



Trabajo Fin de Máster

Modelos Humanos Digitales de Morfología Variable
aplicables en Evaluaciones Ergonómicas y Biomédicas

Autor/es

Laura Savalli Rabell

Director/es

José Javier Marín Zurdo

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2015

Agradecimientos.

Quisiera expresar mi gratitud a todas las personas que me han ayudado a llevar a cabo este trabajo final del máster.

En particular quisiera agradecerle a mi jefe y director de proyecto D. Javier Marín Zurdo, el brindarme la oportunidad de trabajar con él, ofrecerme todo su apoyo, ayuda, sabiduría y porque sin él nunca hubiese realizado este máster.

También quiero agradecer a mis compañeros de Oficina, Cristina Yubero, Marta Bailo y Héctor Gómez su ayuda y su apoyo, porque sin ellos el día a día no hubiese sido lo mismo. Sin olvidarme de los colaboradores Cristina Royo, Isabel García y Manuel Auría que me han mimado y ayudado muchísimo durante este curso académico.

Y por último el agradecimiento final y más personal es para mi gran familia y para mi novio David, que han aguantado mis nervios y mi estrés a lo largo de este duro año y me han dado su amor y apoyo siempre que lo he necesitado.

A todos, Gracias!

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./Dª. Laura Savalli Rabell,

con nº de DNI 18061640-Q en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster) Máster de Ingeniería Biomédica, (Título del Trabajo) Modelos Humanos Digitales de Morfología Variable aplicables en Evaluaciones Ergonómicas y Biomédicas.

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 09 de Febrero de 2015.

Fdo: _____

LAURA SAVALLI RABELL
18061640 - Q

Modelos Humanos Digitales de Morfología Variable aplicables en Evaluaciones Ergonómicas y Biomédicas

Resumen

Los sistemas de captura de movimiento están en completa evolución. En la actualidad, numerosas son las nuevas aplicaciones, muchas de ellas de carácter ergonómico y biomédico, en continuo desarrollo y a tenor de las cuales se plantea como necesario el desarrollo de Modelos Humanos Digitales capaces de cumplir una serie de necesidades específicas ante la implementación de los mismos en estas nuevas aplicaciones.

Objetivo: El objetivo del presente proyecto es el desarrollo de modelos humanos digitales que permitan una mejor adaptación de los mismos a las necesidades de las nuevas aplicaciones, basándose para ello especialmente en cubrir y dar respuesta a la necesidad de obtener modelos validados antropométricamente, capaces de representar a un individuo o población determinada de la manera más fidedigna posible y cumpliendo en todo caso la normativa europea correspondiente.

Método: Se ha desarrollado un protocolo de creación de modelos humanos en base a los resultados extraídos de la revisión bibliográfica de los sistemas y parámetros antropométricos involucrados a fin de dotar al método de una mayor validez científica.

Resultados: Los resultados obtenidos conforman una librería de 30 avatares, compuesta por 15 personajes de sexo masculino y 15 de sexo femenino, de los cuales 3 son representativos de los percentiles P5, P50 y P95 basados en las medidas antropométricas de la sociedad española. El resto corresponden a los perfiles morfológicos calculados en base al índice antropométrico ICT distribuidos en grupos de 4 para cada percentil.

Discusión: Tras la aplicación de los modelos desarrollados dentro del software desarrollado por el grupo IDERGO “Move Human” se observa una clara mejora en la correlación entre los puntos de fijación de los sensores sobre personas físicas y su correspondiente representación en el Modelo Humano bien nuevas líneas de investigación ro en relación con la consecución de un mejor ajuste antropomórfico quedan abiertas al futuro.

Conclusión: El diseño de Modelos Humanos Digitales de Morfología Variable permite una mayor personalización y precisión a la hora de realizar la captura del movimiento y recogida de datos, consiguiéndose con ello un mayor nivel de fiabilidad en el análisis e interpretación de los resultados de la prueba.

Como se exige en el reglamento para la elaboración de Trabajos Fin de Máster asociados al presente Máster en Ingeniería Biomédica, un periodo de prácticas en una institución externa a la propia Universidad de Zaragoza fue completado. La institución elegida para tal fin ha sido el Instituto de Medicina Legal de Aragón (IMLA) y las actividades llevadas a cabo comprendieron el estudio acerca de la reconstrucción 3D de cadáveres y su uso como asistente en el proceso de realización de autopsias médico-legales.

