiento, desarrollo y declive morfofuncional de los individuos durante su vida), permitieron que la antropología física aplicara sus conocimientos al ámbito legal, conociéndose como antropología física forense (Burns, 2007; Escorcía Hernández, 2015; Klepinger, 2006).

En nuestro país, esta rama de la antropología física ha ayudado a individualizar e identificar a personajes históricos y contemporáneos. Actualmente, debido a la ola de violencia que azota el país y la necesidad de identificar a todos los fallecidos en calidad de desconocidos, esta ciencia ha adquirido mayor importancia (Klepinger, 2006). Muestra de esto es el aumento en la oferta académica y de investigación en instituciones como el INAH, la Escuela Nacional de Antropología e Historia y el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, quienes aportan mucha teoría con el objetivo de mejorar la especialidad. Sin embargo, no hay una vinculación adecuada entre la academia y la práctica profesional. Además, siguiendo lo indicado en el artículo 171 del Código de Procedimientos Penales de la Ciudad de México, en caso de que no se cuente con un especialista en antropología que cuente con título se puede nombrar a cualquiera que tenga “práctica”, situación que impide la rápida evolución de este campo (Espejel Santillan, 2012).

La antropología física forense tiene como objetivo proporcionar información del material biológico involucrado en casos legales a través del análisis de la biología del esqueleto, aplicando la metodología, técnicas y conocimiento propios de la antropología física con el fin de identificar plenamente a un individuo. La identificación es el acto de establecer la identidad, lo cual se logra cuando se definen y reconocen una serie de cualidades y características únicas para cada individuo, ya que no existen dos personas idénticas (Thompson et al., 2007). Los antropólogos forenses evalúan rasgos únicos mediante un proceso sistemático y metodológico, además de estimar datos como el sexo, la ascendencia

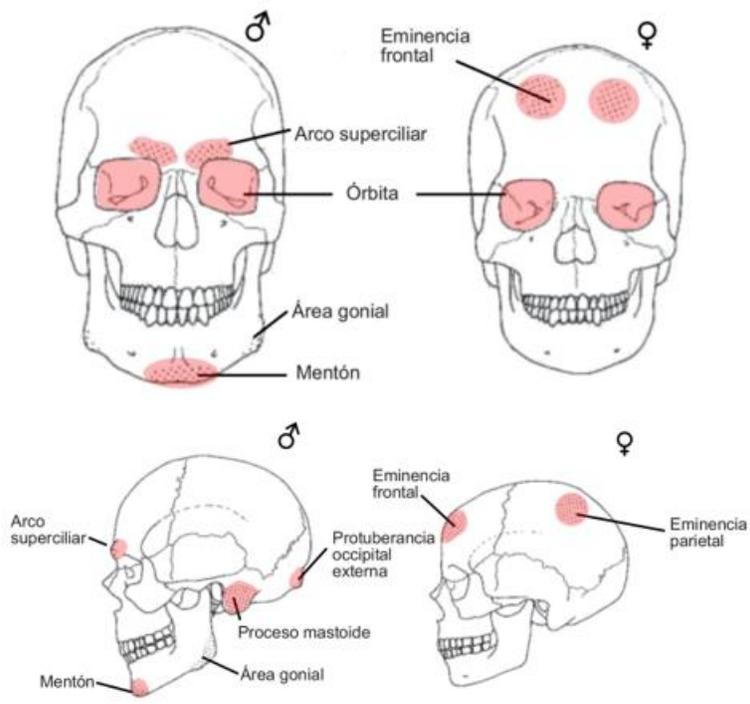
(afinidad poblacional/afinidad biológica), la estatura y la edad, lo que se conoce como la “cuarteta de identificación” (Valencia Caballero, 2005) con el objetivo de lograr esta identificación.

#### Sexo:

La estimación del sexo en restos óseos es relativamente fácil de realizar, ya que se evalúan e identifican una serie de características que se manifiestan de manera diferente y que están relacionadas principalmente con el tamaño y la arquitectura del esqueleto. Es posible realizar esta diferenciación gracias al dimorfismo sexual, el cual está estrechamente relacionado con la morfología y no es uniforme en todas las poblaciones humanas. Se aconseja tener en cuenta la ancestría del individuo en cuestión al momento de realizar la estimación del sexo en individuos desconocidos (Christensen et al., 2019).

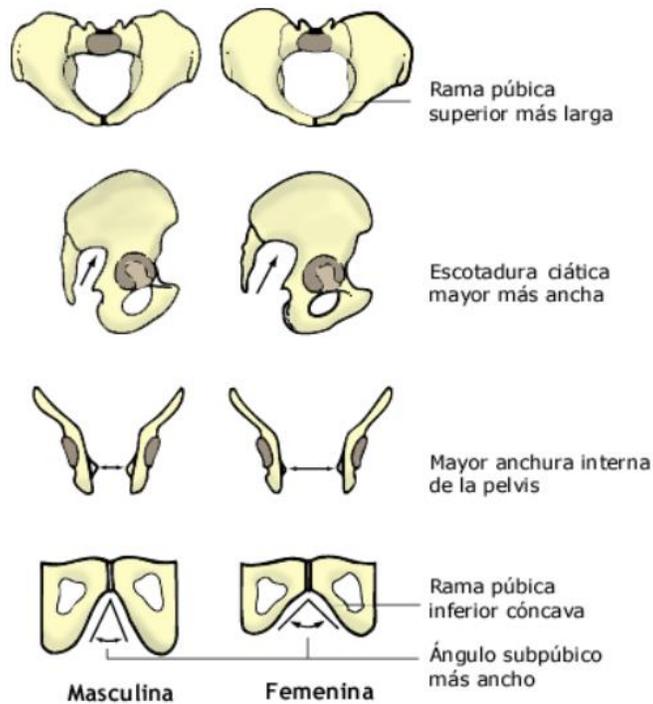
Las metodologías empleadas para efectuar la estimación del sexo pueden ser de dos tipos: mediante análisis macroscópico (evaluación cualitativa visual de ciertos rasgos, determinación de presencia/ausencia de alguna característica en particular) o mediante análisis métrico (involucra la medición de las estructuras óseas tomando medidas basadas en puntos de referencia osteológicos). De este último, el más confiable involucra el análisis de los huesos largos del esqueleto postcraneal. En adultos, el cráneo, la mandíbula y la pelvis son las estructuras que aseguran el mayor porcentaje de precisión (Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012).

En cuanto al cráneo, este es más grande, redondeado y pesado en los hombres, con las líneas temporales y crestas occipitales mucho más marcadas, la forma de la frente más inclinada, los rebordes superciliares más prominentes, los senos frontales más grandes, la protuberancia occipital externa, el proceso mastoide y las órbitas más redondeadas y gruesas. En el caso de la mujer, la frente es más vertical, el cráneo es en general más liviano, pequeño y conserva la forma adolescente, las líneas temporales y crestas son menos marcadas, los rebordes superciliares son menos prominentes, los senos frontales, la protuberancia occipital externa y el proceso mastoide son más pequeños y las órbitas son más finas. En el caso de la mandíbula, esta es más redondeada en mujeres en comparación con la de los hombres, que suelen tener una mandíbula más robusta y destacada (Figura 1). (Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012).



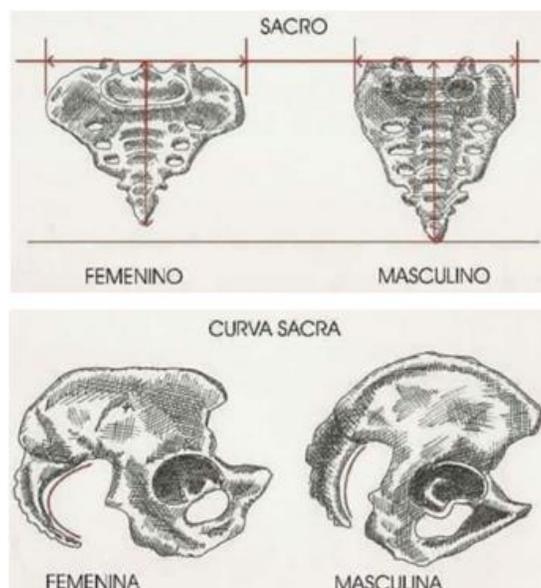
**Figura 1. Diferencias morfológicas entre sexo masculino y femenino en el cráneo (Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012).**

Por otra parte, la pelvis es la estructura que proporcionará la información más fiable. En el caso de las mujeres, esta se encuentra especialmente adaptada al parto, siendo más ancha y más baja que la de los hombres, que suele ser más estrecha. Otras diferencias pueden apreciarse en rasgos como la rama púbica superior (que suele ser más larga en mujeres y más corta en hombres), la escotadura ciática (que suele ser más ancha en mujeres y más angosta en hombres), la anchura interna de la pelvis (que suele ser mayor en mujeres), la rama púbica inferior y el ángulo sub púbico, que suele estar por encima de los 90 grados en mujeres (Figura 2). Todas estas características se reconocen como las más determinantes para el proceso de estimación del sexo.



**Figura 2. Diferencias morfológicas entre sexo masculino y femenino en la pelvis (Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012)**

En lo que respecta al sacro, también se pueden apreciar diferencias: en mujeres esta estructura es más ancha y la curvatura es más pronunciada. Está dispuesto más oblicuo y posterior, lo que incrementa el tamaño de la cavidad pélvica, haciéndola más conveniente durante el embarazo y ofreciendo más espacio para el feto en desarrollo. En hombres, es más estrecha y la curvatura es menos pronunciada (Figura 3) (Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012).



**Figura 3. Diferencias morfológicas entre sexo masculino y femenino en el sacro**

**(Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012)**

Además de estos huesos, se pueden utilizar otras estructuras para determinar si los restos pertenecen a un hombre o una mujer; por ejemplo, los huesos largos, que suelen ser más grandes, robustos y pesados en los hombres. Algunos de los estudios que se han centrado en estas otras estructuras incluyen los de Hanna y Washburn (1953) enfocados en la región isquiopúbica, los de Genovés (1959) que estudiaron las características en población mexicana, Kelley (1979) y Novotny (1983), solo por mencionar algunos (Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012).

En el caso de los individuos jóvenes, se presenta la problemática de tener un margen de error muy amplio. No se recomienda realizar la estimación del sexo en personas menores debido a que la mayoría de las diferencias sexuales en el esqueleto no se hacen evidentes hasta la pubertad, cuando hay un aumento en los niveles hormonales. Estos cambios en el crecimiento y desarrollo del hueso son el resultado de estos cambios hormonales (Christensen et al., 2019; Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012). Se han inventado una gran variedad de métodos para tratar de solucionar estos problemas, la mayoría de los cuales se centran en las mismas regiones que en los adultos, es decir, el cráneo, mandíbula, pelvis y coxal. De estas estructuras, la mandíbula contribuye con un porcentaje de error menor a la estimación que el cráneo, pero la pelvis sigue siendo la unidad anatómica que proporciona mayor fiabilidad.

Uno de los métodos más empleados es el de Schutkowski (1993), en el que se analizan los rasgos morfológicos de la mandíbula y el coxal. En el caso de los fetos, se aplica una metodología que se basa en observar caracteres dimórficos en la región del ilion, y que permite clasificar correctamente al 70% de los individuos (Trujillo-Mederos & Ordóñez, 2012).

#### Ascendencia:

A diferencia de la edad, el sexo o la estatura, determinar la ascendencia es un proceso muy complejo e impreciso, ya que los rasgos raciales no suelen ser tan evidentes, y existe una gran cantidad de mezclas resultado de los procesos migratorios de los grupos humanos. No obstante, es un factor relevante para evaluar otros datos del perfil biológico como la estatura y la edad, cuyos métodos requieren para su aplicación el diagnóstico previo del origen ancestral. Esto se debe a que los diferentes grupos poblacionales, al estar sometidos a diferentes influencias étnicas, geográficas y/o socioambientales, presentarán diferencias en el desarrollo de las características del esqueleto, afectando así la estimación de los elementos diagnósticos ya mencionados (Serrulla Rech, 2013).

Este parámetro resulta ser muy controvertido ya que tiene una estrecha relación con el concepto de "raza"<sup>2</sup>. Anteriormente, la clasificación humana se basaba en "*razas biológicas*", haciendo referencia al hecho de compartir rasgos heredables que hacen a los individuos similares y, al mismo tiempo, diferentes unos a otros.

---

<sup>2</sup> En los estudios antropológicos se ha utilizado históricamente el concepto de "raza" con el objetivo de clasificar a la especie humana en una serie de grupos de acuerdo con similitudes morfológicas y genéticas. Se ha encontrado una serie de inconsistencias en estos intentos clasificatorios ya que las razas humanas no responden a una realidad biológica, sino a construcciones sociales. Además, al realizar este tipo de clasificación se generan actitudes discriminatorias y estigmatizantes hacia los grupos clasificados por lo que, los investigadores han reemplazado progresivamente dicho término por "ancestría, ascendencia, y/o afinidad biológica".

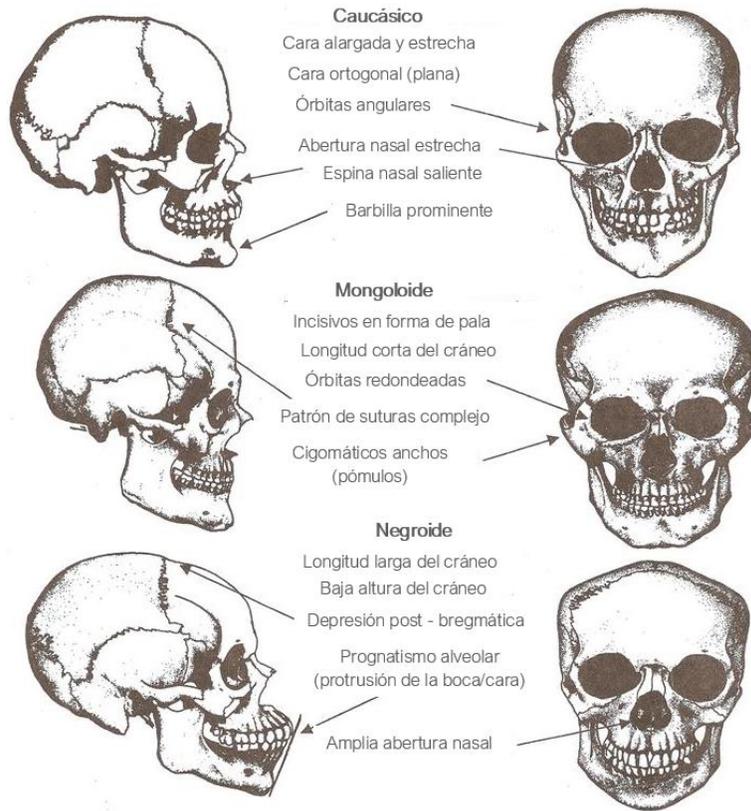
No obstante, es muy difícil encontrar personas que presenten los rasgos típicos de una raza, ya que no existe una raza pura como tal. Sin embargo, es posible apreciar características similares tanto en el fenotipo como en la composición ósea de los individuos, lo cual nos permite clasificarlos en tres grandes grupos: caucasoides, mongoloides y negroides<sup>3</sup> (Serrulla Rech, 2013).

Se utilizan estructuras como el cráneo (base del cráneo y viscerocráneo), y la mandíbula (Figura 4) para estimar el patrón racial en restos óseos, debido a que son las estructuras que se conservan mejor y los que tienen más variables para valorar las características raciales. Además de estas estructuras anatómicas, la estimación de la filiación racial se complementa con el estudio del esqueleto post-craneal, siendo el fémur y la pelvis las estructuras que proporcionan más información (Figura 5). Estas se utilizan cuando no se dispone del cráneo, la mandíbula o el sistema dental (Figura 6) (Rodríguez Romero & Copado Cordero, 2016).

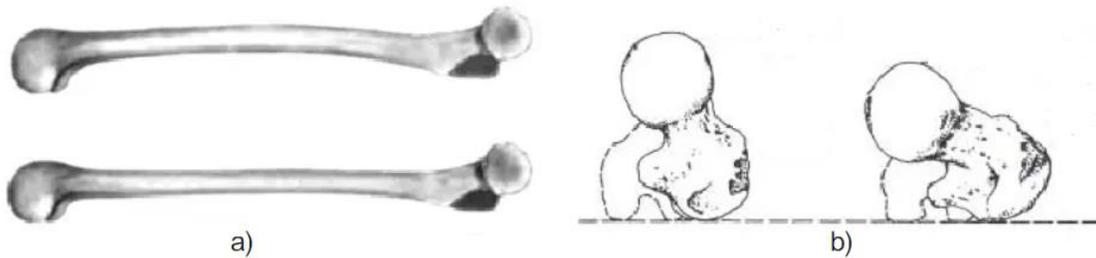
El análisis se efectúa a través de dos tipos de métodos: morfológicos y métricos. Los métodos morfológicos se fundamentan en la evaluación de la ausencia/presencia, forma o grado de desarrollo de una característica particular, y son los más utilizados debido a que no requieren equipo especializado y se pueden realizar de manera rápida (Rodríguez Romero & Copado Cordero, 2016).

---

<sup>3</sup> En la antropología física del siglo XIX y de la primera mitad del siglo XX, este término era utilizado para referirse a uno de los grupos descritos en la clasificación de la población humana en “razas” físicamente diferenciadas, algunas de las cuales podrían afirmarse como superiores o inferiores a otras. Bajo este esquema de clasificación, que tiene sus raíces en la obra de Johann Friedrich Blumenbach (1752-1840), los seres humanos son divisibles en amplios subgrupos basados en características fenotípicas como la morfología craneal y esquelética. Este sistema de clasificación se utilizó para apoyar o validar visiones racistas del mundo, basadas en la creencia de la existencia y la importancia de las categorías raciales y en una jerarquía de razas superiores e inferiores, lo que ha sido duramente criticado y desacreditado. En la actualidad, los avances en genética evolutiva humana y antropología física han llevado a un nuevo consenso entre los antropólogos de que la raza humana es un fenómeno sociopolítico más que biológico.

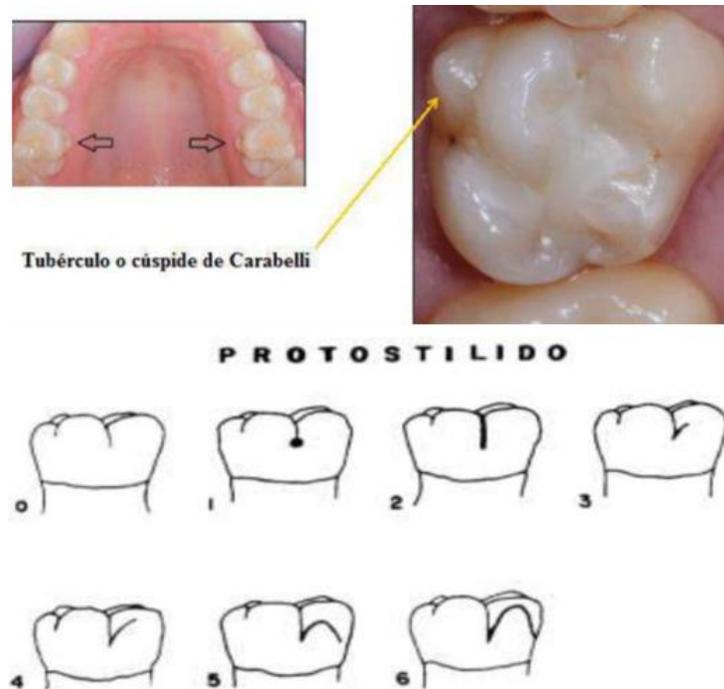


**Figura 4. Características morfológicas del cráneo utilizadas para la estimación de la ancestría (Serrulla Rech, 2013).**



Utilización del fémur; a) forma de la diáfisis femoral es en europeos y asiáticos curvada (arriba) y en africanos recta (abajo, por Byers 2002); y b) posición de la cabeza del fémur en europeos inclinada (izquierda) y en africanos horizontal (por Bass 1995)

**Figura 5. Características analizadas en el fémur para estimación de ancestría (Krenzer, 2006).**

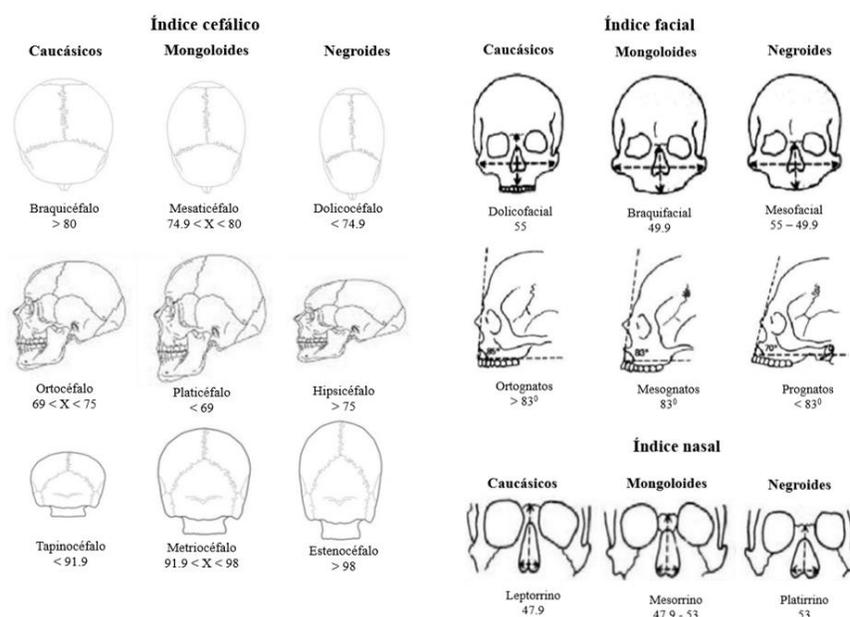


**Figura 6. Tubérculo de Carabelli (imagen superior) apreciable en caucásicos y tubérculo mesovestibular protostilido (imagen inferior) apreciable en mongoloides (Rodríguez Romero & Copado Cordero, 2016).**

Los métodos métricos, por otra parte, se basan en la obtención de mediciones a través de diferentes puntos craneométricos, siendo estos (Rodríguez Romero & Copado Cordero, 2016; Serrulla Rech, 2013):

- Anchura máxima del cráneo
- Anchura bicigomático
- Altura facial superior
- Altura nasal
- Anchura nasal
- Anchura orbitaria
- Altura orbital
- Anchura biorbitaria
- Anchura interorbitaria
- Altura del mentón

A partir de estas medidas, se pueden calcular una serie de diferentes índices (Figura 7) que se obtienen mediante cálculos y funciones discriminantes, los cuales se utilizan cuando no es posible establecer el patrón racial por los métodos morfológicos. Aunque podría suponerse que este tipo de métodos métricos son más objetivos, presentan una serie de complicaciones, ya que las muestras de referencia de los mismos son muy pequeñas y poco representativas (Rodríguez Romero & Copado Cordero, 2016).



**Figura 7. Índices utilizados en los métodos métricos de estimación de la ancestría (Modificado de Rodríguez & Copado, 2016).**

A manera de resumen de los rasgos óseos característicos de los tres troncos raciales, se señalan los siguientes (Rodríguez Romero & Copado Cordero, 2016):

- **Caucásicos:** Tienen un cráneo redondo y ovoide, la cara es estrecha y afilada y la nariz es prominente y estrecha. El paladar es estrecho y de forma parabólica, y en cuanto a las estructuras dentales, lo característico de este grupo es la presencia del Tubérculo de Carabelli. Respecto al esqueleto post-craneal, presenta un fémur con curvatura y torsión del cuello intermedio.
- **Negroides:** Tienen un cráneo ovalado y estrecho, con órbitas oculares rectangulares. Las narices son anchas y presentan un paladar largo y estrecho con forma hiperbólica, la presencia de prognatismo es una característica típica de este grupo. En cuanto al

esqueleto post-craneal, no presenta ninguna curvatura en la diáfisis del fémur y la torsión del cuello es mínima en esta estructura.

- ***Mongoloides***: El cráneo es de forma alargada y amplia, con un contorno redondeado, una cara ancha y las órbitas oculares son redondas. La nariz es estrecha y el paladar es corto y de forma elíptica. Las piezas dentales tienen una forma de pala, lo cual es característico de este grupo. En cuanto al fémur (esqueleto post - craneal), este presenta una curvatura y torsión del cuello considerable.

### *Estatura:*

Este es otro de los elementos cruciales para llevar a cabo el proceso de identificación humana a partir de restos óseos. Se trata de una característica exclusiva de la especie humana (debido a la postura erguida) en la que intervienen diversos factores como la genética, el sexo (dimorfismo sexual, la estatura de la mujer suele ser inferior a la del hombre), la edad y las condiciones ambientales (alimentación, situación socioeconómica, medio geográfico, etcétera). Aparte de estos factores, también tiene influencia en este parámetro las patologías óseas e incluso, el que esta estatura sea cambiante en un individuo en diferentes momentos del día (Belmonte et al., 2011).

