



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:



## ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>I. MEMORIA DESCRIPTIVA.....</b>	<b>7</b>
<b>II. PRESUPUESTO.....</b>	<b>70</b>

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi tutor del Trabajo de Fin de Master, Álvaro Page, por su amabilidad, su ayuda constante y disponibilidad siempre que haya sido necesaria. Gracias Álvaro por tu dedicación, pero, sobre todo me gustaría agradecerte las facilidades que me has proporcionado para que el desarrollo de este proyecto fuera posible. También agradecer a todo el personal del Instituto de Biomecánica de Valencia que ha contribuido en la investigación por todo su tiempo invertido y ayuda.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mis compañeras: Magda, Claudia, Meche y Núria, su paciencia, amabilidad y la energía positiva que transmiten todos los días. Gracias por integrarme tan bien en el trabajo, me habéis enseñado lo que es un buen equipo y el compañerismo.

En tercer lugar, me gustaría agradecer a toda mi familia y amigos su apoyo en todas y cada una de las decisiones que he tomado y la confianza que depositan en mí. Por último, mis más mayores agradecimientos a mis padres por todo el esfuerzo que habéis hecho para que yo pueda estar aquí, gracias por demostrarme todos los días la importancia de la familia y lo afortunada que soy.

## RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Master se estudió la validación de dos nuevas técnicas de escaneo 3D para antropometría del pie desarrolladas por el Instituto de Biomecánica de Valencia. Éstas son: la aplicación móvil AVATAR 3D y el equipo DOMEscan, sistemas de escaneo basado en la fotografía y que, mediante un software propio, permiten la reconstrucción del pie en 3D a partir de información 2D. Además, proporcionan en menos de 1 minuto las medidas de 22 dimensiones del pie.

Para ello, primero se realizó un estudio de fiabilidad de ambas técnicas mediante el cálculo del Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) y el error asociado tanto al DOMEscan como para la aplicación móvil, resultando que los valores de fiabilidad eran elevados en los dos casos y por lo tanto estos sistemas median bien las variables estudiadas, proporcionando así, valores de repetitividad y precisión adecuados para procesos de asignación de talla.

Cuando se finalizó el estudio de fiabilidad, se procedió al estudio de validez, donde se valoraron las discrepancias entre las medidas obtenidas entre las técnicas antropométricas desarrolladas con las de las medidas manuales, un método tradicional y comúnmente utilizado en la antropometría de pie. De este estudio, se obtuvo que tanto el DOME como el AVATAR 3D eran técnicas válidas y que, por lo tanto, se presentan como alternativas sencillas, baratas y rápidas en la antropometría del pie.

## RESUM

En aquest Treball de fi de màster es va estudiar la validació de dues noves tècniques d'escaneig 3D per a antropometria del peu, desenvolupades per l'Institut de Biomecànica de València. Aquestes són: l'aplicació mòbil AVATAR 3D i l'equip DOMEscan, sistemes d'escaneig basats en la fotografia i que, mitjançant un programari propi, permeten la reconstrucció del peu en 3D a partir de la informació 2D. A més, proporcionen en menys d'1 minut les mesures de 22 dimensions del peu.

Per a això, primer es va realitzar un estudi de fiabilitat d'ambdues tècniques mitjançant el càlcul del Coeficient de Correl·lació Intraclasse (ICC) i l'error associat, tant al DOMEscan com a l'aplicació mòbil, resultant que els valors de fiabilitat eren elevats en els dos casos i per tant, aquests sistemes mesuraven bé les variables estudiades, proporcionant així, valors de repetitivitat i precisió adequats per a processos d'assignació de talla.

Quan es va finalitzar l'estudi de fiabilitat, es va procedir a l'estudi de validesa, on es van valorar les discrepàncies entre les mesures obtingudes entre les tècniques antropomètriques desenvolupades amb les de les mesures manuals, un mètode tradicional i comunament utilitzat en l'antropometria de peu. D'aquest estudi, es va obtenir que tant el DOME com l'AVATAR 3D eren tècniques vàlides i que, per tant, es presenten com a alternatives senzilles, barates i ràpides en l'antropometria del peu.

## **ABSTRACT**

In this Master's Final Project, it was studied the validation of two new 3D scanning techniques for the foot anthropometry that were developed by the Biomechanics Institute of Valencia. These are: the AVATAR 3D mobile application and the DOMEscan device, photo-based scanning systems and which, through their own software, allow the reconstruction of the 3D foot from 2D information. In addition, they provide measurements of 22 foot dimensions in less than one minute.

For this, a reliability study of both techniques was performed at first by calculating the Intraclass Correlation Coefficient (ICC) and the error associated with both the DOMEscan and the mobile application, resulting in high reliability values in both cases. Therefore, these systems measured well the variables studied thus providing adequate repeatability and accuracy values for size allocation processes.

When the reliability study was completed, the validity study was carried out, where the discrepancies between the measures obtained between anthropometric techniques developed with those of manual measurements, a traditional method commonly used in foot anthropometry, were evaluated. From this study, it was obtained that both DOME and AVATAR 3D were valid techniques and, therefore, presented as simple, inexpensive and fast alternatives to foot anthropometry.

I. **MEMORIA DESCRIPTIVA**

## ÍNDICE MEMORIA DESCRIPTIVA

<b>1.OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	14
2.1.1. Estructura del Pie .....	14
2.1.2. Antropometría.....	14
2.1.2.1. Antropometría 1D .....	15
2.1.2.2. Antropometría 2D .....	17
2.1.2.3. Antropometría 3D. ....	17
2.1.2.4. Antropometría 4D .....	22
2.1.3. Fiabilidad y Validez .....	23
2.2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN .....	28
<b>3. OBJETIVOS INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>4.METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO .....</b>	<b>30</b>
4.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO .....	30
4.2. ESTUDIO DE FIABILIDAD .....	38
4. 3. ESTUDIO DE VALIDACIÓN .....	43
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
5.1. ESTUDIO DE FIABILIDAD .....	52
5.2. ESTUDIO DE VALIDEZ .....	56
<b>6. DISCUSIÓN .....</b>	<b>60</b>
6. 1. LIMITACIONES.....	66
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>67</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>68</b>

## 1.OBJETIVOS

El principal objetivo de este Trabajo de Fin de Master es validar la técnica de escaneo 3D mediante dos técnicas que difieren del popular escáner 3D láser. Éstas han sido desarrolladas por el Instituto de Biomecánica de Valencia: el DOMEscan, equipo que utiliza una fotografía múltiple tomada por una cámara fotográfica superior y las imágenes de sus dos espejos laterales para la reconstrucción 3D y el AVATAR 3D, una aplicación móvil que, mediante la realización de tres fotografías desde tres perspectivas del pie, es capaz de reconstruir un pie 3D además de proporcionar multitud de medidas asociadas a dicho pie.

Para la validación de estas técnicas novedosas, se establece la fiabilidad asociada a diferentes fuentes de variabilidad: diferencias asociadas al equipo o a la app, varianzas asociadas al sujeto medido y, por último, varianzas asociadas al protocolo de medida, es decir, el efecto de la colocación del pie a la hora de realizar las medidas. Este estudio se realiza tanto para el DOMEscan como para el AVATAR 3D, con el fin de conocer si ambas técnicas proporcionan medidas reproducibles, repetitivas y precisas.

Una vez establecida la fiabilidad, se desea establecer la validez de los sistemas al completo, estudiando las discrepancias entre las medidas obtenidas con las nuevas técnicas y una técnica antropométrica ya validada. Para ello, se utiliza las medidas manuales realizadas por un operador experto como método de referencia.

Por último, se quiere comparar los nuevos sistemas antropométricos sencillos y baratos, con técnicas complejas como el escáner INFOOT 3D, con el objetivo de observar qué ventajas y desventajas presentan las técnicas desarrolladas frente a equipos de escaneo láser de alta precisión.

## 2. INTRODUCCIÓN

La **Biomecánica** es la ciencia que tiene como objeto el estudio de la relación entre las estructuras biológicas y del medio ambiente utilizando como base los principios de las leyes físicas mecánicas (Damián Repetto, 2005). Ofrece plantear y resolver problemas relacionados con la mejora de la salud y de la calidad de vida aportando soluciones científicas y tecnológicas.

Tradicionalmente las aplicaciones de la **Biomecánica** se han orientado fundamentalmente hacia el ámbito de la salud (desarrollo de técnicas de diagnóstico, implantes e instrumental quirúrgico, prótesis, órtesis), pero en los últimos años han surgido nuevas aplicaciones que están cobrando gran importancia desde el punto de vista económico y tecnológico. Un ejemplo de estas nuevas aplicaciones es aquellas orientadas al diseño de productos de uso masivo, como puede ser diseño de ropa, calzado, automóviles, donde la adecuación del producto y las personas es muy importante. Estas aplicaciones se encuadran dentro de la Ergonomía del Producto.

La **Ergonomía** se define como una tecnología multidisciplinar que estudia las características, necesidades, capacidades y habilidades de las personas analizando todos los aspectos que afectan al diseño de productos o procesos de producción. Como toda ciencia multidisciplinar, comprende conocimientos que provienen de campos muy diversos. Además de la biomecánica, que es una de sus bases fundamentales, la Ergonomía se basa en las siguientes disciplinas:

- **La psicología**, que trata de buscar un ajuste entre las exigencias intelectuales y las capacidades de una persona, con el fin de disminuir el estrés y la fatiga mental. Si se produce este ajuste, aumentará la motivación del sujeto y, por lo tanto, mayor eficacia y productividad.
- **La fisiología**, que estudia las modificaciones fisiológicas que sufre organismo del trabajador mientras realiza una tarea determinada. El gasto metabólico es una de las variables más importantes en el estudio.
- **La antropometría**. Disciplina que estudia las dimensiones o proporciones del cuerpo humano con el fin de comprender la variación física humana. Hay que diferenciar entre antropometría estática y dinámica. La primera, mide las diferencias estructurales del cuerpo humano en posición fija, es decir, sin que se produzca movimiento. Por otro lado, la antropometría dinámica tiene en cuenta el movimiento a la hora del estudio.

La **Ergonomía** presenta dos grandes áreas de aplicación:

- **Ergonomía del trabajo**, que estudia los espacios físicos del trabajo, el ambiente térmico, ruido, las posturas de trabajo, la carga física y mental, con el fin de eliminar o reducir lo más posible todos aquellos factores que den lugar a situaciones de riesgo para el trabajador, para proteger su salud, disminuir la fatiga y aumentar el nivel de satisfacción. Si se aplica correctamente la Ergonomía, además de una mejora de las condiciones de trabajo, se obtienen beneficios económicos, debido a que se consigue una mayor productividad y eficacia.
- **Ergonomía del producto**, que trata de crear nuevos productos o mejorar los existentes para hacerlos más adecuados al consumidor. Como se ha comentado anteriormente, en

los últimos años ha sido una de las aplicaciones que ha adquirido mayor protagonismo y el principal objetivo es que, todos aquellos productos fabricados y comercializados sean seguros y cómodos, de forma que contribuyan forma positiva a la calidad de vida. Para ello, se realizan análisis funcionales y biomecánicos, así como también se obtienen datos antropométricos.

Son numerosos los productos que ha experimentado modificaciones sustanciales gracias a los estudios ergonómicos. Así, pueden citarse mejoras orientadas a mejorar la seguridad (ámbito de la automoción), la facilidad de uso (electrodomésticos, smartphones, video y fotografía) o productos relacionados con el confort (calzado, mobiliario, etc).

El **diseño de calzado** es uno de los que más ha avanzado en los últimos años. Este avance es debido a un aumento de presencia de la biomecánica por la diversificación de las compañías destinadas a la fabricación y distribución de calzado deportivo a otros mercados como el urbano, junto con un aumento del nivel de formación y exigencia de los consumidores. Se trata de un producto de uso masivo, donde la existencia de técnicas antropométricas para su diseño mediante las cuales se obtengan datos válidos y fiables, es clave a la hora de diseñar el producto con el fin de conseguir un mayor ajuste entre el calzado y el pie.

Como en todo producto, el desarrollo de calzado se realiza en diferentes fases que pueden agruparse en las siguientes (Ramiro, José, et al.1995):

- **Planificación del producto:** se realizan estudios de mercado analizando los perfiles de usuario y sus opiniones, así como también se analizan los productos existentes en el mercado. En esta fase se establecen los requisitos del mercado, los requisitos funcionales y las restricciones en el diseño.
- **Diseño:** los especialistas en el campo de la biomecánica pueden asesorar al diseñador aportando datos antropométricos y fisiológicos de los usuarios, así como las consecuencias de la solución del diseño en cuanto a la comodidad, aparición de lesiones y la satisfacción del usuario. Para ello, son esenciales los datos antropométricos (dimensiones del pie) y los análisis biomecánicos (cargas transferidas a las estructuras esqueléticas durante el movimiento por el contacto del pie con el medio exterior).
- **Evaluación y verificación del producto:** fase previa a la fabricación y a comercialización del producto, donde se somete el producto diseñado a evaluaciones siguiendo la normativa vigente tanto en España como en los países donde esté previsto distribuir el producto.
- **Fabricación**
- **Comercialización**

Cada una de estas fases implica tareas de naturaleza muy diversa. Entre estas tareas, las relacionadas con la Ergonomía y la adaptación al usuario son importantes, en especial las relacionadas con el conocimiento de las formas y dimensiones del pie, es decir, con las aplicaciones de la Antropometría al diseño.

La aplicación de criterios antropométricos aparece no sólo en las fases de planificación del producto (como parte de los perfiles de usuario), o en el diseño (traducidas en requisitos de diseño). También es relevante en la evaluación del producto e incluso en la comercialización.

En efecto, los nuevos sistemas de comercio electrónico están modificando los hábitos de muchos consumidores, que no acuden a la tienda para ver y probar el producto, sino que quieren elegirlo desde casa a través de Internet. Esto obliga a disponer de sistemas simples y eficaces para poder estimar virtualmente el ajuste entre el zapato y el pie. De ahí el auge de los probadores virtuales y el enorme desarrollo de los sistemas de antropometría 3D frente a las clásicas medidas unidimensionales que se venían utilizando hasta hace pocos años.

Así, las técnicas antropométricas actuales se pueden agrupar en cuatro grupos principales según la tecnología utilizada:

- **Método manual** o tradicional, donde comúnmente es utilizado el Brannock Foot-Measuring *Device*, un instrumento estándar de medición en el campo de la antropometría.
- **Pedigrafías**: es un método fácil y barato. Se basa en capturar huellas estáticas soportando peso. Proporciona información sobre los contornos del pie y posibilita la evaluación de su estructura.
- **Sistemas de medición 3D**, donde destacan los digitalizadores y escáneres 3D. Se pueden identificar los puntos anatómicos antes de la exploración mediante marcadores y por lo tanto el software calcula las medidas para esos puntos o, hay otros sistemas mediante los cuales se puede medir directamente sin necesidad de marcadores anatómicos. Son los sistemas de medición más utilizados en la actualidad.
- **Sistemas dimensionales 4D**: es una técnica reciente, que permite la obtención de información sobre las deformaciones de las estructuras del pie y las dimensiones de éste cuando está en movimiento.
- **Sistemas de medición de presiones**: se adquieren valores de fuerzas y presiones resultantes del contacto entre el pie y la superficie del sistema de medición. La medición de presiones se puede realizar estáticamente o dinámicamente.

Si bien cada técnica tiene unas aplicaciones específicas, las técnicas de medida 3D son las que están suscitando más interés en los últimos años. Aunque las basadas en escáneres 3D parecen ser las más precisas, también tienen inconvenientes (complejidad y precio), que nos las hacen idóneas para su uso masivo en el ámbito del comercio electrónico. Una alternativa más simple y barata son los sistemas basados en análisis de imagen, que utilizan fotogrametría combinada con sofisticados algoritmos de tratamiento de formas para reconstruir la forma del pie a partir de tres fotografías.

En esta línea ha venido trabajando el Instituto de Biomecánica de Valencia, para desarrollar sistemas de digitalización 3D basado en fotografías, bien tomadas por el propio usuario con su Smartphone (Apps como el Sunfeet o como el AVATAR 3D ) o mediante un sencillo sistema

basado en espejos que se puede instalar en la tienda (DOMEScan). En ambos casos la forma 3D, no se extrae directamente de las fotografías, sino ajustando determinados perfiles a una amplia base de datos de medidas de pies escaneados, lo que permite obtener modelos muy completos con equipos simples.

Una de las etapas en el desarrollo de estas técnicas es comprobar la validez y fiabilidad de estos nuevos sistemas de medición. La validez se refiere a la correspondencia entre las medidas obtenidas con las técnicas y la que se obtendría con el patrón de referencia. La fiabilidad asegura que el sistema toma medidas iguales cuando se mide en las mismas condiciones. Esta es la finalidad del presente Trabajo Fin de Máster, en el que se ha desarrollado un estudio experimental para analizar estas dos características de dos sistemas desarrollados en el instituto: AVATAR 3D (app móvil) y el DOMEScan.

## 2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1.1. Estructura del Pie

El pie es una estructura anatómica compleja. Contiene 26 huesos, que se dividen en tres grupos principales según su localización y función: tarso, metatarso y falange. También cuenta con 33 articulaciones, músculos, tendones y ligamentos como se muestra en la Figura 1, además de múltiples redes de vasos sanguíneos y nervios. Dichas estructuras junto a la piel y otros tejidos adyacentes, permiten un sistema flexible que proporciona soporte, estabilidad y movilidad al cuerpo humano, llegando a soportar grandes presiones y al mismo tiempo proporcionar flexibilidad y resistencia (Ravindra S. Goonetilleke, 2013.).

Los pies tienen la función de soporte al cuerpo y participar en el complejo movimiento asociado a la marcha o la carrera. Además, proporcionan la información necesaria para mantener el equilibrio durante la locomoción y la ejecución de las actividades rutinarias, por lo que el uso de un calzado adecuado es fundamental para mantener la estructura y las funciones del pie. Para ello, es importante la existencia de técnicas antropométricas a la hora del diseño del calzado, ya que permite el conocimiento de las dimensiones más aproximadas al pie real.

Un buen calzado protege los pies frente a factores ambientales mecánicos y térmicos, la agresividad de los pavimentos, de forma que estructuras anatómicas no se vean dañadas, además de presentar unas dimensiones adecuadas que respeten su estructura anatómica.

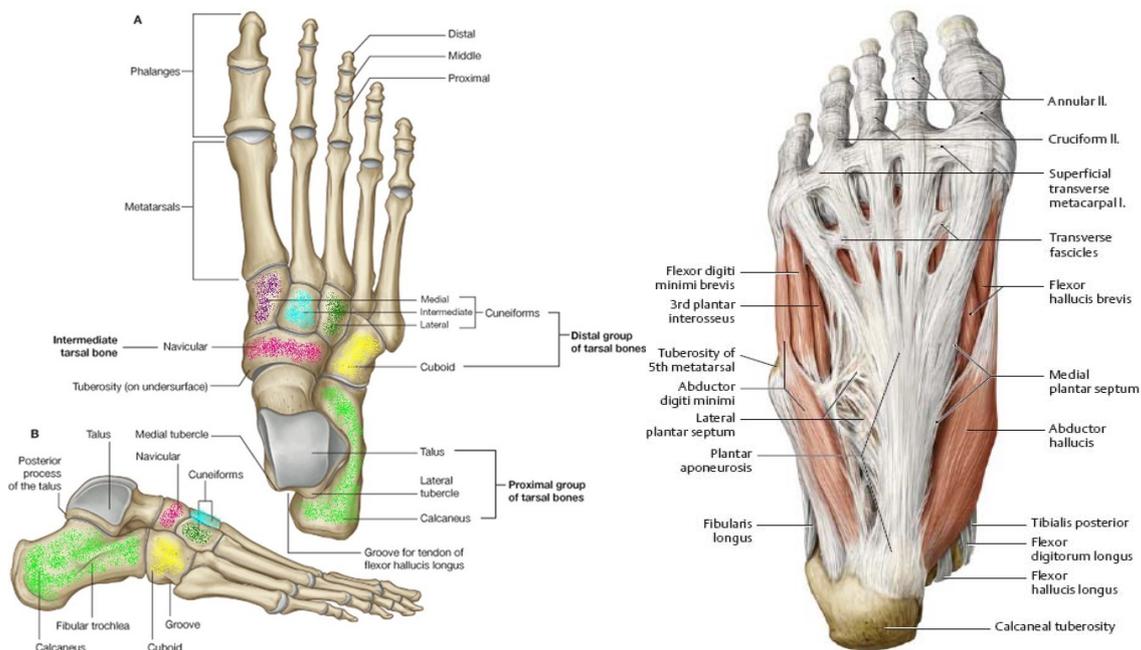


Figura 1. Estructura anatómica del pie. (Gray, 2009)

### 2.1.2. Antropometría

La antropometría es la ciencia que estudia las características físicas humanas utilizando los conocimientos y las tecnologías necesarias con el objetivo de conocer las dimensiones del

cuerpo humano (Ramiro et al., 1995). La antropometría presenta dos campos principales de aplicación: el estudio de las dimensiones de cuerpo humano en posición estática, conocida como **antropometría estructural**, o bien, el estudio de dichas dimensiones en función de los rangos de movimiento de las estructuras corporales, conocida como **antropometría funcional** o dinámica. (Ravindra S. Goonetilleke, 2013.)