Índice

1. Introducción	13
1.1. Objeto del proyecto.....	13
1.2. Alcance.....	15
1.3. Antecedentes	16
2. Estado de la técnica	17
2.1. Los sistemas de captura de movimiento	17
Los sistemas ópticos.....	17
Sistemas iniciales	18
2.2. Aplicación de los sistemas de captura de movimiento.....	19
Aplicaciones ergonómicas	19
Aplicaciones biomecánicas y médicas.....	20
2.3. Modelos Humanos Digitales	21
2.4. Software de creación de avatares.....	25
2.5. Datos antropométricos.....	25
2.6. Parámetros de representación morfológica.....	26
Índices antropométricos.....	26
2.7. Normativa	32
2.8. Resumen del Estado de la Técnica.	33
3. Instrumentación	35
4. Diseño de los modelos Humanos.....	36

4.1.	Especificaciones de diseño	36
	FUNCIONALES	36
	FORMALES	37
	DE USO.....	37
4.2.	Representación de los percentiles	38
4.3.	Medidas aplicadas	39
4.4.	Representación morfológica.....	40
4.5.	Índices aplicados	41
5.	Elaboración de los avatares	44
5.1.	Creación (DAZ)	44
5.2.	Optimización (DAZ).....	47
5.3.	Exportación (MAX, Cald 3D).....	49
6.	Nueva operativa Move Human.....	51
6.1.	Desarrollo.....	51
6.2.	Operativa	52
7.	Resultados	54
	PERCENTILES DE HOMBRE	56
	P50 HOMBRE.....	56
	PERCENTILES DE MUJER	58
	MORFOLOGÍAS P05	60
8.	Discusión.....	66
9.	Conclusiones	68

10. Bibliografía.....	69
Anexo I. ANTROPOMETRÍA.....	76
Bases de Datos	76
Tablas Antropométricas.	80
Anexo II. NORMATIVA.	86
ANEXO III. INSTRUMENTACIÓN	89
Sistema "move human-sensors"	89
Procedimiento.....	89
Sensores iniciales	90
Equipos complementarios para la captura.....	91
Colocación y orientación de los sensores y fijaciones	94
ANEXO IV. REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS	95

Índice de Figuras

<i>Figura 1 Traje de la compañía Xsens compuesto de 17 sensores iniciales y magnéticos que se comunican con el ordenador a través de conexión Wireless⁵</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2 Marcadores situados en el sujeto y en la bicicleta.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3 Rol del Mocap y del DHM⁸.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4 Modelo Humano RAMSIS</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5 Un ejemplo de la interfaz Daz3d, con algunos de los cuerpos masculinos y femeninos creados con los paquetes de morfologías utilizados dentro del estudio.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 6 El IMC no distingue entre el peso generado por la masa magra y el peso generado por tejido adiposo, estas dos figuras podrían compartir el mismo IMC.....</i>	<i>27</i>

<i>Figura 7 En la figura se muestra dos avatares que tienen diferente altura y misma cintura, el CC es de 90cm. La figura de la izquierda mide 1,87 con lo que estaría dentro de valores normales. La figura de la derecha mide 1,65, está dentro de sobrepeso.....</i>	29
<i>Figura 8 The Ashwell® Shape Chart basada en el índice cintura talla. (Copyright is held by Margaret Ashwell)(69).....</i>	31
<i>Figura 9 Modelo híbrido resultado de aplicar a la figura las medidas antropométricas de la población media Europea sin distinguir entre hombres y mujeres.</i>	39
<i>Figura 10 Estructura de distribución de los avatares.</i>	40
<i>Figura 11 Circunferencia de la Cintura. Protocolo de medida por la Organización Mundial de la salud (WHO) y el Instituto Nacional de la Salud (NHI).....</i>	43
<i>Figura 12 ponemos el dial de Victoria a 0 para obtener la morfología base de Génesis</i>	44
<i>Figura 13 Medidas con el sujeto de sentado, Mujer P50</i>	45
<i>Figura 14 Edición de los parámetros morfológicos de los brazos.</i>	45
<i>Figura 15 Falta cambiar esqueleto, añadir y quitar huesos, interesante poner los nombres con etiquetas</i>	46
<i>Figura 16 En la imagen de la izq. vemos la malla primitiva de los personajes de DAZ, en la imagen de la dcha. visualizamos la malla tras aplicar el modulo "Decimator".....</i>	47
<i>Figura 17 La imagen a) y b) representan las texturas primitivas del programa DAZ Studio, la imagen c) representa una textura creada con "Texture Atlas" y terminada con Photoshop® de Adobe.....</i>	49
<i>Figura 18 Conjunto de avatares femeninos resultantes.....</i>	54
<i>Figura 19 huesos que componen el avatar.</i>	55
<i>Figura 20 Percentiles masculinos y altura</i>	56
<i>Figura 21 Medidas measure metrics (DAZ).....</i>	57
<i>Figura 22 Percentiles femeninos y altura</i>	58
<i>Figura 23 Medidas measure metrics (DAZ).....</i>	59