La estatura se puede estimar con base en la longitud de los huesos largos de las extremidades inferiores (fémur, tibia, fábula), ya que existe una relación entre ambos factores, y esta medida es más precisa que la realizada con base en los huesos largos de las extremidades superiores (húmero, cúbito, ulna). De esta manera, de forma tradicional y debido a su utilidad práctica, se han utilizado las tablas de Manouvrier (1893) (Tabla 1), elaboradas mediante medidas tomadas de individuos franceses, y las tablas y fórmulas regresivas de Trotter y Gleser (1952, 1958, 1970) (Tabla 2) con población americana (Belmonte et al., 2011).

**Tabla 1. Manouvrier (1983) para estimar estatura. Solo es válida para grupo caucasoide (Modificado de (Belmonte et al., 2011)).**

Talla (m)		Fémur (mm)		Tibia (mm)		Peroné (mm)		Húmero (mm)		Radio (mm)		Cúbito (mm)	
M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
1.530	1.400	392	363	319	284	318	283	295	263	213	193	227	203
1.552	1.420	398	368	324	289	323	288	298	266	216	195	231	206
1.571	1.440	404	373	330	294	328	293	302	270	219	197	235	209
1.590	1.455	410	378	335	299	333	298	306	273	222	199	239	212
1.605	1.470	416	383	340	304	338	303	309	276	225	201	243	215
1.625	1.480	422	388	346	309	344	307	313	279	229	203	246	217
1.634	1.497	428	393	351	314	349	311	316	282	232	205	249	219
1.644	1.513	434	398	357	319	353	316	320	285	236	207	253	222
1.654	1.528	440	403	362	324	358	320	324	289	239	207	257	225
1.666	1.543	446	408	368	329	363	325	328	292	243	211	260	228
1.686	1.556	460	415	378	334	373	330	336	297	249	214	266	231
1.697	1.568	467	422	383	340	378	336	340	302	252	218	270	235
1.716	1.582	475	429	389	346	383	341	344	307	255	222	273	239
1.730	1.595	482	436	394	352	388	346	348	313	258	226	276	243
1.754	1.612	490	443	400	358	393	351	352	318	261	230	280	247
1.767	1.630	497	450	405	364	398	356	356	324	264	234	283	251
1.785	1.650	504	457	410	370	403	361	360	329	267	238	287	255
1.812	1.670	512	464	415	376	408	366	364	334	270	242	290	258
1.830	1.692	519	471	420	382	413	371	368	339	273	246	293	261
	1.715		478		388		376		344		250		264

**Tabla 2. Fórmulas de Trotter y Gleser (1952, 1958, 1970) para estimar estatura (Belmonte et al., 2011).**

HOMBRES			
<i>Caucásico</i>	<i>Negroide</i>	<i>Mongoloide</i>	<i>Mexicanos</i>
E=1.30(F+T)+63.29±2.99	E=1.15(F+T)+71.04±3.53	E=1.22(F+T)+70.37±3.24	-----
E=3.08 H + 70.45 ± 4.05	E=3.26 H + 62.1 ± 4.45	E=2.68 H + 83.19 ± 4.25	E=2.92 H + 73.94 ± 4.24
E=3.78 R + 79.01 ± 4.32	E=3.42 R + 81.56 ± 4.30	E=3.54 R + 82.00 ± 4.60	E=3.55 R + 80.71 ± 4.04
E=3.70 C + 74.05 ± 4.32	E=3.26 C + 79.29 ± 4.42	E=3.48 C + 77.45 ± 4.66	E=3.56 C + 74.56 ± 4.05
E=2.38 F + 61.41 ± 3.27	E=2.11 F + 70.35 ± 3.78	E=2.15 F + 72.57 ± 3.80	E=2.44 F + 58.67 ± 2.99
E=2.52 T + 78.62 ± 3.37	E=2.19 T + 86.02 ± 3.78	E=2.39 T + 81.45 ± 3.27	E=2.36 T + 80.62 ± 3.73
E=2.68 P + 71.78 ± 3.29	E=2.19 P + 85.65 ± 4.08	E=2.40 P + 80.56 ± 3.24	E=2.50 P + 75.44 ± 3.52

MUJERES	
<i>Caucásica</i>	<i>Negroide</i>
E=1.39 (F+T) + 53.20 ± 3.55	E=1.26 (F+T) + 59.72 ± 3.28
E= 3.36 H + 57.97 ± 4.45	E= 3.08 H + 64.67 ± 4.25
E= 4.74 R + 54.93 ± 4.24	E= 3.67 R + 71.79 ± 4.59
E= 4.27 U + 57.76 ± 4.30	E= 3.31 U + 75.38 ± 4.83
E= 2.47 F + 54.10 ± 3.72	E= 2.28 F + 59.76 ± 3.41
E= 2.90 T + 61.53 ± 3.66	E= 2.45 T + 72.65 ± 3.70
E= 2.93 P+ 59.61 ± 3.57	E= 2.49 P + 70.10 ± 3.80

E: Estatura (cm); H: Húmero; R: Radio; F: Fémur, T: Tibia; P: Peroné; C: Cúbito

Diversos autores emiten una serie de advertencias sobre la cautela que se debe tener al aplicar estos métodos elaborados en una población y aplicados en otra, dado que existen diferencias poblacionales en relación con este parámetro. Además, se ha comprobado que existe una diferencia en la proporción de los segmentos corporales entre las poblaciones actuales y las

pasadas, lo que limita el uso de los métodos basados en poblaciones antiguas. En la actualidad, en la antropología forense americana se utiliza el programa informático FORDISC 3.0, que obtiene sus datos de la Forensic Anthropology Data Bank. Esta contiene una muestra representativa de los diferentes grupos poblacionales que conviven en Estados Unidos y proporciona estimaciones de sexo, origen poblacional y fórmulas regresivas para estimar la estatura (Belmonte et al., 2011).

Edad:

En la siguiente sección se procederá a explicar el proceso de estimación de edad y cómo se lleva a cabo.

### **3. Estimación de edad en antropología forense.**

Como se ha mencionado con anterioridad, una de las tareas de la antropología física forense es establecer la edad de los individuos al momento de la muerte. Esta actividad supone el procedimiento más complejo dentro del proceso de identificación, especialmente en adultos, debido a que: 1) los fenómenos de envejecimiento varían en función de la población, sexo, estatus social, ambiente, y las condiciones de salud de los individuos, 2) a medida que aumenta la edad del individuo, también lo hace el margen de error en las estimaciones, 3) existe un sesgo metodológico y del observador asociado a los métodos morfológicos tradicionales de los que disponemos (Figueroa Soto, 2019; Rodríguez Cuenca, 2004).

Para realizar el proceso de estimación de edad, se deben considerar todos los cambios que se registren en la población de estudio y las variaciones que pueden llegar a afectar el diagnóstico. Una de estas variantes se corresponde con los cambios cronológicos que se presentan en el esqueleto y que no se manifiestan de la misma forma para cada hueso. Por ejemplo, mientras que en la infancia y adolescencia los cambios que se pueden observar están relacionados con el crecimiento y el desarrollo, en la adultez, ya que el crecimiento ha cesado, estos cambios se deben a la degeneración y el desgaste del hueso (Moreno, 2018).

Se puede realizar una estimación de la edad debido a que existe una correlación entre la edad biológica y la edad cronológica (Figueroa Soto, 2019). La antropología forense permite establecer la edad biológica del individuo, la cual se refiere al tiempo transcurrido desde el momento en que el individuo es concebido hasta el momento en que se realiza la estimación de la edad. Por otra parte, la edad cronológica se refiere al lapso de tiempo transcurrido desde el nacimiento del individuo hasta el momento en el que se realiza la estimación de la edad. La edad biológica y la cronológica se expresan en años, siendo esta última una consecuencia de la primera (Sanabria Medina, 2008).

A la hora de considerar la edad cronológica, es importante tener en cuenta una serie de factores como, por ejemplo, en el caso de los adultos, esta no siempre coincide con la edad biológica. Esto se debe a que, al estar expuestos a factores de estrés medioambientales o culturales (dieta deficiente, actividades desgastantes, patologías, adicciones, etc.), se puede designar una edad mucho mayor o menor de la que les correspondería en realidad (Moreno, 2018). Esta dependencia del proceso degenerativo es uno de los factores cruciales que dificultan la estimación de la edad en los adultos, en comparación con los jóvenes. La

estimación en los jóvenes se puede hacer por medio del examen de indicadores bien definidos en el esqueleto, que se conocen por estar bajo un fuerte control genético, lo que los hace más precisos (Figueroa Soto, 2019).

La antropología forense se fundamenta en una gran diversidad de cambios observables en las estructuras óseas del esqueleto humano para estimar la edad biológica, tales como: la génesis, formaciones, erupción y desgaste de estructuras dentales, por solo mencionar algunos. Entre los factores que se tienen en cuenta para evaluar la edad en adultos se pueden mencionar: los cambios asociados al crecimiento y desarrollo, específicamente los cambios morfológicos y degenerativos del tejido óseo (Figueroa Soto, 2019; Rodríguez Cuenca, 2004).

Los métodos utilizados para estimar la edad en antropología forense pueden ser de dos tipos: 1) microscópicos (requieren más tiempo, equipamiento y conocimientos, pero proporcionan resultados más seguros e implican una mayor destrucción de la muestra, y 2) los métodos macroscópicos (son más rápidos de realizar y no destruyen la muestra, pero que proporcionan resultados menos exactos por tener márgenes de error en ocasiones muy grandes) (Ubelaker & Khosrowshahi, 2019).

Durante el desarrollo del esqueleto se presentan progresivamente los siguientes cambios macroscópicos: desgaste dental, osificación del cartílago tiroideo, clavícula, transparencia de la dentina radicular, cierre y obliteración de las suturas craneales, extremidades esternales de las costillas, sacro y articulaciones del coxal, superficie auricular, acetábulo y la sínfisis del pubis. Diversas investigaciones, como la de Garvin & Passalacqua (2012), indican que el más utilizado es el de la sínfisis púbica, ya que las metodologías aplicables en la evaluación de esta estructura son muy sencillas, debido a que utilizan las técnicas de fases asociadas a rangos de edad, así como descripciones y comparación visual de la morfología de la cara sinfisial. Algunos investigadores que se concentraron en esclarecer y establecer dichas descripciones y características fueron: Suchey & Brooks (1990), Brooks (1955), Katz & Suchey (1989), McKern & Stewart (1955) y Todd (1920) ( Brooks & Suchey, 1990; Brooks, 1955; Katz & Suchey, 1989; McKern & Stewart, 1957; Todd, 1920). Se mencionarán los métodos anteriores como "métodos convencionales" en el presente documento.

Además de estas metodologías, se han desarrollado otras recientemente, tales como: 1) el método de puntuación de Slice-Algee-Hewitt, 2) el método de spline de placa delgada/energía de flexión y 3) el método de curvatura ventral. Estas técnicas son

innovadoras debido a que proporcionan un marco completamente computacional al cuantificar la complejidad de la superficie de la sínfisis púbica. La cuantificación se basa en digitalización láser 3D (representación tridimensional de datos geométricos para almacenar cálculos y representar imágenes 2D) y el modelado de la relación entre la edad cronológica y la morfología del hueso, con el objetivo final de proporcionar una estimación de la edad para cada esqueleto (Stoyanova et al., 2015; Stoyanova et al., 2017). Estas nuevas metodologías han demostrado ser una herramienta prometedora en el proceso de estimación de edad en individuos caucásicos, pero no se han evaluado desde una perspectiva forense en las poblaciones mongoloides de Latinoamérica. Debido a que son tan diversas, estas poblaciones engloban historias genéticas y ancestrales muy complejas que han sido moldeadas por diferentes periodos de migración y colonización, lo que nos ha permitido ver actualmente una compleja estructura poblacional con una contribución ancestral significativa de europeos, americanos nativos y africanos. Según estudios recientes, las poblaciones que se encuentran en este grupo son tan diferentes genéticamente y morfológicamente que se puede hacer una distinción entre grupos, lo cual es muy importante de considerar al momento de elegir las características a tomar en cuenta para la estimación de edad (Figueroa Soto, 2019).

Dado que este estudio se centra en la utilidad de la sínfisis púbica para estimar la edad en la población mexicana, es importante examinar la biología de esta estructura ósea y cómo los procesos biológicos permiten realizar la estimación de edad.

#### **4. Desarrollo embrionario y cambios morfológicos de la sínfisis púbica a lo largo de la vida.**

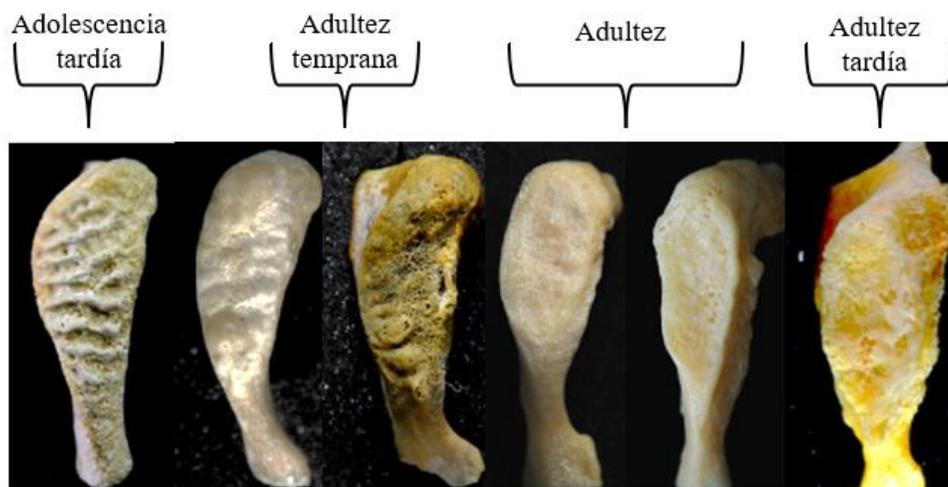
La sínfisis púbica es una parte del esqueleto apendicular y se forma a partir de una porción ventral del mesodermo llamada placa lateral (Langman, 2015). A partir del día embrionario 28 se comienza a notar el desarrollo de la pelvis, con la formación de tres masas mesenquimatosas que van a dar lugar al ilion, isquion y pubis. De estas, la masa del isquion y pubis se unirán para formar el agujero obturador y, posteriormente, se dará paso a la formación de la futura sínfisis púbica a través de la unión de los primordiales púbicos en la línea media anterior. A continuación, se realiza la condricificación (transformación en cartílago) y la osificación. Este último suele empezar en ubicaciones específicas para cada hueso conocidas como *centros de osificación primarios*. La fusión de estos centros tiende a ocurrir entre los 5 y 8 años, siendo los primeros en osificarse el isquion y el pubis.

Los centros de osificación secundarios se originan durante los primeros años de vida postnatal. En la pelvis, estos se inician en la sínfisis púbica y la rama isquiopúbica, y su proceso de osificación es importante para la estimación de la edad (Verbruggen & Nowlan, 2017).

Como se ha mencionado previamente, el proceso de estimación de edad tiene en cuenta todos los cambios morfológicos que se presentan en el esqueleto. En el caso de la pelvis, la estimación se realiza mediante el análisis de la carilla articular entre el ilion y el sacro, y la sínfisis púbica. En el caso particular de la sínfisis púbica, los cambios morfológicos presentes en esta estructura incluyen, entre otras cosas, la textura y los bordes de la cara sinfisial. Durante la adolescencia tardía, la cara sinfisial presenta crestas y surcos que se extienden transversalmente por toda esta (Figura 8). A medida que se avanza en la edad adulta temprana, se produce un depósito de hueso en la cara sinfisial, se adelgaza el hueso cortical y, eventualmente, se elimina la morfología de crestas y surcos. Otra característica muy notable de esta etapa es que el borde de la cara se eleva ligeramente, expandiéndose desde la parte anterior a la parte distal (Figura 8) (Brooks & Suchey, 1990; Brooks, 1955; Todd, 1920).

El borde de la cara sinfisial está dividido en dos: margen dorsal y ventral. En primer lugar, se percibe el borde dorsal, mientras que la porción ventral es la última en formarse, aunque

en ocasiones no llega a completarse. El borde de este hueso se forma de manera epifisiaria, es decir, se produce un nuevo hueso y se une a la superficie, formando un bisel ventral. Con el paso del tiempo, el borde de la sínfisis se deteriora y erosiona, lo que afecta la forma ovalada de la cara. En la adultez tardía, la superficie de la cara sinfisial se vuelve irregular y se produce una macro y micro porosidad (Figura 8) (S. Brooks & Suchey, 1990; Langley & Tersigni-Tarrant, 2012).



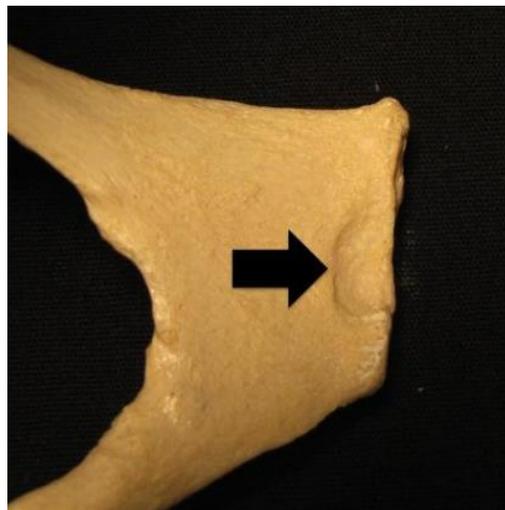
**Figura 8. Cambios morfológicos presentes en la sínfisis púbica en las diferentes etapas de vida (Ejemplares extraídos en el Departamento de Innovación en material Biológico Humano).**

Además de los cambios morfológicos que se producen por el envejecimiento, existen los que se deben a patologías (Figura 9) y, en el caso de las mujeres, los que se producen en el parto. Las primeras se encuentran relacionadas con fracturas, que en sínfisis púbica pueden ser provocadas por: 1) compresión antero posterior o desplazamiento vertical, 2) eventos post traumáticos como la diástasis púbica, que es la separación de las ramas púbicas asociadas a lesiones en los ligamentos y 3) procesos inflamatorios o infecciosos, como la osteomielitis y osteítis. Estas últimas, provocan una destrucción ósea de las superficies articulares y la generación de una osificación progresiva de los elementos fibrosos, lo que resulta en la fusión de la sínfisis púbica. En última instancia, también están las patologías metabólicas, como la osteodistrofia renal e hipertiroidismo, que provocan la degradación del hueso y, por consiguiente, la aparición de la porosidad ósea (Rodríguez Montero, 2007).



**Figura 9. Cambios morfológicos generados por patologías en sínfisis púbica (Ejemplar extraído en el Departamento de Innovación en material Biológico Humano)**

En lo que respecta a las modificaciones morfológicas que ocurren en el parto, en estudios anteriores se ha notado la presencia de rugosidad y picaduras en la superficie dorsal que está cerca de la sínfisis en el borde dorsal del pubis (Figura 10) (Decrausaz, 2014; White et al., 2011).



**Figura 10. Ejemplo de modificación morfológica por parto en sínfisis púbica. Se muestra presencia de rugosidad y picaduras en la superficie dorsal (Decrausaz, 2014)**

Por otro lado, los cambios degenerativos se presentan a partir de la sexta década de la vida del individuo, manifestándose algunas lesiones degenerativas en la sínfisis, como esclerosis en las superficies articulares con aparición progresiva de osteofitos en los bordes. Además, también se puede mencionar el aumento de la porosidad ósea con la edad (Langley & Tersigni-Tarrant, 2012).

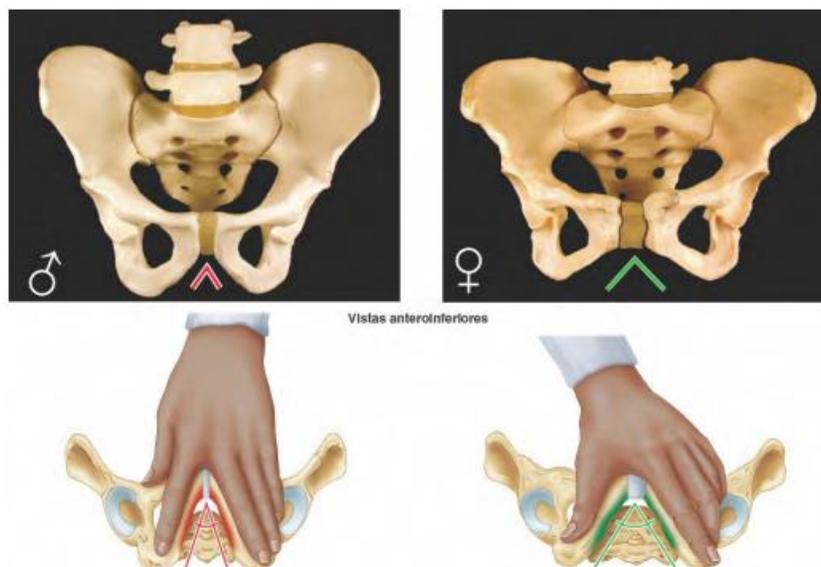
## 5. La sínfisis púbica y su papel en la estimación de edad

La palabra sínfisis, en anatomía, se refiere a un tipo de articulación cartilaginosa en la cual se presenta un disco de fibrocartílago interpuesto entre las superficies articulares. Esta articulación se caracteriza por tener una gran fuerza y una movilidad limitada, siendo el ejemplo más significativo la sínfisis púbica (Duque-Parra & Barco-Ríos, 2010).

La sínfisis púbica está formada por las caras articulares de los huesos púbicos, un disco fibrocartilaginoso y los ligamentos que rodean y unen los cuerpos de ambos pubis en el plano medio (Figura 11). En la región superior se sitúa el ligamento superior, que une las caras superiores de los cuerpos del pubis y el disco interpúbico, mientras que en la parte inferior se encuentra el ligamento inferior, que es un arco de fibras gruesas que une las caras inferiores de la articulación, redondeando el ángulo subpubiano cuando forma el vértice del arco del pubis. El ángulo en cuestión difiere entre sexos (Figura 12), lo que permite determinar a qué sexo pertenece dicha estructura (Moore et al., 2019; Palastanga et al., 2007).



Figura 11. Diagrama ilustrativo de la sínfisis púbica (Moore et al., 2019)



**Figura 12. Diferencias en el ángulo sub pubiano entre sexos (Moore et al., 2019)**

La sínfisis púbica, así como los ligamentos que rodean la región pélvica, mantienen la integridad mecánica de la parte inferior del cuerpo humano al mantener unidos los dos huesos encargados de distribuir el peso desde el sacro a las caderas (Sadler, 2004).

Esta estructura es el rasgo anatómico más utilizado en la estimación de edad en restos óseos, tanto en casos arqueológicos como forenses, ya que presenta un nivel alto de conservación debido a la protección concedida por el cartílago hialino. Este último obstaculiza que se realicen muchos procesos tafonómicos, siendo el elemento óseo más accesible durante el proceso de recuperación de los restos óseos. Asimismo, debido a esta protección anatómica, se pueden apreciar claramente en ella los cambios morfológicos que se producen con la edad (Figueroa Soto, 2019; Krenzer, 2006).

Las superficies articulares de la sínfisis, que se evalúan en el proceso de estimación de edad, tienen una forma oval (Figura 13). En general, toda la estructura de la sínfisis púbica está sometida a una gran variedad de fuerzas durante la actividad diaria del individuo, incluyendo la tracción en la parte inferior de la estructura, la compresión del cartílago en la parte superior y el corte que se produce debido a las fuerzas que ejercen ambas caras de la sínfisis en direcciones opuestas cuando el individuo se para en un solo pie (Figueroa Soto, 2019). Además de estas fuerzas, muchas otras actúan en esta estructura en comparación con otras uniones pélvicas, como por ejemplo el trabajo de parto. En este proceso, se produce una

elevada cantidad de la hormona relaxina que provoca que los ligamentos que conectan las dos mitades de la pelvis y la sínfisis se distiendan, permitiendo un ensanchamiento en las articulaciones que da lugar al incremento del útero y que se amplíen los diámetros pélvicos para el momento del parto.

Todos estos cambios degenerativos, secuenciales y progresivos se utilizan en la formulación de la literatura sobre los estándares que permiten la estimación de la edad.



**Figura 13. Superficie articular de la sínfisis púbica analizada en los métodos de estimación de edad (Robledo Acinas; Sánchez Sánchez, 2013).**

## **6. Antecedentes metodológicos de la estimación de edad por medio de la sínfisis púbica y propuestas recientes.**

### **6.1 Métodos Clásicos.**

En 1920, T. Wingate Todd elaboró el primer método sistemático utilizando la sínfisis púbica y los cambios morfológicos presentes en ella como indicadores de la edad en hombres y mujeres. Para su investigación, utilizó la colección ósea almacenada en la Universidad de la Reserva Occidental en Ohio. La muestra original estaba compuesta por 306 hombres caucásicos de 18 a 88 años. Se añadió posteriormente una segunda muestra a la original, compuesta por 90 individuos masculinos y 20 femeninos de ascendencia negroide y 47 individuos femeninos de ascendencia caucásica. Los patrones morfológicos que describió en su trabajo incluyen la presencia de surcos y crestas, el biselado ventral, la formación y finalización (en ocasiones) del margen ventral y dorsal de la cara sinfisial, la demarcación de la parte superior e inferior de la cara seguida de la formación del borde y, en general, la ruptura de la cara sinfisial (Todd, 1920).