Independientemente de si las medidas son estáticas o funcionales, los resultados obtenidos dependen de tres factores principales, que son las fuentes de variabilidad a considerar en los estudios antropométricos:

- Sujeto a medir
- Operador: persona encargada de realizar las mediciones
- Instrumento utilizado en las mediciones

Es importante destacar que, para poder comparar las medidas tomadas por diferentes operadores, tiene que haber una estandarización de las posturas de medición, los instrumentos de medida utilizados y los puntos anatómicos tomados como referencia. (Mochimaru & Kouchi, 2011)

Los datos antropométricos, es decir, los datos resultantes de las mediciones realizadas, pueden obtenerse en diferentes dimensiones: 1D, 2D, 3D o 4D. En primer lugar, los datos unidimensionales se obtienen a partir de las técnicas tradicionales y permiten información sobre el tamaño del cuerpo, pero no de la forma. En cambio, los datos 2D son puntos X e Y, o contornos en forma curva. Aumentando la complejidad de adquisición y su tratamiento posterior, se encuentran los datos 3D, que se obtienen a partir de las técnicas más novedosas, como los escáneres 3D, proporcionando información a partir de una nube de puntos X,Y,Z. Por último, en los últimos años se están desarrollando técnicas 4D, que permiten conseguir información espacial al mismo tiempo que se produce movimiento corporal. Por lo que, existen diferentes métodos antropométricos en función de los datos que se quieran obtener (1D, 2D, 3D O 4D).

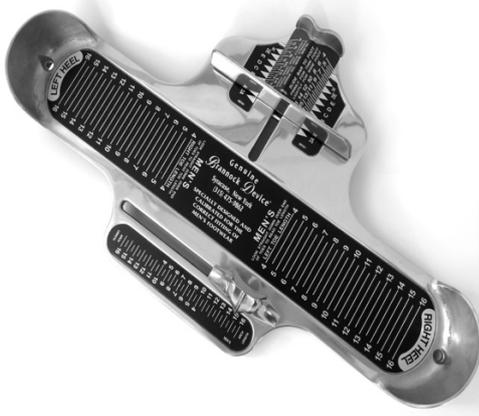
#### *2.1.2.1. Antropometría 1D*

Mediante la antropometría tradicional se recogen datos a partir de las localizaciones de unos marcadores anatómicos, que han sido seleccionados y posicionados previamente por el operador. Se utilizan herramientas sencillas, como las reglas y calibres adaptados que se muestran en la Figura 2, que permiten medir longitudes, alturas, anchuras o distancias entre puntos. Mediante el uso de cintas flexibles se pueden medir contornos.

Estas técnicas sencillas tienen como inconveniente que se requiere tiempo para tomar las medidas, pero cuenta con las ventajas de que es una técnica sencilla y barata.

Mediante este sistema de medición, se generan dos fuentes principales de error debidas a la postura adquirida durante el proceso de medición y al error humano, ya que puede haber errores en la posición de los marcadores, errores al tomar las medidas, errores al adquirir o en el registro de los datos.

En las investigaciones antropométricas realizadas, hay numerosos estudios en los que se ha recurrido a los métodos tradicionales para estudiar la antropometría del pie. Así, mediante técnicas 1D, se ha estudiado la influencia del género en la forma del pie utilizando una regla transparente, comparando así los tamaños de pie entre los hombres y las mujeres. Para ello, se colocaron los marcadores previamente a la realización de las mediciones y se midieron las variables de longitud, la anchura y la altura del pie, resultando que los hombres presentaban unos valores significativamente mayores que las mujeres y, por lo tanto, se podía concluir que el género sí que influye en la forma del pie. (Ismaila, 2009). Otro ejemplo de métodos tradicionales son los moldes de yeso, mediante los cuales, (Human, 2003), estudió si la edad influía en la estructura del pie, concluyendo que personas mayores presentaban pies más anchos y menos largos que los jóvenes, debido a una modificación esquelética que tiene lugar a medida que el cuerpo humano va envejeciendo. Por último, otras tecnologías antropométricas tradicionales como el instrumento de Brannock, la cinta métrica, o el calibre digital, se utilizaron para demostrar que para el diseño de calzado no es suficiente con el estudio de las variables de longitud y ancho de pie, sino que es necesario contar con más variables para la obtención de buenos resultados. (Goonetilleke, Ho, & So, 1997)



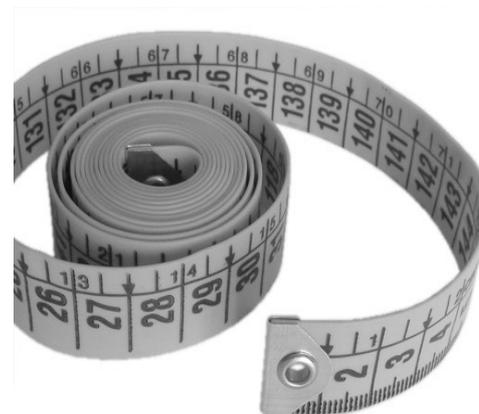
(a)



(b)



(c)

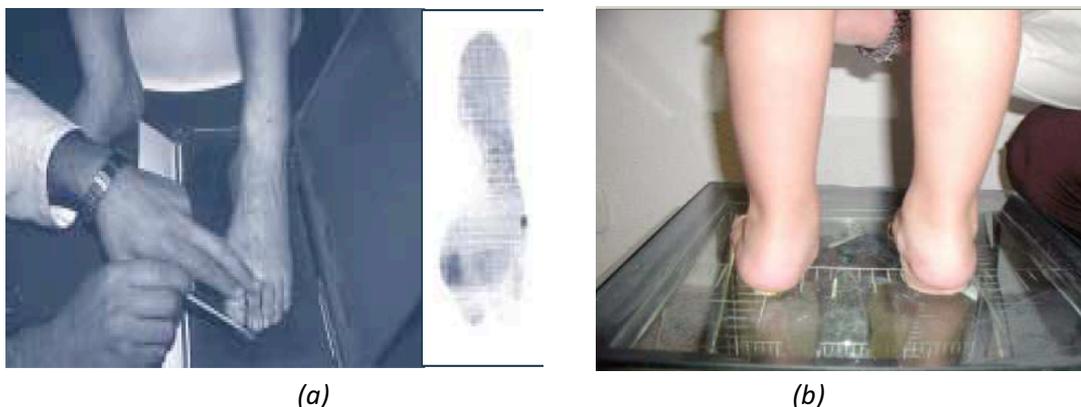


(d)

**Figura 2.** Ejemplos de técnicas antropométricas tradicionales: (a) Instrumento de Brannock; (b) Regla transparente; (c) Calibre digital (McPoil, Vicenzino, Cornwall, Collins, & Warren, 2009) (d) Cinta métrica

### 2.1.2.2. Antropometría 2D

Otra alternativa sencilla y económica es la pedigrafía, mediante la que se adquiere información 2D plantar del pie, es decir, se obtienen formas bidimensionales de la planta del pie. La técnica se basa en obtener una huella generada al colocar el pie sobre una almohadilla de tinta e imprimiendo dicha huella en el pedímetro colocado debajo de la membrana. Es una técnica comúnmente utilizada en la ortopedia junto al podoscopio, método que también proporciona información plantar 2D, así como también de los ejes del pie.



**Figura 3.** Técnicas antropométricas 2D: (a) Pedigrafía (Gracia, 2001); (b) Podografía (Ortopedia, 2008).

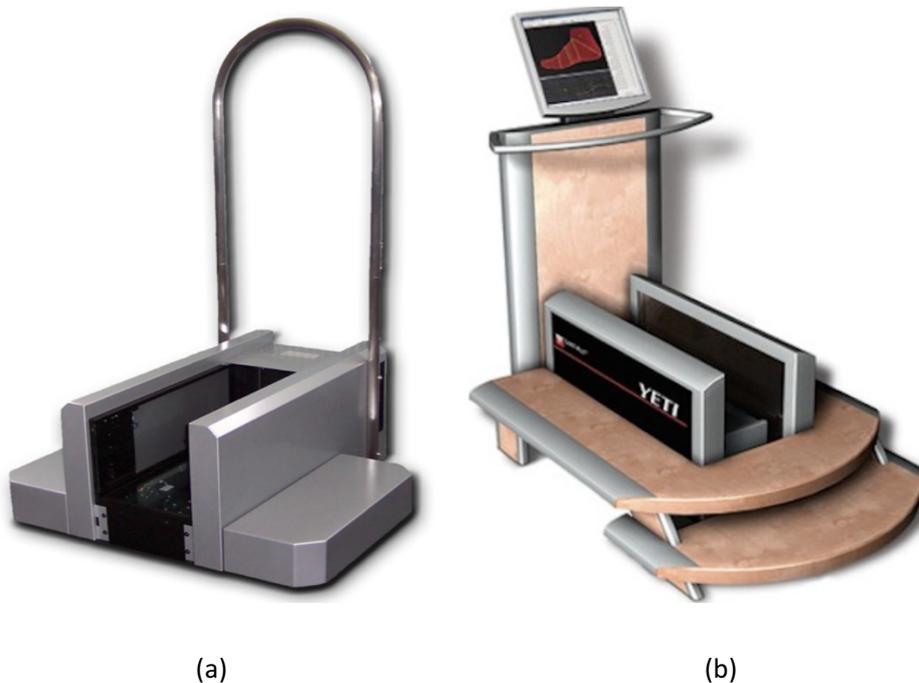
Son técnicas más complejas que las unidimensionales, ya que requieren un procesado y un análisis tras su obtención. Para ello, en primer lugar, hay que realizar una alineación de los puntos 2D y posteriormente, se realiza un análisis de las secciones alineadas, de forma que los puntos que están altamente correlacionados generan un conjunto de variables independientes, es decir, las componentes principales. (Ravindra S. Goonetilleke, 2013.)

### 2.1.2.3. Antropometría 3D.

Por otro lado, existen las tecnologías 3D, una ciencia novedosa que ha sido desarrollada en los últimos años. Un ejemplo de esta técnica es, el escáner 3D, una alternativa de medición más compleja y costosa, pero que, aun así, sigue siendo la técnica más utilizada en la actualidad para la obtención de las diferentes medidas. Esto se debe a que permite medir las formas simples y complejas del cuerpo humano, consiguiendo unos resultados iguales o mejores que mediante los métodos antropométricos nombrados anteriormente, requiriendo un tiempo menor.

Los escáneres 3D contienen tres o más cámaras que se encargan de recoger la información de la forma de la superficie escaneada, creando así, una nube de puntos (X, Y, Z). (Ravindra S. Goonetilleke, 2013.)

Concretamente, los escáneres 3D láser son los más comunes en el ámbito de la antropometría. Su funcionamiento está basado en la emisión de un haz de luz láser que se proyecta sobre la superficie a explorar, mientras una cámara, o una serie de cámaras, reconstruyen las coordenadas 3D de los puntos iluminados mediante técnicas de fotogrametría 3D estándar. A partir de un software específico se obtienen formas del cuerpo completo o, en este caso, del pie. En la siguiente Figura se muestran dos ejemplos de escáneres láser: INFOOT y YETI.



**Figura 4.** Escáneres laser: (a) INFOOT 3D(Lee, Lin, & Wang, 2014); (b) YETI 3D

El escáner láser 3D INFOOT, formado por 8 cámaras y 4 proyectores láser, es uno de los más utilizados para el diseño del calzado. Este escáner permite obtener una imagen de alta precisión del pie en menos de 5 segundos, (Pantazi & Vasilescu, 2016).

Otro escáner láser común es el YETI 3D, que también está formado por 4 fuentes emisoras láser y 8 cámaras que registran las posiciones de las líneas de luz. El tiempo de exploración es de 4 segundos o menos y la reconstrucción del pie se puede conseguir prácticamente en tiempo real.

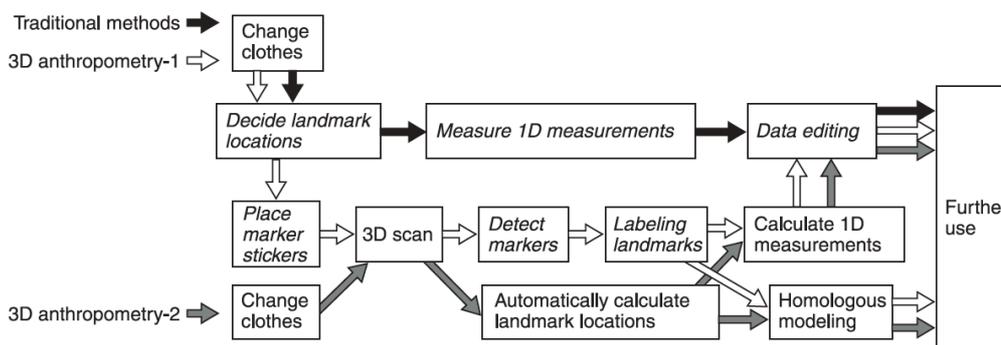
Los dos escáneres mostrados como ejemplo, presentan ventajas comunes, ya que, debido a su reducido tiempo de exploración, se reduce la probabilidad de movimiento durante el proceso de medición, además, son equipos de alta precisión, y ambos son equipos transportables. (Ravindra S. Goonetilleke, 2013.)

Para las mediciones realizadas mediante los escáneres, se pueden utilizar marcadores a la hora de medir y su localización puede ser o bien, colocada previamente por el operador o, también puede ser calculada a partir de la información superficial obtenida tras el escaneado. La técnica

cuenta con la ventaja permite el almacenamiento de los datos a la vez que se van adquiriendo, por lo que en un futuro se pueden volver a extraer estos datos sin necesidad de la presencia del individuo escaneado. También cuentan con la superioridad de que permiten calcular variables unidimensionales (1D) a partir de los datos tridimensionales obtenidos, pero estas mediciones 1D no siempre son comparables con las obtenidas con el método tradicional.

A pesar de sus múltiples ventajas, estos equipos presentan algunos inconvenientes. El principal inconveniente es su elevado coste, lo que determina que se trate de equipos singulares que solo se usan en centros de investigación. Por otra parte, se trata de equipos precisos pero muy delicados, con partes mecánicas móviles y susceptibles, por tanto, de desajuste y averías. Esto hace que no puedan usarse en aplicaciones comerciales o clínicas, para caracterizar a un cliente en una tienda o en la consulta de un podólogo. Además, la elevada precisión instrumental de los equipos no significa que la toma de medidas esté libre de errores. En efecto, en los escáneres láser las medidas no se toman de forma instantánea, sino en un barrido que dura del orden de 4 o 5 segundos. Durante ese tiempo el usuario puede moverse, cambiar el balance de pesos entre piernas (con los consiguientes cambios en la forma). Esto se traduce en errores difíciles de evitar por muy preciso que sea el sistema. Por otra parte, la información del escáner consiste en una nube puntos cuya relación con los puntos anatómicos es, en principio, desconocida. Es preciso disponer de algoritmos que calculen las medidas unidimensionales a partir de esta nube puntos. La correspondencia entre las medidas unidimensionales obtenidas de un escáner 3D y las que se hubieran sacado en un proceso estándar no está suficientemente estudiada y, en cualquier caso, depende del software usado en el escáner 3D. Por ese motivo, en ocasiones se colocan algunos marcadores sobre los puntos anatómicos. Esto introduce otras fuentes de error (asociadas al operador) y supone una limitación en la principal ventaja de estos sistemas que es precisamente que son automáticos y rápidos.

En la Figura 5 se muestra un esquema donde se sintetiza de una forma visual las principales diferencias entre los datos obtenidos mediante los métodos antropométricos tradicionales (1D) y los 3D. (Mochimaru & Kouchi, 2011)

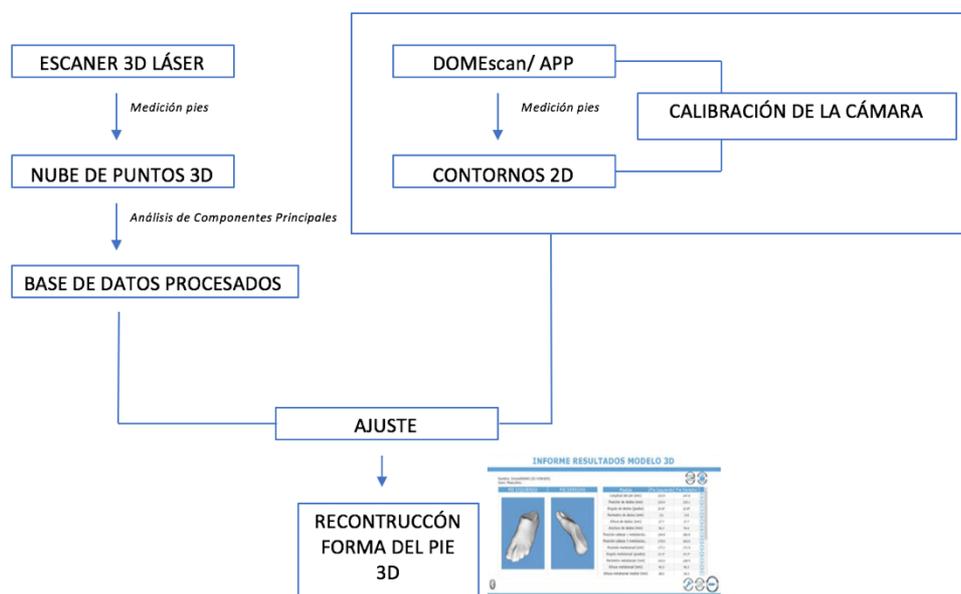


**Figura 5.** Diagrama de antropometría donde se presenta método lineal o tradicional y la antropometría 3D a partir de escáneres. (Mochimaru & Kouchi, 2011)

Debido a estas limitaciones, en los últimos años se ha empezado a trabajar en una línea diferente para obtener formas 3D sin usar escáneres, a partir de fotografías del pie. Esta alternativa puede

eliminar las principales desventajas de los escáneres 3D (es barata, robusta, la adquisición de medidas es instantánea), manteniendo las ventajas (rápida, automática y precisa). Además, abre las puertas a la posibilidad de desarrollar aplicaciones para móviles, lo que permitiría su aplicación para la personalización de calzado y el comercio electrónico.

Estos sistemas utilizan imágenes del pie tomadas desde distintos puntos de vista. Sin embargo, la reconstrucción de la forma 3D no se realiza mediante técnicas de fotogrametría estándar, sino mediante complejos algoritmos que usan los contornos de las imágenes del pie y técnicas estadísticas para ajustarlos a formas predeterminadas obtenidas a partir de amplias bases de datos de medidas 3D obtenidas previamente con escáneres, Figura 6. Por ello, se trata de técnicas en desarrollo en los que el aspecto instrumental ocupa un segundo lugar frente al desarrollo de los algoritmos estadísticos para el manejo de formas 3D.