<i>Figura 24 Modelos morfológicos de hombre de P05 y medidas claves utilizadas en el diseño</i>	60
<i>Figura 25 Modelos morfológicos de hombre de P50 y medidas claves utilizadas en el diseño</i>	61
<i>Figura 26 Modelos morfológicos de hombre de P95 y medidas claves utilizadas en el diseño</i>	62
<i>Figura 27 Modelos morfológicos de mujer de P05 y medidas claves utilizadas en el diseño</i>	63
<i>Figura 28 Modelos morfológicos de mujer de P50 y medidas claves utilizadas en el diseño</i>	64
<i>Figura 29 Modelos morfológicos de mujer de P95 y medidas claves utilizadas en el diseño</i>	65
<i>Figura 30 Ejemplos de medidas que podemos encontrar en la base de datos CAESAR.</i>	76
<i>Figura 31 Ilustración de las medidas disponibles para las distintas poblaciones</i>	78
<i>Figura 32 Distribución por sexo y edad y su proporción respectiva del total</i>	79
<i>Figura 33 Fases del procedimiento de trabajo</i>	90
<i>Figura 34 Sensores Colibrí y “Dongle” USB de comunicación</i>	90
<i>Figura 35 Fijaciones de los sensores</i>	92
<i>Figura 36 Gafas</i>	92
<i>Figura 37 Ordenador portátil utilizado durante las capturas</i>	93
<i>Figura 38 Dos modelos de cámara de alta definición utilizados</i>	93
<i>Figura 39 Posición y orientación del tren superior del cuerpo</i>	94
<i>Figura 40 Colocación en brazos</i>	94
<i>Figura 41 Colocación en pelvis</i>	94
<i>Figura 42 Colocación en tórax</i>	94
<i>Figura 43 Escáner 3D EVA de Artec</i>	95
<i>Figura 44 Cámara fotográfica Canon EOS 60 D</i>	95
<i>Figura 45 representación 3D obtenida con escáner EVA</i>	96

Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Avatares creados y sus medidas.</i>	41
<i>Tabla 2 Jerarquía de directorios para la correcta lectura del archivo .CFG por el software Vizard.</i>	50
<i>Tabla 3 Pasos para la asignación de avatares.</i>	51
<i>Tabla 4 Comparación entre datos iniciales y mediciones medidas directamente de los maniquíes representativos de los hombres en posturas normalizadas. (Tabla extraída de la norma UNE EN ISO 15536 para la valoración de la precisión)</i>	80
<i>Tabla 5 Comparación entre datos iniciales y mediciones medidas directamente de los maniquíes representativos de las mujeres en posturas normalizadas. (Tabla extraída de la norma UNE EN ISO 15536 para la valoración de la precisión)</i>	81

1. Introducción

1.1. Objeto del proyecto

El presente trabajo se ha realizado en colaboración con el grupo IDERGO (Investigación y Desarrollo en Ergonomía), grupo Consolidado de Investigación Aplicada del Gobierno de Aragón y perteneciente al Instituto Universitario de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza dentro del Área de Bioingeniería, y enmarcado dentro del proyecto *“Validación de un sistema para la evaluación de la capacidad funcional de la columna cervical y hombro basada en medidas objetivas de movimientos y esfuerzos”* desarrollado en colaboración con la empresa FREMAP.

El objeto del presente proyecto engloba el diseño y desarrollo de modelos humanos virtuales para aplicaciones biomédicas de captura de movimiento. Se aborda por un lado el diseño de avatares representativos del porcentaje más alto de la población objeto de estudio, utilizando para ello tablas antropométricas características de la población que se quiere representar así como el desarrollo de los mismos asegurando la fidedigna reproducción de los movimientos del sujeto en estudio.