A partir de todas estas observaciones, Todd publicó un método compuesto por diez fases basado en un criterio de puntuación de los patrones morfológicos ya mencionados. La idea subyacente a su técnica fue que, quien utilizara su metodología, pudiera identificar cuál de las diez fases representaba de manera precisa las características del elemento óseo observadas en la muestra desconocida. Esta técnica asumía que los cambios en la cara sinfisial de la sínfisis púbica eran progresivas y uniformes en cada individuo, sin tener en cuenta su ancestría. Todd sugirió que este sistema de estimación de edad era más preciso para los intervalos de 20 a 40 años, y que, por lo tanto, era necesario usarlo con cautela y nunca como el único criterio de evaluación de edad. También señaló que, si este criterio se aplicaba junto con otros, podría proporcionar un margen de error de aproximadamente 2 a 3 años y cercano a los 5 años si solo se utilizaba la pelvis (Rodríguez Cuenca, 2004; Todd, 1920). No obstante, en publicaciones posteriores (Suchey-Brooks, 1990; Brooks, 1955; Katz & Suchey 1989; McKern & Stewart, 1957) (Anexo 2) se señalaron una serie de deficiencias en su método, siendo algunas de ellas: rangos de edad estrechos, descripciones demasiado específicas que son difíciles de aplicar a otras sínfisis púbicas que no coinciden con las descripciones, muestras con rangos de edad limitados, falta de prueba entre la variabilidad de los grupos,

estimaciones sesgadas al no incluir a individuos de la muestra de referencia que no se ajustaban a las descripciones originales e informes de edad inexactos para la muestra de referencia (Figuerola Soto, 2019; Krenzer, 2006; Rodríguez Cuenca, 2004).

A continuación, en 1955, Brooks señaló que el método de Todd sobreestimaba la edad tanto para mujeres como para hombres y propuso una serie de modificaciones al trabajo original de Todd. Brooks volvió a examinar una pequeña submuestra tomada de la original evaluada por Todd y añadió una pequeña muestra arqueológica compuesta por hombres y mujeres de edades conocidas. En su trabajo, demostró que el método de Todd sobreestima la edad de manera significativa tanto en hombres como en mujeres y en adultos jóvenes y viejos (consultar el Anexo 2). En consecuencia, propuso que las fases etarias fueran modificadas de conformidad con los límites establecidos por el estadístico MS Ahmed con el objetivo de evitar el traslado de fases y resolver el tema de la subestimación de edad (Brooks, 1955).

Tras el estudio realizado por Brooks, McKern & Stewart en 1957, se plantearon la posibilidad de mejorar el método de diez fases de Todd mediante el uso de las mismas características descritas originalmente por éste. El método que se desarrolló es una técnica de puntajes que proporciona una edad promedio basada en una puntuación compuesta más que en un sistema de fases (consultar el Anexo 2). Este método permite la clasificación por etapas en lugar de fases, representando cada etapa la magnitud y la progresión gradual de cada característica que se tiene en cuenta (McKern TW & Stewart, 1957).

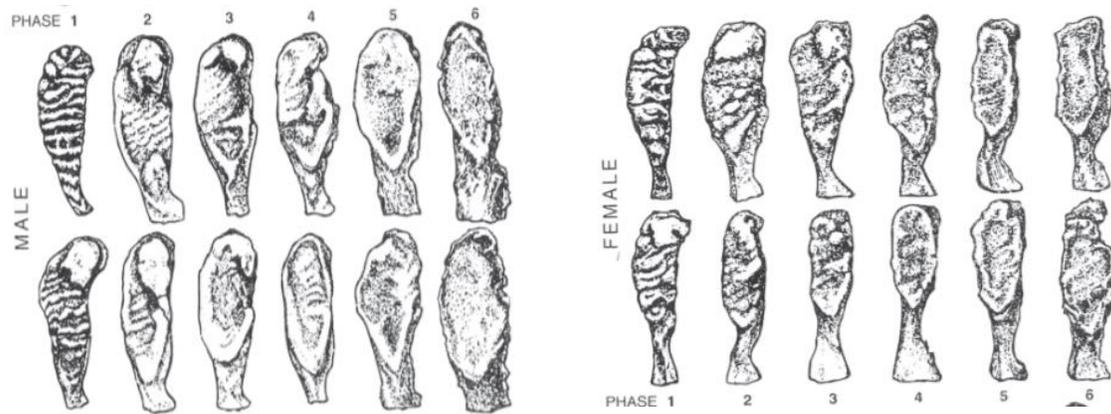
A pesar de que McKern & Stewart estuvieron dispuestos a mejorar la metodología propuesta por Todd, una vez más se presentaron una serie de errores en su muestra de referencia. La muestra usada para desarrollar su técnica estaba compuesta por individuos fallecidos en la guerra de Corea, con rangos de edad entre 17 y 50 años, lo que hacía que la muestra estuviera sesgada hacia individuos más jóvenes (Figuerola Soto, 2019).

Todos estos problemas metodológicos observados en el trabajo de Todd y McKern & Stewart, motivaron a otros investigadores (Suchey & Brooks, 1990; Katz & Suchey, 1989; Brooks, 1955) a establecer nuevas metodologías que abordaran los problemas de sesgo, rangos de edad limitados en las muestras, falta de pruebas en múltiples poblaciones y pequeños intervalos de edad, entre otros. De este modo, el método de diez fases de Todd fue modificado por Suchey & Brooks en 1990, pasando a ser un método de seis fases. Su trabajo se fundamentó en una muestra forense bien documentada conformada por 739 hombres y

273 mujeres, alojada en el Servicio Médico Forense de Los Ángeles, California. Este método describe en seis fases la expresión típica de los cambios que se producen en relación con la edad (Tabla 3). Aunque presenta una serie de mejoras, el método de Suchey & Brooks sigue teniendo una serie de inconvenientes, siendo los más relevantes el gran traslape entre fases y estar basado en un sistema de puntuación descriptivo (Figura 14) (Brooks & Suchey, 1990; Krenzer, 2006).

**Tabla 3. Características morfológicas presentes en cada fase del método de Suchey-Brooks (1990) (Modificado de Krenzer, 2002)**

<i>Fase</i>	<i>Característica</i>
1	La superficie de la cara sinfisial es ondulada, cubierta de crestas y surcos que se extienden hasta incluir el tubérculo púbico. Las crestas horizontales están bien definidas y comienza a formarse el biselado ventral (ángulo oblicuo). Aunque pueden presentarse nódulos de osificación en la extremidad superior, la clave para diferenciar esta fase es la ausencia de delimitación de ambos extremos (superior e inferior).
2	La cara sinfisial aun puede presentar desarrollo de crestas, comienza la delimitación de ambas extremidades (superior e inferior) que ocurre con o sin presencia de nódulos de osificación, la rampa ventral puede estar en sus fases iniciales en una o ambas extremidades.
3	El borde inferior de la cara sinfisial y la rampa ventral se encuentran en proceso de acabado, puede continuarse la fusión de los nódulos de osificación que forman el borde superior y a lo largo del borde ventral, la cara sinfisial es suave o aun puede continuar presentando crestas definidas, se completa el plano dorsal, no se observa labiacion del borde dorsal ni excrecencias ligamentosas.
4	La cara sinfisial presenta habitualmente una granulosidad fina, persisten residuos de crestas y surcos, usualmente se completa el contorno oval de la cara pero se puede seguir observando una discontinuidad en el borde ventral superior, el tubérculo púbico está completamente separado de la cara sinfisial, la superficie puede presentar ya un borde definido, se pueden presentar excrecencias ligamentosas en la porción inferior del hueso púbico adyacente a la cara sinfisial, se puede presentar una labiacion ligera y localizada en el borde dorsal.
5	El borde de la cara sinfisial se completa, se pueden observar ligeras depresiones en la superficie, se presenta una labiacion moderada en el borde dorsal con excrecencias ligamentosas prominentes en el borde ventral.
6	La cara sinfisial puede exhibir depresiones en la medida que se erosiona el reborde, las inserciones ligamentosas ventrales son marcadas, en muchos individuos el tubérculo púbico aparece como una protuberancia ósea independiente.



**Figura 14. Cambios morfológicos evaluados por la metodología de Suchey & Brooks (1990) para hombres y mujeres. La fila superior muestra los cambios morfológicos de cada fase en estados iniciales y la fila inferior los avanzados (Krenzer, 2006).**

Es importante tener presente que las fases 3 a 6 del método conllevan una gran variabilidad, lo que afecta al proceso de estimación de la edad en casos forenses. Las autoras establecen los siguientes criterios como guía general (Krenzer, 2006).

- La presencia de crestas y surcos profundos indica una edad para masculinos y femeninos de 24 años o menos.
- La presencia de nódulos de osificación sin el desarrollo del reborde ventral sugiere que tiene 30 años o menos.
- La falta de una rampa ventral completa generalmente indica que el individuo tiene 40 años o menos.

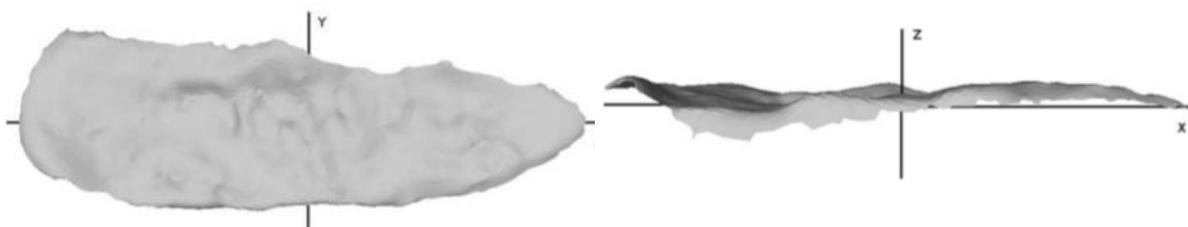
## **6.2 Nuevas Propuestas.**

Se ha realizado una serie de estudios en las últimas décadas para evaluar el nivel de puntuación de la sínfisis púbica y, de esta forma, lograr un progreso y mejora en las metodologías (Lottering et al., 2013; Slice & Algee-Hewitt, 2015; D. Stoyanova et al., 2015; D. K. Stoyanova et al., 2017). No obstante, aunque estos nuevos enfoques suelen prometer una mayor precisión en la estimación de la edad adulta, han sido eclipsados por la simplicidad del método de Suchey & Brooks, por lo que este último sigue siendo el método de estimación

de la edad adulta más utilizado entre los antropólogos forenses (Garvin & Passalacqua, 2012; Ubelaker & Khosrowshahi, 2019).

De estas investigaciones, las que se considerarán relevantes para el presente trabajo son las realizadas por Slice, Algee-Hewitt y Stoyanova, quienes desarrollaron tres técnicas novedosas que prometen eliminar las descripciones obtenidas, ser más objetivas y estadísticamente más robustas que los métodos convencionales.

Con el objetivo de proporcionar una estimación de la edad, quien aplica la técnica desarrollada por estas autoras, debe realizar una digitalización en 3D de la sínfisis púbica, editar el modelo para obtener únicamente la imagen de la cara sinfisial (Figura 15) y, con las coordenadas tridimensionales resultantes de la digitalización, realizar un análisis mediante el software "forAge", que funciona mediante algoritmos. Se espera que con estas nuevas técnicas se reduzca el alto grado de variación de las interpretaciones de los métodos (Stoyanova et al., 2015)



**Figura 15. Ejemplo de un escaneo en 3D de la carilla articular de sínfisis púbica.**  
(Stoyanova et al., 2015)

En 2015, se introdujo la técnica de puntuación de Slice – Algee-Hewitt (SAH), la cual se fundamenta en una colección esquelética donada por William Bass y conformada por 40 individuos masculinos de edad conocida. Esta técnica evalúa la variabilidad de la superficie de la cara sinfisial, mediante la captura de los cambios que se presentan en la morfología de la cara, tales como: el desarrollo de crestas y surcos hasta el aplanamiento de la superficie de la misma. El primer paso de esta técnica es estandarizar la posición de cada imagen 3D, de forma que las coordenadas x, y, z generadas por el escáner láser coincidan con el centro de un sistema de coordenadas. A continuación, se realiza un análisis de componentes principales (PCA) para rotar el modelo tridimensional de manera que la máxima variabilidad se

encuentre en cada eje, quedando en el eje "x" la longitud (mayor variabilidad), en el eje "y" el ancho (segundo lugar en variabilidad, sin correlacionarse con la longitud) y en el eje "z" la profundidad. De esta forma, se puede apreciar la variación espacial en la superficie articular de la sínfisis púbica. El método se enfoca en la variabilidad del valor de la profundidad, presentando una mayor variabilidad en los individuos más jóvenes, y una menor variabilidad en los más viejos (Slice & Algee-Hewitt, 2015).

Posteriormente, en 2015 y 2017, las autoras desarrollaron otros dos métodos: el método de spline de placa delgada/energía de flexión (TPS/BE) y el método de curvatura ventral (VC) (Stoyanova et al., 2015; Stoyanova et al., 2017).

El método spline de placa delgada/energía de flexión (TPS/BE), mide la energía de flexión requerida para transformar una placa perfectamente delgada y plana de manera que coincida con la superficie de la cara sinfisial. Este método espera que esta energía mínima requerida para la flexión explique los cambios que ocurren en la cara sinfisial. Para aplicar el algoritmo en el método TPS/BE, es necesario realizar previamente un cálculo de dos conjuntos de puntos de control. Con estos datos, los splines de placa delgada modelan la flexión para que la placa coincida con la morfología de la malla de la cara sinfisial obtenida por el escáner láser. La fuerza requerida para doblar la placa y hacer que coincida es la energía de flexión, cuyo valor se utiliza para establecer una puntuación que indicará la edad. Se lleva a cabo un análisis de regresión lineal mediante esta puntuación que produce, finalmente, la edad estimada (Stoyanova et al., 2015; Stoyanova et al., 2017).

Por otro lado, el método VC calcula la curvatura del borde ventral para registrar la formación progresiva del borde en la cara sinfisial, así como su posterior erosión. Del mismo modo que en el método precedente, se utilizan los modelos tridimensionales de la cara sinfisial, con la diferencia de que para este método solo se utilizan los puntos que conforman el borde de la cara. El algoritmo utilizado para este método cuantifica los cambios progresivos que se producen en el borde de la cara sinfisial y, mediante mínimos cuadrados, calcula una circunferencia (curvatura) que se ajusta mejor a los puntos de referencia seleccionados del contorno de la cara sinfisial (margen ventral). De este modo, si se obtienen radios de gran tamaño, las curvaturas son pequeñas y es indicativo de un individuo joven, mientras que, si se obtienen radios de menor tamaño, las curvaturas son mayores e indican individuos de mayor edad. Tomando como base estos valores de curvatura ventral, se lleva a cabo una

regresión lineal que proporciona una estimación aproximada de la edad (Stoyanova et al., 2015; Stoyanova et al., 2017).

Se publicó recientemente una versión actualizada del software desarrollado por Stoyanova que calcula los tres algoritmos de los métodos por separado, confirmando que cada uno proporciona una estimación de edad puntual. Además, se incorporaron 29 modelos de regresión multivariados a dicho software que combinan las 3 técnicas. Esto demuestra que, al combinar el método de curvatura ventral con el método SAH y el TPS/BE, se producen estimaciones de edad objetivas que son similares a las técnicas de envejecimiento tradicionales como el método de Suchey-Brooks (Stoyanova et al., 2017).

Cabe señalar que la fiabilidad y reproducibilidad de estas nuevas metodologías no ha sido evaluada en otras muestras de referencia o en muestras con un tamaño mayor (Figuroa Soto, 2019).

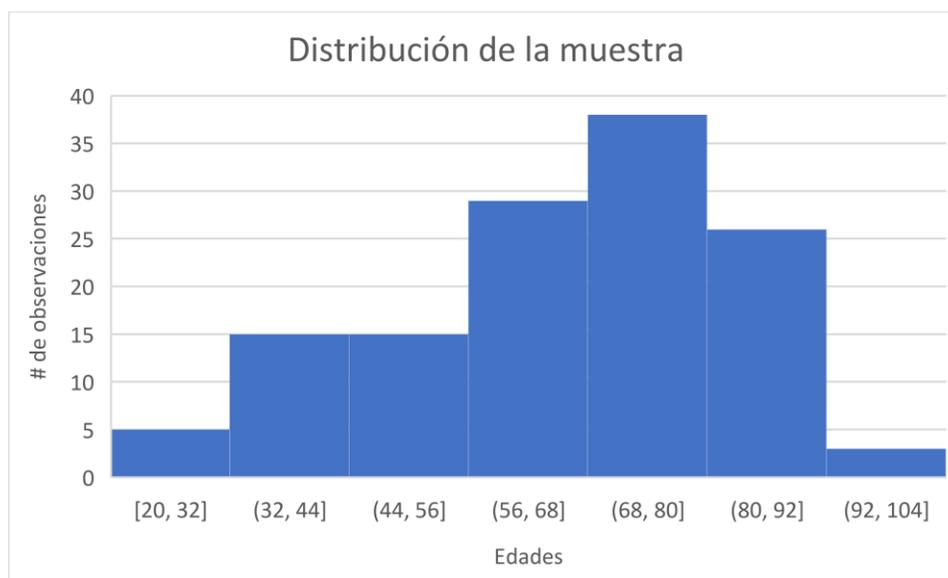
Además de estas metodologías que se basan en imágenes tridimensionales, se han sometido a prueba nuevos enfoques matemáticos como la regresión multivariada, siendo estos de suma importancia en el desarrollo y propuesta de nuevas técnicas para la estimación de la edad. En 2018, Kotěrová y sus colaboradores revelaron el uso de nueve enfoques matemáticos distintos para evaluar la precisión de este tipo de métodos. Los cálculos se enfocaron en la sínfisis púbica y la superficie auricular (Kotěrová et al., 2019).

A pesar de requerir más investigación, los resultados sugieren que la combinación de cálculos matemáticos complejos mejorará la estimación de la edad. Stepanovsky y sus colaboradores informaron resultados similares en su estudio de 22 métodos aplicados a una muestra de 622 hombres y 314 mujeres checos (Ubelaker & Khosrowshahi, 2019).

## 7. Materiales y métodos

### 7.1 La muestra.

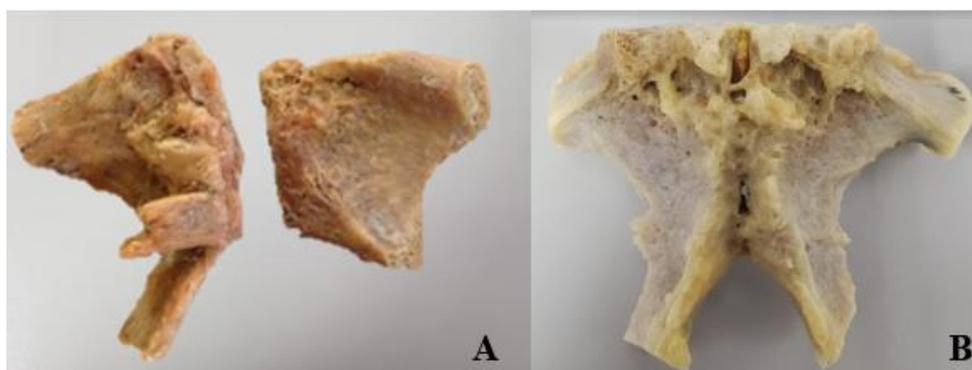
Se inició este trabajo conformando una colección de sínfisis púbicas a partir de restos óseos de individuos de la Ciudad de México, que se encuentran resguardados en el Departamento de Innovación en Material Biológico Humano de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México. Hasta el momento, dicha colección está compuesta por 140 sínfisis pubianas, 89 de hombres y 51 de mujeres, con edades comprendidas entre 20 y 101 años (Figura 16; Tabla 4). Del total de la muestra, se seleccionaron las sínfisis púbicas que no presentaban malformaciones o que estuvieran fusionadas (Figura 17a y 17b) y que pertenecieran a individuos de los cuales se tuviera registro de sexo y edad al morir. Como los cambios asociados con la edad en la sínfisis púbica se deben a los centros de osificación secundarios que comienzan alrededor de los 18 a 20 años, la edad mínima de inclusión en este proyecto fue de 18 años. Finalmente, el total de la muestra analizada fue de 131 sínfisis, 85 de hombres y 46 de mujeres. Aunque el software fue creado usando una muestra de hombres, se decidió evaluar su eficacia para estimar la edad de las mujeres, con el objetivo de determinar si es necesario desarrollar uno específico para este sexo.



**Figura 16. Distribución de la muestra.**

**Tabla 4. Estadística descriptiva de la muestra.**

<i>Muestra</i>	<i>n</i>	<i>Edad min</i>	<i>Edad promedio</i>	<i>Edad max</i>
<i>Masculinos</i>	89	27	66.11	98
<i>Femeninos</i>	51	20	66.67	101
<i>General</i>	140			



**Figura 17. Ejemplos de una sínfisis púbica con malformación (A) y fusionada (B). (Ejemplar extraído en el Departamento de Innovación en material Biológico Humano)**

Debido a la naturaleza de la muestra, los individuos de edades más jóvenes no fueron representados de manera adecuada. Sería ideal disponer de una muestra que representara todos los grupos de edad de manera correcta, pero no fue el caso, ya que este tipo de colecciones óseas son muy escasas en América Latina y el tamaño de estas todavía es reducido y se continúa ampliando, con la esperanza de contar a futuro con una colección para nuestra población que permita llenar los vacíos en la literatura referente. Al igual que muchas otras poblaciones de América Latina, nuestra población presenta una estructura poblacional compleja con diferentes antecedentes ancestrales y factores medioambientales que la afectan de forma diferente a otras poblaciones, lo que explica las diferencias potenciales que afectan la progresión de edad de cada muestra (Figuerola Soto, 2019).

Como se ha mencionado con anterioridad, los restos óseos de esta colección proceden de cuerpos albergados en la Facultad de Medicina. Estos, fueron obtenidos de los Centros de Asistencia e Integración Social (CAIS) hasta el año 2017, cuando se modificaron los artículos de la Ley General de Salud relativos al manejo y disposición de material cadavérico y se

implementó la *Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas y Desaparición cometida por Particulares*. Lo siguiente está establecido en estas leyes (*Ley General de Salud*, 2017):

*“Para la utilización de cadáveres o parte de ellos de personas conocidas, con fines de docencia e investigación, se requiere el consentimiento del disponente. Tratándose de cadáveres de personas desconocidas o no identificadas se estará a lo dispuesto en la Ley General en materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas.”*

A partir de la implementación de estas leyes, los restos óseos se obtuvieron mediante el “Programa de Donación de Cuerpos” implementado por la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Los Centros de Asistencia e Integración Social atienden a personas en situación de calle o en situación de abandono. Se enfocan en particular a atender a niñas, niños y jóvenes en situación de riesgo, pero también se reciben personas adultas y adultas mayores, madres solteras con hijos pequeños y personas con discapacidad. En estos centros se les brinda alojamiento, alimentación, vestimenta, apoyo psicológico y médico de primer nivel, etc. (Secretaría de Inclusión y Bienestar Social., n.d.). Cuando una persona en estos centros muere, el lugar contacta a la Facultad de Medicina de la UNAM y el personal del Departamento de Innovación en Material Biológico Humano se encarga de trasladar el cuerpo a la facultad, donde un médico legista se encarga de tomar huellas dactilares y hacer su registro de ingreso a dicho departamento. De estos cadáveres se tiene información sobre su edad, sexo y causa de muerte.

El "Programa de Donación de Cuerpos", único en el país, fue inaugurado el 10 de octubre de 2016. Su propósito es que los mexicanos donen sus cuerpos para fines de docencia e investigación (Universidad Nacional Autónoma de México, n.d.). Esto con la finalidad de que los proyectos de investigación tengan como referencia a nuestra población, ya que todas las referencias poblacionales que se utilizan como parámetros de estudio son basadas en poblaciones europeas y/o estadounidenses, que tienen condiciones diferentes a la población mexicana (Figueroa Soto, 2019). Cuando una persona que está inscrita en este programa fallece, sus familiares se ponen en contacto con el personal del Programa de Donación,

quienes se encargarán del traslado del cuerpo. En las instalaciones de la facultad, un médico legista se ocupa de tomar huellas dactilares y hace su registro de ingreso. De estos cuerpos, también se dispone de información sobre la edad, el sexo y la causa de muerte.