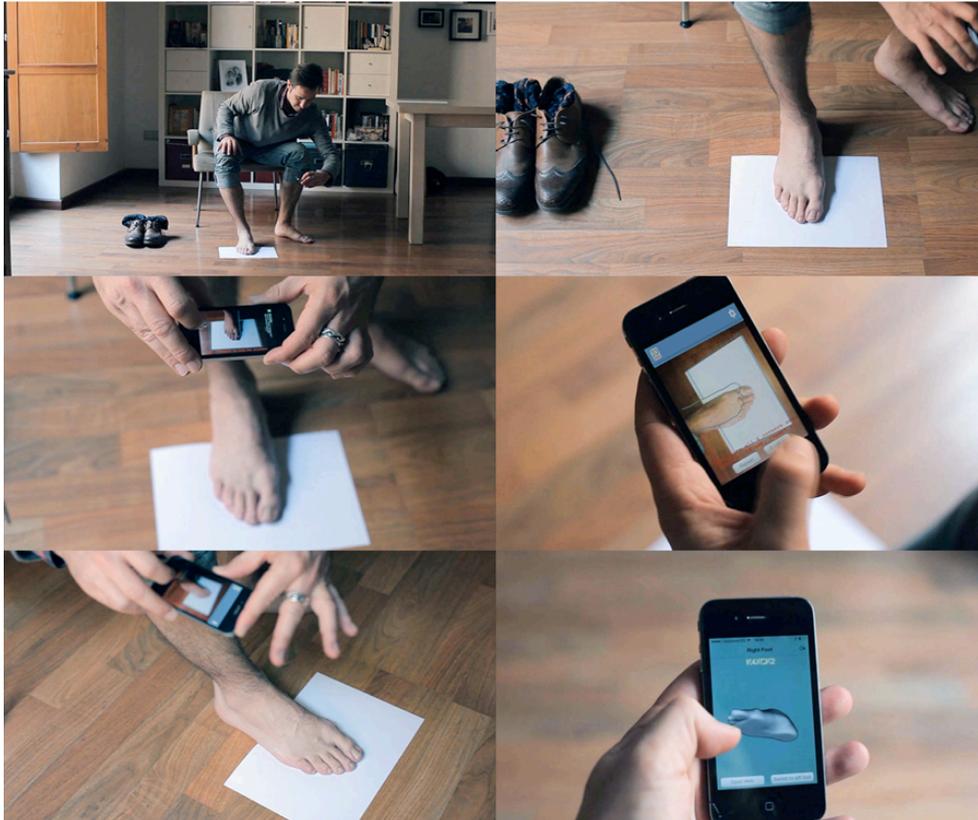
**Figura 6.** Diagrama de reconstrucción 3D de la forma del pie partiendo de contornos 2D. Esto es posible debido a la existencia de una base de datos de pies escaneados 3D (X,Y,Z), que son adquiridos previamente mediante un escáner 3D láser y sobre dicha base, mediante un análisis de componentes principales (ACP) donde se definen los parámetros más importantes, permite que una vez realizada la fotografía mediante el DOME, los perfiles 2D se ajusten a la información procesada por el ACP. Para este ajuste es fundamental que previamente a la realización de la foto, haya una calibración del sistema.

Ejemplos de esta técnica son algunas aplicaciones móviles y los sistemas basados en espejos, tecnologías utilizadas en el presente Trabajo de Final de Máster.

Las aplicaciones móviles, son una alternativa sencilla que posibilita estimar la forma del pie de forma autónoma sin necesidad de experiencia. Un ejemplo de ésta es el AVATAR 3D, una aplicación desarrollada en el IBV que permite obtener la forma del pie y sus dimensiones con una precisión suficiente para el diseño de calzado. Su validez ya ha sido demostrada y una aplicación que está dirigida a todas aquellas personas que necesiten usarla, ya que es una opción

económica y fácil. Aunque dicha investigación concluye con la necesidad de ampliar este estudio. (Parrilla et al., 2015). Su funcionamiento está basado en la realización de 3 fotos tomadas de diferentes perspectivas, 2 fotos laterales y 1 foto frontal, mientras el pie se sitúa en una hoja en blanco. Esta hoja se utiliza como posición de referencia para orientar bien la cámara. En la Figura 7 se refleja el proceso de medición este sistema.

Hay otra aplicación móvil desarrollada por el IBV conocida como SUNFEET, cuyo proceso de medición es idéntico al Avatar 3D, la única diferencia es que esta aplicación está desarrollada exclusivamente para el diseño y fabricación de plantillas personalizadas de pie.



**Figura 7.** Proceso de medición de la aplicación móvil. (Parrilla et al., 2015)

En cuanto al sistema basado en espejos, conocido como DOMEScan, Figura 8. Es un escáner 3D utilizado exclusivamente en el escaneado de pies mediante el cual se pueden obtener más de 20 medidas. Esto es posible debido a una cámara cenital y a los dos espejos ubicados lateralmente, que al realizar la foto se consigue información frontal del pie y de los dos laterales (derecho e izquierdo). Es un equipo que se caracteriza por su sencillez, rapidez y versatilidad. (Parrilla et al., 2015)

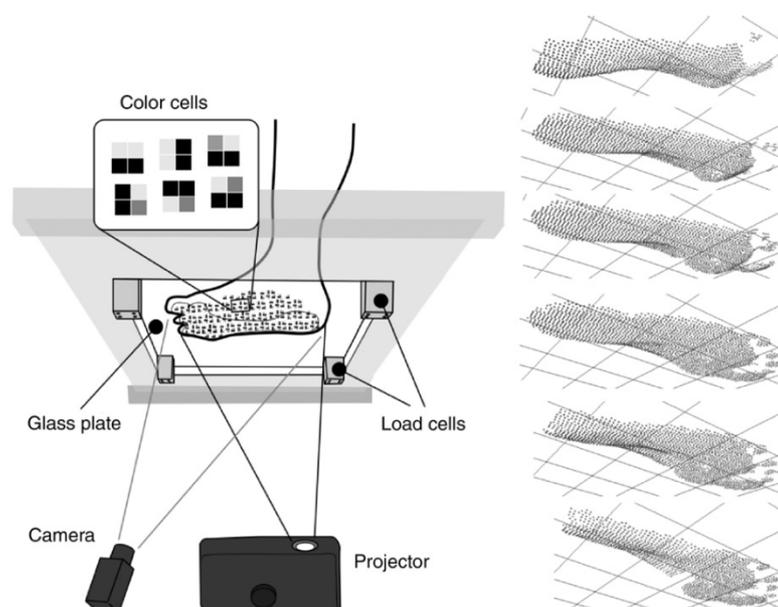


**Figura 8.** DomeScan(BALLESTER et al., 2015)

#### 2.1.2.4. Antropometría 4D

Por último, la antropometría 4D, es una tecnología que se está desarrollando en la actualidad y, por lo tanto, es la más novedosa. Se basa en la obtención de las dimensiones del sujeto de forma dinámica. Esto permite conseguir información sobre las deformaciones de las estructuras de pie a medida que se produce el movimiento.

Las publicaciones sobre esta técnica son escasas, debido a que se trata de una tecnología muy reciente, pero un estudio realizado en el año 2011, se quiso demostrar la importancia de estudiar la forma del pie en función del movimiento. Para ello, se colocó una placa de vidrio en el centro de una pasarela y por debajo de esta placa, se instaló una cámara de vídeo y un proyector encargado de proyectar un patrón sobre la superficie mientras éste era capturado mediante la cámara, como se muestra en la Figura 9. De esta forma, se obtuvo la forma plantar de los sujetos analizados tanto caminando como corriendo y así, poder contrastar los resultados, resultando que el arco del pie era menor corriendo que caminando.(Mochimaru & Kouchi, 2011)



**Figura 9.** Sistema de medición de deformación plantar.(Mochimaru & Kouchi, 2011)

De todos los estudios nombrados anteriormente, clasificados según la técnica antropométrica utilizada, se puede concluir que a medida que aumenta la complejidad de los datos, las técnicas son más precisas y, por lo tanto, son tecnologías más válidas y fiables, por lo que, son medidas más aproximadas a las dimensiones del pie real.

A continuación, en el siguiente apartado, se pretende esclarecer los conceptos de Fiabilidad y Validez con el fin de conocer la clasificación de las diferentes tecnologías existentes en función de éstos índices.

### 2.1.3. Fiabilidad y Validez

La elección del método para la obtención de medidas del pie depende del objetivo del análisis que se vaya a realizar y de los datos que se requieran adquirir (1D, 2D, 3D o 4D).

Cuando se vaya a elegir la técnica antropométrica, hay que contemplar tres aspectos fundamentales:

- La validez que presentan de los datos adquiridos.
- La compatibilidad de las medidas con las de otros sistemas
- Fiabilidad de las medidas.

En este Trabajo nos centraremos fundamentalmente en los aspectos de Validez y Fiabilidad, términos que se definen como:

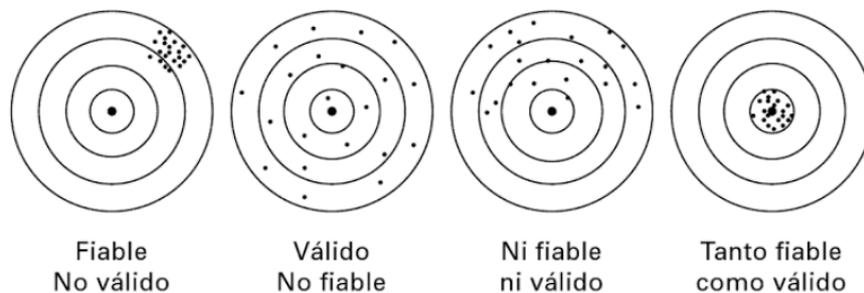
- La validez, es la base científica que hace referencia a la correspondencia entre lo que mide realmente un sistema de medida y lo que se supone que está midiendo. Ésta se determina externamente a la técnica de medición, comparando esa técnica con otra que ya ha sido validada anteriormente.
- La fiabilidad referencia a la reproducibilidad o consistencia de las medidas. Esto depende de la precisión de la técnica además de las fuentes de variabilidad asociadas al operador, intra-sujeto, al protocolo de medición...etc.

Para cuantificar la fiabilidad hay dos tipos de medidas:

- a) Las absolutas: donde se calcula el SEM (el error estándar asociado), es la mínima diferencia detectable, es decir, la varianza o la desviación típica que presentan los resultados de las mediciones.
- b) Las medidas relativas: se calcula el coeficiente de correlación interclase (ICC), para cuantificar la concordancia entre las diferentes mediciones, relacionando la varianza asociada a las fuentes de variabilidad controladas y la varianza asociada a la varianza a las fuentes de error que se quieran cuantificar.

Dicho de otro modo, la Validez está relacionada con el “uso de las medidas” y la Fiabilidad está relacionada con el “cómo se mide”.

Para sintetizar la información, se muestra la Figura 10, donde se puede observar unos puntos situados sobre una diana, y dependiendo la distribución y posición de estos, se determina si el instrumento de medición es válido y fiable.



**Figura 10.** *Fiabilidad y Validad de los instrumentos de medida.*(MARTINEZ, 2014)

Mediante la búsqueda bibliográfica, se han revisado diversos estudios realizados de antropometría en los últimos años con el objetivo de justificar qué tecnologías son mejores que otras. Entre estos, destacan una multitud de investigaciones basadas en el estudio las diferencias entre las técnicas tradicionales y las técnicas de escaneado 3D y 2D. Por ejemplo, el escáner 3D INFOOT, uno de los escáneres más utilizados, ya que se ha comprobado su fiabilidad y validez para la medición de pies humanos, por lo que es una tecnología muy recurrente a la hora de estudiar la validez y fiabilidad de otras tecnologías antropométricas (De Mits et al., 2011). En estudios anteriores, se ha comparado la reproducibilidad de las medidas de pie obtenidas a partir de un molde de yeso (método tradicional) y las medidas adquiridas mediante el escáner INFOOT, capaz de escanear la forma del pie en 10 segundos, resultando mediante un análisis estadístico, que mediante el método tradicional se obtuvo un error de 2 mm, 0'7 mm mayor que el error asociado a la reproducibilidad del INFOOT (Kouchi & Mochimaru, 2001). También se ha comparado la exactitud y precisión de las mediciones del escáner 3D con las de los calibradores digitales, huellas digitales y huella con tinta ("footprint"). Para ello, se colocaron marcadores en el pie derecho de los 130 sujetos estudiados y una vez adquiridos los datos, se realizaron estudios estadísticos mediante el software SPSS concluyendo que el escáner presentaba mayor rendimiento, mayor fiabilidad, por lo tanto, resultó ser mejor método para recolectar datos antropométricos. (Lee et al., 2014)

El escáner 3D YETI es también un escáner comúnmente utilizado en antropometría, ya que presenta ventajas como la rapidez en la exploración del pie y en su reconstrucción, es un equipo de alta precisión y es transportable (Ravindra S. Goonetilleke, 2013.) . Se ha utilizado para comparar sus resultados de medición con los métodos manuales, concluyendo que los escáneres 3D son mejor alternativa,(Witana, Xiong, Zhao, & Goonetilleke, 2006).

Aunque la mayoría de las investigaciones realizadas en los últimos años destacan la buena precisión de las nuevas tecnologías, como son los escáneres 3D, cabe destacar que los métodos manuales o tradicionales para medir el pie son una alternativa válida, sencilla y barata, mediante la cual se han realizado multitud de estudios antropométricos a lo largo de la historia de la antropometría, ya que es la técnica más antigua y más utilizada. Por ejemplo, se han realizado

comparaciones de la técnica tradicional con técnicas de medida 2D, pedigrafías, resultando valores de fiabilidad similares (Mall, Hardaker, Nunley, & Queen, 2007). Así, también se han realizado estudios de validez de estos métodos tradicionales, utilizando el calibre digital como instrumento de medida principal presentando unos valores de fiabilidad elevados y unos valores de error pequeños, por lo que son una buena alternativa para la antropometría.

Algunos resultados significantes derivados de los estudios nombrados anteriormente, se muestran la siguiente figura:

Dimensions	ICCs			
	3D scanning	Digital caliper	Digital footprint	Ink footprint
Foot length	0.98	0.98	0.97	0.91
Ball of foot length	0.95	0.74	0.97	0.68
Outside ball of foot length	0.95	0.89	0.94	0.98
Foot breadth diagonal	0.95	0.89	0.98	0.59
Foot breadth horizontal	0.96	0.84	0.98	0.93
Heel breadth	0.96	0.87	0.94	0.78

(a)

Parameter	P-value of Friedman test	ICC	SEM	SDD	SDD%
R Foot Length (mm)	0.232	0.998*	0.78	2.17	0.85
L Foot Length (mm)	0.132	0.997*	1.03	2.85	1.12
R Ball Girth Circumference (mm)	0.584	0.996*	1.05	2.90	1.21
L Ball Girth Circumference (mm)	0.497	0.995*	1.07	2.98	1.23
R Foot Breadth (mm)	0.784	0.991*	0.69	1.92	1.92
L Foot Breadth (mm)	0.572	0.990*	0.71	1.98	1.97
R Instep Circumference (mm)	0.001	0.999*	0.57	1.57	0.66
L Instep Circumference (mm)	0.016	0.999*	0.59	1.63	0.69
R Heel Breadth (mm)	0.407	0.997*	0.30	0.84	1.32
L Heel Breadth (mm)	0.760	0.996*	0.38	1.04	1.64
R Instep Length (mm)	0.006	0.949*	2.75	7.63	4.15
L Instep Length (mm)	0.285	0.980*	2.19	6.08	3.25
R Fibular Instep Length (mm)	0.836	0.997*	0.74	2.04	1.24
L Fibular Instep Length (mm)	0.741	0.989*	1.43	3.97	2.43
R Height of Top of Ball Girth (mm)	0.412	0.911*	1.13	3.13	7.65
L Height of Top of Ball Girth (mm)	0.527	0.907*	0.80	2.22	5.56
R Height of Instep (mm)	0.182	0.990*	0.45	1.26	1.88
L Height of Instep (mm)	0.717	0.979*	0.63	1.74	2.58
R Toe #1 Angle (°)	0.607	0.973*	0.88	2.44	24.03
L Toe #1 Angle (°)	0.794	0.965*	1.40	3.89	39.04
R Toe #5 Angle (°)	0.836	0.787*	1.34	3.71	26.14
L Toe #5 Angle (°)	0.741	0.964*	0.83	2.30	15.53
R Height of Toe #1 Joint (mm)	0.323	0.857*	1.29	3.57	14.64
L Height of Toe #1 Joint (mm)	0.975	0.882*	0.63	1.73	7.31
R Height of Toe #5 Joint (mm)	0.836	0.864*	1.19	3.29	16.89
L Height of Toe #5 Joint (mm)	0.794	0.925*	0.79	2.19	10.92
R Height of Navicular (mm)	0.842	0.985*	0.58	1.61	3.26
L Height of Navicular (mm)	0.656	0.966*	0.73	2.04	4.07
R Height of Sphyrion Fiburale (mm)	0.442	0.865*	1.89	5.23	9.14
L Height of Sphyrion Fiburale (mm)	0.794	0.899*	1.19	3.29	5.74
R Height of Sphyrion (mm)	0.497	0.950*	1.17	3.25	4.72
L Height of Sphyrion (mm)	0.209	0.946*	0.86	2.37	3.53
R Height lat Point of lat Mall (mm)	0.789	0.970*	0.90	2.49	3.50
L Height lat Point of lat Mall (mm)	0.368	0.922*	1.41	3.92	5.42
R Height med Point of med Mall (mm)	0.779	0.961*	1.06	2.94	3.54
L Height med Point of med Mall (mm)	0.313	0.949*	0.77	2.12	2.63
R Angle of Heel Bone (°)	0.013	0.494°	1.74	4.83	182.45
L Angle of Heel Bone (°)	0.670	0.382	2.15	5.97	213.95

R, right; L, left; lat, lateral; med, medial; mall, malleolus \* $P < 0.001$ ; ° $P < 0.05$ ; ICC, intraclasscorrelation coefficient; SEM, standard error of measurement; SDD, smallest detectable difference.

(b)

Measurement	Mean <sub>1</sub> (mm)	SD <sub>1</sub> (mm)	Mean <sub>2</sub> (mm)	SD <sub>2</sub> (mm)	ICC(2,k)
Foot length (FL) (C)	255	19.1	258	19.0	0.991
Foot length (FL) (P)	254	18.7	253	18.3	0.987
Truncated FL (TFL) (C)	189	15.2	190	13.9	0.876
Truncated FL (TFL) (P)	190	15.1	187	12.9	0.966
Navicular height (NH) (C)	38	7.3	38	7.4	0.917
Navicular height (NH) (P)	37	6.8	37	7.1	0.925
Dorsum height (DH) (C)	64	7.1	63	8.8	0.863
Dorsum height (DH) (P)	60	5.6	60	5.3	0.925
1st MT angle (C)	23	4.1	26	4.1	0.669
1st MT angle (P)	23	5.0	23	4.6	0.665
NH/FL (C)	0.151	0.027	0.149	0.028	0.917
NH/FL (P)	0.145	0.026	0.146	0.029	0.929
NH/TFL (C)	0.203	0.036	0.203	0.040	0.876
NH/TFL (P)	0.195	0.035	0.197	0.040	0.928
DH/FL (C)	0.251	0.025	0.243	0.027	0.734
DH/FL (P)	0.238	0.020	0.238	0.016	0.902
DH/TFL (C)	0.339	0.032	0.330	0.038	0.577
DH/TFL (P)	0.319	0.029	0.322	0.024	0.850

The following abbreviations will appear in the remainder of the tables: foot length (FL), truncated foot length (TFL), navicular height (NH), and dorsum height (DH).