El objetivo general del proyecto comprende la creación de un protocolo de elaboración de modelos validados así como de una biblioteca de personajes capaces de representar de una manera realista tanto a individuos concretos como a poblaciones genéricas. A continuación se plantean los objetivos concretos que se pretenden cumplir.

Es importante conseguir una correcta correlación entre la localización y orientación de los marcadores en el sujeto y la referencia que representa en el modelo humano virtual. Para la realización de las prueba de captura de movimiento con sistemas ópticos de captura es necesario colocar sobre el cuerpo de la persona una serie de, marcadores. En el caso de sistemas iniciales o magnéticos(1), lo que colocamos en el cuerpo son los sensores. Estos marcadores o sensores deben ir situados y orientados en puntos específicos de la anatomía ya que los algoritmos utilizados por este tipo de software, para el análisis y la correcta representación del movimiento, identifican estos puntos y los usan para realizar los cálculos y obtener los datos. Una mala correlación con las proporciones y el tamaño entre la persona y el modelo virtual puede traer consigo errores en los cálculos o en la representación del movimiento, como intrusiones de partes del cuerpo en él mismo, en el caso del avatar, o una visión del avatar deformada, que puede quitar realismo a la actividad.

El usuario debe reconocerse y sentirse identificado con el modelo humano que le va a representar en el entorno virtual, así aportamos seriedad a la prueba y evitamos que se produzcan distracciones. Consiguiendo una mejor realización las pruebas.

Hay que facilitar la labor de la persona que analiza el movimiento capturado. Es importante para la persona que analiza el movimiento e interpreta los datos, poder detectar que ciertas limitaciones en la movilidad pueden ser debidas a perfiles de morfologías más extremas como pueda ser una persona con sobrepeso u obesidad, y no a una patología articular, muscular o esquelética. Suele ocurrir que solo se disponga de datos del movimiento y del avatar utilizado y no del perfil morfológico del sujeto debido a la protección de datos.

La reducción de tiempo de generación de avatar es muy importante, conseguir desarrollar un método paramétrico que nos permita crear estos personajes en un tiempo razonable, permitiría una personalización mayor y por tanto más precisión. Obtener un procedimiento de creación de avatares robusto y ágil es vital para asegurar la validez y repetitividad.

La optimización computacional es un objetivo claro, ya que los sistemas de captura de movimiento requieren de gran agilidad computacional para poder mostrar los datos en tiempo real. Es por esto que se hace un estudio a fondo de la topología de la malla de los avatares para la reducción en número de polígonos y una compactación de los archivos de las texturas.

Para cumplir todos estos objetivos es para lo que se ha realizado el estudio de los parámetros antropométricos e índices que son necesarios, estando siempre enmarcada en una actitud objetiva y realista, desarrollando un protocolo de trabajo que aporte validez y robustez al sistema.

1.2. Alcance

A continuación se detallan las tareas realizadas en la realización de este proyecto.

Análisis de los sistemas de captura de movimiento. En un primer lugar se llevó a cabo una familiarización con los sistemas de captura de movimiento a utilizar, funcionamiento, parámetros a tener en cuenta, tipología de los datos recogidos y a analizar, etc. así como el aprendizaje del uso del software *Move Human*, desarrollado por el grupo IDERGO y sobre el cual implementaremos nuestro desarrollo.

Estudio de los modelos humanos que se estaban utilizando. Se realizó una labor de estudio acerca de los modelos humanos que se empleaban hasta el inicio del proyecto incluyéndose en el mismo desde el estudio de los parámetros que los definen, tanto a nivel de jerarquía del esqueleto del personaje, como de la calidad y parámetros de la topología de la malla hasta la definición del mapa de texturas. Se tomó para ello como punto de partida documentación y estudios realizados por el grupo anteriormente.

Evaluación de software de creación de avatares. Se realiza un análisis comparativo de los softwares que actualmente existen en el mercado para creación de avatares humanoides partiendo de un modelo base completamente parametrizado. Tras la conclusión del análisis se optó por la utilización de Poser, 3D Studio Max y DAZ Studio destinándose un periodo del trabajo al aprendizaje y manejo de los mismos.

Análisis antropométricos. El estudio bibliográfico necesario para identificar los parámetros antropométricos requeridos para una correcta caracterización de nuestros avatares de cara a conseguir una representación de la mayor parte de la población a estudio fue también llevado a cabo. Se realizó una búsqueda de índices antropométricos que, de forma paramétrica, permitieran adaptar nuestro avatar al sujeto objeto de estudio en el momento de realizar la captura.