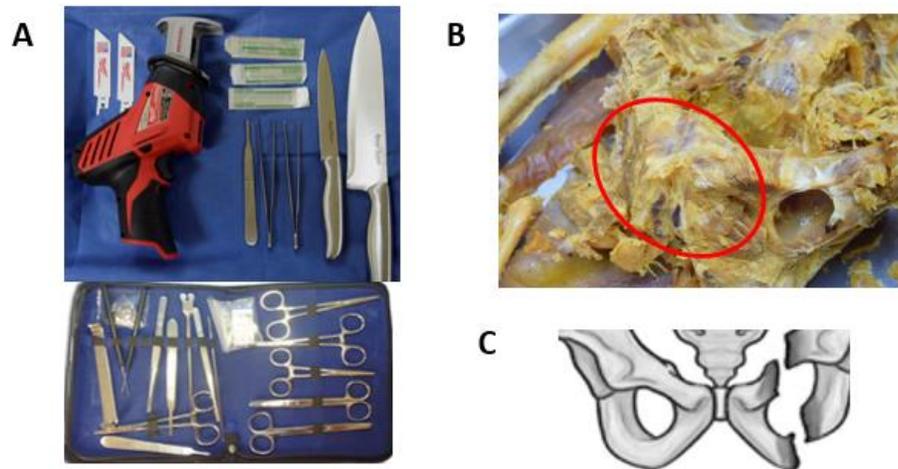
Una vez que los cuerpos han sido ingresados y registrados en el departamento, se llevan a cabo una serie de procesos y técnicas para tratar los cuerpos y que puedan ser utilizados para fines docentes. A continuación, se describen las técnicas que se utilizan para obtener los restos óseos y, posteriormente, analizarlos.

## **7.2 Osteotecnia.**

Se trata de una técnica de preservación anatómica que se utiliza para obtener, preparar y conservar estructuras óseas. Su importancia radica en que permite estudiar los detalles anatómicos de las estructuras esqueléticas y, por ende, analizarlas. La técnica implica la eliminación del tejido blando (descarnado), maceración, cocción, limpieza, desengrase, blanqueo y desecación. Los materiales, instrumentos, sustancias químicas y el tiempo requerido para obtener el material óseo estarán sujetos a las condiciones de preservación de los cuerpos.

Posterior a la utilización de los cuerpos en la docencia de la Facultad de Medicina, se llevaron a cabo los pasos de la técnica de osteotecnia de acuerdo al trabajo inédito de Sánchez Torrijos y colaboradores (2022) de la siguiente forma:

- *Descarnado:* Se colocó el cuerpo sobre una mesa de necropsia en una posición de decúbito dorsal para retirar, con ayuda de un equipo de disección y cuchillos de diferentes dimensiones (Figura 18a), la piel y los grupos musculares de la región pélvica hasta llegar al hueso, procurando no dañarlo o rayarlo (Figura 18b). Se realizó un corte a la altura del agujero obturador con la ayuda de una sierra Milwaukee C12HZ-22C, en ambos lados, derecho e izquierdo (Figura 18c).



**Figura 18. Materiales utilizados para realizar el proceso de descarnado (A), ilustración de la estructura ósea sin tejido (B). El círculo rojo muestra la sínfisis púbica. Esquema del área donde se realiza el corte (C).**

- *Macerado:* Un día antes de iniciar el proceso de cocción, se dejaron macerar las sínfisis extraídas en un contenedor de plástico con 60 L de agua, 500 ml de desengrasante y 160 g de KOH. Cada sínfisis extraída se depositó en una bolsa de tela con su correspondiente ficha metálica de identificación, procurando que tuvieran la menor cantidad de tejido blando posible.
- *Cocción:* Tras el macerado, se procedió a hervir el material óseo con el objetivo de retirar los restos de tejido blando adherido al esqueleto. Se colocaron las bolsas de tela en una olla de 100L (Figura 19) con agua y detergente, se dejaron hervir durante una hora, revisando constantemente el contenido para verificar que tuvieran suficiente agua, agregándole por lo general de 40 a 60 L. Dependiendo de la cantidad de grasa que desprendieran las estructuras, se realizaron de uno a dos cambios de agua. Para esto, se lavaba la olla cuidadosamente con jabón y un poco de cloro para eliminar la grasa pegada y se agregaban nuevamente 60 L de agua, desengrasante y la mitad de KOH utilizada al inicio. Es crucial señalar que hay que tener mucha cautela al usar esta sustancia, ya que, si se excede la dosis y no se siguen las precauciones necesarias, se pueden dañar las estructuras óseas.

El tiempo de hervido varía en función del contenedor utilizado, la constancia de la temperatura durante la cocción y el tamaño y el estado de conservación de las estructuras. Tal como se ha mencionado, los cuerpos de los cuales se extraen las sínfisis son sometidos a un tratamiento para conservarlos y que sean utilizados para

fines de docencia, por lo que el tiempo aproximado que se dejaron bajo este tratamiento fue de aproximadamente 19 horas.



**Figura 19.** Olla de 100 L donde se lleva a cabo el proceso de limpieza por cocción.

- *Limpieza:* Sobre una mesa de necropsia, se dispusieron las bolsas de tela que contenían las sínfisis púbicas, se dejaron unos minutos escurriendo y se esperó a que se enfriaran. Se abrieron las bolsas con escálpelos de hoja fija y cuchillos pequeños, y se comenzó la limpieza de las piezas, raspando el tejido blando cuidadosamente para no dañar el material óseo. Se procuró que cada pieza quedara con la menor cantidad de tejido cartilaginoso y se colocaron sobre papel *craft* (estraza) con su respectiva ficha para identificarlas en todo momento. Al concluir este tratamiento, se obtienen los huesos libres de tejido blando (Figura 20).



**Figura 20.** Símfisis púbica obtenida al final del proceso de limpieza.

- *Desengrasado*: En este paso, el objetivo es retirar el exceso de grasa que se produce durante el hervido de las piezas óseas. Para ello, se agregaron 25 L de agua caliente en una tina de plástico con tapa, 50 ml de desengrasante y 30 ml de peróxido. Se dispusieron las sínfisis en el recipiente y se cubrió con una lámina de acrílico para mantenerlas sumergidas.
- *Blanqueado*: Una vez finalizado el proceso de desengrase, se colocaron las sínfisis envueltas en gasa en un recipiente de plástico con una solución de agua y peróxido de hidrógeno (por cada 20 litros de agua, se utilizan 500 ml de peróxido de hidrógeno). Se realiza esto con la intención de eliminar los restos de grasa y que el color se vuelva blanco (Figura 21). Las sínfisis se mantuvieron en esta solución durante un periodo de 15 minutos a dos horas.



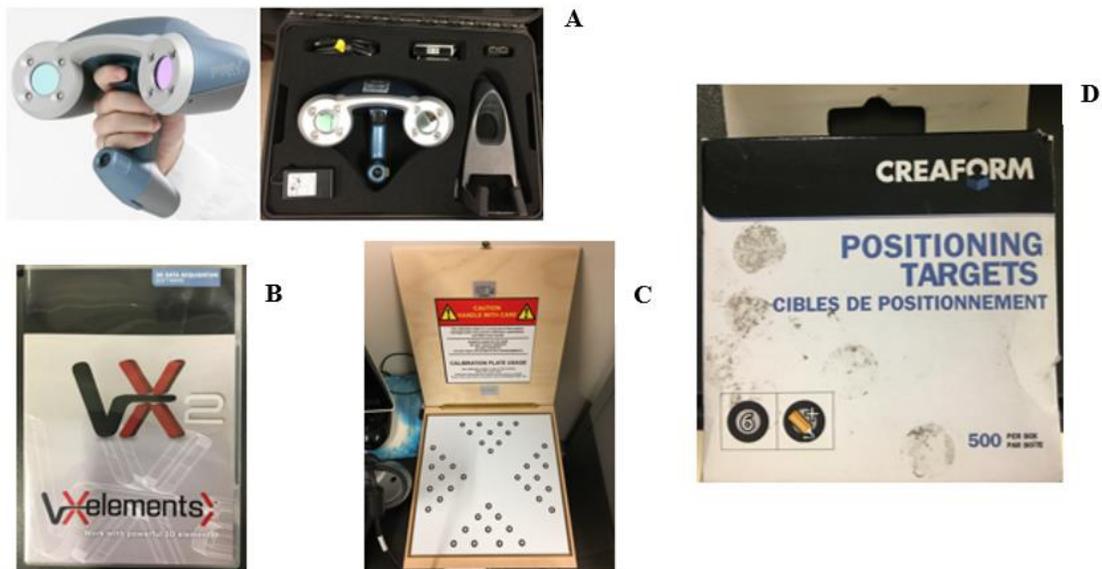
**Figura 21. Símfisis púbica obtenida al final del proceso de blanqueado.**

- *Secado*: Se realizó a temperatura ambiente, sobre papel *craft* con la finalidad de eliminar cualquier resto de humedad.

### **7.3 Digitalización 3D**

Es un método semiautomático que permite generar una descripción numérica de un objeto, mediante la construcción de una matriz de coordenadas que representan la superficie de este. Los escáneres láser realizan este tipo de tareas mediante la proyección de un rayo láser sobre el objeto. A medida que el láser se mueve por la superficie de este se registra la información de la profundidad a intervalos particulares mediante un sensor que capta la reflexión del láser

en la superficie. Esta información se convierte en valores de puntos 3D, que se obtienen gracias al sistema de coordenadas del escáner. Al cambiar la posición del objeto y repetir el proceso de escaneo, se obtienen datos adicionales que deben superponerse y alinearse para finalmente obtener como resultado una malla poligonal que contiene información geométrica (valores x, y, z) e información topológica (como se conectan los puntos) de la superficie del objeto. Los escáneres láser generalmente vienen con un software incluido que se encarga de realizar los pasos de alineación y combinación con relativa facilidad y aunque cada escáner disponible en el mercado funciona diferente, el proceso general es el mismo (Tocheri, 2009). Para el presente trabajo, se elaboraron mallas en 3D de ambos lados (izquierdo/derecho) para cada sínfisis púbica (280 en total) mediante el equipo RevScan de la generación HandyScan 3D de Creafom (Figura 22a). Este equipamiento fue facilitado por el Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital (MADiT) del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Antes de digitalizar las piezas óseas, se calibró el equipo, la configuración de este y se establecieron los ajustes para el escaneo indicando la resolución necesaria (en este equipo se usó 0.2); todo esto mediante los aditamentos incluidos con el equipo (Figura 22b, 22c y 22d).



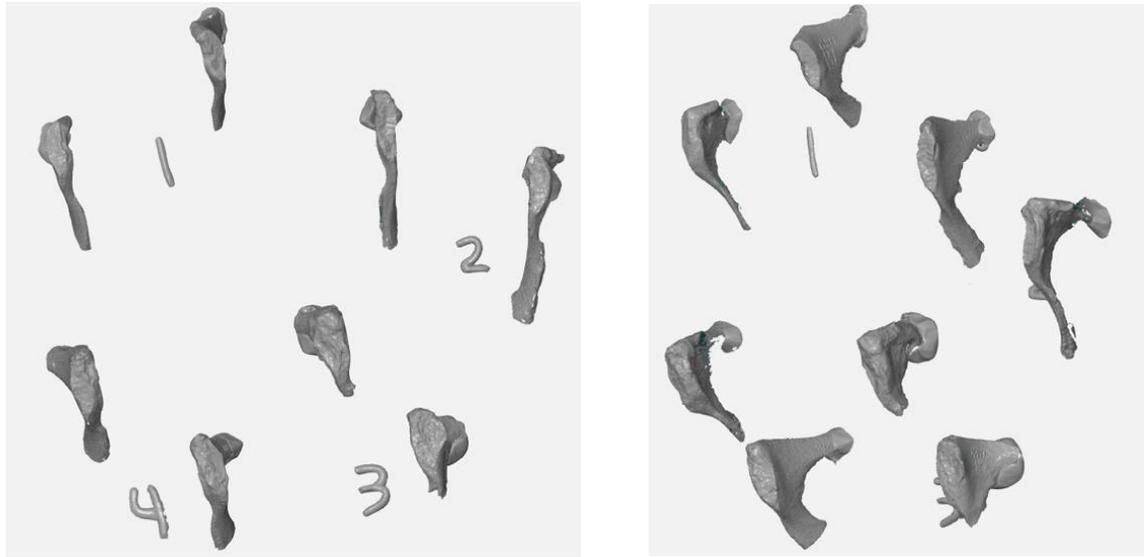
**Figura 22. Equipo utilizado para realizar la digitalización en 3D. Escáner 3D, vista del equipo y en su empaque (A), Software del equipo (B), placa de calibrado (C) y caja de “targets” (D)**

En una mesa se pegaron los “objetivos de posicionamiento” de manera que formaran círculos o triángulos y se fijaron las sínfisis con plastilina, asignándoles a cada una un número para mantenerlas identificadas (Figura 23). La posición de estos objetivos es sumamente importante, ya que, si se establecen mal, los modelos no son generados correctamente.

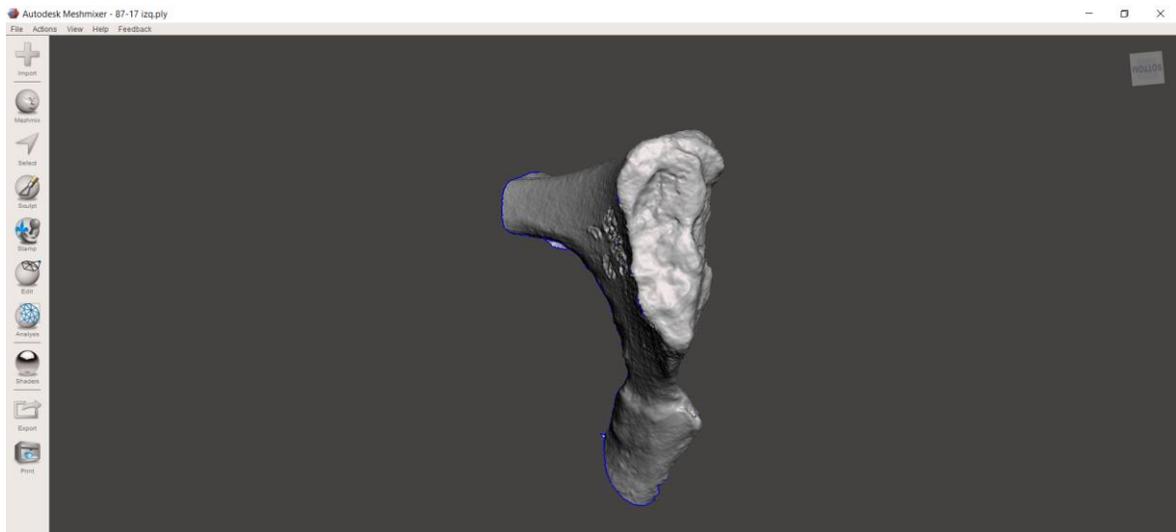


**Figura 23. Mesa de trabajo para la digitalización en 3D.**

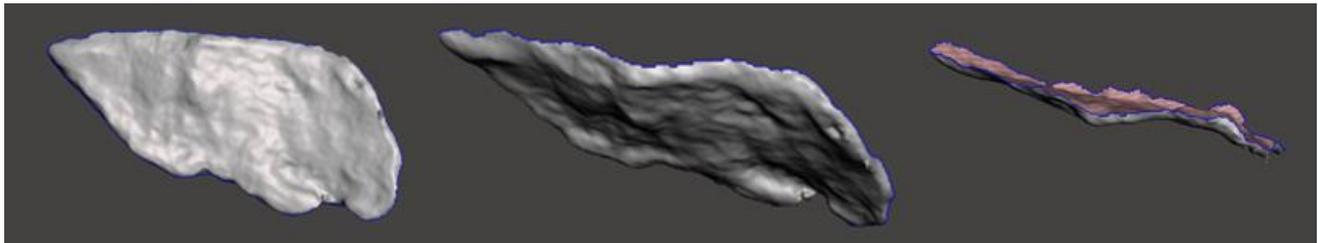
A continuación, se generaron los modelos en 3D. Se escaneó tanto el lado derecho como el izquierdo de la sínfisis, obteniendo en cada proceso de escaneo entre 4 y 6 pares (Figura 24). Posteriormente, se editaron usando el programa *Autodesk Meshmixer*, para individualizar las sínfisis por número de expediente y lado (derecho e izquierdo) (Figura 25). Finalmente, se aisló la cara sinfisial eliminando las áreas aledañas (tubérculo púbico, cuerpo de la rama inferior, cuerpo púbico) (Figura 26). Cada modelo 3D se almacenó en formato PLY. Este formato almacena objetos como una lista de polígonos planos que contienen información tales como: color y transparencia, descripción de la superficie y coordenadas espaciales x, y, z (Figuroa Soto, 2019).



**Figura 24. Modelos 3D obteniendo en cada proceso de escaneado. Vista frontal y lateral.**



**Figura 25. Modelo 3D separado por lado.**



**Figura 26. Modelo 3D de la carilla sinfisial.**

#### 7.4 Clasificación por el método de Suchey – Brooks.

La muestra fue examinada mediante el método convencional de Suchey – Brooks (1990) para comprobar la fiabilidad y precisión de las edades estimadas por éste. Se le asignó una de las seis fases a cada cara sinfisial de acuerdo con las características asociadas al desarrollo de crestas y surcos en la superficie de la carilla articular, el desarrollo - degeneración del margen ventral y dorsal y la erosión (Brooks & Suchey, 1990). Después de evaluar cada estructura ósea, se asignó una estimación puntual de la edad (edad media por fase) y un rango (95%) mediante las pautas publicadas (Tabla 5) (Brooks & Suchey, 1990).

Los datos se registraron en una cédula en la que se indica el número de registro de la estructura ósea, el sexo, la edad conocida del individuo y se especifican las características morfológicas evaluadas en cada fase para hombres y mujeres, así como la imagen de referencia de la cara sínfisial para cada fase (consultar Anexo 3 y 4). Se aplicó esta metodología tanto al hueso como a los modelos tridimensionales con el objetivo de evaluar si es posible que se pierda información de la morfología del hueso al usar el modelo.

**Tabla 5. Edad media estimada, desviación estándar e intervalo de edad del 95% de confianza del método de Suchey – Brooks (S. Brooks & Suchey, 1990)**

<i>Fase</i>	<i>Mujeres</i>			<i>Hombres</i>		
	<i>Edad Media</i>	<i>SD</i>	<i>Intervalo 95%</i>	<i>Edad Media</i>	<i>SD</i>	<i>Intervalo 95%</i>
<i>I</i>	19.4	2.6	14 – 24	18.5	2.1	15 – 23
<i>II</i>	25.0	4.9	19 – 40	23.4	3.6	19 – 34
<i>III</i>	30.7	8.1	21 – 53	28.7	6.5	21 – 46
<i>IV</i>	38.2	10.9	26 – 70	35.2	9.4	23 – 57
<i>V</i>	48.1	14.6	25 – 83	45.6	10.4	27 – 66
<i>VI</i>	60.0	12.4	42 – 84	61.2	12.2	34 – 86

#### 7.5 Clasificación mediante el software “forAge”

Los archivos PLY generados, fueron analizados con el software libre creado por las autoras Slice y Algee – Hewitt (2015), *forAge* (<http://morphlab.sc.fsu.edu>) elaborado con base en una muestra de referencia documentada de individuos caucásicos de sexo masculino (Figura 27). Hasta el momento, es la única muestra de referencia de la que dispone este software. Esta herramienta realiza un cálculo de la edad mediante un análisis de regresión lineal de datos obtenidos por 3 algoritmos que evalúan la forma de la cara sinfisial: la puntuación de

Slice – Algee-Hewitt (SAH), el método de spline de placa delgada/energía de flexión (TPS/BE) y el método de curvatura del margen ventral (VC) (Slice & Algee-Hewitt, 2015). El índice de Slice – Algee-Hewitt (SAH), mide la variabilidad presente en la cara sinfisial a través del registro de los cambios en su morfología (presencia de crestas y surcos hasta el aplanamiento de la carilla). Este método se centra en el valor de profundidad, lo que otorga un mayor valor a los individuos jóvenes (por presencia de crestas y surcos) y uno menor a los más viejos (Slice & Algee-Hewitt, 2015).

El método de spline de placa delgada/energía de flexión (TPS/BE), permite percibir los cambios que ocurren en la carilla a través de la medición de la energía de flexión requerida para ajustar una placa perfectamente delgada y plana a la superficie de la cara sinfisial. Por tanto, la fuerza requerida para doblar y ajustar la placa a la superficie de la carilla es la energía de flexión, que se utiliza para generar una puntuación que indique la edad. Mediante esta puntuación, se realiza un análisis de regresión lineal que produce finalmente la edad estimada (Stoyanova et al., 2017).

En última instancia, el método de curvatura del margen ventral (VC) mide la curvatura del margen ventral de la carilla sinfisial con la intención de registrar la formación progresiva del borde, así como su posterior erosión. El método consiste en usar los puntos que conforman el borde de la carilla, cuantificando los cambios progresivos presentes y, mediante mínimos cuadrados, calcula una circunferencia (curvatura) que se ajuste mejor a los puntos de referencia seleccionados del contorno del margen ventral de la carilla sinfisial. En el caso de que se obtengan radios grandes, la curvatura es pequeña e indica un individuo joven, mientras que, si se obtienen radios pequeños, la curvatura es mayor y se trata de un individuo más viejo. Al asignar los puntajes de la curvatura ventral, se realiza una regresión lineal que proporciona una estimación de la edad precisa. La versión actualizada del software calcula los 3 algoritmos de forma independiente, lo que permite comprobar que cada uno proporciona una estimación de edad precisa. De igual modo, el software también efectúa la estimación de edad combinando el método VC con el SAH y el BE, generando estimaciones más objetivas y que pueden compararse con las técnicas de envejecimiento convencionales (Stoyanova et al., 2015).

A diferencia del método de Suchey-Brooks, el software *forAge* ofrece una estimación precisa de la edad para cada método y no un rango de edad. Esto, en contextos médico-legales, no es útil, ya que se eliminarían la mayoría de posibles casos.

Es preciso señalar que la fiabilidad y reproducibilidad de las nuevas metodologías y del software utilizado no han sido evaluados en otras muestras de referencia o en muestras de mayor tamaño, por lo que, al aplicarlas en el presente trabajo, se obtiene información sobre su funcionamiento y aplicabilidad en una muestra de referencia diferente y de mayor tamaño a la utilizada para su desarrollo, así como su aplicabilidad a una muestra conformada por 46 individuos de sexo femenino.

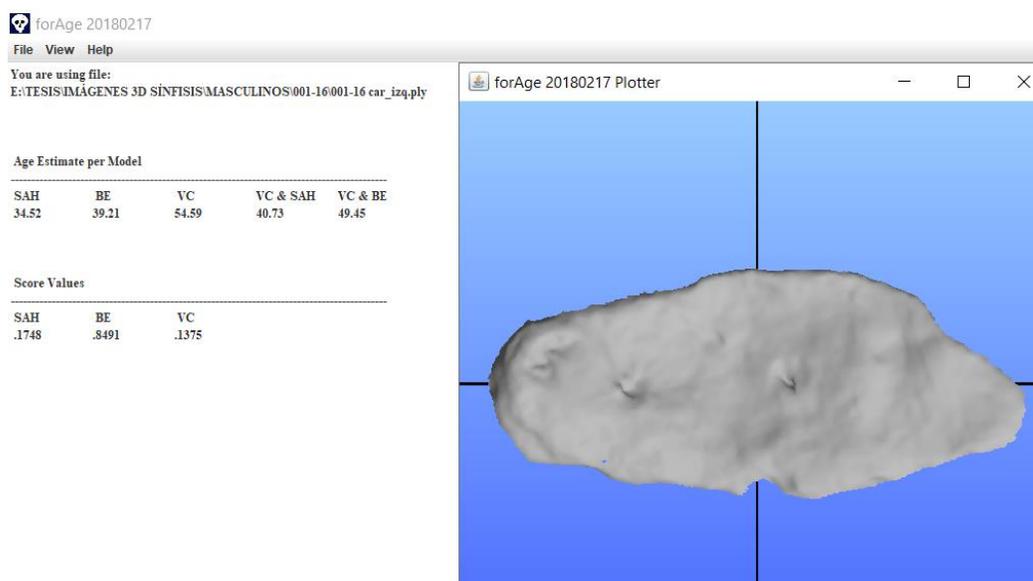


Figura 27. Estimación de edad mediante el uso del software *forAge*.

## 7.6 Análisis estadístico.

Con el fin de determinar cuál es el análisis estadístico más adecuado, se debe evaluar primero la distribución de los datos en función del tipo de variable que representan y la homogeneidad de las varianzas. Se aplicó la prueba de Shapiro - Wilk y se generaron histogramas con el fin de evaluar si los datos presentaban una distribución normal. Asimismo, se utilizó la prueba de Bartlett para evaluar la homogeneidad de varianzas (homocedasticidad) entre los datos. Posteriormente, con el objetivo de evaluar el desempeño de cada método de estimación de edad en la muestra utilizada, se comparó la edad estimada por cada método (Suchey - Brooks, SAH, BE, VC, VC/SAH y VC/BE) con la edad cronológica documentada de cada individuo mediante la prueba t – student pareada con una corrección de Bonferroni debido al uso de

comparaciones múltiples y la prueba pareada de Wilcoxon como su equivalente no paramétrico cuando los datos no presentaban distribución normal.