(c)

	Rater 1 (Mean ± SD) (cm)	Rater 2 (Mean ± SD) (cm)	Rater 3 (Mean ± SD) (cm)	ICC	ICC 95% CI	SEM (cm)	MDC95% (cm)
<b>Foot Length</b>	25.97 ± 1.86	26.08 ± 1.88	25.98 ± 1.90	0.99	0.98 – 1.00	0.06	0.15
<b>Midfoot Width WB</b>	8.83 ± 0.93	8.91 ± 0.93	8.65 ± 0.93	0.99	0.98 – 1.00	0.05	0.14
<b>Dorsal Arch Hgt WB</b>	6.54 ± 0.53	6.54 ± 0.51	6.54 ± 0.54	0.99	0.98 – 1.00	0.04	0.10
<b>Midfoot Width NWB</b>	7.71 ± 0.68	7.72 ± 0.73	7.80 ± 0.77	0.97	0.95 – 0.98	0.11	0.31
<b>Dorsal Arch Hgt NWB</b>	7.94 ± 0.68	7.78 ± 0.66	7.88 ± 0.64	0.99	0.98 – 1.00	0.06	0.17
<b>Diff Midfoot Width</b>	1.13 ± 0.31	1.19 ± 0.32	0.85 ± 0.26	0.83	0.66 – 0.93	0.13	0.37
<b>Diff Dorsal Arch Hgt</b>	1.40 ± 0.21	1.25 ± 0.24	1.33 ± 0.19	0.89	0.78 – 0.96	0.07	0.20
<b>Foot Mobility Magnitude</b>	1.81 ± 0.31	1.73 ± 0.34	1.59 ± 0.22	0.86	0.73 – 0.95	0.11	0.31

(d)

**Figura 11.** Tablas obtenidas en estudios anteriores de fiabilidad: (a) Se comparó el escáner 3D INFOOT con otras técnicas de medición, obteniendo valores de fiabilidad más elevados que el resto de los métodos en la mayoría de las medidas realizadas, (Lee et al., 2014); (b) Se estudia la fiabilidad y el error asociada para cada una de las medidas realizadas en escáner 3D, (De Mits et al., 2010); (c) Se compara el método tradicional con las obtenidas con un podógrafo obteniendo ambos métodos valores muy similares de fiabilidad, (Mall et al., 2007); (d) Resultado del estudio de fiabilidad sobre el calibre digital. (McPoil et al., 2009)

Se puede concluir que estudios antropométricos más recientes se han basado en la comparación de las altas tecnologías 3D con otras más simples con el objetivo de estudiar reproducibilidad o consistencia a la hora de medir pies, considerando las técnicas más sencillas (tradicionales), como técnica de referencia.

En cuanto a las técnicas de fotogrametría, la aplicación móvil 3D, ya ha sido validada en estudios anteriores realizados en el Instituto de Biomecánica de Valencia, concluyendo que es una herramienta factible para proporcionar reconstrucciones de pie y por lo tanto es una alternativa aceptable para el diseño de calzado, pero su precisión es menor que los escáneres de alta gama. Este estudio, se está ampliando en la actualidad con el fin de realizar una validación a gran escala y así poder comparar los resultados con otros escáneres 3D comerciales. (Parrilla et al., 2015)

Por otro lado, no se han realizado estudios de fiabilidad y validez del DOMEscan3D, ya que es una técnica desarrollada recientemente por el Instituto y es el principal campo de estudio de este Trabajo de Fin de Máster, basado en el estudio de dichos índices.

Como resultado de esta búsqueda bibliográfica, se puede concluir que a medida que aumenta la complejidad de los datos, las técnicas de obtención son más precisas y, por lo tanto, son medidas más aproximadas a las dimensiones del pie real, pero dependiendo de la finalidad de uso, se requiere una precisión u otra, es decir, hay veces que no es necesario buscar una máxima precisión y las medidas obtenidas a partir de técnicas antropométricas más sencillas es suficiente. Por lo que, no siempre una técnica compleja y de alto coste es mejor que aquellas que son baratas y sencillas.

## 2.2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Para la correcta evolución del presente Trabajo de Final de Máster, ha sido fundamental recurrir a los diversos conocimientos adquiridos a lo largo del Máster de Ingeniería Biomédica. Principalmente, se podría destacar dos asignaturas:

- Técnicas Avanzadas del Análisis Biomecánico: básica para conocer mediante la ciencia de la biomecánica, los movimientos de segmentos corporales, así como los términos de fiabilidad y validez de las medidas biomecánicas.
- Ergonomía: esencial para comprender la importancia de la adaptación de los productos a las personas, por lo que, estos productos ergonómicos derivan en un aumento de satisfacción del usuario y un mayor rendimiento en su uso.

Todas las asignaturas son importantes para la formación de un estudiante, pero he destacado aquellas que me han resultado más útiles en la realización del presente Proyecto.

También es importante hacer referencia a los múltiples conocimientos que el Grado de Ingeniería Biomédica ha proporcionado, así como, la Mecánica, la Anatomía y la Biomecánica, ya que son importantes para la adquisición de los conceptos básicos y así, permitir el entendimiento de una forma más clara y dinámica de los conceptos del Máster nombrados anteriormente.

Por último, me gustaría destacar que mi principal motivación reside en la ergonomía y en la importancia de un diseño adecuado del producto para su futura adaptación a un usuario final determinado. Concretamente, el diseño de calzado, un producto de uso masivo, donde es fundamental la existencia de técnicas antropométricas, que sean fáciles de usar y de bajo coste, para facilitar su accesibilidad a la mayoría de la población. Por lo que se agilizaría el proceso obtención de calzado personalizado y la realización de compras online.

### **3. OBJETIVOS INVESTIGACIÓN**

El principal objetivo del estudio es la validación de los sistemas antropométricos desarrollados por el IBV: el equipo DOMEscan y la aplicación móvil AVATAR 3D. Para la consecución de este objetivo, se deben satisfacer una serie de objetivos parciales:

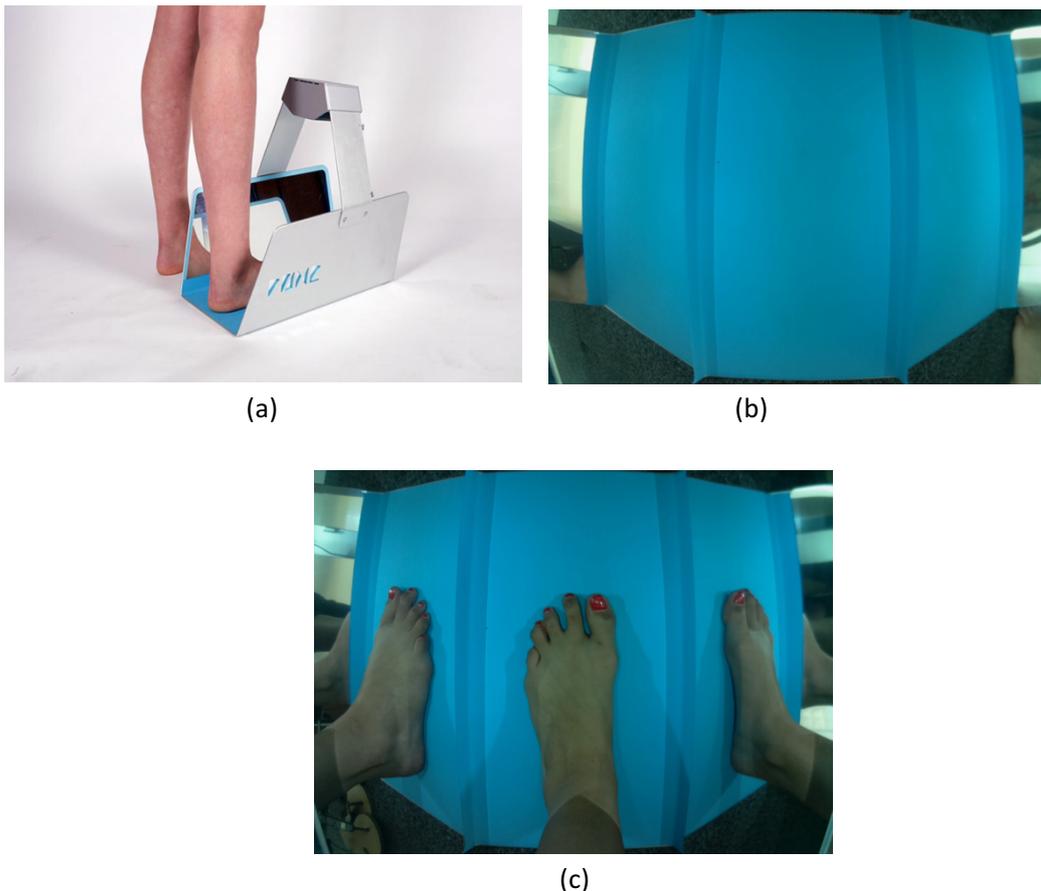
- Seleccionar los pies maniquí para medirlos posteriormente
- Definir un protocolo de medida para las mediciones del pie
- Realizar un estudio de fiabilidad para cada una de las técnicas desarrolladas
- Obtener los valores de ICC y de error asociados a las medidas obtenidas a las medidas e interpretarlos
- Seleccionar una técnica antropométrica validada en estudios anteriores
- Realizar un estudio de fiabilidad dicha técnica seleccionada
- Comparar los valores de ICC y SEM obtenidos entre las técnicas desarrolladas y la técnica validada
- Analizar la discrepancia de medidas obtenidas mediante los diferentes métodos
- Valorar si el DOMEscan y la app son válidas para la antropometría de pie en función de los resultados anteriores.

## 4.METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

Como se comentado en apartados anteriores, el objetivo del presente trabajo consiste en estudiar la Fiabilidad y la Validez del equipo de medida de pies DOMEscan y de la aplicación móvil AVATAR 3D, que actualmente se encuentran en proceso de desarrollo en el Instituto de Biomecánica de Valencia. Para ello, en el estudio de fiabilidad se ha requerido la disponibilidad de diferentes equipos DOME, un teléfono móvil con la aplicación AVATAR 3D instalada, los pies maniquí necesarios para ser medidos mediante dichas tecnologías y el personal requerido para realizar las mediciones. Así como también se ha hecho uso de materiales de medición 1D y operadores expertos para la toma de medidas manuales de pie, ya que se ha utilizado la antropometría tradicional para la validación de las nuevas técnicas.

### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El DOMEscan, Figura 12, es un escáner de pies que mediante una cámara situada en la parte superior del equipo y a partir de los dos espejos laterales, permite obtener con la realización de 1 foto, información 2D de tres perspectivas del pie, es decir, información frontal y de los laterales donde se sitúan los espejos.



**Figura 12.** Equipo de medida DOMEscan: (a) Equipo DOME(BALLESTER et al., 2015); (b) Vista superior del interior de equipo DOME vacío; (c) Vista superior del interior del equipo DOME con un pie en su interior, donde se puede observar las vistas laterales del pie a partir de los espejos situados.

Por otro lado, el AVATAR 3D, una aplicación móvil fácil de usar que actualmente se encuentra disponible para dispositivos Android, tiene el mismo sistema de funcionamiento que el DOMEscan ya que mediante información 2D se puede conseguir un pie 3D. Pero en este caso, es el usuario quien tiene que realizar 3 fotografías desde las tres perspectivas diferentes, Figura 13, mientras que en el sistema basado en espejos es suficiente con la realización de 1 fotografía realizada desde la parte superior.

Para el uso de esta aplicación, en primer lugar, se coloca el pie sobre un folio en blanco y seguidamente se realiza una foto del pie desde el lateral izquierdo, posteriormente se fotografía la parte frontal o superior y, por último, se fotografía el lateral derecho. Con la realización de estas 3 fotos la aplicación es capaz de proporcionar diversas medidas antropométricas del pie, así como también su reconstrucción en 3D.



(a)





Description	Left	Right
Foot Length (mm)	278.2	276.9
Toes Girth (mm)	204.6	197.3
Ball Girth (mm)	240.5	234.5
Ball Width (mm)	101.1	96.4
Instep Height (mm)	69.2	66.7

(b)

**Figura 13.** Aplicación Móvil AVATAR 3D: (a) aplicación disponible para dispositivos Android,(Parrilla et al., 2015); (b) Proceso secuencial para realizar las fotografías del pie junto con un ejemplo de pie que proporciona la aplicación y algunas de sus medidas.(BALLESTER et al., 2015)

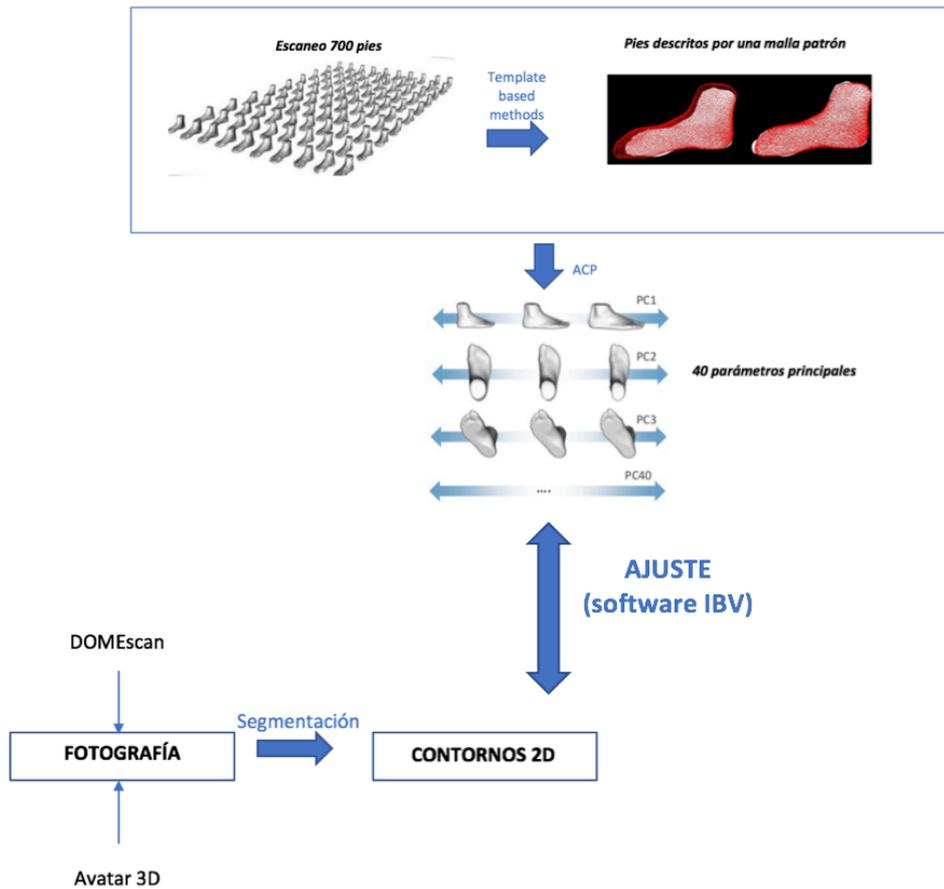
Ambas tecnologías presentan el mismo sistema de funcionamiento para la obtención del pie 3D, es decir funcionan con el mismo software y, aunque el proceso de realización de las fotos sea diferente, el resultado es el mismo y es que, a partir de fotografías 2D se reconstruye un pie 3D con las dimensiones correspondientes. Esto es posible al software propio del Instituto de Biomecánica de Valencia que permite el ajuste entre los datos 2D y los de una base de puntos 3D que proviene de un escaneado 3D láser de multitud de pies. Para conocer mejor la tecnología, se explica a continuación con los pasos detallados:

Por un lado, se creó una base de puntos 3D y para ello, se escaneó previamente 700 pies mediante un escáner 3D láser. Posteriormente estos puntos X,Y,Z fueron registrados mediante un algoritmo basado en el algoritmo que Brett Allen desarrolló en el 2003 (Allen, Curless, & Popović, 2003). dando lugar a una malla patrón que describe a todos los pies escaneados previamente. Por lo que se crea una base de datos homóloga. Seguidamente se realizó una parametrización de dicha base mediante un análisis de componentes principales (ACP) donde se conservaron 40 componentes.

Por otro lado, la aplicación móvil y el sistema basado en espejos, proporcionan fotografías del pie de diferentes perspectivas que son sometidas a una segmentación dando lugar a contornos o siluetas 2D y es aquí donde el software desarrollado por el IBV realiza un ajuste entre los datos parametrizados anteriormente minimizando las distancias y los contornos resultantes de la fotogrametría y da lugar a un pie 3D con sus correspondientes dimensiones y medidas. Hay que remarcar que para el ajuste es fundamental el folio en blanco, en el AVATAR 3D y, en caso del

DOME, realizar una fotografía con el equipo vacío, ya que es la forma en la que se calibran las vistas. (BALLESTER et al., 2015)

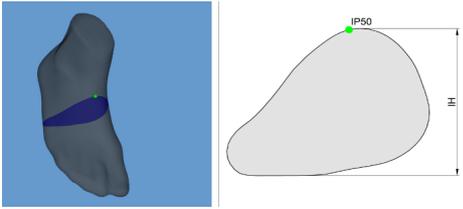
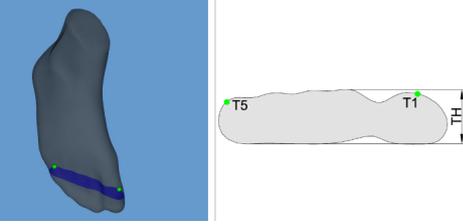
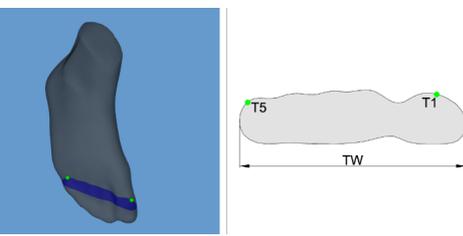
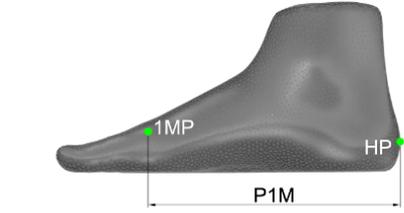
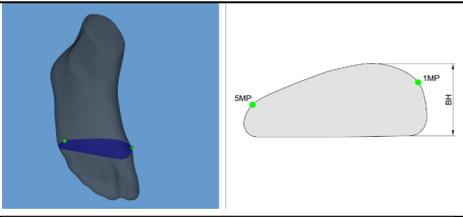
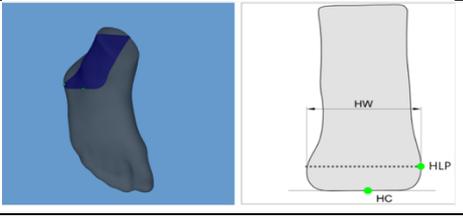
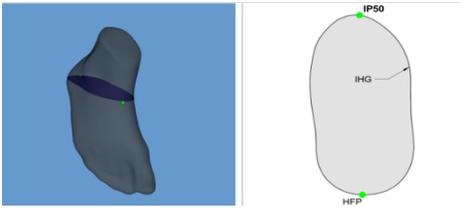
Para entender el proceso de una forma más visual, se muestra la siguiente figura:



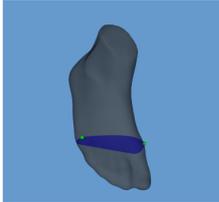
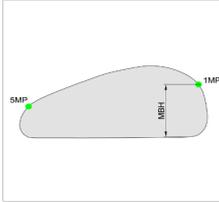
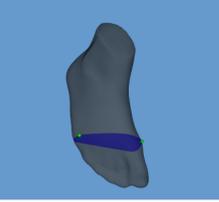
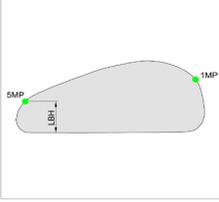
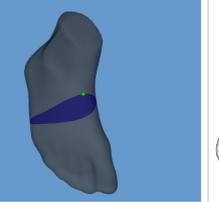
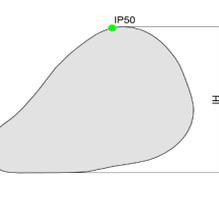
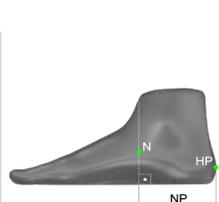
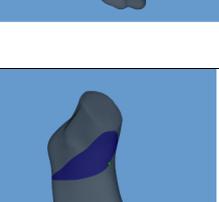
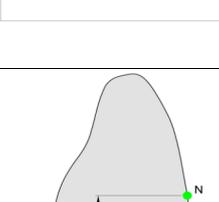
**Figura 14.** Esquema del proceso de consecución del pie 3D a partir de fotografías

Estos sistemas cuentan con las ventajas de la posibilidad de obtención de un modelo 3D en un tiempo menor a 1 minuto y de proporcionar las 22 medidas del pie, mostradas en la Tabla 1, con alta precisión en tan solo unos segundos. Presenta una precisión adecuada y suficiente para procesos de asignación de tallas. Son tecnologías fáciles de usar y de instalar. El DOME es transportable, ya que su peso no supera los 4,6 kg y requiere una fuente de alimentación para su funcionamiento y los resultados pueden ser observados mediante la conexión inalámbrica del equipo de medida a un ordenador, donde previamente se ha instalado el software correspondiente. En cambio, el AVATAR 3D, es una aplicación móvil, por lo que para su utilización solo requiere su instalación en el dispositivo y conexión a internet.