Diseño y creación de los avatares. Recopilados todos los datos e información necesaria, se procedió a la creación de una biblioteca compuesta por 30 personajes cubriendo todo el abanico poblacional al que está dedicado el estudio, y extrapolable a cualquier población.

1.3. Antecedentes

Los avances en el mundo de la informática y en particular, de los modelos humanos virtuales, avanza rápidamente y esto obliga a realizar continuas actualizaciones en el desarrollo, consiguiendo así adaptarnos a las cualidades gráficas, es decir, al realismo que actualmente consiguen los software de animación e industrias del mundo de los videojuegos. El presente trabajo se encuentra enmarcado dentro del Proyecto “*Validación de un sistema para la evaluación de la capacidad funcional de la columna cervical y hombro basada en medidas objetivas de movimientos y esfuerzos*” fruto de la colaboración del grupo IDERGO con la empresa FREMAP.

Dicho proyecto persigue el desarrollo y validación de un sistema basado en sistemas de captura de movimiento que, permita analizar la realización de pruebas mediante dispositivos físicos y virtuales para, en base a ello, valorar de forma objetiva la capacidad funcional de las articulaciones del hombro y la columna así como el grado de colaboración del sujeto en cuanto a ejecución durante la realización de las mismas.

Este trabajo surge de la necesidad de mejora de los actuales avatares utilizados por los sistemas de Captura de Movimiento (Mocap), necesidad detectada gracias a la experiencia acumulada por el Grupo e investigación en trabajos anteriores y que ha permitido posibilidades de mejora encaminadas a aumentar la precisión y objetividad de los datos recogidos consiguiéndose así una mayor calidad de la aplicación.

Se comienza con un estudio del estado de la técnica en el campo de los modelos humanos en 3 dimensiones y de dichos sistemas así como con la detección y planteamiento de las mejoras a realizar y necesidades a cubrir. Se realiza así mismo una comparación y análisis de las aplicaciones de software que van a ser requeridos para su creación y se preparan los correspondientes protocolos que aseguran la repetitividad del proceso y la optimización de las fases de diseño.

2. Estado de la técnica

A continuación se presenta la revisión bibliográfica realizada para este estudio, siendo analizados los métodos de captura utilizados y las aplicaciones para las cuales se han desarrollado los avatares. Se realiza un estudio de los actuales avatares que utilizan otros grupos para aplicaciones similares. Y la última parte, es un estudio de los parámetros antropométricos e índices utilizados de forma internacional para la caracterización morfológica de sociedades y etnias.

2.1. Los sistemas de captura de movimiento

Hace muchos años que se comenzaron a desarrollar los sistemas de captura de movimiento. Aunque pueden parecer técnicas muy novedosas, se considera que los sistemas de captura y representación del movimiento tienen sus inicios a principios del s. XX y no con la llegada de los ordenadores (2). En 1915 Max Fleischer inventó el rotoscopio y este es considerado el comienzo de la captura del movimiento.

Las técnicas de captura de movimiento han sufrido grandes avances en los últimos años y han ido ganando importancia, esto ha sido presentado en varias de las principales revistas internacionales como *International Journal of Computer Vision (IJCV)*, *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, *IEEE Transactions on Pattern Recognition and Machine Intelligence (PAMI)*, and *Image and Vision Computing (IVC)*, así como conferencias internacionales de prestigio y talleres tales como *International Conference on Computer Vision (ICCV)*, *IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, *European Conference on Computer Vision (ECCV)*, *Workshop on Applications of Computer Vision (WACV)*, and *IEEE International Workshop on Visual Surveillance (IWVS)*. Pero estos avances pocas veces se producen en el ámbito biomédico que es el que nos ocupa.

A continuación se presenta una breve revisión de los sistemas de captura utilizados para la realización de este estudio.

Los sistemas ópticos.

Son sistemas muy comunes y muy consolidados dentro del campo de la captura del movimiento. Habitualmente, los sistemas ópticos deben realizarse en un laboratorio y consisten en la colocación de una serie de cámaras infrarrojas o de luz blanca, rodeando el área de captura. Sobre el cuerpo del sujeto se colocan una serie de elementos identificativos denominados marcadores. Dependiendo del tipo de marcador o del método de captura, se colocaran marcadores en huesos o en articulaciones específicas. En otros casos lo que se utiliza son “*trackables*”, unos elementos físicos compuestos por

marcadores que se colocan en el cuerpo del sujeto y que el software de captura identifica. Para nuestro estudio utilizamos el sistema Optitrack (3) este sistema frente a otros, como el sistema VICON, puede conseguir una muy buena precisión siendo bastante más económico.