La prueba t – student pareada se usa cuando se evalúa dos veces a un mismo grupo y se tienen dos mediciones por individuo, por ejemplo: estudios longitudinales con varios puntos de medición (análisis de series temporales) o en estudios de intervención con diseños experimentales (medición antes-después). Sólo puede utilizarse cuando la distribución de la muestra es normal (paramétrica) y no requiere que las varianzas sean iguales (Six Sigma Study Guide, 2019). La hipótesis nula ( $H_0$ ) que se plantea en esta prueba es que el valor medio de los dos grupos dependientes es igual, misma que es rechazada si se obtiene un valor  $p < \alpha$  seleccionada (por lo regular de 0.05, aunque en medicina se suele emplear un valor de 0.01) (Six Sigma Study Guide, 2019).

La prueba de Wilcoxon pareada es el equivalente a la prueba t – student pareada, pero para datos que no presentan distribución normal (no paramétrica) y, al igual que la prueba t – student pareada, esta no requiere que las varianzas sean iguales. La hipótesis nula ( $H_0$ ) que se plantea en esta prueba es que un parámetro de población (tal como la media, la desviación estándar, etc.) es igual a un valor hipotético, misma que es rechazada si se obtiene un valor  $p < \alpha$  seleccionada (Statistic Solutions, 2023).

La corrección de Bonferroni se realiza debido a que se aplica el mismo análisis estadístico varias veces sobre el mismo conjunto de datos (edad cronológica vs. edad estimada en los seis métodos), ajustando de esta manera la probabilidad de observar al menos un resultado significativo debido al azar y disminuyendo así la tasa de error (Rial Boubeta & Varela Mallou, 2008). En el presente trabajo, el valor de corte de la significancia para cada comparación ( $\alpha_{PC}$ ) fue calculada por la fórmula:

$$\alpha_{PC} = \frac{\alpha_{PE}}{c} \quad (1)$$

De este modo, en el presente trabajo se realizaron 6 comparaciones ( $c = 6$ ) y, para que la tasa de error por experimento ( $\alpha_{PE}$ ) se mantenga en 0.01, en cada comparación se tuvo que asumir un valor de corte de la significancia para cada comparación ( $\alpha_{PC}$ ) de 0.00017.

Se utilizó el programa estadístico R Studio Cloud (<https://rstudio.cloud/>) y el lenguaje de programación R para realizar el análisis de los datos.

Finalmente, se calculó el sesgo y la imprecisión para cada método utilizando las edades cronológicas y estimadas, utilizando las fórmulas mencionadas en el trabajo de Figueroa Soto (2019). Para el cálculo del sesgo, se sumaron las diferencias entre los valores de la edad cronológica y estimada y se dividió entre el tamaño de la muestra (Ecuación 2). Este valor indica la sobre o sub estimación promedio de cada método.

La imprecisión se calculó mediante la suma de los valores absolutos de las diferencias entre los valores de la edad cronológica y estimada divididas entre el tamaño de la muestra (Ecuación 3).

Este dato proporciona información sobre la medida del error de cada método (Figueroa Soto, 2019).

$$Bias = \sum(\textit{estimated age} - \textit{chronological age})/N \quad (2)$$

$$Inaccuracy = \sum|\textit{estimated age} - \textit{chronological age}|/N \quad (3)$$

## 8. Resultados

Como se menciona en la sección anterior, previo al análisis, se evaluó la distribución de los datos de la muestra para comprobar si esta se desviaba de una distribución normal.

En individuos masculinos, cuando se realizó la prueba a la edad cronológica se obtuvo un valor significativo ( $p < 0.05$ ) lo que indica una desviación de la normalidad. Las edades estimadas por los métodos SAH, BE, VC, VC/SAH, VC/BE y Suchey - Brooks no mostraron un valor significativo (*i.e* el valor  $p$  fue  $> 0.05$ ) por lo que sí presentan una distribución normal (Tabla 6). Los histogramas obtenidos confirmaron los resultados de la prueba de Shapiro – Wilk. En el caso de las edades cronológicas, se puede apreciar que la distribución no es simétrica, presentando un sesgo hacia individuos con edades más avanzadas (Figura 28).

En el caso de los 46 individuos femeninos, cuando se realizó la prueba a la edad cronológica se obtuvo al igual que en la muestra de individuos masculinos un valor significativo ( $p < 0.05$ ), indicando una desviación de la normalidad. Las edades estimadas por los métodos BE, VC y VC/BE no mostraron un valor significativo ( $p > 0.05$ ) por lo que, sí presentan una distribución normal, al contrario de las edades estimadas por los métodos SAH y VC/SAH que mostraron un valor significativo ( $p < 0.05$ ) indicando una desviación de la normalidad (Tabla 6). A esta muestra no se le aplicó el método de Suchey – Brooks ya que solo se quería analizar la aplicabilidad de la metodología computacional en ella. Los histogramas obtenidos para los individuos de sexo femenino, de igual forma confirmaron los resultados de la prueba de Shapiro – Wilk y, para el caso de las edades cronológicas, se puede apreciar que la distribución no es simétrica además de que se tiene un mayor número de individuos de edades entre los 70 y 80 años (Figura 29).

Tabla 6. Resultados de la prueba de Shapiro – Wilk para individuos masculinos y femeninos.

Método	Masculinos		Femeninos	
	W	<i>p</i> - value	W	<i>p</i> - value
Edad Cronológica	0.952	0.003	0.950	0.043
Edad Cronológica vs. SAH	0.982	0.298	0.950	0.045
Edad Cronológica vs. BE	0.973	0.072	0.971	0.308
Edad Cronológica vs. VC	0.972	0.063	0.958	0.1
Edad Cronológica vs. VC/SAH	0.974	0.087	0.944	0.028
Edad Cronológica vs. VC/BE	0.972	0.065	0.973	0.356
Edad Cronológica vs. Suchey & Brooks	0.982	0.288	-----	-----

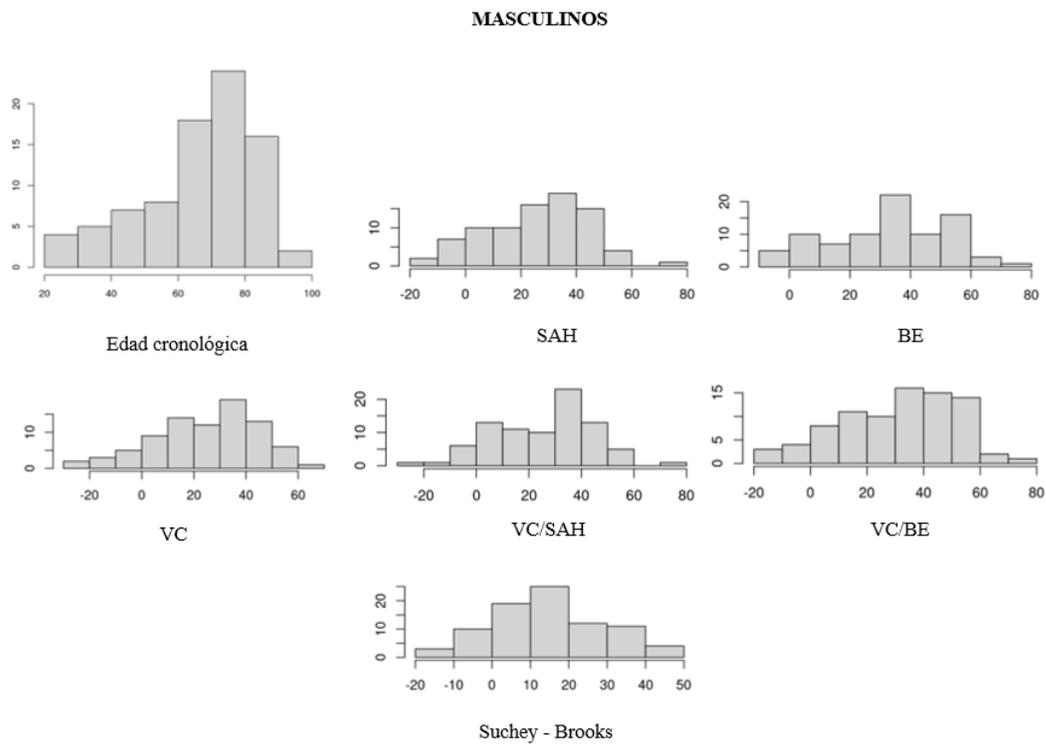
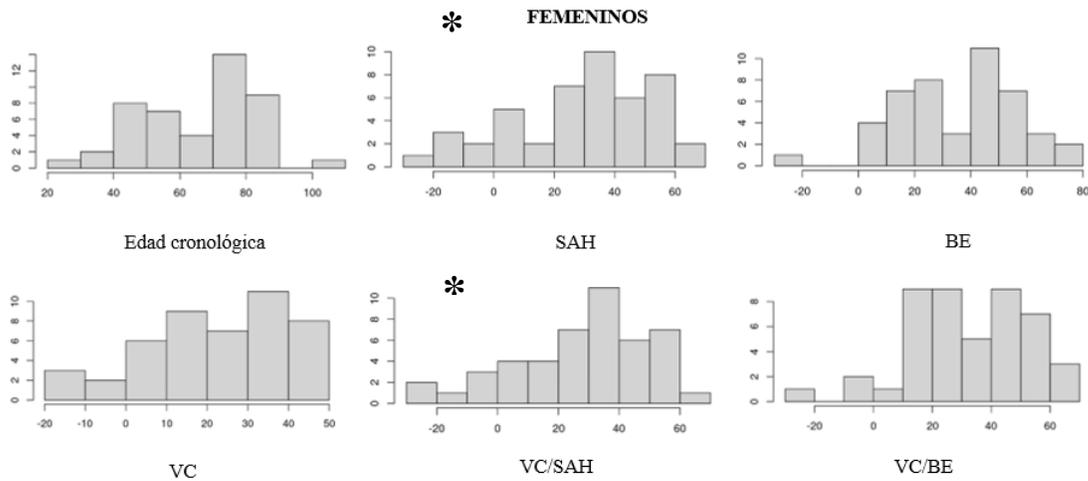


Figura 28. Histogramas de la edad cronológica y edad estimada por cada uno de los seis métodos en masculinos.



**Figura 29. Histogramas de la edad cronológica y edad estimada por cada uno de los seis métodos en femeninos (\*=desviación de la normalidad)**

En la prueba de Bartlett para evaluar la homogeneidad de las varianzas, para ambos sexos se obtuvieron valores significativos ( $p < 0.05$ ) por lo que todos los datos presentan heterocedasticidad (varianzas diferentes) (Tabla 7). Con los análisis anteriores se decidió utilizar las pruebas anteriormente mencionadas (prueba T pareada y Wilcoxon), considerando que estas no exigen el requisito de que las varianzas sean iguales.

**Tabla 7. Resultados de la prueba de Bartlett para evaluar homogeneidad de varianzas.**

Método	Masculinos		Femeninos	
	<i>K-squared</i>	<i>p - value</i>	<i>K-squared</i>	<i>p - value</i>
Edad Cronológica vs. SAH	29.027	7.139e-08	6.677	0.009
Edad Cronológica vs. BE	66.535	2.617e-15	30.22	3.856e-08
Edad Cronológica vs. VC	31.322	2.186e-08	9.474	0.002
Edad Cronológica vs. VC/SAH	27.907	1.273e-07	7.287	0.006
Edad Cronológica vs. VC/BE	35.257	2.89e-09	17.708	2.576e-05
Edad Cronológica vs. Suchey & Brooks	16.127	5.924e-05	-----	-----

### 8.1 Comparación entre la edad estimada mediante el hueso y el modelo 3D.

Como se mencionó previamente, se realizó esta comparación con la finalidad de evaluar si se pierde información del hueso para la estimación de edad al utilizar el modelo 3D en lugar del hueso físico. No se obtuvo una diferencia significativa entre la edad estimada utilizando

el hueso y la edad estimada utilizando el modelo 3D ( $p = 0.01394$ ,  $\alpha = 0.01$ ). Se observó una diferencia en las edades de 3.2 años en un intervalo de confianza al 99% de -0.15 – 6.57.

## 8.2 Comparación entre metodologías computacionales y método de Suchey – Brooks.

Para determinar si las edades estimadas a partir de los 5 métodos computacionales que conforman el software “*forAge*” y el método de Suchey – Brooks fueron significativamente diferentes de las edades cronológicas, se realizó una prueba t – student pareada con la corrección de Bonferroni ( $\alpha = 0.01$ ,  $\alpha_{PC} = 0.00017$ ). Los resultados indican que la edad cronológica y la edad estimada difieren significativamente utilizando los métodos que conforman la herramienta computacional, así como el método de Suchey - Brooks ( $p < \alpha_{PC} = 0.00017$ ), siendo esta última la que presenta un sesgo menor (-14.78 años) seguido por el método VC/SAH (-25.36 años), VC (-25.47 años), SAH (-25.89 años) y VC/BE (-30.92 años) (Tabla 8).

**Tabla 8. Resultados de la prueba t-student pareada para evaluar diferencia entre la edad estimada por las metodologías y la edad cronológica.**

MÉTODO	DIFERENCIA PROMEDIO	INTERVALO CONFIANZA 99%	P-VALUE
SUCHEY - BROOKS	14.78	10.61 - 18.94	1.337e-14
VC – SAH	25.36	19.93 – 30.80	< 2.2e-16
VC	25.47	19.7 – 31.25	< 2.2e-16
SAH	25.89	20.67 – 31.12	< 2.2e-16
VC – BE	30.92	25.00 – 36.83	< 2.2e-16
BE	32.65	27.10 - 38.19	< 2.2e-16

El método que presentó un mayor sesgo fue el de BE (-32.65 años). Todas las distancias de edad están representadas por valores negativos, lo que indica que, las metodologías están subestimando la edad. Para el caso de la imprecisión, el método BE resultó ser el más impreciso (33.12) y el método VC el menos impreciso (0.78) (Tabla 9).

**Tabla 9. Valores de sesgo e imprecisión calculados para la muestra de sexo masculino.**

MÉTODO	SESGO	IMPRECISIÓN
SUCHEY - BROOKS	-14.78	16.86
VC – SAH	-25.36	27.22
VC	-25.47	0.78
SAH	-25.89	27.33
VC – BE	-30.92	32.24
BE	-32.65	33.12

### 8.3 Evaluación de la estimación de edad por el software “forAge” en sexo femenino.

Se utilizó el software para estimar la edad en la muestra de sexo femenino, a pesar de que este se desarrolló con base en una muestra de sexo masculino, con la finalidad de evaluar si es funcional para estimar edad en individuos femeninos o es necesario desarrollar uno exclusivo para este sexo. De igual forma que con la muestra masculina, se realizó una prueba t – student pareada y la prueba de Wilcoxon como su equivalente no paramétrico con la corrección de Bonferroni ( $\alpha=0.01$ ,  $\alpha_{PC}=0.00017$ ). Los resultados indican que la edad cronológica y la edad estimada difieren significativamente utilizando los métodos que conforman la herramienta computacional ( $p < \alpha_{PC}=0.00017$ ) (Tabla 10).

**Tabla 10. Resultados de la prueba t – student pareada y prueba de Wilcoxon (SAH, VC/SAH) para evaluar diferencia entre edad estimada por las metodologías y edad cronológica en muestra de sexo femenino.**

MÉTODO	DIFERENCIA PROMEDIO	INTERVALO CONFIANZA 99%	P-VALUE
VC	22.75	15.59 - 29.92	5.69e-11
VC/BE	30.92	25.00 – 36.83	< 2.2e-16
SAH	32.11	–	8.628e-08
VC/SAH	33.69	–	8.973e-10
BE	35.60	27.52 – 43.67	1.947e-15

El método VC presenta menor sesgo (-22.75 años), seguido por los métodos VC/SAH (-28.24 años), SAH (-29.78 años) y VC/BE (-32.25 años). Finalmente, el método que presenta un mayor sesgo es el BE (-35.60 años). Al igual que para sexo masculino, todas las distancias de edad están representadas por valores negativos, lo que indica que, las metodologías están subestimando la edad. Para el caso de la imprecisión, el método BE resultó ser el más impreciso (36.50) y el método VC el menos impreciso (25.26) (Tabla 11).

**Tabla 11. Valores de sesgo e imprecisión calculados para la muestra de sexo femenino.**

MÉTODO	SESGO	IMPRECISIÓN
VC	-22.75	25.26
VC – SAH	-28.24	31.78
SAH	-29.78	33.14
VC – BE	-32.25	33.53
BE	-35.60	36.50

## 9. Discusión.

La estimación de la edad en el ámbito forense es de suma importancia y utilidad, ya que permite contribuir al proceso de identificación mediante la elaboración de un perfil biológico que pueda compararse con algún individuo en calidad de desconocido.

La edad, es el parámetro del perfil biológico más difícil de estimar. Esto, en parte, debido a la compleja variabilidad biológica presente en los patrones de envejecimiento dentro y entre las poblaciones, así como los sesgos metodológicos y de observación asociados a las técnicas tradicionales disponibles para los profesionales forenses. Como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, dichas técnicas se basan en la premisa de que los cambios progresivos en la morfología del hueso reflejan los procesos degenerativos en el esqueleto adulto haciéndolos buenos indicadores de la edad. Sin embargo, muchos de estos procesos degenerativos pueden variar entre poblaciones e individuos debido a las diferencias en el crecimiento, desarrollo y el estilo de vida. Teniendo esto en cuenta, se han desarrollado diversas investigaciones y planteado nuevas metodologías, sin embargo, sigue siendo el parámetro que más conflicto causa dentro de la cuarteta de identificación proporcionada por los antropólogos forenses.

Se tiene conciencia de que una de las principales causas de este conflicto es la falta de consenso o uniformidad de las metodologías utilizadas, en las cuales es necesario mantener una constante actualización, aplicación y armonización de los conocimientos. Por esto, continuamente se desarrollan y analizan nuevas metodologías, pero surge la problemática de que estas no son comprobadas en diferentes poblaciones, en diversos contextos tafonómicos o no son aplicadas en la práctica diaria, situación que conlleva también a que se presente una carencia en el establecimiento de una buena conexión entre la academia y la aplicación en el campo (Cunha et al., 2009).

Otras causas que también se consideran son: 1) las muestras de referencia sobre las que se han desarrollado los diversos métodos difieren biológica y temporalmente de las muestras a las que se aplican, 2) hay una variación al momento de realizar las traducciones respecto a las características que se toman en cuenta para realizar la estimación, entendiendo cada profesional cosas diferentes, 3) la correlación entre la edad biológica y cronológica (misma que permite realizar la estimación de edad) es imprecisa debido a que la edad biológica es afectada por variables intrínsecas y extrínsecas, lo que provoca diferencias en la magnitud y

el grado de los cambios degenerativos en el esqueleto y 4) para determinar que una metodología es adecuada, se requieren cumplir ciertos requisitos, los cuales no siempre son considerados. Esto implica que se termine seleccionando aquellas que sean más prácticas, fáciles de usar y relativamente rápidas, como el método de Suchey – Brooks para sínfisis púbica que, de acuerdo con un estudio realizado por Garvin & Passalacqua (2012), es la metodología preferida para realizar la estimación de edad. A pesar de que ya se cuenta con estudios más novedosos generados a partir de la reevaluación y modificación de estos métodos convencionales, se considera que se siguen prefiriendo debido a que han sido los métodos enseñados durante la formación académica de los antropólogos forenses, además de ser aquellos que han construido su reputación al llevar más de 20 años de ser validados (Garvin & Passalacqua, 2012).

Por consiguiente, con la finalidad de aportar nueva información respecto a la validación y reputación de las nuevas metodologías, en particular aquellas que hacen uso de modelos 3D, se evaluó la utilidad de estos en el proceso de estimación de edad en nuestra población. Se abordaron las siguientes preguntas: 1) ¿Se pierde información al utilizar el modelo tridimensional en lugar del hueso físico? 2) ¿La herramienta computacional resulta ser más confiable y precisa que el método tradicional de Suchey – Brooks? 3) ¿La herramienta computacional es útil para estimar edad en nuestra población? y 4) ¿La herramienta computacional es útil para estimar edad en individuos de sexo femenino?

Los resultados a cada pregunta se discuten a continuación.

### **9.1 ¿Se pierde información al utilizar el modelo tridimensional en lugar del hueso físico?**

En la actualidad, hay una gran variedad de escáneres láser disponibles y decidir cuál utilizar en una investigación biológica representa un desafío particular. Hay varios factores que se deben tomar en cuenta para la elección del equipo dentro de este campo de investigación como son: el tamaño del objeto a digitalizar, la capacidad y el rendimiento de la alineación automática, la velocidad de adquisición del modelo 3D y la portabilidad (Tocheri, 2009). Por esto, dentro de los equipos más utilizados para la obtención de estos modelos tridimensionales en el campo de la antropología forense, se encuentra el escáner portátil *Next Engine 3D*. Este es muy asequible (bajo costo), presenta una precisión alta, es bastante

pequeño (lo que le confiere una gran portabilidad) y genera los modelos tridimensionales en un periodo de tiempo muy corto (2 minutos por escaneo) (Garvin et al., 2016; Perrone & Williams, 2019). Dado que no contamos con este equipo ni se encontró algún investigador que lo tuviera y lo pudiera proporcionar para llevar a cabo el presente trabajo, se utilizó el escáner portátil *RevScan* de la generación HandyScan 3D de Creaform. Este equipo es menos asequible, tiene una precisión menor que el escáner *Next Engine 3D*, tiene mayor tamaño y menor velocidad de medición (tarda más en generar los modelos tridimensionales). En la tabla 12 se mencionan de manera más precisa las diferencias entre el escáner comúnmente utilizado en el campo y el utilizado en el presente trabajo (Creaform, n.d.; NextEngine, n.d.).

**Tabla 12. Comparación de características del escáner *Next Engine 3D* y *RevScan*.**



***NEXT ENGINE 3D***



***REVSCAN***

<b>Peso</b>	~ 3kg	980 g
<b>Dimensiones</b>	233 x 91 x 276 mm	160 x 260 x 210 mm
<b>Velocidad de medición</b>	50,000 mediciones/seg.	18,000 mediciones/seg.
<b>Resolución</b>	0.06 mm	0.100
<b>Precisión</b>	Arriba de 0.005 mm	Hasta 0.050 mm

Debido a estas diferencias, se decidió evaluar primero si se perdía información del hueso al generar los modelos tridimensionales con el escáner *RevScan*. No se encontraron diferencias significativas en las edades estimadas en el hueso físico y las estimadas en el modelo tridimensional generado por dicho escáner, por lo que se concluyó que no se pierde información de las características del hueso. Con lo anterior se puede decir que, mediante este equipo también se pueden obtener imágenes de buena calidad que capturan los detalles del hueso brindando un buen medio para documentar las características del mismo, reforzando lo estipulado en la literatura sobre el uso de este tipo de modelos (Baab et al., 2003; Benazzi et al., 2011; Fourie et al., 2011; Friess et al., 2002; Harcourt-Smith et al., 2008; Park et al., 2006; Sholts et al., 2010). A pesar de que este equipo no se menciona entre los

utilizados y probados dentro del campo de la antropología forense, este resultado permite tomarlo en consideración como otra opción a utilizar y probar dentro del campo y más en nuestro país donde en ocasiones no contamos con muchas opciones y/o presupuesto para trabajar.

Por otra parte, dos desventajas que se considera que son importantes de mencionar son: 1) este escáner es más pesado que el *Next Engine 3D*, lo que llegaba a ser un poco problemático al manipularlo ya que generaba cansancio y un temblor ligero en la mano lo que producía ruido al momento de generar el modelo y se perdía tiempo al tener que limpiar las imágenes, 2) Los modelos se obtenían en un periodo de dos a tres horas lo que aumentaba el periodo en el que se obtenían los modelos listos y 3) al tener una menor resolución, había modelos que no salían completos ya que la estructura ósea presentaba secciones muy finas que el escáner no lograba detectar. Por esto último se considera que, de ser posible, sería bueno probar el escáner *Next Engine 3D*, para evaluar si estos modelos que quedaron incompletos mejoran.