Nombre medida	Código	Descripción	Imagen
<b>PRIMARIAS</b>			
1. Longitud del pie	FL	Distancia entre el punto posterior y el más anterior del pie proyectado en el eje del pie	
2. Circunferencia de los dedos del pie	TG	Perímetro de la parte convexa de la sección de los dedos	
3. Circunferencia de los metatarsos	BG	Perímetro de la sección de los metatarsos.	
4. Ancho de los metatarsos	BW	Distancia máxima entre los puntos extremo de la sección de los metatarsos del pie proyectados sobre el plano de la tierra	
5. Circunferencia del empeine	IG	Perímetro entre la sección del empeine localizado al 50% de la longitud del pie	

6. Altura del empeine	IH	Altura máxima de la sección del empeine localizado al 50% de la altura del empeine	
<b>SECUNDARIAS</b>			
7. Altura de los dedos del pie	TH	Altura máxima de la sección de los dedos del pie	
8. Ancho de los dedos del pie	TW	Máxima distancia entre los puntos extremos de la sección de los dedos del pie proyectados en el plano de tierra	
9. Posición de la primera cabeza del metatarsiano	P1M	Distancia entre el punto más posterior del pie y la cabeza del primer metatarso proyectada en el eje del pie.	
10. Altura de los metas	BH	Altura máxima de la sección de los metas del pie	
11. Ancho del talón	HW	Ancho de talón al 16% de la longitud del pie	
12. Distancia entre el empeine y el talón	IHG	Perímetro de la sección entre el talón y el empeine, situado al 50% de la longitud del pie	

TERCIARIAS			
13. Posición de los dedos de los pies	TP	Distancia desde el punto más posterior del pie hasta la intersección entre la sección de los dedos del pie y el eje del pie.	
14. Ángulo de los dedos de los pies	TA	El ángulo formado por la proyección en el plano de tierra de la línea entre T1-T5 y el eje del pie	
15. Posición de la cabeza de quinto metatarsiano	P5M	Distancia entre el punto más posterior del pie hasta la cabeza de 5º dedo proyectada sobre eje del pie.	
16. Posición de los metas del pie	BP	Distancia entre el punto más posterior del pie y el punto de intersección entre la sección de los metas y eje del pie.	
17. Ángulo de los metas del pie	BA	Ángulo formado por la proyección en el plano de la tierra de la línea entre la 1ª y 5ª cabezas de los metatarsianos y que a su vez es perpendicular al eje del pie.	

18. Altura media de los metas del pie	MBH	Altura de la cabeza del primer metatarso		
19. Altura lateral de los metas del pie	LBH	Altura de la cabeza del quinto metatarso		
20. Ancho del empeine	IW	Ancho máximo de la sección del empeine localizado al 50%		
21. Posición Navicular	NP	Distancia desde el punto más posterior del pie hasta el punto navicular proyectado en el eje del pie		
22. Altura Navicular	NH	Altura del punto navicular		

**Tabla 1.** Definiciones de las medidas obtenidas.

Como se ha podido ver, en la tabla 1 se han clasificado las medidas en 3 clases según su importancia. Las medidas primarias son aquellas de uso general y a medida que el nivel de clasificación va avanzando (secundarias y terciarias), son medidas más específicas. La unidad de medida de todas variables es el milímetro (*mm*) excepto aquellas dimensiones que impliquen ángulos, cuya unidad de medida son los grados ( $^{\circ}$ ). Este es el caso de las dimensiones: ángulo de metas (BA) y ángulo de los dedos del pie (TA).

Sobre estas medidas se han realizado los estudios de Fiabilidad y Validez, donde para el estudio de Fiabilidad se debe tener en cuenta determinadas fuentes de variabilidad, mientras que para el estudio de validez se tiene en cuenta otra técnica de medida, que ya ha sido validada anteriormente y se comparan las medidas obtenidas con ambos métodos.

## 4.2. ESTUDIO DE FIABILIDAD

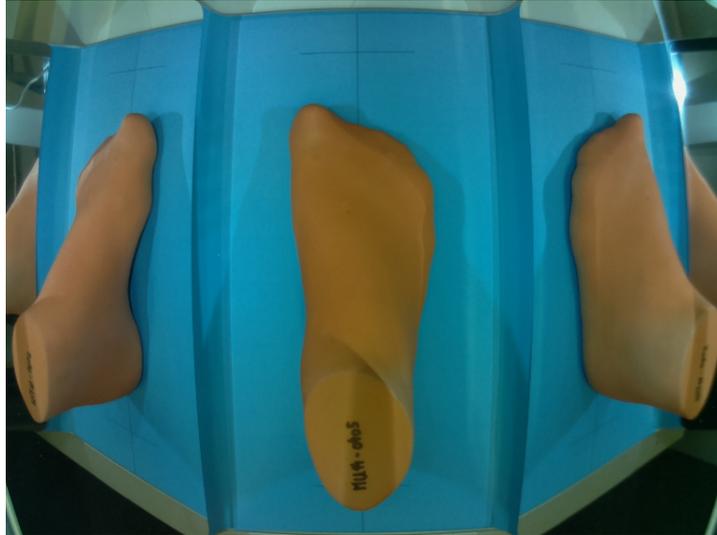
Se ha realizado un estudio de fiabilidad de los nuevos sistemas: AVATAR 3D y el equipo DOMEscan, con el objetivo de verificar si los resultados de las mediciones son fiables. Para ello se han tenido en cuenta 3 fuentes de variabilidad:

- **Variación del sujeto a medir:** contamos con 4 modelos de pies maniquí diferentes, Figura 15, por lo que difieren en tamaño. Al haber utilizado dichos pies maniquí, se evitan las variaciones debidas al movimiento de un sujeto real durante el proceso de medición y las alteraciones del tamaño del pie, ya que en estudios anteriores se ha comprobado que el tamaño del pie varía en función de la hora que haya sido medido a causa de la variación del edema. Por lo que se el efecto de la variabilidad asociado al sujeto se elimina del estudio de fiabilidad con el objetivo de aislar el efecto asociado al equipo.



**Figura 15.** Los 4 pies maniquí estudiados.

- **Variaciones asociadas al protocolo de medida:** relacionadas con el efecto que tienen las variaciones de la posición del pie en las medidas obtenidas. Para ello, se estudiaron 5 posiciones diferentes para ver su influencia en el error de las medidas obtenidas. Para diferenciar las posiciones, se utilizó una cartulina con diversas delimitaciones como referencia como referencia para orientar los pies.



**Figura 16.** Base de cartulina con marcas de referencia para la orientación de los pies.

Las posiciones estudiadas son:

- Neutra (*Neutral*): el pie se sitúa en la línea dibujada en la parte medial y se posiciona centralmente.
- Anterior (*Frontal*): el pie se sitúa en la parte medial dibujada, pero se aproxima a la línea anterior.
- Posterior (*Back*): el pie se sitúa en la parte medial dibujada, pero se aproxima a la línea posterior.
- Lateral derecho (*Lateral*): el pie se sitúa orientado hacia la derecha respecto a la línea medial.
- Lateral izquierdo (*Medial*): el pie se sitúa orientado hacia la izquierda respecto a la línea medial.

Esta variación se tuvo en cuenta en el caso del sistema basado en espejos, ya que para la aplicación móvil las mediciones ya se realizaron directamente con una posición Neutra.

- **Variaciones asociadas al sistema de medida:** donde se utilizan 3 equipos DOME para comprobar que los equipos miden bien y, por lo tanto, el error asociado a este factor es reducido.

Esta variación está relacionada con la fabricación de los equipos, la colocación de los espejos y la calibración de la cámara de los equipos. Por lo que se repiten las mismas medidas en los tres equipos y así poder realizar comparaciones.

Para el Avatar 3D, se realizan todas las medidas con el mismo dispositivo móvil.

En primer lugar, se ha estudiado si la posición del pie maniquí dentro del escáner DOME utilizado influye en los resultados de las medidas resultantes y para ello, se realizó un ANOVA mediante el software SPSS, un programa estadístico capaz de trabajar con grandes bases de datos de una forma sencilla. En este estudio estadístico, se consideró el efecto de la posición como un factor fijo mientras que tanto el equipo utilizado, como el sujeto se consideraron como efectos aleatorios. En cambio, como se ha comentado anteriormente para el AVATAR 3D, no se estudió

este efecto, ya que se realizaron las medidas con la posición adecuada del estudio estadístico anterior.

Una vez determinada la posición adecuada para realizar las mediciones, se calculó el ICC y el error asociado a las nuevas tecnologías eliminando la variabilidad asociada al sujeto porque se utilizaron los pies maniquí.

El ICC es una medida relativa, explicada en apartados anteriores, que de forma general se calcula mediante la Ecuación 1. Se utiliza para cuantificar la fiabilidad del equipo y del AVATAR 3D y mide la variabilidad de las medidas respecto a la diferencia real entre sujetos, es decir, es una forma de verificar si las medidas obtenidas son consistentes:

$$ICC = \frac{\sigma_T^2}{\sigma_T^2 + \sigma_e^2}$$

**Ecuación 1.** Índice de Correlación Interclase: donde  $\sigma_T^2$  es la varianza de las fuentes de variabilidad controladas;  $\sigma_e^2$  es la varianza asociada a las fuentes de error que se quieren cuantificar.

El ICC puede resultar en valores situados entre el 0 y el 1. Si la fiabilidad es alta, es decir se aproxima a 1, significa que los errores de medición son pequeños en relación con la diferencia real entre los sujetos. Por el contrario, si la fiabilidad se aproxima a 0, se debe a que los errores de medición son elevados respecto a la diferencia real entre los sujetos. Concretamente, los valores de referencia son los siguientes:

Valor del ICC	Fiabilidad de la técnica
X < 0,40	Poco
0,40 < X < 0,59	Débil
0,60 < X < 0,74	Bueno
X > 0,75	Excelente

**Tabla 2.** Clasificación de la técnica de medida en función de los valores de fiabilidad que pueden resultar en el cálculo del ICC.

Se decidió utilizar el Índice de Correlación Intraclase para el estudio de fiabilidad porque es el modo más extendido en las investigaciones que han sido revisadas, que estudian la fiabilidad de diferentes técnicas de medida, además de ser un método de cálculo extendido y versátil.

Para el cálculo del ICC en el presente estudio, se ha utilizado el software Matlab (Benítez López & Hueso Pagoaga, 1999) un sistema sencillo e interactivo para trabajar con vectores y matrices, que permite trabajar tanto con números reales como complejos mediante una ventana en donde se introducen las órdenes y donde aparecen los resultados. La función utilizada en Matlab para el cálculo del ICC:

`function out = ICC(cse,typ,dat)`

**Ecuación 2.** Función utilizada en Matlab para el cálculo del ICC

- La variable *Dat*: corresponde a una matriz de datos ( $n \times m$ ), donde  $n$  son el número de pies medidos y  $m$  el número de medidas realizadas
- La variable *Typ*: puede equivaler a 'single' cuando cada celda es el resultado de una medida individual o, 'k' cuando cada celda es la media de  $k$  repeticiones.
- La variable *cse*: puede adoptar los valores 1,2 o 3: el 1 se utiliza cuando los operadores son aleatorios y no hay medidas repetidas; El 2 se utiliza cuando los operadores son aleatorios, pero cada sujeto es medido por los mismos operadores; Por último, el valor 3 se utiliza cuando los operadores son factores son fijos.

Un ejemplo del cálculo del ICC para la dimensión FL, se muestra en la Figura 17 pero es importante destacar que para el resto de las dimensiones estudiadas (las 22 dimensiones de la Tabla 1), se repite el mismo proceso de cálculo de dicho índice:

pies	Equipo	REP 1	REP 2
4	1	223,123	223,071
4	1	223,08	223,571
5	1	253,599	254,121
5	1	253,5	253,75
6	1	250,958	251,505
6	1	251,099	251,501
7	1	240,437	240,363
7	1	240,408	239,577
4	2	223,003	223,266
4	2	223,048	223,01
5	2	254,149	253,457
5	2	253,447	253,285
6	2	251,992	251,77
6	2	251,665	251,209
7	2	239,666	240,093
7	2	240,203	240,085
4	3	223,269	223,705
4	3	224,301	223,401
5	3	253,732	252,797
5	3	253,824	252,82
6	3	251,397	251,982
6	3	251,865	250,955
7	3	240,085	239,469
7	3	240,466	240,039

(a)

```
%% FL (FOOT LENGTH)
FL=FIABILIDADEQUIPO(1:24,3:4);
icc_FL = ICC(1,'single',FL);
```

(b)

**Figura 17.** Ejemplo de cálculo del ICC para la dimensión FL: (a) es la matriz donde se muestran las medidas y en la imagen (b) se muestra la función de ICC utilizada en este estudio.

Por lo que se puede observar en la figura anterior, en este estudio de fiabilidad, los operadores han sido aleatorios ( $cse = 1$ ) y cada celda es el resultado de una medida individual ( $typ = single$ ).

Con el fin de estudiar la repetibilidad de las mediciones, es decir, estudiar la variabilidad entre mediciones repetidas realizadas sobre el mismo pie maniquí, se calcula el error. Al contrario que ICC, el error es una medida absoluta y existen diversos modos de calcularlo, pero en ese caso su cálculo está basado en el criterio de Weir (2005):

$$SEM = SD\sqrt{(1 - ICC)}$$

**Ecuación 3.** Cálculo del error, donde SD es la varianza de las medidas e ICC es el coeficiente de fiabilidad obtenido. (Weir, 2005)

En el estudio, se ha calculado el SEM mediante Matlab por las ventajas de dicho software, comentadas anteriormente y, se utilizado la Ecuación 4 para la obtención de la medida del error:

$$SEM = \sqrt{MS_{error}}$$

**Ecuación 4.** Ecuación utilizada en el estudio para calcular el error.

Siguiendo el ejemplo anterior mostrado para el cálculo del ICC mediante Matlab, el estudio de fiabilidad de una de las variables estudiada (FL). Se muestra como se ha calculado el error asociado dicha medida:

En primer lugar, se calcula un ANOVA para calcular el MSerror:

MSerror\_FL=anova2(FL');

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	6912.89	23	300.561	2014.03	0
Rows	0.26	1	0.257	1.72	0.2022
Error	3.43	23	0.149		
Total	6916.58	47			

**Figura 18.** ANOVA obtenido a partir de MATLAB para el cálculo del MSerror y se ha indicado en color rojo el valor correspondiente. Una vez calculado, ya se puede calcular el SEM mediante la Ecuación 3.

El SEM es el “error típico” del conjunto de datos analizados que indica los límites sobre los cuales las mediciones son correctas, por lo que una vez se haya adquirido, ya se puede estimar el error con un intervalo de confianza del 95% con el fin de introducir cierta incertidumbre en las mediciones realizadas. Para ello, se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$error = 1,96 \times SEM$$

**Ecuación 5.** Cálculo de la incertidumbre

Realizado el estudio de fiabilidad, se procede al estudio de validación para verificar que tanto el AVATAR 3D como el DOMEscan son sistemas de medición válidos.

### 4. 3. ESTUDIO DE VALIDACIÓN

Entendiendo el término de validez como la base científica que hace referencia a la correspondencia entre lo que mide realmente un sistema de medida y lo que se supone que está midiendo. Se han comparado los dos sistemas, DOMEscan y AVATAR 3D, con el método tradicional o manual estándar. La razón por la que se han elegido las medidas manuales para la validación es que este método es el más extendido y al que corresponden la mayoría de datos publicados sobre antropometría de pie.

Se ha empleado el método tradicional para realizar el estudio de validación porque es una técnica sencilla y económica y como se ha demostrado en investigaciones anteriores, la precisión de dichas técnicas suele ser adecuada y suficiente para procesos de asignación de talla de calzado. Por ejemplo, se han realizado comparaciones entre métodos tradicionales con escáneres de alta precisión, como en el caso de escáner INFOOT, donde la diferencia de error entre ambos métodos es de 1,3 mm. Por lo que no es una diferencia significativa y no sería necesario recurrir a escáneres de alta precisión como referencia a la hora de realizar la validación del DOME porque son sistemas costosos es significativa.

Concretamente, en el presente Trabajo de Fin de Master, para las medidas manuales se ha utilizado los siguientes instrumentos de medida:

- Calibre digital: para medir el ancho y la altura del pie



**Figura 19.** Calibre digital utilizado en las medidas manuales

- Regla con montaje propio: para medir la longitud del pie



**Figura 20.** Regla con montaje propio utilizada en las medidas manuales

- Cinta métrica: para medir los contornos del pie.



**Figura 21.** Cinta métrica utilizada en las medidas manuales.

Los sistemas utilizados para la validación son considerados como métodos *Gold Standard* o *métodos de referencia*, por lo que el ICC es próximo a 1 en la mayoría de las dimensiones medidas del pie y el error obtenido es reducido. Para justificar esta afirmación se presenta a continuación los valores de fiabilidad de un estudio clínico donde se utilizó el calibre digital (método manual) para medir una serie de variables y éstas, fueron medidas por un operador con 30 años de experiencia en el campo:

	<b>Rater I (30 years experience)</b>		
	<b>ICC</b>	<b>Mean (cm)</b>	<b>SEM (cm)</b>
<b>Foot Length</b>	0.99	25.97	0.06
<b>Midfoot Width WB</b>	0.99	8.83	0.05
<b>Dorsal Arch Hgt WB</b>	0.98	6.54	0.03
<b>Midfoot Width NWB #1</b>	0.98	7.72	0.05
<b>Midfoot Width NWB #2</b>	0.97	7.71	0.06
<b>Dorsal Arch Hgt NWB #1</b>	0.98	7.96	0.05
<b>Dorsal Arch Hgt NWB #2</b>	0.99	7.92	0.05

**Figura 22.** Valores de fiabilidad obtenidos para las medidas resultado de las mediciones con el calibre en un estudio cuyo objetivo es el estudiar la movilidad del pie. (McPoil et al., 2009)

Citando el estudio anterior se pretende justificar el por qué se ha elegido el método manual, como referencia para la validación del DOMEscan y el AVATAR 3D. Mediante estos instrumentos se han medido la longitud del pie, la circunferencia y la altura del empeine, el perímetro y el ancho de bola y por último, la circunferencia de los dedos del pie. Estas medidas están definidas en la Tabla 1. Es importante destacar que las mediciones realizadas mediante el método manual para el estudio de validación, se han llevado a cabo por operadores expertos en el campo.