En los últimos años se está investigando acerca de sistemas de captura ópticos que no necesiten disponer de marcadores o “trackables” en el cuerpo del sujeto para la identificación de huesos o articulaciones.(4), también denominados markless, y lo que se destaca es que hay una necesidad por desarrollarlos y mejorarlos para que estos no obstruyan o afecten al movimiento natural que se desea capturar. En el campo de los videojuegos y el cine ya se utilizan, pero en las aplicaciones biomecánicas, médicas y deportivas son sistemas limitados debido a su inexactitud, aunque es una inexactitud que no se considera irremediable, sino que muchos factores son participes, tales como el número de cámaras, donde 8 se considera el mínimo aceptable, el tamaño del objeto a capturar o la calidad del equipo **y el realismo del avatar que se utilice**. Finalmente la conclusión es que estos sistemas llegarán a perfeccionarse y que la implementación de esta nueva tecnología permitirá realizar evaluaciones más sencillas, más eficientes en tiempo, y potencialmente más significativas de la marcha de la investigación y la práctica clínica.

Sistemas iniciales

Aunque el resultado del proyecto que nos aborda es aplicable tanto en sistemas ópticos como iniciales, los sistemas iniciales tienen la ventaja de poderse utilizar casi en cualquier espacio (les afectan las perturbaciones magnéticas), no tienen el problema de las occlusiones y existen con tecnología wireless, lo que permite una gran libertad de movimiento, incluso son sumergibles en agua y tienen un precio razonable(5).

Consisten en una serie de sensores iniciales que combinan la señal de un giroscopio, un acelerómetro y un magnetómetro, y que recopilan los datos de las rotaciones que se producen relativas entre ellos. Los sensores se deben colocar en las longitudes corporales que queremos medir(6). Existe un fuerte interés en que correspondan las longitudes de los huesos del avatar con los del sujeto real, ya que esa distancia se utiliza en los cálculos para la obtención del resultado final, en algunos casos se utilizan poses de calibración para ajustar esas longitudes, el sujeto debe recibir una instrucción para repetir esas posturas varias veces durante la calibración (7).



Figura 1 Traje de la compañía Xsens compuesto de 17 sensores iniciales y magnéticos que se comunican con el ordenador a través de conexión Wireless
5

2.2. Aplicación de los sistemas de captura de movimiento.

Debido a ese gran avance y desarrollo dentro del mundo de la captura de movimiento se están abaratando los costes de producción de esta tecnología, lo que está permitiendo que más gente se familiarice con ella y vayan surgiendo aplicaciones nuevas (8).

Nuestro campo de aplicación se encuentra dentro de los estudios ergonómicos y biomédicos principalmente, es por esto que analizamos más en profundidad lo que actualmente se está realizando en estos sectores.

Aplicaciones ergonómicas

En este estudio analizamos 2 casos de evaluación ergonómica que son en los que principalmente se trabaja dentro del grupo y que son a los que realmente se pretende dar aplicabilidad con los nuevos avatares

La aplicación deportiva. En muchos casos se utilizan los sistemas de captura para la evaluación ergonómica en deportes (9), o para la evaluación de las herramientas que son necesarias para realizar ese deporte, como una raqueta o una bicicleta (10). Se pueden colocar los marcadores tanto al sujeto como a la bicicleta (Figura 2) y tras la captura analizar los movimientos en el ordenador.

La aplicación industrial. Se estudian y analizan los puestos de trabajo de las plantas de fabricación para el análisis de la postura y mejora de la ergonomía de un puesto, reduciendo así las bajas por accidente laboral y las perdidas gananciales. Este estudio puede realizarse incluso antes de implantar de forma real el puesto o la planta de fabricación, usando un escenario ficticio y un entorno virtual (11) combinan las técnicas de Mocap (Motion Capture) con DHM (Digital Human Model) Simulation que son técnicas de creación de movimiento sintético para la evaluación de actividades en el campo industrial. Siguen un flujo de trabajo en el que analizan las tareas que se realizan en cada puesto, tras la captura, acaban de completar movimientos o fuerzas con programas de DHM.