Los trabajos anteriores y el presente demuestran cómo es que, con los avances en la tecnología y el uso de imágenes digitales, algunos antropólogos forenses han optado por empezar a incorporar los modelos tridimensionales en sus análisis e investigaciones, así como validar su funcionamiento y en algunos casos mejorarlos. Dichos modelos, han adquirido relevancia en el desarrollo de métodos novedosos como el mencionado a lo largo del presente trabajo, sin embargo, aún no son aplicados en el análisis de casos antropológicos forenses. Aunque se ha probado que mediante estos se pueden obtener puntos de referencia y medidas precisas, se argumenta que no tiene mucho sentido realizar un escaneo de la superficie del elemento óseo cuando el real está disponible y se puede medir directamente. No obstante, los modelos tridimensionales ofrecen la posibilidad de utilizar nuevas variables, como áreas de superficie, volúmenes, contornos, relieve superficial y semi puntos de referencia (es decir, puntos colocados a lo largo de curvas o superficies para capturar la forma) en los análisis de variación del esqueleto (Garvin & Passalacqua, 2012), permitiendo obtener medidas y datos cuantitativos que sirven de ayuda para, en algún momento, lograr discontinuar el uso de parámetros detectados a ojo que son subjetivos.

## 9.2 ¿La herramienta computacional resulta ser más confiable y precisa que el método tradicional de Suchey – Brooks?

Todos los métodos computacionales y el método convencional mostraron diferencias significativas entre la edad cronológica y estimada, asimismo, todos subestiman la edad. Con esto podemos inferir que la herramienta computacional aun no resulta ser más precisa que el método convencional, pero, en cuanto a la confiabilidad podemos decir que si es mejor dado que mediante cálculos matemáticos analiza la superficie y características de la sínfisis eliminando el problema de subjetividad que presenta el método convencional de Suchey – Brooks.

### Herramienta computacional.

Al examinar los métodos univariados SAH, BE Y VC contra la edad cronológica de la muestra, quien resultó ser menos impreciso (0.78) y presentó un sesgo menor (25.47) fue el método VC. El método SAH obtuvo valores intermedios de sesgo (-25.89) e imprecisión (27.33) y el que presentó un ~~mayor~~ sesgo mayor (-32.65) e imprecisión (33.12) fue el BE.

El resultado obtenido con el método BE coincide con lo mencionado en la investigación de Figueroa – Soto (2019) en donde muestra algo similar. Asimismo, Bravo – Morante y colaboradores mencionan que este método debe usarse con cautela ya que los cambios degenerativos que se producen después de los 50 años pueden dar puntuaciones altas conduciendo a una subestimación de las edades. Este método fue el que obtuvo un valor más alto de subestimación al aplicarse en la muestra analizada, donde la mayor parte se encuentra en el grupo etario de mayores de 50, corroborándose así lo mencionado por estos investigadores y mostrando que, para nuestra muestra, este método no resulta ser el más adecuado.

Por otra parte, los resultados obtenidos con el método VC y SAH difieren de los mencionados por Stoyanova (2017) en el análisis de una muestra de hombres caucásicos en donde el método SAH fue mejor que el método BE y VC, y que este último por sí solo no superó a ninguno de los métodos anteriores.

Para el caso del método SAH (que se enfoca en los cambios en la superficie de la carilla sinfisial que respectan al aplanamiento de esta), se piensa que la diferencia se pudo originar debido a que en la muestra analizada en este trabajo se observó que hay características morfológicas que se le atribuyen a individuos más jóvenes como son: una carilla lisa o con

granulosidad fina y en ocasiones una ligera presencia de crestas y surcos así como una ausencia en la depresión de toda la carilla con respecto al borde, que se siguen presentando en individuos con edad avanzada. Esto puede provocar que este método los ubique en una edad más joven, haciendo que la precisión de este método disminuya.

La diferencia de resultados obtenidos en el presente análisis con respecto al trabajo de Stoyanova (2017) y Figueroa – Soto (2018) tanto para el método VC, como el resto de metodologías computacionales se pueden ver influenciada principalmente por los siguientes aspectos: la distribución de edad de la muestra (en nuestra muestra predominan los individuos mayores) y la diferencia en el procesamiento de las imágenes posterior al escaneo. Al utilizar las herramientas computacionales, se debe seleccionar exclusivamente la carilla sinfisial y separarse manualmente del resto del hueso. Este proceso depende hasta cierto punto de la resolución que brinde el escáner utilizado. Cuanto mejor sea la resolución del escáner, menor margen de error se va a presentar al seleccionar la carilla sinfisial. Es importante recordar que en el presente trabajo se utilizó un escáner diferente al utilizado por estas investigadoras, y que este tiene una resolución diferente, además de que el recorte y edición de los modelos también pudo haber variado.

Tanto el método SAH, como el BE son más resistentes a los errores de observación y la variabilidad en el método del escaneo. Sin embargo, el método VC suele ser más sensible a estas variaciones (Kim et al., 2019).

En lo que respecta a los métodos multivariados, quien presentó menor sesgo (-25.36) y un valor bajo de imprecisión (27.22), fue el VC – SAH. En la investigación de Figueroa – Soto (2019) y Stoyanova (2017), tanto este método como el VC – BE son los que presentan un mejor funcionamiento, en comparación con sus homólogos univariantes (VC, SAH, BE). Se piensa que esto se debe a que, al utilizar ambos métodos univariantes en conjunto, se analizan más características del hueso lo que mejora la estimación. Asimismo, se considera que, en el caso de la presente investigación, el método VC – BE no presentó un buen funcionamiento al incorporar el uso del método BE que, como ya se mencionó, no parece ser una buena opción para utilizar en la muestra analizada.

### *Método convencional de Suchey – Brooks.*

Al comparar este método con los que conforman la herramienta computacional, resultó ser el que presenta un menor sesgo (-14.78) y una baja imprecisión (16.86) a pesar de mostrar una diferencia significativa entre las edades estimadas y las cronológicas, lo que conduce a inferir que es el método que estima de “mejor manera” la edad. A pesar de esto, se sigue manteniendo la opinión de que no resulta ser un método preciso ni confiable ya que, finalmente, al depender de la pericia y entrenamiento visual de quien lo aplica, se obtiene como resultado lo que uno quiere ver, catalogándose por esto como un método altamente subjetivo. Además, su aparente precisión se atribuye a los rangos de edad tan amplios que maneja, colocando al individuo en cuestión en la fase que teóricamente le corresponde, sin que presente necesariamente las características asociadas a esa fase (Muñoz Silva, 2019). Con respecto a esto, al presentar rangos de edad tan amplios, las fases se superponen ubicando al individuo en dos o más fases, situación que complica el análisis.

Este método es el más utilizado para la estimación de la edad mediante el hueso púbico, por lo que se le han realizado diversas mejoras y validaciones en lo que respecta a su funcionamiento en otros grupos poblacionales diferentes a aquel con el que fue desarrollado. Con respecto a esto, se ha observado que dicha metodología presenta una diferencia altamente significativa en la magnitud de error al aplicarse a diferentes poblaciones, debido a la variabilidad que existe tanto entre individuos como en las poblaciones (Djurić et al., 2007; Hens & Belcastro, 2012; Hoppa, 2000; Kim et al., 2019; Kimmerle et al., 2008; San Millán et al., 2013).

Los métodos para estimar la edad reflejan la adaptación del esqueleto a factores biomecánicos, ambientales, nutricionales, etc. Por esto, entre individuos de una edad similar se puede observar una variación en el estado de desarrollo de los indicadores de la edad. Asimismo, entre las poblaciones esta variación se puede observar gracias a la interacción entre genes, cultura y ambiente. A medida que maduramos y nos acercamos a la edad adulta disminuye el control de los genes sobre los cambios corporales, lo que incrementa la variabilidad de los cambios morfológicos en los indicadores de la edad. Cuando cesa el crecimiento, la maduración esquelética y corporal se presenta con una menor especificidad cronológica lo que dificulta la estimación de edad (Muñoz Silva, 2019).

Es muy importante considerar todo esto al momento de aplicar el método a muestras de diferentes poblaciones porque, como ya se ha visto, se obtienen errores que suelen ser más o menos graves dependiendo de la distancia biológica y cultural de la muestra de referencia del método con respecto a la muestra analizada. Esto, en particular, permite concluir entonces que la muestra de referencia del método de Suchey – Brooks no es representativa de las poblaciones de finales del siglo XX, principios del XXI y aquellas más recientes, requiriendo generar parámetros nuevos que si sean representativos y acordes a cada población.

Otra situación que influye en el desempeño de esta metodología es la distribución de edades de la muestra de referencia del método. En publicaciones anteriores, se ha mostrado que el método de Suchey – Brooks tiende a ser más preciso cuando es aplicado a muestras con mayor número de individuos jóvenes (Hens & Belcastro, 2012; Miranker, 2016; Rissech et al., 2012). Esta tendencia se debe justamente a la naturaleza de la muestra de referencia utilizada para crear el método en la que se tienen más adultos jóvenes (< 45 años) que adultos mayores (45 a 90 años). Con esto, se tienen mejor representados a los individuos jóvenes, edades medias más bajas para cada fase y una carencia en la información correspondiente a los individuos de mayor edad. Así, esta situación tiene el potencial de aumentar el sesgo y la inexactitud de los grupos de edad que están subrepresentados en la muestra de referencia haciendo que el método en general sea muy impreciso (Figuroa Soto, 2019).

### **9.3 ¿La herramienta computacional es útil para estimar edad en nuestra población?**

Previo a este estudio, Figuroa – Soto (2018) evaluó el funcionamiento de la herramienta computacional en parte de nuestra muestra. En ese momento, el tamaño de la misma era de 21 sínfisis púbicas. Al realizar el análisis, se obtuvo como resultado que la herramienta computacional presentaba un mejor rendimiento en las personas mayores en comparación con el método tradicional, sin embargo, la magnitud del error al realizar la estimación seguía siendo significativamente alta. Dicho resultado se atribuyó una vez más al tamaño y distribución de la muestra ya que la herramienta computacional se diseñó con base en una muestra de 93 sínfisis cuyas edades en su mayoría oscilan entre los 16 a los 39 años, lo que provoca que la muestra de referencia esté ligeramente sesgada hacia individuos más jóvenes (16-39 años) y, por tanto, realice una estimación más adecuada en estos al estar mejor representados.

En el caso de la muestra analizada por Figueroa – Soto, esta se conformaba en su mayoría por individuos de edades más avanzadas (50 a más de 90 años). Para la realización de este trabajo se analizó una muestra de tamaño más grande (85 sínfisis) a la evaluada por Figueroa – Soto y se obtuvieron resultados similares, por lo que se puede concluir que, si funciona para nuestra población, pero aún no logra ser tan precisa.

Se sigue presentando una problemática similar en la muestra analizada con respecto a la distribución de las edades, así como en el tamaño de la misma debido a que la mayoría de los individuos que la conforman son de edades entre los 40 y 90 años o más. Aunque se aumentó un poco el tamaño, es necesario incluir más ejemplares para seguir evaluando estas metodologías y poder proponer nuevas. Lo anterior permite corroborar la importancia de tener muestras grandes, bien conformadas y que sean representativas de las poblaciones que se quieren estudiar ya que sin estas la evaluación y el avance en la investigación de este campo es más complicado.

#### **9.4 ¿La herramienta computacional es útil para estimar edad en individuos de sexo femenino?**

Al analizar la muestra de sexo femenino con la herramienta computacional se obtuvo un sesgo e imprecisión más altos que los observados en la muestra de sexo masculino en todos los métodos.

Estos resultados coinciden con lo que se esperaba obtener ya que la herramienta computacional se diseñó basada en una muestra de individuos masculinos y se esperaba que los modelos de regresión de las metodologías computacionales no se ajustaran correctamente a la muestra de sexo femenino, indicando así que se requieren modelos específicos para este sexo. Figueroa – Soto menciona que en la herramienta computacional no se incluyó una muestra de sexo femenino debido a que contaban con un tamaño de muestra muy pequeño pero que se considera importante llevarlo a cabo para así crear ecuaciones de regresión lineal apropiadas para las mujeres.

Aunque se ha mencionado que no hay una diferencia significativa en la imprecisión de los métodos al aplicarse en hombres y mujeres por igual, se cuenta con un extenso cuerpo de investigación que sustenta que el rango de variación para la sínfisis púbica femenina es mayor que para los individuos de sexo masculino. Algunas explicaciones biológicas para esta

diferencia son: los mecanismos ligados a los cromosomas sexuales, las diferencias biológicas impulsadas por hormonas, el dimorfismo morfológico y el parto. En mujeres, los mecanismos ligados a los cromosomas sexuales se observan principalmente en el cromosoma X, en donde los rasgos relacionados con la edad se ven impulsados por la variación presente en este. Los efectos de dicha variación pueden ser más o menos pronunciados gracias a un ~~mayor~~ grado mayor de inestabilidad genómica que se presenta a medida que envejecemos (Lungmus, 2009).

En el caso de las hormonas, estas juegan un papel fundamental en cada sexo interviniendo en muchas diferencias biológicas que se observan en hombres y mujeres. Las importantes de mencionar son las hormonas sexuales y la relaxina. Las hormonas sexuales son las responsables de los cambios endocrinos y físicos mayormente detectados con el envejecimiento. Un ejemplo de este tipo de cambio en las mujeres es la menopausia, que marca el período de envejecimiento reproductivo y se detecta a una determinada edad. Con ella se pueden apreciar una serie de modificaciones en las características fisiológicas y físicas como por ejemplo la osteoporosis, causada por una falta de estrógeno después de la menopausia y que afecta directamente muchas características del hueso (Hägg & Jylhävä, 2021).

Durante el parto, se generan una serie de hormonas circulantes entre ellas la relaxina que inducen la reabsorción de los márgenes de la sínfisis provocando una serie de cambios en el disco fibrocartilaginoso y por tanto en la morfología de dicha estructura al causar un aumento en el ancho y movilidad de la misma (Becker et al., 2010).

En cuanto al dimorfismo morfológico en la sínfisis púbica, la principal característica que se presenta de manera diferente entre ambos sexos se puede apreciar en el área de la superficie de la sínfisis, donde hay una variación en el tamaño referente a la altura y ancho máximo de la superficie de la carilla sinfisial. La superficie de la sínfisis masculina es más grande, lo que da como resultado un borde y una superficie mayor. En las mujeres, dicha área disminuye significativamente entre los 15 y 34 años, lo que indica el aplanamiento de la superficie con la aparición de la epífisis sinfisaria. Esta tendencia también se observa en individuos masculinos, pero no resulta tan significativa, posiblemente por el inicio tardío de la osificación secundaria en el esqueleto masculino y/o la falta de aparición de la epífisis

secundaria en estos. Se ha informado que la aparición de este centro secundario del pubis es más frecuente en las mujeres que en los hombres (Lottering et al., 2014).

De los factores anteriormente mencionados, el que mayormente influye en las metodologías computacionales desarrolladas por Figueroa – Soto y colaboradores es justamente el dimorfismo morfológico, ya que estos métodos evalúan las variaciones en la carilla sinfisial correspondientes a la superficie y el área. Por ello se coincide en el planteamiento de adicionar una muestra lo mejor representada posible de este sexo para así poder crear ecuaciones de regresión lineal apropiadas para esta.

### **9.5 Nueva propuesta metodológica.**

Considerando los resultados obtenidos al evaluar el funcionamiento de la herramienta computacional, tomando en cuenta que ésta, a pesar de estimar la edad, aún no logra hacerlo de forma precisa, y viendo las ventajas que confieren los métodos computacionales en el proceso de estimación de edad se decidió plantear una nueva metodología basada en el uso de redes neuronales.

Las redes neuronales son modelos matemáticos inspirados en el funcionamiento biológico de las neuronas y la estructura del cerebro humano. También son vistas como sistemas inteligentes capaces de llevar a cabo tareas de manera distinta de como lo hacen las computadoras actuales. Si bien estas últimas procesan la información de manera rápida, hay tareas muy complejas como el reconocimiento y clasificación de patrones, que demandan mucho tiempo y esfuerzo aún en las computadoras más potentes pero que se pueden resolver de mejor manera y sin aparente esfuerzo haciendo uso del mecanismo de trabajo del cerebro humano (Flórez López & Fernández Fernández, 2008).

Algunas ventajas de las redes neuronales que les han conferido la fama y la apertura a ser utilizadas en infinidad de campos de estudio son: 1) tener la capacidad de aprender a realizar tareas basadas en un entrenamiento inicial, 2) crear su propia organización o representación de la información recibida mediante una etapa de aprendizaje, 3) responder apropiadamente cuando se les presentan situaciones o información a los que no habían sido expuestas, 4) son altamente tolerantes a fallos referentes a la estructura de la red o a la composición de los datos, ya que pueden aprender a reconocer patrones con ruido, distorsionados o incompletos y 4) pueden operar en tiempo real (Restrepo Leal et al., 2021).

En el ámbito de la antropología forense, se han utilizado redes neuronales, árboles de decisión y otros métodos de aprendizaje automático para evaluar su funcionamiento en la estimación de sexo (Afrianty et al., 2015; Nikita & Nikitas, 2020), afinidad biológica (Nikita & Nikitas, 2020; Pengyue et al., 2021) y edad (Navega et al., 2018). En el caso del sexo y la afinidad biológica se emplean caracteres métricos y morfológicos, que al analizarse mediante las redes neuronales muestran resultados mejores y más satisfactorios en comparación con los métodos convencionales. Con respecto a la edad, se ha analizado datos referentes a la densidad del fémur. No hay registro en otras estructuras, como la sínfisis púbica, ni con otro tipo de datos (métricos/morfológicos). Con lo anterior, se puede apreciar que las comparaciones y evaluaciones existentes se refieren solo a un número limitado de métodos por lo que es necesario seguir haciendo una comparación y evaluación exhaustiva de los diversos métodos que se utilizan o podrían utilizarse en la antropología forense.

En respuesta a esto, y como una primera evaluación, se comparó el desempeño del método observacional de Suchey - Brooks contra el método automatizado de clasificación de una red neuronal secuencial a partir de los datos capturados en cada fase del método.

Se utilizaron las 18 características morfológicas que considera el método de Suchey – Brooks asignándoles valores entre 0 y 1 dependiendo el grado de presencia de dichas características, siendo 0 la ausencia total, 1 la presencia total y valores intermedios presencias moderadas a bajas de las mismas. Se generó una base de datos que contenía las edades cronológicas, estimadas y la puntuación asignada a cada característica morfológica (Anexo 5). Posteriormente, se cargó esta base en formato “.csv” en el programa Python. Se eliminaron las columnas que no se usarían como variables independientes (# de registro del individuo, edad expediente y edad estimada), y se separó el conjunto de datos en variables dependientes e independientes para que se ajustaran al modelo de regresión:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n$$

Esto se realizó debido a que las redes neuronales analizan los datos mediante múltiples regresiones y de esta forma los datos coinciden con los valores requeridos en la fórmula anteriormente indicada. Asimismo, se designaron como variables independientes las características morfológicas analizadas y como variables dependientes la edad estimada y la cronológica.

### Método convencional de Suchey – Brooks.

Se calculó el error cuadrático promedio (RMSE) entre la edad real de los individuos y la edad estimada a partir del método de Suchey Brooks y se generó un gráfico mostrando el comportamiento de estos datos (Anexo 6).

### Método automatizado de clasificación: red neuronal secuencial.

Para desarrollar este método primero se dividió el conjunto de datos en dos subconjuntos: conjunto de entrenamiento y conjunto de prueba. Asimismo, el conjunto de entrenamiento se dividió también en otros dos subconjuntos: conjunto de entrenamiento y conjunto de validación. Este último, se utiliza para ver que tan bien le va a la red con las predicciones.

Se definió el modelo de la red neuronal, es decir, tipo de red, número de capas, número de neuronas por capa, función de activación, modelo de optimización para la red, y la función de costo o de pérdida como Error Cuadrático Promedio.

La red quedó conformada de la siguiente forma: la capa de entrada estuvo compuesta por 64 neuronas, la capa oculta por 128 neuronas y la capa de salida por 1 neurona. Ya definidos estos parámetros, se inició con el entrenamiento de la red, llevándose este a cabo en 100 iteraciones.

Finalmente, se graficaron los valores de la función de pérdida (MSE) durante la evolución del entrenamiento del modelo y los valores de la función de pérdida sobre la validación (Anexo 7), se generó un gráfico comparativo de las estimaciones realizadas por ambos métodos (Anexo 8) y se calculó el RMSE generado al utilizar a la Red Neuronal para predecir la edad de los individuos.

### Resultados comparación método automatizado vs. método convencional.

El método de Suchey – Brooks obtuvo un RMSE mayor al obtenido por la red neuronal (164.80 vs. 115.58). Esto indica que el método de Suchey - Brooks presenta un mayor error al momento de realizar la estimación de la edad ya que asigna edades en función de categorías o intervalos de edad (Anexo 6) y es por esto que, aunque para edades tempranas es relativamente bueno, para individuos de más de 30 años acumula mucho error al no lograr

diferenciar entre estos intervalos de edad. Por otra parte, la red neuronal secuencial es capaz de predecir edades puntuales en lugar de intervalos, lo que la hace mejor.

Además de lo anterior, la red neuronal a pesar de no haber sido optimizada en cuanto al número de capas que la componen, ni de las neuronas que constituyen a cada capa, fue capaz de generar un error menor que el método de Suchey - Brooks a partir de las características generadas por la analista, observándose que a partir de la iteración 20 en la fase de entrenamiento comenzó a disminuir el error en las estimaciones de edad.

Se recomienda que estos resultados sean comparados con los obtenidos al entrenar una Red Neuronal Convolutiva a partir de las imágenes tridimensionales de la sínfisis con las que se cuentan, ya que estos modelos son capaces de detectar características en las imágenes que no necesariamente son observables por el ojo humano.

## **9.6 Limitaciones.**

Durante el desarrollo del presente trabajo se presentaron algunas limitaciones, siendo la de mayor relevancia el tamaño de la muestra. Como se mencionó anteriormente, la composición de la muestra no representa a todos los grupos de edad. Como resultado, no se pudieron probar todos los métodos de determinación de la edad en individuos jóvenes. Idealmente, se debería utilizar un tamaño de muestra más grande con una distribución uniforme para mejorar los resultados de este estudio. Con respecto a esto se lidia con el inconveniente de no contar con acceso a material biológico humano dado que, debido a la situación tan complicada en el país respecto a la inseguridad y el alto número de personas desaparecidas y no identificadas, a partir del año 2018 se modificó tanto la Ley General de Salud, como la Ley de Desaparición Forzada.

El 17 de noviembre de 2017, se modificó la Ley General de Salud en su artículo 350 bis 3, que permitía la utilización de cadáveres o partes de ellos de personas conocidas y desconocidas, que no estuvieran vinculados a un proceso legal con fines de investigación y docencia. Con la reforma, se estableció que, referente a personas desconocidas o no identificadas se debía seguir lo dispuesto en la Ley General en Materia de Desaparición Forzada de Personas, Desaparición Cometida por Particulares y del Sistema Nacional de Búsqueda de Personas (en vigor el 16 de enero de 2018).

Otro de los artículos que también se modificó fue el 350 bis 4, que refiere que las instituciones educativas pueden utilizar cadáveres únicamente si tiene consentimiento *ante mortem* o de los familiares después de su muerte. Prácticamente, con esta reforma a la Ley General de Salud, sólo se permite el uso de cuerpos en docencia e investigación de personas que en vida autorizaron su uso con ese fin o si el familiar así lo dispone después de la muerte. Como respuesta a esto, se creó en la Facultad de Medicina el Programa de Donación de Cuerpos, que permite recibir el material necesario para ampliar estas colecciones, aunque este avance se va dando lentamente.

Si bien es cierto que existen disposiciones que siguen vigentes como el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de la Disposición de Órganos, Tejidos y Cadáveres de Seres Humanos, es importante tener en cuenta que la Ley General de Salud es de mayor jerarquía y su modificación deja sin efectos disposiciones reglamentarias que le contravengan.

Se tiene registro de una colección osteológica contemporánea resguardada en el Laboratorio de Antropología Física de la Facultad de Medicina de la UNAM, conformada por 200 esqueletos cuyas edades van de los 28 a los 85 años a la que desafortunadamente no se tiene acceso debido a una carencia en la colaboración interdisciplinaria dentro del campo. En ocasiones, a pesar de que se solicita acceso a dichas colecciones y se plantean colaboraciones entre grupos no se reciben respuestas por parte de los académicos que resguardan este material, imposibilitando la generación de avances en este campo tan importante dada la situación y los requerimientos actuales de nuestro país.

Las futuras direcciones para el estudio actual incluyen un aumento en el tamaño de la muestra, evaluar nuevamente el funcionamiento de la red neuronal secuencial con una muestra de mayor tamaño, desarrollar la red neuronal convolucional, comparar su funcionamiento con respecto a la red secuencial y conformar una colección ósea bien documentada que esté disponible para cualquier especialista que decida continuar con estudios en este campo. Asimismo, se espera que con este tipo de aportaciones se logre contribuir a la generación de parámetros específicos para nuestra población que son muy importantes ya que permiten definir características específicas que ayudan a incrementar la especificidad y precisión de las metodologías utilizadas.