Como protocolo de medida se utiliza el mismo que en el caso de las mediciones en DOME, valorando simplemente la posición neutral para eliminar así los errores asociados a las diferencias a la hora de tomar las medidas y en ambos casos se localizan los mismos puntos anatómicos de referencia. Para las medidas manuales estos puntos se localizaron explorando y palpando el pie mientras que en el DOME y en el AVATAR 3D estos puntos fueron localizados por el propio software. Así pues, se ha realizado la validación considerando las siguientes dimensiones: FL, TG, BG, BW, IG y por último, IH.

Una vez definido el protocolo de medida, ya se procede al estudio de validez donde, por un lado, se ha calculado el error generado en las medidas manuales y posteriormente se ha querido saber si ambos métodos miden igual, es decir, si el escáner DOME y el AVATAR 3D proporcionan medidas diferentes al método manual.

En primer lugar, se realiza un estudio de fiabilidad del método manual para poder así, determinar el error típico y conocer la variabilidad de las medidas. Por lo que se ha calculado el ICC de la técnica y posteriormente se ha calculado el SEM haciendo uso de las formulas del apartado 3.2 “*Estudio de Fiabilidad*”. En este caso los operadores son factores aleatorios y cada celda es una medida individual:

PIE	FL (mm)		
	REP1	REP 2	REP 3
4	224	225	225
4	224	225	225
4	224	225	224
4	224	225	225
4	225	225	225
4	225	225	225
5	257	258	257
5	257	258	257
5	257	258	257
5	257	258	257
5	257	258	257
5	258	258	258
6	250	250	250
6	250	250	250
6	250	250	250
6	250	251	250
6	250	250	250
6	251	251	250
7	240	240	240
7	240	240	240
7	240	240	240
7	240	239	240
7	240	240	240
7	240	240	239

(a)

```
icc_FL = ICC(1,'single',FL);
MSError_FL=anova2(FL');
SEM_FL=sqrt(0.144);
```

(b)

**Figura 23.** Ejemplo del estudio de fiabilidad del calibre digital. En este caso se ha estudiado el error generado a la hora de medir el FL; dónde (a) matriz de datos y (b) es la codificación utilizada en Matlab para calcular el ICC y el SEM

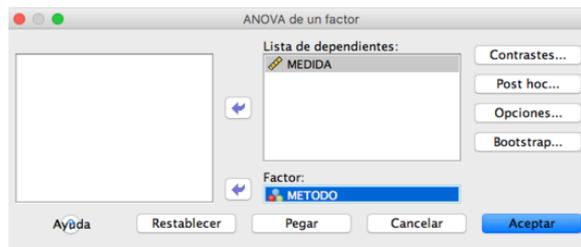
Cuando se obtiene el error asociado a todas las medidas repitiendo el proceso de la Figura 23 para cada una de las 22 dimensiones, ya se puede concluir si las nuevas técnicas presentan un error mayor, menor o igual que el método manual. En el caso de que sea similar o menor, significa que el escáner es una alternativa válida para la toma de medidas del pie mientras que, si es significativamente mayor, tiene que estudiarse las causas de este resultado: revisar los procesos de fabricación o mejora del software.

Para determinar si el método utilizado es significativo para los valores resultantes, se realiza un ANOVA simple mediante el software SPSS, donde los valores de las medidas se consideran como la variable dependiente y la técnica DOME, como método número 1, el método manual como método número 2 y la APP como método número 3. Una vez determinado si las diferencias son significativas, por último, se comparan las medidas del método 1 con el método 2 y las medidas del método 3 con las del método 2. De esta forma se puede calcular el error entre éstas, Figura 24. Si el error es elevado, significa que las medidas entre estos métodos son muy diferentes y por lo tanto no miden igual.

Para el cálculo de este error se ha diferido de los errores calculados previamente, ya que se están comparando dos métodos distintos y, por lo tanto, los operadores son factores fijos. Esto se refleja concretamente en un cambio en la función del ICC utilizada, Ecuación 2, en la cual la variable “cse” equivale a 3 como se muestra a continuación:

Método1	Método 2
223,123	224
223,08	224
223,003	224
223,048	224
223,269	225
224,301	225
253,599	257
253,5	257
254,149	257
253,447	257
253,732	257
253,824	258
250,958	250
251,099	250
251,992	250
251,665	250
251,397	250
251,865	251
240,437	240
240,408	240
239,666	240
240,203	240
240,085	240
240,466	240

(b)



(a)

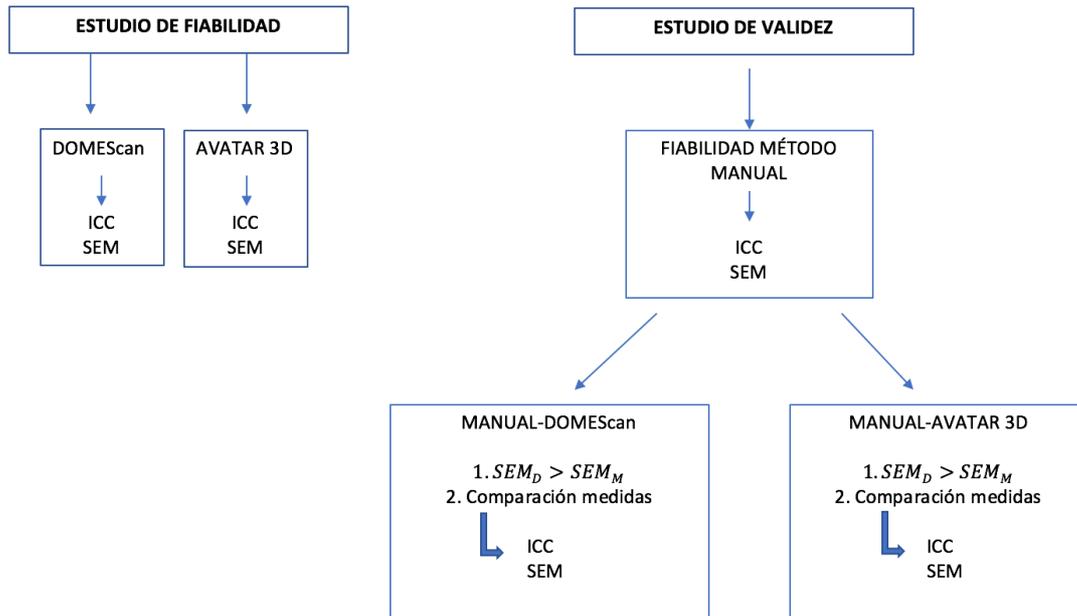
```
icc_FL = ICC(3, 'single', FL);
MSerror_FL=anova2(FL');
SEM_FL=sqrt(1.716);
```

(c)

**Figura 24.** Cálculo del error a partir de Matlab;(a) análisis realizado con el SPSS; (b) Es la matriz estudiada donde en la primera columna se encuentran las medidas de la variable FL y en la segunda, están los valores obtenidos para dicha variable mediante el calibre digita.; (c) Código utilizado en Matlab para calcular el ICC y por lo consiguiente el error, SEM.

Una vez se hayan comparado los métodos, se finaliza el estudio de validez y se podrá determinar si el DOME y la APP son buenos sistemas para medir el pie o no.

Por último, para sintetizar la información del estudio estadístico realizado en el presente estudio, se elabora el siguiente esquema:



**Figura 25.** Esquema del estudio realizado en el TFM. Por un lado, se realiza el estudio de fiabilidad de las nuevas técnicas desarrolladas y por otro, el estudio de validez de éstas comparándolas con el método manual considerado como el Gold Standard. Para ello, primero se realiza un estudio de fiabilidad del método manual y se calcula el error del método manual para poder relacionar este valor obtenido con el error obtenido con las técnicas novedosas. Por último, se estudia las diferencias entre las medidas de la APP y el DOMEscan con el error manual.

#### 4.4. SUJETOS Y MODELOS

Como se ha comentado anteriormente, se han utilizado pies patrón para el estudio. Éstos fueron fabricados en el laboratorio de Instituto de Biomecánica de Valencia mediante la técnica de sinterizado selectivo por láser (SLS), una técnica novedosa para fabricar piezas 3D a partir de granos de polvo de material conveniente compactar. El SLS se caracteriza por dar lugar una estructura 3D compactando y endureciendo dichos granos mediante el láser. Concretamente para la construcción de estos pies, se ha utilizado el equipo FORMIGA P100, específico para la fabricación de piezas poliméricas e ideal para geometrías personalizadas y complejas. No son necesarias herramientas complejas ya que es suficiente con los datos digitales proporcionados. Concretamente, los pies utilizados en las mediciones están formados de poliamida. Al finalizar su fabricación, los pies presentan un color blanco, pero éste se elimina pintando la superficie de color naranja, Figura 26, con el fin de simular el color de la piel humana y eliminar el ruido que podría generar en los resultados de las medidas con el escáner.



(a)

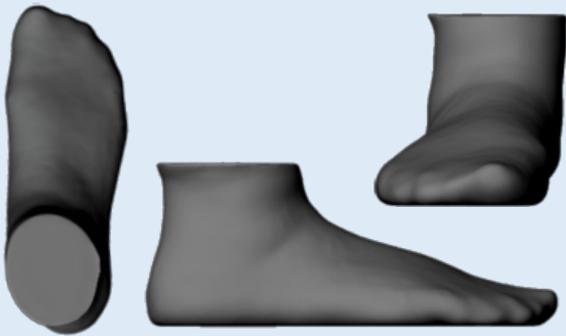


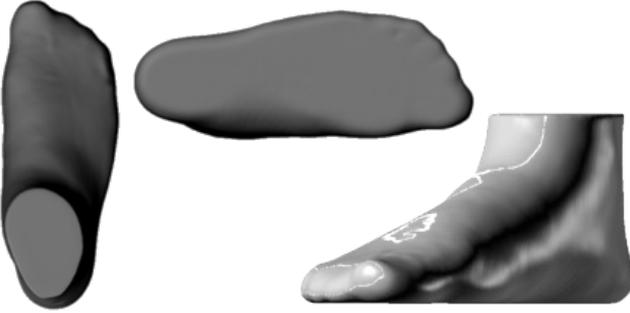
(b)

**Figura 26.** Pies patrón: (a) pies de diferentes dimensiones después del proceso de fabricación; (b) Los pies de la imagen “a” después de ser pintados

La razón principal por la cual se han utilizado los pies maniquí o patrón es que el principal objetivo del Trabajo de Fin de Master es estudiar si el escáner DOME y la APP son métodos válidos o no, para medir el pie, es decir, se centra en el estudio del funcionamiento del equipo y de la APP para ver si éste proporciona las medidas correctamente. Si se hubiera realizado el estudio contando con pies humanos reales, las medidas dependerían de las variaciones intrasujeto, como son las variaciones debidas al efecto del edema o el volumen del pie (el volumen del pie varía a lo largo del día y de la actividad física realizada (McWhorter et al., 2006), así como también varía su tamaño dependiendo la carga depositada sobre el pie (Houston et al., 2006). Por lo que utilizando los pies maniquí se elimina la variabilidad asociada al sujeto y se aísla únicamente el efecto al equipo y de la APP.

Se han utilizado cuatro pies diferenciados por su morfología y tamaño con la finalidad de obtener medidas diferentes en función del pie medido. Además de diferenciarse en su forma, cada uno de ellos presenta una codificación específica:

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Código: MU14-0404</b></li> <li>• <b>Descripción: pie ancho</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Código: MU14-0405</b></li> <li>• <b>Descripción: pie alto, arqueado y delgado.</b></li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Código: MU14-0406</b></li> <li>• <b>Descripción: pie con empeine bajo.</b></li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"><li>• Código: MU14-0407</li><li>• Descripción: pie plano</li></ul>	
--	--

**Tabla 3.** Pies utilizados en el estudio.

Estos 4 pies han sido medidos mediante el DOMEscan, el AVATAR 3D y por último con el método manual, para poder realizar las comparaciones de las medidas obtenidas para cada uno de los cuatro pies.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. ESTUDIO DE FIABILIDAD

Para estudiar la variación relacionada con el protocolo de medida, se estudió el efecto de la posición del pie en las medidas obtenidas con el DOMEscan. Las posiciones estudiadas fueron:

- Posición Neutra (**Neutral**)
- Posición Anterior (**Frontal**)
- Posición Posterior (**Back**)
- Lateral derecho (**Lateral**)
- Lateral izquierdo (**Medial**)

Todas ellas están definidas en el apartado 3.2 “*Estudio de Fiabilidad*” y para el estudio de su significancia en las medidas resultantes, se realizó un análisis estadístico mediante el cálculo de un ANOVA donde el efecto de la posición se consideró como factor fijo y el efecto del equipo (3 equipos DOMEscan) y efecto sujeto (4 pies maniquí) como factores aleatorios. De este análisis se obtuvieron los siguientes valores:

<b>DIMENSIÓN</b>	<b>SIGNIFICANCIA POSICIÓN (<i>p</i> - valor)</b>
<i>FL</i>	0,000
<i>TP</i>	0,000
<i>TA</i>	0,000
<i>TG</i>	0,000
<i>TH</i>	0,000
<i>TW</i>	0,000
<i>P1M</i>	0,029
<i>P5M</i>	0,001
<i>BP</i>	0,130
<i>BA</i>	0,015
<i>BG</i>	0,000
<i>BH</i>	0,000
<i>BMH</i>	0,411
<i>LBH</i>	0,040
<i>BW</i>	0,001
<i>IG</i>	0,000
<i>IH</i>	0,000
<i>IW</i>	0,000
<i>NP</i>	0,449
<i>NH</i>	0,000
<i>HW</i>	0,000
<i>IGH</i>	0,000

**Tabla 4.** Resultados del análisis estadístico del efecto de la posición en las medidas, siendo un efecto significativo cuando  $p$  - valor  $< 0,05$ .

Observando la Tabla 4, se puede afirmar que en la mayoría de los casos (a excepción de las medidas: posición navicular(NP), la altura media del meta (BMH) y la posición de los metas (BP)), los valores de significancia son menores a 0,05 y, por lo tanto, la posición utilizada para realizar las medidas influye en su valor.

Puesto que el efecto de la posición fue significativo, se estudió qué posición o posiciones de las 5 estudiadas, eran las más adecuadas. Para ello, se calcularon tablas de contingencia considerando las 5 posiciones para cada dimensión, de forma que cuando la posición que resultara significativa respecto al resto de posiciones, no era adecuada para la toma de medidas.

DIMENSIÓN	TABLA DE CONTINGENCIA
	POSICIÓN SIGNIFICATIVA
<i>FL</i>	L
<i>TP</i>	L
<i>TA</i>	L
<i>TG</i>	L
<i>TH</i>	L
<i>TW</i>	L
<i>PIM</i>	M, L, F
<i>P5M</i>	L, M, B
<i>BP</i>	L
<i>BA</i>	B
<i>BG</i>	L, M
<i>BH</i>	L
<i>BW</i>	M
<i>IG</i>	M
<i>IH</i>	M
<i>IW</i>	F, M
<i>NH</i>	L, M
<i>HW</i>	B, L
<i>IGH</i>	L

**Tabla 5.** Resultado de las comparaciones múltiples entre posiciones.

En general, en la mayoría de las dimensiones, las posiciones más significativas fueron: cuando el pie se posicionaba orientado hacia lateral derecho (L) y hacia el lateral izquierdo (M). Además, se observó que las posiciones, posterior (P) y anterior (F) también influían en algunas medidas. Por lo que se concluyó que la posición idónea o la más adecuada para las mediciones era la Neutra.

En el caso del AVATAR 3D, se decidió no realizar este estudio debido que presenta mismo sistema de funcionamiento que el DOMEscan y se consideró la posición Neutra como la mejor alternativa. Por lo que el resto de los estudios se realizaron en base a esta posición de medida.

Para el estudio de fiabilidad de las nuevas tecnologías, se calculó el Coeficiente de Correlación Intraclase (ICC) y el error de acuerdo al apartado 3.2 de “*Materiales y Métodos*”

En el caso del DOMEscan se consideraron las mediciones realizadas en los 4 pies maniquí a partir de los 3 equipos utilizados obteniéndose los siguientes resultados:

	<i>ICC</i>	<i>MS error</i>	<i>SEM (mm)</i>	<i>ERROR 95% (mm)</i>
<i>FL</i>	0,99	0,14	0,38	0,75
<i>TP</i>	0,99	0,29	0,54	1,06
<i>TA</i>	0,97	0,17	0,41	0,82
<i>TG</i>	0,99	1,18	1,09	2,13
<i>TH</i>	0,83	0,69	0,83	1,63
<i>TW</i>	0,99	0,17	0,41	0,81
<i>P1M</i>	0,98	0,96	0,98	1,92
<i>P5M</i>	0,97	1,56	1,25	2,45
<i>BP</i>	0,98	0,91	0,95	1,87
<i>BA</i>	0,05	0,69	0,83	1,63
<i>BG</i>	0,98	1,85	1,36	2,66
<i>BH</i>	0,93	0,60	0,77	1,52
<i>MBH</i>	0,91	0,73	0,85	1,67
<i>LBH</i>	0,94	0,12	0,35	0,69
<i>BW</i>	0,98	0,20	0,45	0,89
<i>IG</i>	0,97	1,80	1,34	2,63
<i>IH</i>	0,99	0,34	0,58	1,14
<i>IW</i>	0,82	0,10	0,32	0,63
<i>NP</i>	0,95	1,25	1,11	2,19
<i>NH</i>	0,98	0,43	0,65	1,29
<i>HW</i>	0,96	0,42	0,64	1,27
<i>IGH</i>	0,99	1,38	1,17	2,30

**Tabla 6.** Resumen de los resultados del estudio de fiabilidad del DOMEscan.

El sistema basado en espejos, proporcionó por lo general valores de ICC elevados y errores pequeños, exceptuando el caso del ángulo de los metas (BA), que presentó un valor de ICC aproximado al 0, pero la variabilidad entre las medidas (error 95%) fue pequeño (1,63°). Esto se debe a que la variabilidad entre sujetos es pequeña, es decir, se han medido pies distintos, pero esta medida (BA) era similar entre ellos.

En el caso de la aplicación móvil AVATAR 3D, se realizó el mismo estudio de fiabilidad para las mismas 22 dimensiones que en el DOMEscan resultando que:

	ICC	MS error	SEM (mm)	ERROR 95% (mm)
<b>FL</b>	0,99	0,89	0,95	1,85
<b>TP</b>	0,99	0,54	0,74	1,45
<b>TA</b>	0,86	0,87	0,93	1,83
<b>TG</b>	0,97	7,65	2,77	5,42
<b>TH</b>	0,94	0,47	0,68	1,34
<b>TW</b>	0,97	1,57	0,93	1,82
<b>P1M</b>	0,99	0,79	0,89	1,74
<b>P5M</b>	0,99	0,87	0,93	1,82
<b>BP</b>	0,99	0,67	0,82	1,61
<b>BA</b>	0,77	0,16	0,40	0,78
<b>BG</b>	0,98	2,05	1,43	2,80
<b>BH</b>	0,92	0,65	0,80	1,58
<b>MBH</b>	0,84	1,00	1,00	1,96
<b>LBH</b>	0,78	0,24	0,49	0,95
<b>BW</b>	0,97	0,37	0,60	1,19
<b>IG</b>	0,96	2,16	1,47	2,88
<b>IH</b>	0,93	1,98	1,41	2,76
<b>IW</b>	0,06	0,82	0,91	1,78
<b>NP</b>	0,91	4,71	2,17	4,25
<b>NH</b>	0,75	5,24	2,29	4,49
<b>HW</b>	0,89	2,04	1,43	2,80
<b>IGH</b>	0,98	4,37	2,08	4,08

**Tabla 7.** Resumen de los resultados del estudio de fiabilidad de la APP.

Aquí, los valores de fiabilidad también fueron elevados por lo general, exceptuando el caso de la dimensión de ancho del empeine (IW) con un valor de ICC=0,06. Aunque el error obtenido en esta medida fue de 1,78 mm.