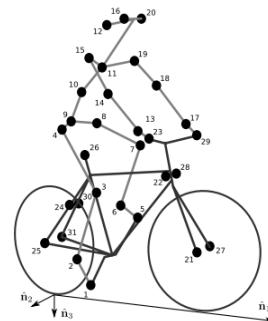
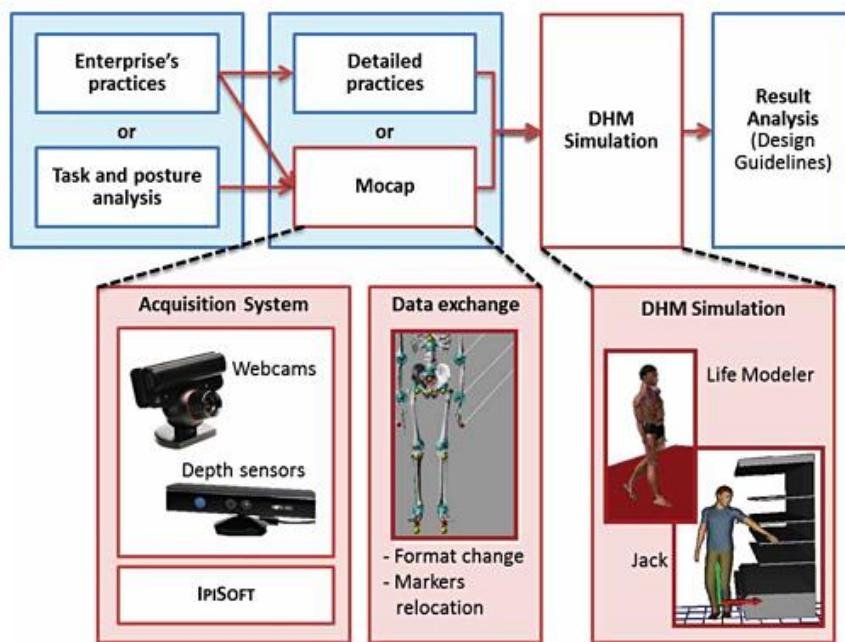


Figura 2 Marcadores situados en el sujeto y en la bicicleta.

Figura 3 Rol del Mocap y del DHM⁸

En el grupo IDERGO también se han desarrollado métodos para las evaluaciones ergonómicas en puestos laborales (12, 13) encontramos una descripción detallada de un sistema desarrollado para evaluar los riesgos derivados de la realización de tareas repetitivas a alta frecuencia. Esto se realiza capturando el movimiento del sujeto con una serie de sensores iniciales y aplicando posteriormente un análisis de esfuerzos dinámicos sobre un modelo humano digital (DHM), donde se hace hincapié en que el avatar que representa el movimiento durante la captura debe mantener las proporciones del sujeto real para una correcta lectura de los datos por los sensores. Una vez que se hace el análisis de los datos recogidos, estos se aplican a los diferentes percentiles antropométricos europeos, 05, 50 y 95 utilizando las medidas contenidas en las normas internacionales UNE EN ISO 7250:1998 y UNE EN 547-3:1997 (14, 15) para poder así extrapolar los resultados obtenidos del sujeto analizado a un sujeto representativo de la sociedad como es un percentil concreto y poder hacer diseños de puestos “universales” en los que pueda trabajar cualquier persona sin riesgo (16)

Aplicaciones biomecánicas y médicas

El uso de sistemas de captura de movimiento en aplicaciones biomecánicas y médicas (17) ha sufrido un gran impulso en el mundo de la investigación en los últimos 30 años. Estas aplicaciones van desde la detección de ciertas patologías, como en el caso de análisis de la marcha (18, 19) hasta poder tratar esas patologías por medio de la rehabilitación (20) llegando incluso a los hogares de la gente con proyectos como los desarrollados para la Kinect (Microsoft), la cual ya se compara a sistemas tan precisos como VICON (21).

En el área de la capacidad funcional encontramos también estudios acerca de una valoración de la capacidad de una persona, pudiendo determinar de forma objetiva si sufre o no una patología o disminución física, el proyecto que nos ocupa está enmarcado en el desarrollo de un sistema y un dispositivo para la evaluación de la capacidad funcional (22, 23) .