## 10. Conclusiones

La estimación de la edad de muerte en esqueletos adultos se dificulta, entre otros factores, por la implementación de técnicas estadísticas inapropiadas, el error del observador y la subjetividad de las metodologías tradicionales cualitativas. Por lo tanto, es beneficioso considerar métodos alternativos para evaluar la edad. Los métodos computacionales se han convertido en el objeto de investigación reciente, ya que, como se ha visto, reducen la subjetividad y potencialmente ofrecen una nueva perspectiva de los patrones de envejecimiento, especialmente aquellos que normalmente no son vistos por el ojo humano. Mediante el uso de estos, no solo se pueden detectar cambios extremadamente detallados en las estructuras y extraer características automáticamente, sino que también pueden descubrir relaciones complejas entre características particulares, lo que es casi imposible incluso para un experto humano.

El presente trabajo aporta al avance y desarrollo de nuevos conocimientos referentes al proceso de identificación y la estimación de edad para nuestra población al atender los siguientes puntos:

- 1) Conformar una colección ósea contemporánea latinoamericana, que sea accesible a aquellos que deseen hacer investigación en el campo.
- 2) Contribuir en la generación de colecciones óseas latinoamericanas que, como ya se mencionó son muy escasas o de difícil acceso.
- 3) Aplicar y evaluar las nuevas metodologías propuestas, mismas que no han sido probadas en nuestra población previamente.
- 4) Aplicar las nuevas metodologías en colecciones óseas de diferente origen a aquellas con las que fueron desarrolladas.
- 5) Evaluar la eficacia del método de Suchey – Brooks para estimar edad en nuestra población.
- 6) Corroborar que se debe tener precaución al utilizar el método de Suchey-Brooks ya que tiende a subestimar la edad en individuos mayores de 50 años. Estos resultados son similares a estudios publicados anteriormente que aplican el método de Suchey-Brooks a otras poblaciones de todo el mundo.
- 7) Proponer el uso de redes neuronales para el desarrollo de un método de estimación de edad menos subjetivo y más preciso.

- 8) Corroborar que las redes neuronales pueden llegar a jugar un papel importante y de utilidad en el desarrollo de nuevas metodologías que permitan realizar la estimación de la edad de manera más eficaz.
- 9) Si se logra dejar de hacer una selección visual, y se logran detectar características de forma digital mediante estas herramientas, los resultados obtenidos pueden mejorar, pudiendo obtener en algún momento una herramienta que le permita al analista corroborar sus observaciones y llevar a cabo una mejor práctica.
- 10) Permitirles a las nuevas metodologías computacionales ganar reputación, al no cerrarnos a la opción de probar estas nuevas propuestas, principalmente al ser conscientes de la necesidad que tenemos de generar nueva información y aportaciones dentro del proceso de identificación humana dadas las condiciones actuales de la emergencia forense por la que atraviesa el país.

## REFERENCIAS

- Afrianty, I., Nasien, D., Kadir, M. R. A., Haron, H., Azar, A. T., & Vaidyanathan, S. (2015). Back-Propagation neural network for gender determination in forensic anthropology. *Studies in Computational Intelligence*, 575. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-11017-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11017-2_11)
- Baab, K., Ting, N., Capellini, T., Hagell, S., & Delson, E. (2003). Precision in 3-D Landmark Data Collection for Geometric Morphometrics. *American Journal of Physical Anthropology*, 120, 61–62.
- Becker, I., Woodley, S. J., & Stringer, M. D. (2010). The adult human pubic symphysis: a systematic review. *Journal of Anatomy*, 217(5). <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2010.01300.x>
- Belmonte, M. T., Sánchez Blanque, J. L., Alemán, I., & Botella, M. C. (2011). Estimación de la estatura a través de la tibia en población contemporánea española adulta femenina. *Cuadernos de Medicina Forense*, 17(2). <https://doi.org/10.4321/s1135-76062011000200005>
- Benazzi, S., Coquerelle, M., Fiorenza, L., Bookstein, F., Katina, S., & Kullmer, O. (2011). Comparison of dental measurement systems for taxonomic assignment of first molars. *American Journal of Physical Anthropology*, 144(3). <https://doi.org/10.1002/ajpa.21409>
- Brokman Haro, C. (2017). Violencia , derechos humanos y antropología forense . Propuestas para enfrentar violaciones por desaparición de personas. *Derechos Humanos México. Revista Del Centro Nacional de Derechos Humanos*, 29.
- LEY GENERAL DE SALUD, (2017) (testimony of Cámara De Diputados del H. Congreso De la Unión).
- Comisión Nacional de Búsqueda. (2018). *Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas*. <https://versionpublicarnpdno.segob.gob.mx/Dashboard/ContextoGeneral>
- Creaform. (n.d.). *Productos previos | Productos descatalogados: REVscan | Creaform*. Retrieved May 22, 2023, from <https://www.creaform3d.com/es/servicio-de-asistencia-al-cliente/productos-previos/escaner-revscan>
- Cunha, E., Baccino, E., Martrille, L., Ramsthaler, F., Prieto, J., Schuliar, Y., Lynnerup, N.,

- & Cattaneo, C. (2009). The problem of aging human remains and living individuals: A review. *Forensic Science International*, 193(1–3), 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.FORSCIINT.2009.09.008>
- Djurić, M., Djonić, D., Nikolić, S., Popović, D., & Marinković, J. (2007). Evaluation of the Suchey-Brooks method for aging skeletons in the Balkans. In *Journal of Forensic Sciences* (Vol. 52, Issue 1). <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00333.x>
- Espejel Santillan, E. (2012). *Análisis de la región facial como método de identificación forense (tesis licenciatura)*. Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Figueroa Soto, C. (2019). *Understanding Population Variability in Age-at-Death Estimation for Modern Populations in México and Puerto Rico Trough the use of 3D Laser Scans of the Pubic Symphysis*. Universidad de Tennessee.
- Flórez López, R., & Fernández Fernández, J. M. (2008). *Las redes neuronales artificiales* (1st ed.). Netbiblo.
- Fourie, Z., Damstra, J., Gerrits, P. O., & Ren, Y. (2011). Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems. *Forensic Science International*, 207(1–3). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.09.018>
- Friess, M., Marcus, L. F., Reddy, D. P., & Delson, E. (2002). the Use of 3D Laser Scanning Techniques for the Morphometric Analysis of Human Facial Shape Variation. *Three-Dimensional Imaging in Paleoanthropology and Prehistoric Archaeology*, September 2001.
- Garvin, H. M., & Passalacqua, N. V. (2012). Current Practices by Forensic Anthropologists in Adult Skeletal Age Estimation. *Journal of Forensic Sciences*, 57(2). <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01979.x>
- Garvin, H. M., Stock, M. K., & Stock MA, M. K. (2016). INVITED REVIEW *The Utility of Advanced Imaging in Forensic Anthropology*. 6(3), 499–516. <https://doi.org/10.23907/2016.050>
- Hägg, S., & Jylhävä, J. (2021). Sex differences in biological aging with a focus on human studies. *ELife*, 10. <https://doi.org/10.7554/eLife.63425>
- Harcourt-Smith, W. E. H., Tallman, M., Frost, S. R., Wiley, D. F., Rohlf, F. J., & Delson, E. (2008). Analysis of selected hominoid joint surfaces using laser scanning and geometric morphometrics: A preliminary report. In *Vertebrate Paleobiology and*

- Paleoanthropology* (Issue 9781402069963). [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6997-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6997-0_17)
- Hens, S. M., & Belcastro, M. G. (2012). Auricular surface aging: A blind test of the revised method on historic Italians from Sardinia. *Forensic Science International*, 214(1–3). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.07.043>
- Hoppa, R. D. (2000). Population variation in osteological aging criteria: An example from the pubic symphysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 111(2). [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-8644\(200002\)111:2<185::AID-AJPA5>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-8644(200002)111:2<185::AID-AJPA5>3.0.CO;2-4)
- Kim, J., Algee-Hewitt, B. F. B., Stoyanova, D. K., Figueroa-Soto, C., & Slice, D. E. (2019). Testing Reliability of the Computational Age-At-Death Estimation Methods between Five Observers Using Three-Dimensional Image Data of the Pubic Symphysis,. *Journal of Forensic Sciences*, 64(2). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13842>
- Kimmerle, E. H., Konigsberg, L. W., Jantz, R. L., & Baraybar, J. P. (2008). Analysis of age-at-death estimation through the use of pubic symphyseal data. *Journal of Forensic Sciences*, 53(3). <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00711.x>
- Krenzer, U. (2006). *Compendio de métodos antropológicos forenses para la reconstrucción del perfil osteológico* (1st ed.). Centro de Análisis Forense y Ciencias Aplicadas (CAFCA).
- Los Angeles Times. (2022). *Desaparecidos en México, problema del pasado y del presente*. ASSOCIATED PRESS. <https://www.latimes.com/espanol/mexico/articulo/2022-08-30/desaparecidos-en-mexico-problema-del-pasado-y-del-presente>
- Lottering, N., Reynolds, M. S., MacGregor, D. M., Meredith, M., & Gregory, L. S. (2014). Morphometric modelling of ageing in the human pubic symphysis: Sexual dimorphism in an Australian population. *Forensic Science International*, 236. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.12.041>
- Lungmus, E. (2009). *An Examination of Error in the Application of Pubic Aging Techniques*. Universidad de Montana.
- Miranker, M. (2016). A Comparison of Different Age Estimation Methods of the Adult Pelvis. *Journal of Forensic Sciences*, 61(5). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13130>
- Movimiento por Nuestros Desaparecidos en México. (2021). *La crisis forense en México:*

más de 52,000 personas fallecidas sin identificar.

- Muñoz Silva, E. V. (2019). *Evaluación y desarrollo de cuatro métodos establecidos para la estimación de la edad adulta basados en los tres marcadores del hueso coxal en una muestra esquelética actual documentada de origen colombiano. Aplicación en antropología forense*. Universidad de Barcelona.
- Navega, D., Coelho, J. d. O., Cunha, E., & Curate, F. (2018). DXAGE: A New Method for Age at Death Estimation Based on Femoral Bone Mineral Density and Artificial Neural Networks. *Journal of Forensic Sciences*, 63(2). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13582>
- NextEngine, I. (n.d.). *NextEngine 3D Laser Scanner*. Retrieved May 22, 2023, from <http://www.nextengine.com/products/scanner/specs>
- Nikita, E., & Nikitas, P. (2020). On the use of machine learning algorithms in forensic anthropology. *Legal Medicine*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2020.101771>
- ONU México. (2021). *95,000 personas desaparecidas y 52,000 personas fallecidas sin identificar*. Oficina Del Alto Comisionado Para Los Derechos Humanos. <https://mexico.un.org/es/163814-95000-personas-desaparecidas-y-52000-personas-fallecidas-sin-identificar#:~:text=Al 26 de noviembre de,oficialmente como desaparecidas en México.>
- Park, H. K., Chung, J. W., & Kho, H. S. (2006). Use of hand-held laser scanning in the assessment of craniometry. *Forensic Science International*, 160(2–3). <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.10.007>
- Pengyue, L., Siyuan, X., Yi, J., Wen, Y., Xiaoning, L., Guohua, G., & Shixiong, W. (2021). ANINet: a deep neural network for skull ancestry estimation. *BMC Bioinformatics*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12859-021-04444-6>
- Perrone, R. V., & Williams, J. L. (2019). Dimensional accuracy and repeatability of the NextEngine laser scanner for use in osteology and forensic anthropology. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 25. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.04.012>
- Restrepo Leal, D. A., Vilorio Porto, J. P., & Robles Algarín, C. A. (2021). El camino a las redes neuronales artificiales. In *El camino a las redes neuronales artificiales*. <https://doi.org/10.21676/9789587464290La>
- Rial Boubeta, A., & Varela Mallou, J. (2008). *Estadística práctica para la investigación en*

*ciencias de la salud*. Netbiblo.

- Rissech, C., Wilson, J., Winburn, A. P., Turbón, D., & Steadman, D. (2012). A comparison of three established age estimation methods on an adult Spanish sample. *International Journal of Legal Medicine*, 126(1). <https://doi.org/10.1007/s00414-011-0586-1>
- Rodríguez Romero, D., & Copado Cordero, F. J. (2016). *Revisión de métodos utilizados en Antropología Forense* (1st ed.). Sindicato Independiente de Policía de Andalucía.
- San Millán, M., Rissech, C., & Turbón, D. (2013). A test of Suchey-Brooks (pubic symphysis) and Buckberry-Chamberlain (auricular surface) methods on an identified Spanish sample: Paleodemographic implications. *Journal of Archaeological Science*, 40(4). <https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.11.021>
- Sholts, S. B., Wärmländer, S. K. T. S., Flores, L. M., Miller, K. W. P., & Walker, P. L. (2010). Variation in the measurement of cranial volume and surface area using 3d laser scanning technology. *Journal of Forensic Sciences*, 55(4). <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01380.x>
- Six Sigma Study Guide. (2019). *Paired T Distribution, Paired T Test, Paired Comparison Test, Paired Sample Test*. Ted Hessing. <https://sixsigmastudyguide.com/paired-t-distribution-paired-t-test/>
- Slice, D. E., & Algee-Hewitt, B. F. B. (2015). Modeling Bone Surface Morphology: A Fully Quantitative Method for Age-at-Death Estimation Using the Pubic Symphysis. *Journal of Forensic Sciences*, 60(4). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12778>
- Solutions, S. (2023). *Assumptions of the Wilcoxon Sign Test*. Statistics Solutions. <https://www.statisticssolutions.com/free-resources/directory-of-statistical-analyses/assumptions-of-the-wilcox-sign-test/>
- Stoyanova, D., Algee-Hewitt, B. F. B., & Slice, D. E. (2015). An enhanced computational method for age-at-death estimation based on the pubic symphysis using 3D laser scans and thin plate splines. *American Journal of Physical Anthropology*, 158(3). <https://doi.org/10.1002/ajpa.22797>
- Stoyanova, D. K., Algee-Hewitt, B. F. B., Kim, J., & Slice, D. E. (2017). A Computational Framework for Age-at-Death Estimation from the Skeleton: Surface and Outline Analysis of 3D Laser Scans of the Adult Pubic Symphysis. *Journal of Forensic Sciences*, 62(6). <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13439>

Tocheri, M. W. (2009). Laser scanning: 3D analysis of biological surfaces. In *Advanced Imaging in Biology and Medicine: Technology, Software Environments, Applications*.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-540-68993-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-540-68993-5_4)

## ANEXOS

### **ANEXO 1. Métodos generales de estimación de edad en Antropología Forense.**

Se presentan algunas características de los diferentes métodos para estimar edad descritas por Rodríguez-Cuenca en 2004 y Sanabria-Medina en 2016.

#### **Desgaste dental.**

Para evaluar este y su relación con la edad, se han establecido algunas escalas en donde se asigna un grado a cada cambio producido en la superficie oclusal (superficies en posición de cierre) y se evalúan en su mayoría los molares.

#### **Osificación del cartílago tiroideos.**

El cartílago tiroideos es uno de los principales de la laringe. Su osificación y calcificación ha sido muy estudiada pudiéndose observar que la osificación empieza en la segunda década de la vida y ligeramente más tarde en mujeres que en hombres. Debido a su fragilidad, muy pocas veces es recuperado en los restos óseos de exhumaciones y excavaciones arqueológicas.

#### **Epífisis esternal de la clavícula.**

Este método se basa en los cambios presentes en la faceta articular esternal de la clavícula. Es posible estimar la edad por este elemento óseo siguiendo tres etapas de cambios morfológicos (18 a los 20 años, presencia de granulación significativa con grietas; 21 a 25 años, desaparición de la estructura granulada, superficie más lisa y cresta marcada en el borde y 26 a los 30 años, superficie totalmente lisa y la desaparición de la cresta del borde).

#### **Transparencia de la dentina radicular, periodontitis y longitud de la raíz.**

La transparencia radicular se origina por la aposición de cristales de hidroxiapatita en los canalículos de la dentina. Estos calculan el grado de transparencia radicular a partir de la relación porcentual entre la altura de la transparencia y de la raíz. Por otro lado, la periodontitis (pérdida del tejido periodontal), surge por la degeneración del tejido alrededor del diente. Ésta última no se utiliza como factor relacionado directamente con la edad, sino que sirve para determinar tanto el grado de transparencia como el de periodontitis.

#### **Cierre y borrado de suturas craneales.**

Las suturas son las líneas de articulación existentes entre los 22 huesos del cráneo. Éstas son claramente visibles en individuos inmaduros y adultos jóvenes mientras que, en la edad adulta desaparecen gradualmente al irse uniendo con los huesos adyacentes. En individuos de edad avanzada pueden borrarse completamente. Las suturas anterolaterales resultan más fiables que los de la calota al igual que las suturas ectocraneales lo son frente a las endocraneales.

### **Extremidades esternales de las costillas.**

Se basa en los cambios morfológicos del extremo esternal de las costillas, así como de la osificación del cartílago costal. Hay dos métodos que destacan y que son útiles desde los 16 años hasta edades seniles. Uno es el método basado en la cuarta costilla y el otro en la primera costilla. Esta, resulta menos afectada por el estrés mecánico y es más fácil de ubicar anatómicamente.

### **Fusión de los elementos del sacro.**

El sacro y el aspecto anterior de las vértebras sacrales resulta de utilidad para la estimación de la edad en adultos jóvenes el estado de fusión entre la primera y segunda vértebra sacrales es útil en la estimación de la edad adulta, en especial si se observa una ausencia de fusión. Esta indica que el individuo es probablemente menor de 30 años.

### **Superficie auricular y acetábulo.**

Existen dos métodos que se basan en esta estructura: Lovejoy et. al., 1985) y Buckberry – Chamberlain (2002). El primero se basa en un sistema de fases, cada una de ellas con un intervalo de 5 años de edad. Lovejoy et. al. definió cuatro componentes en la superficie auricular (Figura 9) y los cambios que tienen lugar en ella con la edad a través de un sistema de 8 fases que abarcan edades desde los 20 años hasta los 60 o más.

El acetábulo es la porción articular cóncava de la superficie de la pelvis la cual se articula a la cabeza del fémur. Rissech et. al. (2006) propusieron un método que incluye el uso de interferencia bayesiana. Propusieron siete variables del acetábulo: surco acetabular, forma del borde acetabular, porosidad del borde acetabular, actividad del ápice, actividad del borde externo de la fosa acetabular, actividad de la fosa acetabular y porosidad de la fosa acetabular. Este método tiene una fiabilidad del 89%.

### **Método complejo.**

Más frecuentemente utilizado en Europa. Por medio de éste, se logra una estimación más exacta al combinar cuatro criterios diferentes que son: faceta sinfisial del pubis, estructura esponjosa del húmero proximal, estructura esponjosa del fémur proximal y la obliteración de las suturas endocraneales. Este método funciona con una eficacia de 80 – 85% en adultos. Para la estimación de la edad se busca en tablas de promedios valores correspondientes a cada edad.

## ANEXO 2. Métodos convencionales para estimar edad en sínfisis púbica.

Se presentan las metodologías desarrolladas por Todd en 1920, McKern & Stewart, 1957, Gilbert & McKern en 1973 y Katz & Suchey en 1968.

### *Método de Todd.*

En 1920, T.W Todd inició sus investigaciones mediante el estudio de una colección osteológica conformada por 306 esqueletos pertenecientes a individuos masculinos, caucasoides y de edad conocida. Con base en esta colección, estableció diez etapas que abarcaban las edades de 18 a más de 50. Así mismo, hizo mención a una serie de cambios apreciables en la faceta auricular correspondiente a cada fase. Un año después, estableció la técnica para estimar edad en mujeres fundamentado igualmente en el uso de la sínfisis púbica clasificando los cambios morfológicos también en 10 fases.

Las fases y características establecidas por Todd para estimar edad en individuos masculinos son:

- **Fase 1 (18-19 años):** La superficie sinfisial se caracteriza por ser ondulada, cubierta de crestas transversales separadas por surcos bien definidos; no se observan nódulos de osificación adheridos a la superficie, ni márgenes ni extremidades definidas.
- **Fase 2 (20-21 años):** La superficie sinfisial continúa siendo ondulada, cubierta de crestas transversales, pero los surcos comienzan a rellenarse cerca del límite dorsal, con formación de tejido óseo nuevo de textura fina. Esta formación inicia a enrarecer el contorno de las extremidades posteriores de las crestas horizontales. Los nódulos de osificación se pueden fusionar con la cara sinfisial superior. El borde dorsal delimitador inicia su desarrollo sin que afecte las extremidades. Se configura el biselado ventral.
- **Fase 3 (22-24 años):** La cara sinfisial exhibe una progresiva obliteración del sistema de crestas y surcos. Se inicia la formación del plano dorsal; hay presencia de nódulos de osificación epifisial. El borde dorsal se va definiendo gradualmente. Se pronuncia aceleradamente el biselado como consecuencia de la pérdida de densidad ventral; no hay delimitación de las extremidades.
- **Fase 4 (25-26 años):** Se aprecia un incremento del angulamiento (biselado) ventral, correspondiendo a una disminución en la formación de crestas y surcos. Se completa la definición del reborde dorsal mediante la formación del plano dorsal. Se inicia la delimitación de la extremidad inferior.
- **Fase 8 (39-44 años):**
- **Fase 5 (27-30 años):** Se aprecia poco o ningún cambio en la cara sinfisial y en el plano dorsal exceptuando algunos intentos esporádicos y prematuros en la formación de la rampa ventral. Se incrementa la claridad en la definición de la extremidad inferior como del reborde dorsal. Se inicia la formación de la extremidad superior con o sin intervención de nódulos óseos epifisiales.
- **Fase 6 (30-35 años):** Se incrementa la definición de las extremidades; se desarrolla y prácticamente se completa la rampa ventral. Hay retención de la apariencia granular de la cara sinfisial y del aspecto ventral del pubis. También se aprecia ausencia de labiación del borde sinfisial.

- **Fase 7 (35-39 años):** Se evidencian cambios en la cara sinfisial y en el aspecto ventral del pubis; concomitantes a la disminución de su actividad. Aparecen excrescencias óseas en las áreas de inserción de tendones y ligamentos, particularmente del tendón gráciles y el ligamento sacro-tuberoso.
- **Fase 8 (39-44 años):** La cara sinfisial es generalmente suave e inactiva, al igual que la superficie ventral. El contorno oval se completa total o casi totalmente; las extremidades están claramente definidas. No se distingue el aro de la cara sinfisial ni se evidencia labiación marcada de los bordes dorsal y ventral.
- **Fase 9 (45-50 años):** Se caracteriza por la formación de un aro más o menos marcado. El borde dorsal está uniformemente labiado, mientras que el ventral se observa de una manera irregular.
- **Fase 10 (> 50 años):** La cara sinfisial se torna erosionada y muestra signos de osificación errática. El borde ventral es más o menos discontinuó. Con la edad se incrementa la desfiguración de la cara.

Asimismo, las fases y características establecidas por este mismo autor para estimar edad en individuos femeninos son:

- **Fase 1:** La superficie sinfisial se caracteriza por ser ondulada, cubierta de crestas transversales separadas por surcos bien definidos. No hay ninguna distinción entre las grietas superior e inferior y toda la muestra se ve más delicada que en los hombres. No se observan nódulos de osificación adheridos a la superficie, ni márgenes ni extremidades definidas.
- **Fase 2:** La superficie sinfisial continúa siendo ondulada. Las grietas horizontales se llenan cerca de su límite dorsal con nuevo material de textura fina. Los nódulos epifisiales de osificación se fusionan con la cara sinfisial superior. El borde dorsal delimitador inicia su desarrollo, sin que afecte las extremidades. Se configura el biselado ventral.
- **Fase 3:** La cara sinfisial exhibe una progresiva obliteración del sistema de crestas y surcos. Se inicia la formación del plano dorsal. Posible presencia de nódulos de osificación. El borde dorsal se va definiendo con excrescencias afiladas. Se pronuncia aceleradamente el biselado ventral. No hay delimitación de las extremidades.
- **Fase 4:** Se aprecia un incremento del angulamiento (biselado) ventral, correspondiendo a una disminución en la formación de crestas y surcos. Se completa la definición del reborde dorsal mediante la formación del plano dorsal. Se inicia la delimitación de la extremidad inferior.
- **Fase 5:** Se aprecia poco o ningún cambio en la cara sinfisial y en el plano dorsal, exceptuando algunos intentos esporádicos y prematuros en la formación de la rampa ventral. Se incrementa la claridad en la definición de la extremidad inferior como del reborde dorsal. Se inicia la formación de la extremidad superior con o sin intervención de nódulos óseos epifisiales.