Estudiada la fiabilidad de ambas técnicas, se realizó en el estudio de Validez.

## 5.2. ESTUDIO DE VALIDEZ

Para el estudio de validez, se utilizó las medidas manuales como método de referencia o *Gold Standard*, y se realizaron dos estudios por separado:

- Validez de DOMEscan frente al método manual
- Validez del AVATAR 3D frente al método manual.

En este estudio se utilizaron las medidas de uso general, las primarias en la Tabla 1.

Antes de iniciar las comparaciones de los métodos, se realizó un estudio de fiabilidad del método manual, para posteriormente comparar los errores entre este método y el obtenido con las nuevas técnicas:

Método manual	ICC	MS error	SEM (mm)	ERROR 95% (mm)
<b>FL</b>	1,00	0,14	0,38	0,74
<b>IG</b>	0,95	3,83	1,96	3,84
<b>BG</b>	0,94	4,82	2,19	4,30
<b>TG</b>	0,89	35,51	5,96	11,68
<b>BW</b>	0,81	3,23	1,80	3,52
<b>IH</b>	0,95	2,23	1,49	2,93

**Tabla 8.** Resultado del estudio de fiabilidad del método manual.

Los valores de ICC son elevados en todos los casos sin excepción. Pero el error resultante en las dimensiones de la circunferencia de los dedos (TG), la circunferencia de los metas (BG), ancho de los metas (BW) y la circunferencia del empeine (IG) fue elevado en los cuatro casos. Este dato es relevante, ya que posibles discrepancias entre los métodos en esas dimensiones pueden deberse al elevado error del método manual.

Posteriormente, se realizó la validez del DOMEscan. Para ello, en primer lugar, se compararon los errores:

	<b>ERROR<sub>M</sub> (mm)</b>	<b>ERROR<sub>D</sub>(mm)</b>
<b>FL</b>	0,74	0,75
<b>IG</b>	3,84	2,63
<b>BG</b>	4,30	2,66
<b>TG</b>	11,68	2,13
<b>BW</b>	3,52	0,89
<b>IH</b>	2,93	1,14

**Tabla 9.** Comparación de los errores que proporcionaban cada método. En la columna derecha se muestra el error obtenido con el escáner y en la izquierda, el error obtenido en el método manual.

El error para las dimensiones estudiadas mediante el método manual fue mayor en los casos de las dimensiones de contornos del pie y del ancho de los metas

Posteriormente se compararon las medidas de ambos métodos para ver si las éstas eran muy diferentes entre un método y otro:

	ICC	MS error	SEM (mm)	ERROR 95% (mm)
<b>FL</b>	0,99	2,72	1,31	2,57
<b>IG</b>	0,98	1,74	1,32	2,59
<b>BG</b>	0,95	3,94	1,99	3,90
<b>TG</b>	0,90	23,55	4,85	9,51
<b>BW</b>	0,93	0,79	0,89	1,75
<b>IH</b>	0,96	1,86	1,37	2,68

**Tabla 10.** Resumen con los valores de ICC y error entre ambos métodos.

Los valores de ICC fueron elevados en todos los casos. Destacan algunos valores de error elevados, principalmente el error de la dimensión *TG*, pero esto no significa que un método es peor que el otro, sino que miden diferente. En cambio, esto sí que se puede determinar realizando un análisis estadístico donde se estudia si el método utilizado influye en las medidas resultantes, de forma que si el error de la comparación, tabla 11, entre los métodos es elevado, pero en el estudio estadístico resulta que no significativo, se puede confirmar que alguno de los dos métodos tiene una elevada variabilidad, lo que da origen a los errores individuales grandes, pero no a una diferencia de medidas significativas.

Por último, se realizó dicho análisis estadístico se realizó una ANOVA unifactorial donde las medidas se consideraron como las variables dependientes:

	<b>P valor</b>
<b>FL</b>	0,839
<b>IG</b>	0,755
<b>BG</b>	0,005
<b>TG</b>	0,766
<b>BW</b>	0,002
<b>IH</b>	0,427

**Tabla 11.** Significancia de las medidas en función del método utilizado.

Si el *p valor* < 0,05 el método influye en las medidas y por lo tanto miden diferente, mientras que, en el caso contrario, si el *p valor* > 0,05 los métodos no son diferentes y por lo tanto las medidas no dependen del método utilizado. Así pues, el contorno de los metas y el ancho de bola resultaron significativos y, por lo tanto, ambos métodos miden diferente.

Una vez validado el DOME, se validó la aplicación móvil AVATAR 3D, siguiendo el mismo procedimiento:

	<b><i>ERROR<sub>M</sub>(mm)</i></b>	<b><i>ERROR<sub>APP</sub>(mm)</i></b>
<b><i>FL</i></b>	0,74	1,85
<b><i>IG</i></b>	3,84	2,88
<b><i>BG</i></b>	4,30	2,80
<b><i>TG</i></b>	11,68	5,42
<b><i>BW</i></b>	3,52	1,19
<b><i>IH</i></b>	2,93	2,88

**Tabla 12.** Comparación de errores entre el método manual y el AVATAR 3D.

Se puede observar que los errores de la APP son por lo general menores que en el método manual.

Posteriormente, para ver si las medidas eran diferentes o no entre los métodos se obtuvo el siguiente resultado:

	<b>ICC</b>	<b>MS error</b>	<b>SEM(mm)</b>	<b>ERROR 95% (mm)</b>
<b>FL</b>	0,99	1,09	1,00	1,97
<b>IG</b>	0,97	2,09	1,45	2,83
<b>BG</b>	0,95	4,38	2,09	4,10
<b>TG</b>	0,89	26,79	5,18	10,15
<b>BW</b>	0,93	0,79	0,89	1,74
<b>IH</b>	0,89	4,23	2,06	4,03

**Tabla 13.** Comparación de medidas entre los métodos mediante el cálculo del ICC y el error.

Hay errores elevados y en este caso también destaca la dimensión TG. Pero como se ha comentado anteriormente, un error elevado no es equivalente a que uno de los métodos mida erróneamente, pero sí que miden diferente.

Por último, para estudiar si el método influye en el valor de las medidas se realizó el análisis estadístico ANOVA donde:

	<i><b>p-valor</b></i>
<i><b>FL</b></i>	0,713
<i><b>IG</b></i>	0,812
<i><b>BG</b></i>	0,04
<i><b>TG</b></i>	0,609
<i><b>BW</b></i>	0,267
<i><b>IH</b></i>	0,812

**Tabla 14.** *Significancia de las medidas en función del método*

Solamente el contorno de los metas, resultó significativo, es decir, que la APP y el método manual miden diferente dicha dimensión

## 6. DISCUSIÓN

Siendo la posición Neutra la más adecuada debido a que no influía significativamente en las medidas obtenidas, se estudió la fiabilidad del DOMEscan y al AVATAR 3D:

	ICC		SEM (mm)		ERROR 95% (mm)	
	DOMEScan	AVATAR 3D	DOMEScan	AVATAR 3D	DOMEScan	AVATAR 3D
<b>FL</b>	0,99	0,99	0,38	0,95	0,75	1,85
<b>TP</b>	0,99	0,99	0,54	0,74	1,06	1,45
<b>TA</b>	0,97	0,86	0,41	0,93	0,82	1,83
<b>TG</b>	0,99	0,97	1,09	2,77	2,13	5,42
<b>TH</b>	0,83	0,94	0,83	0,68	1,63	1,34
<b>TW</b>	0,99	0,97	0,41	0,93	0,81	1,82
<b>P1M</b>	0,98	0,99	0,98	0,89	1,92	1,74
<b>P5M</b>	0,97	0,99	1,25	0,93	2,45	1,82
<b>BP</b>	0,98	0,99	0,95	0,82	1,87	1,61
<b>BA</b>	0,05	0,77	0,83	0,40	1,63	0,78
<b>BG</b>	0,98	0,98	1,36	1,43	2,66	2,80
<b>BH</b>	0,93	0,92	0,77	0,80	1,52	1,58
<b>MBH</b>	0,91	0,84	0,85	1,00	1,67	1,96
<b>LBH</b>	0,94	0,78	0,35	0,49	0,69	0,95
<b>BW</b>	0,98	0,97	0,45	0,60	0,89	1,19
<b>IG</b>	0,97	0,96	1,34	1,47	2,63	2,88
<b>IH</b>	0,99	0,93	0,58	1,41	1,14	2,76
<b>IW</b>	0,82	0,06	0,32	0,91	0,63	1,78
<b>NP</b>	0,95	0,91	1,11	2,17	2,19	4,25
<b>NH</b>	0,98	0,75	0,65	2,29	1,29	4,49
<b>HW</b>	0,96	0,89	0,64	1,43	1,27	2,80
<b>IGH</b>	0,99	0,98	1,17	2,08	2,30	4,08

**Tabla 15.** Resumen del estudio de fiabilidad de las nuevas tecnologías

Ambas tecnologías presentaron valores de ICC elevados exceptuando las medidas del ángulo de bola (BA) en el caso del DOMEscan y el ancho del empeine (IW) en el caso de la APP, esto se debe a que la variabilidad de los factores no controlados es mayor que la variabilidad de los factores controlados. Si se observa el error obtenido en estas dimensiones es: 0,78° y 1,78 mm respectivamente. Esto significa que la tecnología mide bien, pero no es adecuada para medir esta dimensión.

Considerando los errores obtenidos al 95% de intervalo de confianza, se puede ver que, en algunos casos superan los 2mm (valor límite permitido del error de las medidas de pie). Por lo tanto, hay variabilidad en las medidas repetidas, es decir, que para las mediciones realizadas sobre la misma dimensión, se obtienen resultados distintos y aunque el ICC sea elevado, al ser una

medida relativa, la tecnología no mide bien esta dimensión. Este sería el caso de las siguientes medidas

- En el DOMEscan: TG, P5M, BG, IG, NP e IGH. En ninguna de las 6 medidas, el error excede de los 2,6mm. Por lo que, aunque el error supere el valor límite, no lo supera significativamente. Esto es debido a que la variabilidad entre repeticiones es pequeña y se puede decir que el escáner mide bien estas dimensiones.
- En el AVATAR 3D: TG, BG, IG, IH, NP, NH e IGH. Exceptuando las tres últimas dimensiones, el resto, presentaron errores pequeños, aunque superaran los 2mm, por lo que la APP genera poca variabilidad entre las medidas repetidas de cada dimensión nombrada. Para NP, NH e IGH, el error resultó entorno a los 4mm por es un valor suficiente mayor que indica que la app no mide bien esa variable.

También destaca que el DOME presentaba unos valores generalmente mayores de fiabilidad que la aplicación y esto podría deberse al proceso de medida, ya que en el DOMEscan es el equipo quien realiza la foto y con una foto se obtiene la información de las tres perspectivas mientras que, para la APP, es el usuario quien realiza las tres fotos.

Para el estudio de validación de las técnicas, por un lado, se han comparado las medidas del DOME con las del método manual y por otro, las medidas del AVATAR 3D con las del método manual:

	ICC		SEM (mm)		ERROR 95% (mm)	
	D-M	APP-M	D-M	APP-M	D-M	APP-M
<b>FL</b>	0,99	0,99	1,31	1,00	2,57	1,97
<b>IG</b>	0,98	0,97	1,32	1,45	2,59	2,83
<b>BG</b>	0,95	0,95	1,99	2,09	3,90	4,10
<b>TG</b>	0,90	0,89	4,85	5,18	9,51	10,15
<b>BW</b>	0,93	0,93	0,89	0,89	1,75	1,74
<b>IH</b>	0,96	0,89	1,37	2,06	2,68	4,03

**Tabla 16.** Resumen del estudio de comparación de medidas; D-M, hace referencia a la comparación del escáner y el método manual; APP-M hace referencia a la comparación del AVATAR 3D con el método manual.

Los valores de ICC son elevados en todas las dimensiones a causa de que de la variabilidad está controlada. En cambio, se observan valores de error elevados:

- En la comparación de las medidas del DOME y el método manual, destaca que el error asociado a las medidas de la circunferencia de los dedos es de 9,51mm. Así como también es elevado, aunque menor que el anterior, el error de la circunferencia de los metas (BG) es 3,90mm.
- Por otro lado, en la comparación de las medidas manuales con las de la aplicación, las medidas realizadas de la circunferencia de los dedos son muy diferentes entre ambos métodos. También lo son la circunferencia de los metas y la altura del empeine, aunque presentan errores menores.

Que los errores sean elevados, no es equivalente a que alguno de los métodos sea erróneo para realizar las medidas. Simplemente significa que las medidas son diferentes. Para ello, se estudió la significancia del método en las medidas:

	<i>P valor</i>	
	<b>D-M</b>	<b>APP-M</b>
<b>FL</b>	0,839	0,713
<b>IG</b>	0,755	0,812
<b>BG</b>	0,005	0,04
<b>TG</b>	0,766	0,609
<b>BW</b>	0,002	0,267
<b>IH</b>	0,427	0,812

**Tabla 17.** Resumen del estudio de significancia del método en las medidas obtenidas; D-M hace referencia a la comparación del escáner y el método manual; APP-M hace referencia a la comparación del AVATAR 3D con el método manual

En el caso de la validación del DOMEscan, en la dimensión de la circunferencia de los metas (BG) se obtuvo una significancia del 0,005. Por lo que las medidas dependen del método utilizado. Es por eso que el error en la comparación de las medidas resultantes con estos dos métodos sobre dicha variable resultó elevado ( $e=3,90\text{mm}$ ), ya que ambos métodos miden de una forma diferente.

Las medidas del ancho de los metas (BW) también dependen del método utilizado, ya que presenta una significancia del 0,002. Sin embargo, si se observa el error obtenido en la comparación de medidas, su valor no es muy elevado ( $e=1,75$ ). Por ello, el método influye en las medidas obtenidas pero dichas medidas no son muy diferentes entre ambos métodos.

Por otro lado, en la validación de la APP solamente las medidas de la variable BG estaban influenciadas por el método utilizado. Además, el error de la comparación de las medidas entre ambos métodos resultó elevado ( $e=4,10$ ), por lo que ambos métodos medían diferente.

En el caso de la altura del empeine, donde en la comparación de los métodos, el error fue elevado,  $e= 4,03\text{mm}$ , se obtuvo que el método utilizado no era significativo en las medidas. Por lo que las medidas entre ambos métodos eran muy diferentes sin que el método influyera significativamente en el valor de éstas. Esto se debía que alguno de los dos métodos estaba midiendo de forma errónea esta variable.

En cambio, destaca significativamente que, en ninguna de las dos validaciones realizadas, se obtuvo que las medidas de la circunferencia de los dedos (TG), la variable que presentaba valores más elevados en la diferencia de medidas, resultó significativa. Por lo tanto, si el método utilizado no influía significativamente en las medidas, alguno o algunos de los métodos utilizados no estaba midiendo correctamente.

Para comprobar que método era el que proporcionaba las medidas de forma errónea, se compararon los errores que se habían obtenido en cada método por separado:

	ERROR 95%		
	DOME	Manual	APP
<b>FL</b>	0,75	0,74	1,85
<b>IG</b>	2,63	3,84	2,88
<b>BG</b>	2,66	4,30	2,80
<b>TG</b>	2,13	11,68	5,42
<b>BW</b>	0,89	3,52	1,19
<b>IH</b>	1,14	2,93	2,88

**Tabla 18.** Errores obtenidos en cada método estudiado

En la validación de la APP, la circunferencia de los metatarsos (BG) donde el método influía en las medidas obtenidas y las medidas entre ambos métodos eran diferentes. El error del método manual fue mayor que el error de la APP, ya que en el primer su valor fue de 4,30 mm y en la APP de 2,80mm. Esto significa que las medidas proporcionadas por la aplicación para el BG son más consistentes que las del método manual, ya que hay menor variabilidad entre las medidas repetidas.

Para la altura del empeine (IH), aunque un primer momento, parecía que alguno de los dos métodos proporcionaba valores erróneos, al observar los errores de ambas técnicas, se observó que ninguna de ellas proporcionaba valores de error elevados y significativamente superiores a 2mm (error permitido para la desviación de las medidas de pie).

Por último, en las medidas del TG o circunferencia de bola, el error del método manual fue significativamente mayor que el error de la APP, por lo que el método que generaba medidas erróneas de esta variable fue el método manual, aunque la aplicación tampoco resultara el método de medida más idóneo, ya que el error obtenido fue de 5,42mm.

En la validación del DOMEscan tanto en el caso de la circunferencia como en el ancho de los metatarsos, el error era elevado y destaca que el escáner presenta valores de error menores que el método manual, siendo en este caso errores elevados en relación con el valor límite.

Para la medida de la circunferencia de los dedos (TG), donde se determinó que una de los métodos no medía correctamente, se pudo confirmar que era el método manual, ya que el error del método manual fue de 11,58 mm mientras que el error asociado al DOME era de 2,13mm.

Por ello, el DOMEscan y la aplicación AVATAR 3D son alternativas válidas para medir el pie.

Por último, se muestra una tabla resumen con los valores de ICC, SEM y ERROR 95% de cada uno de los 3 métodos analizados para medir las medidas principales, aquellas de uso general:

Método manual	ICC			SEM			ERROR 95%		
	DOME	Manual	APP	DOME	Manual	APP	DOME	Manual	APP
<b>FL</b>	0,99	1,00	0,99	0,38	0,38	0,95	0,75	0,74	1,85
<b>IG</b>	0,97	0,95	0,96	1,34	1,96	1,47	2,63	3,84	2,88
<b>BG</b>	0,98	0,94	0,98	1,36	2,19	1,43	2,66	4,30	2,80
<b>TG</b>	0,99	0,89	0,97	1,09	5,96	2,77	2,13	11,68	5,42
<b>BW</b>	0,98	0,81	0,97	0,45	1,80	0,60	0,89	3,52	1,19
<b>IH</b>	0,97	0,95	0,96	1,34	1,49	1,47	1,14	2,93	2,88

**Tabla 19.** Resumen de estudio de fiabilidad y validez de los métodos antropométricos

Los valores de ICC son elevados en todas las dimensiones medidas por los 3 métodos, por lo que la varianza de variables está controlada y no hay mucha diferencia entre las medidas obtenidas con las medidas “reales”. Por el contrario, en el cálculo de error hay más diversificación de sus valores, siendo el escáner DOME el método con menor error. La causa a la que podría deberse que el método manual presente errores mayores que el DOMEscan y la APP podría ser que al utilizarse pies maniquí, la localización de los puntos anatómicos para la toma de las medidas es un proceso complejo, ya que estas localizaciones se realizaron por palpación. En cambio, en las nuevas tecnologías el software propio el que localiza automáticamente estos puntos. Por último, el DOME presenta valores de fiabilidad por lo general mayores que el AVATAR 3D. Esto es debido al proceso de toma de fotografías, ya que ambos presentan el mismo software. En el escáner DOME con sólo realizar una foto desde la parte superior del equipo, se obtiene información de las tres perspectivas del pie a través de los espejos, mientras que en la APP es el usuario quien realiza las 3 fotos de las 3 perspectivas.