- **Fase 6:** Se incrementa la definición de las extremidades; se desarrolla y prácticamente se completa la rampa ventral. Hay retención de la apariencia granular de la cara sinfisial. Ausencia del aspecto ventral del pubis conectando a la rampa ventral para la transformación a una superficie compacta. Por eso, la rampa ventral parece más o menos débil. Retención del perfil del borde dorsal y del sistema de surcos y crestas. También se aprecia ausencia de labiación del borde ventral y no incrementa la labiación en el borde dorsal.
- **Fase 7:** Se evidencian pocos cambios en la cara sinfisial y en el aspecto ventral de los pubis concomitantes a la disminución de su actividad. No hay una formación de un borde sinfisial ni osificaciones de inserción de tendones y ligamentos.
- **Fase 8:** La cara sinfisial es generalmente suave e inactiva al igual que el aspecto ventral. El contorno oval se completa totalmente. Las extremidades están claramente definidas. No se distingue el aro de la cara sinfisial ni se evidencia labiación del borde ventral, ni labiación marcada del borde dorsal. Se osifican inserciones de tendones y ligamentos, especialmente del tendón gráciles y el ligamento sacro-tuberoso.
- **Fase 9:** Se caracteriza por la formación de un aro más o menos marcado. No labiación del borde ventral ni más labiación del borde dorsal. No se observa erosión secundaria.
- **Fase 10:** Borde ventral erosionado y continua hasta la superficie sinfisial. Ninguna evidencia de más labiación.

***Método de McKern & Stewart.***

Estos autores basaron sus investigaciones en una colección ósea conformada por 349 esqueletos de individuos masculinos, caucasoides, fallecidos en la guerra de Corea y con edad conocida. Estos autores identificaron nueve detalles morfológicos de la sínfisis: crestas y surcos, borde dorsal, declive vertical, nódulo de osificación superior, extremidad inferior, extremidad superior, rampa ventral, plano dorsal y aro sinfisial. Con base en esta revisión, propusieron una combinación de tres componentes principales que se muestran a continuación:

- **Componente I: Rampa dorsal.**
  - Fase 0:* Ausencia de borde dorsal.
  - Fase 1:* Aparición de un ligero margen en el tercio medio del borde dorsal.
  - Fase 2:* Margen dorsal se extiende a lo largo de todo el borde dorsal.
  - Fase 3:* Crestas se rellenan y se observa reabsorción de los surcos hasta formar un plano inicial en el tercio medio de la semicara dorsal.
  - Fase 4:* Plano aún exhibe vestigios de ondulado y se extiende la mayor parte sobre la semicara dorsal.
  - Fase 5:* Desaparece completamente el ondulado y la superficie de toda la semicara se aplana y se torna de una textura ligeramente granular.

- Componente II: Rampa ventral.**

*Fase 0:* Ausencia de biselado ventral.

*Fase 1:* Biselado ventral está presente solamente en el borde ventral superior.

*Fase 2:* Biselado se extiende inferiormente a lo largo del borde ventral.

*Fase 3:* Rampa ventral se inicia a instancias de las extensiones óseas de una o ambas extremidades.

*Fase 4:* Rampa se extiende, aunque quedan vacíos aún evidentes a lo largo del borde inicial pero más evidente en los dos tercios superiores.

*Fase 5:* Se completa la rampa.
- Componente III: Reborde o aro sinfisial.**

*Fase 0:* Ausencia del aro sinfisial.

*Fase 1:* Aro sinfisial se presenta parcialmente, generalmente en el extremo superior del margen dorsal; es redondeado y suave en textura y ubicado por encima de la superficie sinfisial.

*Fase 2:* Reborde dorsal se completa y el ventral se comienza a conformar. No existe un sitio particular de inicio.

*Fase 3:* Se completa el reborde sinfisial. La superficie sinfisial abarcada es finamente granulada en textura e irregular u ondulada en apariencia.

*Fase 4:* Aro comienza a discontinuarse, la cara se torna suave y aplanada y el aro ya no es redondeado, aunque agudamente definido. Hay alguna evidencia de labiación en el borde ventral.

*Fase 5:* Se continúa el rompimiento del aro, especialmente a lo largo del borde ventral superior. La cara sinfisial pierde densidad. La osificación se descompone y se torna errática a lo largo del aro ventral.

Para la estimación de edad, McKern & Stewart combinaron los valores de los tres componentes sumándolos. De esta forma se obtiene un valor entre 0 y 15 el cual corresponde a uno de los rangos de edad mostrados a continuación:

<b>Sumatoria</b>	<b>Rango de edad</b>
<b>0</b>	Menor a 17
<b>1 – 2</b>	17 – 20
<b>3</b>	18 – 21
<b>4 – 5</b>	18 – 23
<b>6 – 7</b>	20 – 24
<b>8 – 9</b>	22 – 28
<b>10</b>	23 – 28
<b>11 – 13</b>	23 – 39
<b>14</b>	Mayor a 29
<b>15</b>	Mayor a 36

### ***Método de Gilbert & McKern.***

Gilbert & McKern en 1973, hicieron la observación de que las diferencias en la metamorfosis de la sínfisis eran más acentuadas de lo que indicaba Todd. Ellos aplicaron el método de éste en una muestra de 103 individuos femeninos (recordar que los mismos estados desarrollados por Todd para hombres son aplicables a mujeres caucasoides pero presentan una diferencia de 2 a 3 años con relación a los individuos masculinos) corroborando que se sobreestimaba la edad además de que las fases resultaban diferentes al utilizar distintas partes de la sínfisis. Debido a esto, Gilbert & McKern desarrollaron una metodología muy similar a la ya propuesta por McKern & Stewart con tres componentes cada uno con cinco fases como se muestra a continuación:

- **Componente I: semicara dorsal.**

*Fase 0:* Las crestas y surcos son bien evidentes; las primeras están onduladas y el borde dorsal es indefinido.

*Fase 1:* Las crestas empiezan a aplanarse, los surcos a rellenarse: se inicia un borde dorsal aplanado en el tercio medio de la semicara.

*Fase 2:* La semicara dorsal se extiende ventralmente, se hace ancha y continúa el aplanamiento; el margen dorsal se extiende en sentido superior e inferior.

*Fase 3:* La semicara dorsal es bastante suave; el margen puede ser angosto o no diferenciarse de la cara.

*Fase 4:* La semicara es completa y continua, es ancha y de un grano muy fino, puede exhibir vestigios de ondulación.

*Fase 5:* La semicara se llena de hoyuelos y se torna irregular por la pérdida de densidad.

- **Componente II: rampa ventral.**

*Fase 0:* Las crestas y surcos son evidentes. Toda la semicara está angulada hacia la semicara dorsal.

*Fase 1:* Los surcos de la semicara ventral empiezan a rellenarse en sentido inferior, formando una rampa angulada, expandida cuyo borde lateral es indistinguible. La línea curva se extiende a lo largo de la sínfisis.

*Fase 2:* Continúa el relleno de los surcos y la expansión de la semicara, tanto de la extremidad superior e inferior. La rampa se extiende lateralmente a lo largo del borde ventral.

*Fase 3:* Casi cerca de un tercio de la semicara ventral se ha rellenado de tejido óseo granular.

*Fase 4:* La rampa ventral presenta una superficie granular fina, ancha, completa, desde la cresta púbica hasta la rama inferior.

*Fase 5:* La rampa ventral puede empezar a descomponerse, adoptando una apariencia muy ahuecada y probablemente esponjosa como consecuencia de la pérdida de densidad.

- **Componente III: aro sinfisial.**

*Fase 0:* El aro está ausente.

*Fase 1:* El aro o reborde se inicia en el tercio medio de la superficie dorsal.

*Fase 2:* Se completa la parte dorsal del aro sinfisial.

*Fase 3:* El aro se extiende desde las extremidades superior e inferior de las sínfisis hasta que se completa casi un tercio del aspecto ventral.

*Fase 4:* Se completa el aro sinfisial.

*Fase 5:* Se puede descomponer le margen ventral de la semicara dorsal, formando interrupciones en el reborde, o este puede redondearse de tal manera que ya no existe una clara línea divisoria entre la semicara dorsal y la rampa ventral.

Al igual que en el método de McKern & Stewart, esta metodología hace una sumatoria de los valores de los tres componentes y el resultado corresponde a un rango de edad como se muestra a continuación:

Sumatoria	Rango de edad
0	14 – 18
1	13 – 24
2	16 – 25
3	18 – 25
4 – 5	22 – 29
6	25 – 36
7 – 8	23 – 39
9	22 – 40
10 – 11	30 - 47
12	32 – 52
13	44 – 54
14 - 15	52 – 59

***Método de Katz & Suchey.***

En 1968, Katz & Suchey elaboraron unos estándares apropiados para una muestra conformada por 739 individuos masculinos de edad conocida (14 a 92 años). Determinaron 6 fases que comprenden las edades de 15 hasta 87 años que se muestran a continuación:

- **Fase 1 (15 - 23 años):** En estadio temprano se observa una superficie completamente ondulada, posteriormente se puede observar el inicio en la osificación de nodos.
- **Fase 2 (19 – 35 años):** Presencia de nudos osificados, borde dorsal está formado e inicia la formación de la rampa ventral.
- **Fase 3 (22 – 43 años):** Definición de los extremos superior e inferior de la superficie, la rampa ventral está completa.
- **Fase 4 (23 – 59 años):** La superficie sinfisial aparece más lisa y plana, el perfil oval está casi formado.
- **Fase 5 (28 – 78 años):** Aro sinfisial pronunciado, el borde dorsal está elevado y el borde ventral elevado irregularmente.
- **Fase 6 (36 – 87 años):** La rampa ventral se ha quebrado, la elevación de los bordes está irregular y la osificación está erosionada.

### ANEXO 3. Plantillas utilizadas para aplicar el método de Suchey – Brooks para individuos masculinos y femeninos.



Universidad Nacional Autónoma de México.  
Facultad de Medicina.  
Departamento de Anfiteatro.



Cédula Hombres.		
No. Registro.	No. Expediente.	Edad.



#### Características.

Fase 1* (20 - 29 años)	Fase 4**** (40 - 49 años)
Superficie de cara sinfisial ondulada, con crestas y surcos hasta el tubérculo púbico.	Cara sinfisial con granulosidad fina/ residuos de pequeñas crestas y surcos.
Crestas horizontales bien definidas, comienzo de formación biselado ventral.	Contorno oval completo o discontinuidad en borde ventral superior.
Ausencia de delimitación en ambos extremos (superior e inferior)	Tubérculo púbico completamente separado de la cara sinfisial por extremo superior. Superficie bordes definidos.
	Excrecencias ligamentosas óseas en porción inferior adyacente a cara sinfisial.
	Labiación ligera y localizada en borde dorsal.
Fase 2** (20 - 29 años)	Fase 5. (50 - 59 años)
Delimitación de ambas extremidades (superior e inferior), con o sin nódulos de osificación.	Borde de cara completo con depresiones.
Desarrollo de crestas en cara sinfisial.	Labiación moderada en borde dorsal, con excrecencias ligamentosas prominentes sobre borde ventral
Rampa ventral en fases iniciales en una o ambas extremidades.	
Fase 3** (30 - 39 años)	Fase 6***** (60 +)
Borde inferior de la cara y rampa ventral en proceso de acabado.	Inserciones ligamentosas ventrales marcadas.
Fusión de nódulos de osificación que forman borde superior.	Tubérculo púbico como protuberancia ósea independiente.
Cara sinfisial suave o con crestas definidas.	Cara porosa o cavitada.
Se completa plano dorsal, no labiación del borde dorsal ni excrecencias ligamentosas óseas.	Superficie irregular.

\*Fase 1. Pueden presentarse nódulos de osificación en la extremidad superior.

\*\*Fase 2. Puede presentar desarrollo de crestas, rampa ventral puede estar en fases iniciales.

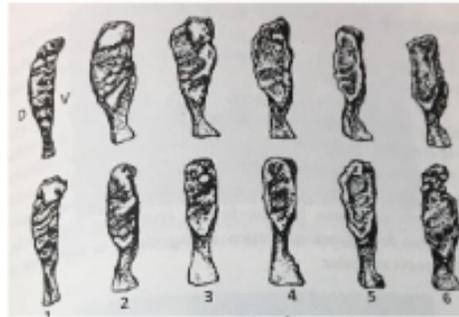
\*\*\*Fase 3. Puede continuar la fusión de nódulos, la cara sinfisial puede continuar exhibiendo crestas definidas.

\*\*\*\*Fase 4. Puede observarse discontinuidad en borde ventral, superficie puede tener borde definido, excrecencias óseas pueden aparecer.

\*\*\*\*\*Fase 6. La cara sinfisial puede exhibir depresiones, cavitarse o tornarse porosa.



Cédula Mujeres.		
No. Registro.	No. Expediente.	Edad.



Características.

Fase 1* (20 - 29 años)	Fase 4**** (40 - 49 años)
Superficie de cara sinfisial ondulada, con crestas y surcos hasta el tubérculo púbico.	Cara sinfisial con granulosidad fina/ residuos de pequeñas crestas y surcos.
Crestas horizontales bien definidas, comienzo de formación biselado ventral.	Contorno oval completo o discontinuidad en borde ventral superior.
Ausencia de delimitación en ambos extremos (superior e inferior)	Tubérculo púbico completamente separado de la cara sinfisial por extremo superior. Superficie bordes definidos.
	Excrecencias ligamentosas óseas en porción inferior adyacente a cara sinfisial.
	Labiación ligera y localizada en borde dorsal.
Fase 2** (20 - 29 años)	Fase 5. (50 - 59 años)
Delimitación de ambas extremidades (superior e inferior), con o sin nódulos de osificación.	Borde de cara completo con depresiones.
Desarrollo de crestas en cara sinfisial.	Labiación moderada en borde dorsal, con excrecencias ligamentosas prominentes sobre borde ventral
Rampa ventral en fases iniciales en una o ambas extremidades.	
Fase 3** (30 - 39 años)	Fase 6***** (60 +)
Borde inferior de la cara y rampa ventral en proceso de acabado.	Inserciones ligamentosas ventrales marcadas.
Fusión de nódulos de osificación que forman borde superior.	Tubérculo púbico como protuberancia ósea independiente.
Cara sinfisial suave o con crestas definidas.	Cara porosa o cavitada.
Se completa plano dorsal, no labiación del borde dorsal ni excrecencias ligamentosas óseas.	Superficie irregular.

\*Fase 1. Pueden presentarse nódulos de osificación en la extremidad superior.

\*\*Fase 2. Puede presentar desarrollo de crestas, rampa ventral puede estar en fases iniciales.

\*\*\*Fase 3. Puede continuar la fusión de nódulos, la cara sinfisial puede continuar exhibiendo crestas definidas.

\*\*\*\*Fase 4. Puede observarse discontinuidad en borde ventral, superficie puede tener borde definido, excrecencias óseas pueden aparecer.

\*\*\*\*\*Fase 6. La cara sinfisial puede exhibir depresiones, cavitarse o tornarse porosa.

Figura 18. Plantilla utilizada para aplicar el método de Suchey - Brooks para individuos femeninos.

## ANEXO 4. Plantillas utilizadas para aplicar el método de Suchey – Brooks a modelos 3D de individuos masculinos.

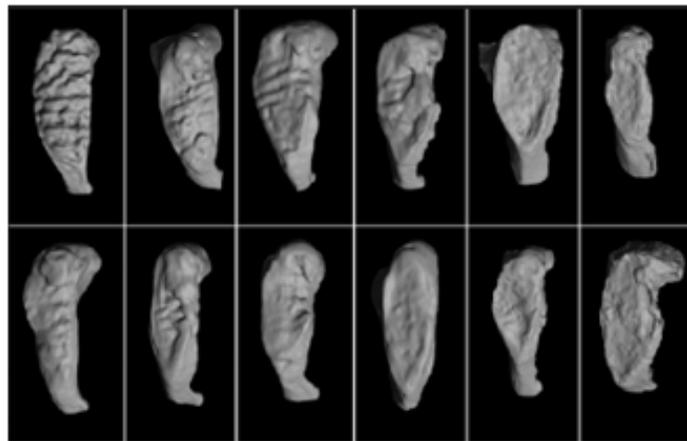
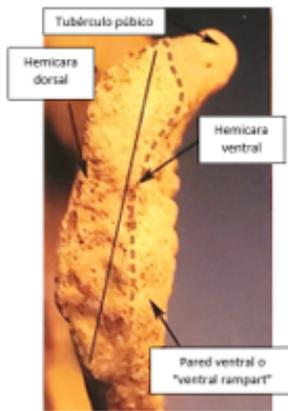


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
DEPARTAMENTO DE INNOVACIÓN EN MATERIAL BIOLÓGICO HUMANO



**Cédula estimación de edad en sínfisis púbica por el método de Suchey – Brooks.**

No. De registro	Edad cronológica	Edad estimada	
-----------------	------------------	---------------	--

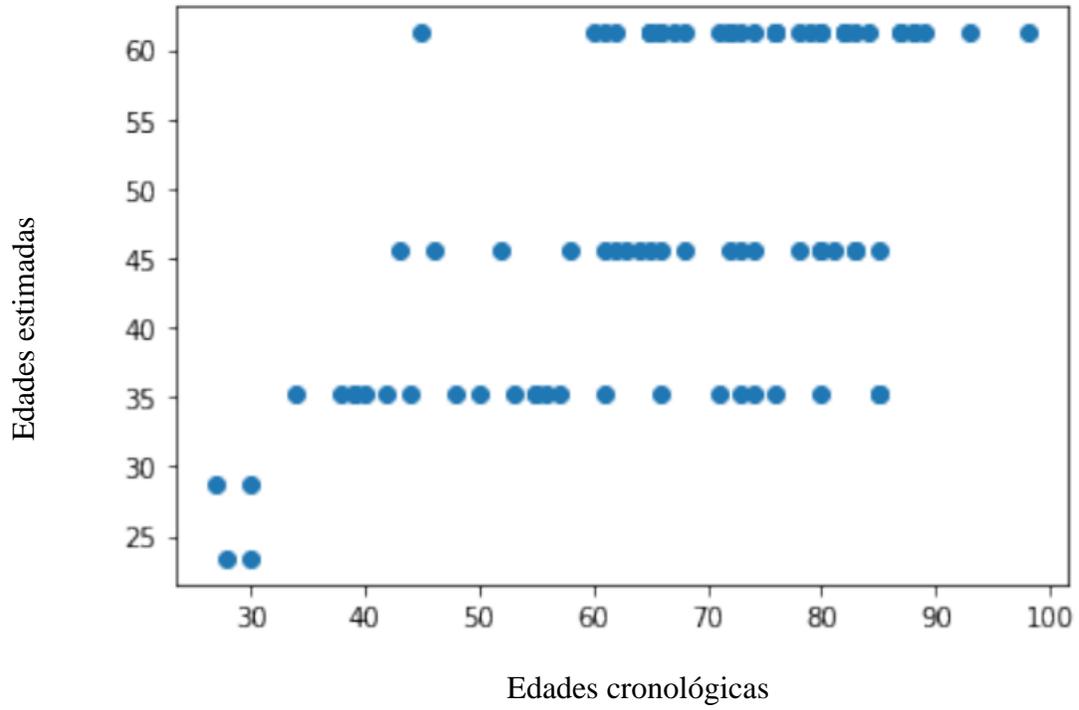


Fase 1 (EM: 18.5 años, IC 95%: 15 – 23 años)	Fase 4 (EM: 35.2 años, IC 95%: 23 – 57 años)
1. Superficie de la cara sínfival rugosa, con crestas y surcos hasta el tubérculo púbico	9. Cara sínfival con granulosidad fina
2. Ausencia de borde en extremo superior e inferior (CARACTERÍSTICA CLAVE DE LA FASE)	10. Contorno oval completo o discontinuidad en borde ventral superior
	11. Tubérculo púbico completamente separado de la cara sínfival
Fase 2 (EM: 23.4 años, IC 95%: 19 – 34 años)	Fase 5 (EM: 45.6 años, IC 95%: 27 – 66 años)
3. Presencia de borde sínfival (superior e inferior)	12. Borde de cara completo
4. Formación de pared ventral en fase inicial	13. Superficie deprimida con relación al borde
	14. Labiación moderada en borde dorsal con crecimiento óseo (por osificación de ligamentos)
Fase 3 (EM: 28.7 años, IC 95%: 21 – 46 años)	Fase 6 (EM: 61.2 años, IC 95%: 34 – 86 años)
5. Borde inferior de la cara y pared ventral en proceso de acabado	15. Inserciones ligamentosas ventrales marcadas
6. Fusión de nódulos de osificación forman borde superior	16. Borde de carilla erosionado
7. Cara sínfival: lisa/con algunas ondulaciones	17. Tubérculo púbico como protuberancia ósea independiente
8. No se presenta labiado en margen dorsal ni crecimiento óseo por osificación de ligamentos	18. Superficie sínfival porosa, con apariencia desfigurada e irregular

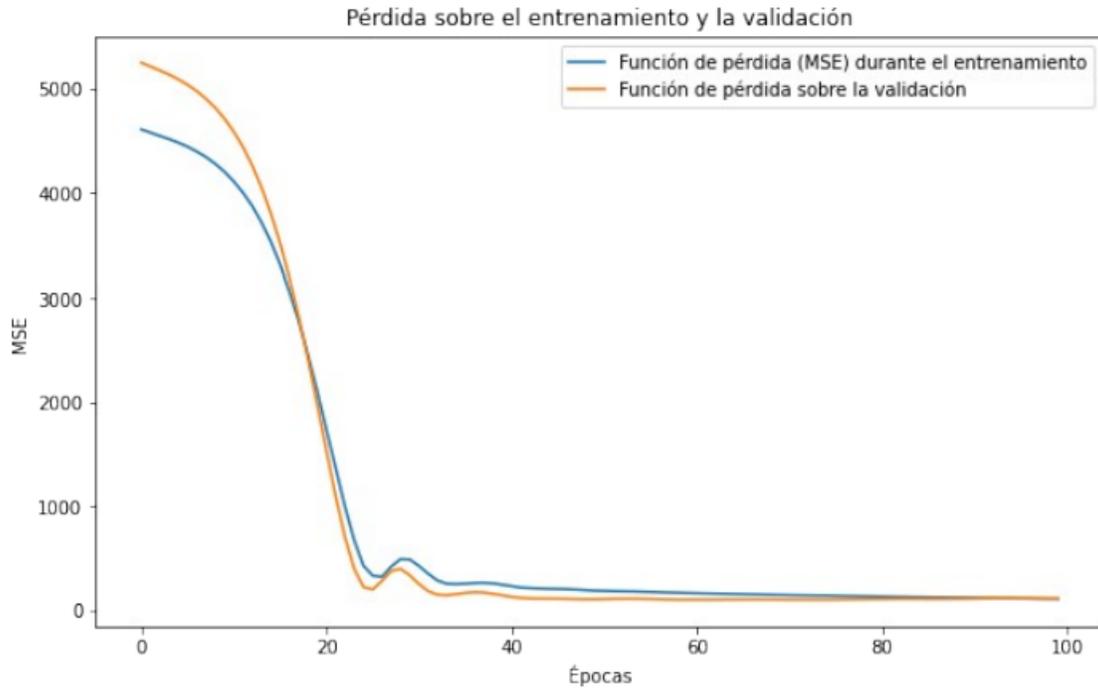
**ANEXO 5. Organización de la base de datos utilizada para crear la red neuronal secuencial.**

INDIVIDUO	EDAD EXPEDIENTE	EDAD ESTIMADA	MÉTODO SUCHEY BROOKS																	
			FASE 1		FASE 2		FASE 3				FASE 4			FASE 5			FASE 6			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
91/18	27	28.7	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0	
292/15	28	23.4	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	
295/15	30	23.4	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0.1	0	0	0	0	0	0	
217/17	30	28.7	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0.1	0	0	0	
191/16	34	35.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	
226/14	38	35.2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	
100/16	39	35.2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	
154/13	39	35.2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
122/15	40	35.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.1	1	0	0	0.5	0	0	
79/18	42	35.2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.1	1	0	0	1	0	0	
244/15	43	45.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0.1	1	0	0	1	
141/15	44	35.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.5	0	0	0	0	1	
184/17	45	61.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	
31/15	46	45.6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.5	0	0.1	1	0.3	0	0	
009/18	48	35.2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0.4	0	0	0	1	0	0	
170/15	50	35.2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	
168/18	52	45.6	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	
247/15	53	35.2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	
59/15	55	35.2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0.3	0	0.4	
59/16	55	35.2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0.3	0	1	
001/16	56	35.2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0.7	0	0.1	0	0	
63/13	57	35.2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0.3	0	1	0	1	
115/15	58	45.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.2	1	1	0	1	
243/18	60	61.2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0.5	0	0	1	0.4	
105/16	61	45.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.1	1	1	0	1	
272/12	61	35.2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	
119/16	61	61.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0.7	1	1	0.7	1	
121/16	62	61.2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0.5	
167/13	62	45.6	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0.7	1	1	0.4	0.8	1	
104/16	63	45.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	
147/18	64	45.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	
149/18	65	45.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0.1	1	0.5	0	1	
242/14	65	61.2	0	0	0.5	0	0	0	0	1	0	0.5	1	0.5	0.1	0	1	0.5	1	

**ANEXO 6. Comportamiento de los datos analizados mediante el método de Suchey – Brooks.**



**ANEXO 7. Gráfica de valores de la función de pérdida (MSE) durante el entrenamiento y sobre la validación.**



**ANEXO 8. Gráfica comparativa de las estimaciones realizadas por ambos métodos.**