Para finalizar, comparando los valores obtenidos en el estudio de la app y del DOMEscan con valores obtenidos en estudios anteriores de fiabilidad con el escáner INFOOT 3D uno de los más utilizados en la actualidad y más precisos:

Foot anthropometric	Intraclass Correlation Coefficient (ICC 3.1)	Average Standard Error of Measurement (SEM) ± mm
Left Foot Length Total	0.961	0.43
Left Instep Length	0.968	0.43
Left Instep Height	0.755	0.65
Left Navicular Height	0.715	1.29
Right Foot Length Total	0.786	1.74
Right Instep Length	0.816	2.30
Right Instep Height	0.765	0.96
Right Navicular Height	0.756	1.25

(a)

Nº:	Foot Measurement	Intra-observer 1 Reliability (%)
1	Foot length (Right foot)	93.3
2.	Foot length (Left foot)	95.0
3.	Ball Girth circumference (Right foot)	96.7
4.	Ball Girth circumference (Left foot)	95.0
5.	Foot breadth (Right foot)	96.7
6.	Foot breadth (Left foot)	95.0
7.	Instep length (Right foot)	96.7
8.	Instep length (Left foot)	93.3
9.	Fibulare Instep length (Right foot)	98.3
10.	Fibulare Instep length (Left foot)	96.7

Foot Measurement	Intra-observer 1 TEM (mm)
Foot length (Left foot)	0.6551
Ball Girth circumference (Right foot)	1.3457
Ball Girth circumference (Left foot)	1.2540
Foot breadth (Right foot)	0.7799
Foot breadth (Left foot)	0.7898
Instep length (Right foot)	1.2600
Instep length (Left foot)	1.2716
Fibulare Instep length (Right foot)	1.0028

(b)

**Figura 27.** Estudios de fiabilidad realizados sobre el INFOOT;(a)(Hill, Naemi, Branthwaite, & Chockalingam, 2017); (b)(Shariff et al., 2014)

De modo general, los valores de ICC son similares entre las técnicas antropométricas basadas en la fotografía y el INFOOT 3D, sin embargo, el error es menor en el caso del escáner de alta precisión, aunque son pequeñas décimas de mm lo que les diferencia. Esto se debe a que son sistemas de alta precisión y por lo tanto son equipos muy potentes y fiables. Por lo que se puede concluir que tanto el DOME, como el AVATAR 3D presentan valores de fiabilidad similares a los del INFOOT, siendo las nuevas técnicas menos fiables, pero presentan una reproducibilidad y una precisión adecuada para procesos de asignación de talla.

## 6. 1. LIMITACIONES

Como limitaciones del estudio de fiabilidad y validez de las técnicas DOMEscan y AVATAR 3D, se podrían destacar el uso de los pies maniquí, ya que se han utilizado 4 modelos distintos y se necesitaría realizar en un estudio futuro, el mismo estudio con un mayor número de pies maniquí para que sea una investigación más robusta. Mediante los pies maniquí tampoco se han podido realizar las medidas manuales de forma correcta, ya que para la posición de los marcadores anatómicos se utilizó la técnica de palpación y con dichos pies, la palpación es complicada debido a que todo el pie presenta la misma rigidez.

Por la poca disponibilidad de tiempo, no se han podido medir pies reales humanos, por lo que la variabilidad intrasujeto no se ha estudiado y, sería interesante que un futuro se realizara un estudio midiendo pies reales a gran escala. De forma que se pudiera analizar cómo afecta el cambio de volumen en los pies o el cambio de la morfología de los pies según la carga que soportan. Además, la mayoría de los estudios realizados en la historia de la antropometría se han realizado sobre pies humanos, por lo que, para poder realizar mayores comparaciones entre las nuevas tecnologías con las ya presentes, se tendrían que comparar medidas realizadas sobre los pies reales.

## 7. CONCLUSIONES

Del estudio realizado sobre las nuevas tecnologías DOMEscan y AVATAR 3D, se puede concluir que el DOMEscan es una tecnología más fiable que la APP, ya que es un equipo más robusto, pero las diferencias entre ambas tecnologías son mínimas. Esta diferencia se debe al diferente proceso de obtención de las fotos, donde en el DOMEscan es suficiente con la realización de una fotografía realizada por la cámara superior del equipo y se obtienen al mismo tiempo, la información de las dos perspectivas laterales debido a la posición de los espejos. En cambio, en la aplicación es el usuario quien realiza las tres fotografías desde las diferentes perspectivas.

En la validación de las técnicas novedosas con el método manual, considerado como técnica de referencia o *Gold Standard*, se obtuvieron valores de ICC elevados en la mayoría de las dimensiones, pero el error del método manual resultó mayor que las otras dos alternativas antropométricas. Esto podría deberse a la dificultad de los operadores a la hora de localizar los puntos anatómicos por palpación sobre los pies rígidos. Por lo tanto, ambas técnicas resultaron válidas para medir el pie.

Por último, estas técnicas de obtención de medidas a través de la realización de fotografías, además de ser válidas, son técnicas con la suficiente reproducibilidad y precisión para procesos de asignación de talla. En la actualidad, las técnicas antropométricas son comúnmente estudiadas debido a que las aplicaciones de la ergonomía se han extendido en los últimos años, además de aumento de comercio on-line de productos. Por ello, se necesitan opciones baratas como el DOMEscan y el AVATAR 3D en el caso de la antropometría del pie, ya que no todos los comercios, ni la población en general, se pueden permitir la compra de equipos de escáneres 3D láser, que son caros, pesados y complejos, además de que son equipos en los que se necesita tener experiencia para poder usarlos correctamente. Por ello, estas técnicas basadas en la fotogrametría, se presentan como alternativas de bajo coste, sencillas, donde no se necesita experiencia de uso y que proporcionan los resultados con rapidez, siendo accesibles para la mayoría de la población.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, B., Curless, B., & Popović, Z. (2003). The space of human body shapes: reconstruction and parameterization from range scans. *ACM Transactions on Graphics*, 22(3), 587–594.
- BALLESTER, A., PARRILLA, E., VIVAS, J. A., PIEROLA, A., URIEL, J., PUIGSERVER, S. A., ... ALEMANY, S. (2015). Body Scanning App: Data-Driven 3D Reconstruction and Applications. *Proceedings of the 6th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, 27-28 October 2015*, (October), 184–184.
- Benítez López, J., & Hueso Pagoaga, J. L. (1999). Introducción a MATLAB, 1–51. <http://doi.org/10.3989/scimar.2004.68s31>
- Damián Repetto, A. (2005). Bases biomecánicas para el análisis del movimiento humano, 200.
- De Mits, S., Coorevits, P., De Clercq, D., Elewaut, D., Woodburn, J. (James), & Roosen, P. (2010). Reliability and validity of the Infoot 3D foot digitizer for normal healthy adults. *Footwear Science*, 2(2), 65–75.
- De Mits, S., Coorevits, P., De Clercq, D., Elewaut, D., Woodburn, J., & Roosen, P. (2011). Reliability and validity of the INFOOT three-dimensional foot digitizer for patients with rheumatoid arthritis. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 101(3), 198–207.
- Goonetilleke, R., Ho, C., & So, R. (1997). Foot anthropometry in Hong Kong. *Proceedings of the ASEAN 97 ...*, 81–88. Retrieved from
- Gracia, C. S. (2001). aplicaciones tecnológicas.
- Gray, H. (2009). *Gray's Anatomy for Students*, 2nd edition.
- Hill, M., Naemi, R., Branthwaite, H., & Chockalingam, N. (2017). The relationship between arch height and foot length: Implications for size grading. *Applied Ergonomics*, 59, 243–250.
- Houston, V. L., Luo, G., Mason, C. P., Mussman, M., Garbarini, M., & Beattie, A. C. (2006). Changes in male foot shape and size with weightbearing. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 96(4), 330–43.
- Human, D. (2003). The subjects were 135 males and 383 males and 414 females born (the between 1970 group below). and All the subjects were healthy. The subjects were part of the three somatometric surveys outlined below. In order to eliminate the influence, 23–48.
- Ismaila, O. S. (2009). Anthropometric Data of Hand, Foot and Ear of University Students in Nigeria. *Leonardo Journal of Sciences*, (15), 15–20.
- Kouchi, M., & Mochimaru, M. (2001). Development of a Low Cost Foot-Scanner for a Custom Shoe Making System. *Symposium on Footwear Biomechanics*, 58–59.
- Lee, Y.-C., Lin, G., & Wang, M.-J. J. (2014). Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *Journal of Foot and Ankle Research*, 7(1), 44.
- Mall, N. A., Hardaker, W. M., Nunley, J. A., & Queen, R. M. (2007). The reliability and reproducibility of foot type measurements using a mirrored foot photo box and digital photography compared to caliper measurements. *Journal of Biomechanics*, 40(5), 1171–1176.
- MARTINEZ, C. G. A. (2014). *TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS*.
- McPoil, T. G., Vicenzino, B., Cornwall, M. W., Collins, N., & Warren, M. (2009). Reliability and normative values for the foot mobility magnitude: a composite measure of vertical and medial-lateral mobility of the midfoot. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2, 6.
- McWhorter, J. W., Landers, M., Wallmann, H., Altenburger, P., Berry, K., Tompkins, D., & Higbee, C. (2006). The effects of loaded, unloaded, dynamic, and static activities on foot volumetrics. *Physical Therapy in Sport*, 7(2), 81–86.
- Mochimaru, M., & Kouchi, M. (2011). 4D measurement and analysis of plantar deformation during walking and running. *Footwear Science*, 3(sup1), S109–S112.

- Ortopedia, F. D. E. (2008). Podoscopio clásico, 27, 126–129.
- Pantazi, M., & Vasilescu, A. N. A. M. (2016). 3d imaging capture of the foot and data processing for a database of anthropometric parameters.
- Parrilla, E., Ballester, A., Solves-Camallonga, C., Nácher, B., Antonio Puigcerver, S., Uriel, J., ... Alemany, S. (2015). Low-cost 3D foot scanner using a mobile app. *Footwear Science*, 7(sup1), S26–S28.
- Ramiro, José; Alcántara Enrique; Forner Arturo; Ferrandis Roberto; García Belenguer, Ana; Durá, Juan Vicent; Vera, P. (1995). *Guía de Recomendaciones para el Diseño de Calzado*. Ravindra S. Goonetilleke. (2013.).
- Shariff, S. M., Bong, Y. B., Shariff, A. A., Kouchi, M., Kimura, K., Merican, A. F., ... Noor, N. M. (2014). Development of a Foot Sizing System for Malaysian Women. *5th International Conference on 3D Body Scanning Technologies*, (October), 93–98.
- Weir, J. P. (2005). Quantifying Test-Retest Reliability Using the Intraclass Correlation Coefficient and the SEM. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 231.
- Witana, C. P., Xiong, S., Zhao, J., & Goonetilleke, R. S. (2006). Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36(9), 789–807.

## II. PRESUPUESTO

## ÍNDICE DE PRESUPUESTO

<b>1. INTRODUCCIÓN PRESUPUESTO.....</b>	<b>72</b>
<b>2. CONTENIDO PRESUPUESTO.....</b>	<b>72</b>
2.1. PRESUPUESTO BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA.....	72
2.2. PRESUPUESTO FIABILIDAD.....	73
2.3. PRESUPUESTO VALIDEZ.....	74
2.4. PRESUPUESTO TOTAL.....	76

## 1.INTRODUCCIÓN PRESUPUESTO

El análisis de presupuesto de un proyecto es fundamental en una Organización a la hora de tomar decisiones, establecer objetivos y desarrollar nuevos proyectos.

Este Trabajo de Fin de Máster, es un proyecto de investigación y el análisis presupuestario se elabora con el objetivo de comprender el coste que conlleva el desarrollo de dicho proyecto.

## 2.CONTENIDO PRESUPUESTO

El estudio presupuestario se elabora por capítulos, es decir, en primer lugar, se realiza el presupuesto que implica la revisión bibliográfica, posteriormente, el estudio de fiabilidad y finalmente, se realiza el análisis del presupuesto del estudio de Validez.

Por último, se elabora un presupuesto total del proyecto reuniendo los resultados del estudio sin la inclusión del IVA y finalmente, con la inclusión del IVA.

Antes de proceder al presupuesto de la búsqueda sistemática, se muestra una tabla con los recursos necesarios, tanto materiales como humanos junto los precios unitarios correspondientes, cuyos valores han sido proporcionados por el Instituto de Biomecánica de Valencia:

Código	Recursos	Ud	Coste unitario
CI 1	Coste medidor experto para las medidas manuales	€/h	70
CI 2	Coste investigador	€/h	40
CI 3	Estudiante	€/h	20
PM 12	Pies maniquí	€	900
SF 1	Software MATLAB	€/licencia	2000
ED 1	Equipo DOMEscan	€	1300
SF 2	Software DOMEscan	€/licencia	600
ED 2	App AVATAR 3D	€	29900
SF 3	Software SPSS Statics	€/licencia	1168,00
SF 4	Microsoft Office	€/licencia	123,14
ED 3	Instrumentos medidas manuales (cinta métrica, regla transparente, calibre)	€	1700

**Tabla 1.** Codificación para la identificación de los recursos utilizados en el Trabajo de Fin de Master junto los precios unitarios.

La codificación utilizada en la Tabla 1, se aplicará para la identificación de los recursos en los apartados que se presentan a continuación.

### 2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para el análisis del presupuesto se ha estudiado por una parte los recursos humanos (mano de obra) y, por otro lado, los equipos y las tecnologías utilizadas, identificadas en estos apartados como "Recursos materiales". Se han determinado como materiales amortizables aquellos, que

son utilizados de forma continua independientemente del presente trabajo y para el cálculo de esta amortización, se han considerado 220 días laborables y 4 horas de trabajo al día.

- **Presupuesto recursos humanos**

ACTIVIDADES	CÓDIGO RECURSO	Ud	€/ud	Cantidad	Coste (€)
Búsqueda bibliográfica	CI 3	h	20	80	1600
Reuniones	CI 3	h	20	10	200
	CI 2	h	40	10	400
Redacción del informe	CI3	h	20	70	1400
<b>TOTAL</b>					<b>3600</b>

**Tabla 2.** Presupuesto de recursos humanos en la revisión bibliográfica

- **Presupuesto materiales**

ACTIVIDADES	CÓDIGO RECURSO	Ud	€/ud	Cantidad	Amortización (años)	Factor amortización (años <sup>-1</sup> )	Importe de amortización (€/año)	Coste de amortización por hora (€/h)	Horas de uso (h)	COSTE DE USO (€)
Redacción del informe	SF 4	Licencia	123,14	1	6	0,17	20,52	0,02	70	1,67
<b>TOTAL</b>									<b>1,67</b>	

**Tabla 3.** Presupuesto de recursos material amortizado en la revisión bibliográfica

Como presupuesto total de esta fase del trabajo, se muestra la Tabla 4:

ACTIVIDADES	Coste (€)
Recursos Humanos	3600
Materiales	1,67
<b>TOTAL</b>	<b>3.601,67</b>

**Tabla 4.** Resumen presupuesto de la revisión bibliográfica

## 2.2. ESTUDIO DE FIABILIDAD

A diferencia de la fase de búsqueda sistemática, para el estudio de fiabilidad se ha requerido la colaboración de personal investigador del departamento de antropometría del IBV, ya que han resultado esenciales en las medidas realizadas mediante DOMEscan y el AVATAR 3D.

En el presupuesto de materiales, para aplicación móvil AVATAR 3D no se ha asignado un coste debido a que se puede descargar de forma gratuita. Por otro lado, los materiales amortizables, su amortización se ha calculado teniendo en cuenta 220 días laborables al año y 4 horas al día de trabajo.

- **Presupuesto recursos humanos**

ACTIVIDADES	CÓDIGO RECURSO	Ud	€/ud	Cantidad	Coste (€)
Medidas DOMEscan	CI 2	h	40	48	1920
	CI 3	h	20	30	600
Medidas AVATAR 3D	CI 2	h	40	48	1920
	CI 3	h	20	18	360
Reuniones	CI2	h	40	10	400
	CI3	h	20	10	200
Procesado de los datos	CI 3	h	20	40	800
Redacción informe	CI 3	h	20	80	1600
				<b>TOTAL</b>	<b>7.800</b>

**Tabla 5.** Presupuesto de recursos humanos en el estudio de fiabilidad

- **Presupuesto materiales**

ACTIVIDADES	CÓDIGO RECURSO	Ud	COSTE €/ud	Cantidad	Amortización (años)	Factor amortización (años <sup>-1</sup> )	Importe de amortización (€/año)	Coste de amortización por hora (€/h)	Horas de uso (h)	COSTE DE USO (€)
Redacción del informe	SF 4	Licencia	123,14	1	6	0,17	20,52	0,02	80	1,90
Medidas DOMEscan	ED1	Unidad	1300	1	8	0,12	156	0,18	48	8,86
	SF 2	Licencia	600	1	6	0,17	102	0,11	48	5,45
	PM 12	Unidad	900	4	8	0,5	450	0,51	48	24,55
Medidas AVATAR 3D	ED 2	/	/	/	/	/	/	/	/	0
Procesado de datos	PM 12	Unidad	900	4	8	0,5	450	0,51	48	24,44
	SF 1	Licencia	2000	1	6	0,17	340	0,38	35	13,26
	SF 3	Licencia	1168	1	6	0,17	198,56	0,22	5	1,11
									<b>TOTAL</b>	<b>79,68</b>

**Tabla 6.** Presupuesto de recursos material amortizado en el estudio de fiabilidad

Como presupuesto total de esta fase del trabajo:

ACTIVIDADES	Coste (€)
Recursos Humanos	7.800
Materiales	79,68
<b>TOTAL</b>	<b>7.879,68</b>

**Tabla 7.** Resumen presupuesto estudio de fiabilidad.

### 2.3.ESTUDIO VALIDEZ

En la última fase del Proyecto, el estudio de validez, se ha contado con la ayuda de un operador experto en medidas manuales y para la elaboración del análisis del presupuesto, se ha seguido la misma estructura que en los apartados anteriores:

- **Presupuesto recursos humanos**

ACTIVIDADES	CÓDIGO RECURSO	Ud	€/ud	Cantidad	Coste (€)
Medidas manuales	CI 1	h	70	50	3500
	CI 2	h	40	20	800
Reuniones	CI2	h	40	8	320
	CI3	h	20	8	160
Procesado de los datos	CI 3	h	20	85	1700
Redacción informe	CI 3	h	20	100	2000
				<b>TOTAL</b>	<b>8540</b>

**Tabla 8.** Presupuesto de recursos humanos en el estudio de validez

- **Presupuesto materiales**

ACTIVIDADES	CÓDIGO RECURSO	Ud	COSTE €/ud	Cantidad	Amortización (años)	Factor amortización (años <sup>-1</sup> )	Importe de amortización (€/año)	Coste de amortización por hora (€/h)	Horas de uso (h)	COSTE DE USO (€)
Redacción del informe	SF 4	Licencia	123,14	1	6	0,17	20,52	0,02	65	1,55
Medidas manuales	ED 3	Unidad	1700	1	6	0,17	289	0,32	50	16,10
	PM 12	Unidad	900	4	8	0,5	450	0,51	50	25,57
Procesado de datos	SF 1	Licencia	2000	1	6	0,17	340	0,38	70	26,52
	SF 3	Licencia	1168	1	6	0,17	198,56	0,22	15	3,32
									<b>TOTAL</b>	<b>73,05</b>

**Tabla 9.** Presupuesto de recursos material amortizado en el estudio de validez. Para los materiales amortizables, su amortización se ha calculado teniendo en cuenta 220 días laborables al año

Como presupuesto total de esta fase de validación:

ACTIVIDADES	Coste (€)
Recursos Humanos	8540
Materiales	73,05
<b>TOTAL</b>	<b>8.613,05</b>

**Tabla 10.** Resumen presupuesto estudio de validez

## 2.4.PRESUPUESTO TOTAL

Finalmente, se ha tenido en cuenta el presupuesto total de cada una de las fases anteriores para obtener el presupuesto del Trabajo de Fin del Master:

<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Coste (€)</b>
Búsqueda Bibliográfica	3.601,67
Estudio de Fiabilidad	7.879,68
Estudio de Validez	8.613,05
<b>COSTE TOTAL (SIN IVA%)</b>	<b>20.094,39</b>
<b>IVA (21%)</b>	<b>4.219,82</b>
<b>COSTE TOTAL (CON IVA)</b>	<b>24.314,31</b>

**Tabla 11.** Coste total Proyecto de Fin de Master

El coste del estudio total con IVA incluido asciende a 24.314,31 €