2.3. Modelos Humanos Digitales

Como hemos visto en los apartados anteriores, las aplicaciones de MoCap han aumentado en los últimos años, y esto repercute en una necesidad de mejorar los avatares o modelos humanos utilizados por estos sistemas. Los aspectos de los Modelos Humanos Virtuales que son objeto de investigación y desarrollo son (24):

La apariencia: Los Modelos Humanos Digitales deben parecer personas reales. Deben imitar sus facciones, sus formas corporales, las texturas de la piel, el peinado e incluso la ropa.

El movimiento. Es muy importante conseguir una calidad de movimiento del DHM realista, suave y flexible, esto se consigue mediante modelos paramétricos y debe resultar realista tanto en movimiento sintético (creado manualmente con un programa de animación) como durante la captura de un movimiento.

Comportamiento realista. Se está investigando mucho en el ámbito de comportamiento de los DHM de forma autónoma, tanto en expresiones faciales como en movimiento. Es el principal desafío y donde desafortunadamente no se pueden esperar mejores resultados.

Hay mucha documentación sobre cómo crear modelos humanos, el libro ***Handbook of virtual human*** (25) como su nombre bien indica, es una completa guía sobre la historia, creación y animación de modelos humanos virtuales, donde diferencian la creación de avatares en las siguientes 3 fases:

Creación del esqueleto del avatar. El avatar se compone de un sistema esquelético compuesto de *Joints*, que son las articulaciones que unen los *bones*, que son los huesos. En cada *Joint* se especifica los grados de libertad de esa articulación. Y todo este sistema debe estar bien jerarquizado (26) en un sistema de “padres” e “hijos” donde los padres arrastran a sus hijos durante la realización de movimientos. El hueso padre de todos es la Pelvis, y la cantidad de huesos o articulaciones que se quieran definir dependerá de la aplicación final del avatar y la precisión que se quiera conseguir(27), la norma DIN EN ISO 15536 (28, 29) “Ergonomía- maniquís informatizados y plantillas de cuerpo humano” especifica en 15 el número mínimo de huesos necesarios en un avatar y hasta en 60 si se añaden huesos representativos de las falanges.

La piel exterior. Esto se refiere a la malla que envuelve el esqueleto y que representa la forma humana, esta malla está compuesta de una serie de elementos poligonales, que bien pueden estar modelados con un software comercial o que pueden provenir de un escaneado 3D de la persona que se quiere representar(30). Esta malla se divide por segmentos y se asigna a cada uno de los *bones* del esqueleto para que le acompañe en el movimiento y conseguir así simulación realista del movimiento humano.

La texturización de la malla. La textura es la fase de acabado, es un mapa de imagen que se asigna a la malla para darle el aspecto real, las características cualitativas del personaje, color de la piel, de los ojos, sombras para crear relieve que con la malla sería muy difícil crear. También nos permite obtener un avatar representativo de una persona con solo una fotografía de la misma (25). Y finalmente nos permite dar calidad y realismo a una malla de baja definición, es decir, con un bajo número de polígonos.

Por último nombrar a modo de revisión algunos artículos basados en los modelos humanos utilizados/diseñados por otros grupos de investigación.

Accurate human motion capture using an ergonomics-based anthropometric human model

(27). Se analiza el modelo humano RAMSIS (Figura 4). Un modelo diseñado dentro del mundo de la automoción para la realización de análisis ergonómicos y de simulaciones de crash (31). Este modelo representa los percentiles de varios países internacionales entre ellos Alemania, EEUU, México, Europa Japón, etc. El modelo se valida en el artículo comparando los resultados de las simulaciones realizadas, con test de crash hechos con cadáveres (PMHS). Los resultados indican una correcta correlación y además el modelo RAMSIS es alabado por los autores por su disponibilidad en los diferentes percentiles y su parametrización en ciertos valores morfológicos. Por el realismo del maniquí y por último por su buen rendimiento computacional.



Figura 4 Modelo Humano RAMSIS

Ideas and methods for modeling 3D human figures: the principal algorithms used by MakeHuman and their implementation in a new approach to parametric modeling (32). Este trabajo presenta brevemente los algoritmos básicos utilizados y su aplicación en un nuevo contexto desde el punto de vista de la relación entre el artista y el ordenador. El problema que plantean es el desarrollo de una herramienta validada para el modelado de

humanos virtuales, con un sistema de huesos y simulación del movimiento muscular. Desarrollan una interfaz nueva más fácil de usar y más intuitiva, para facilitar esta labor a los usuarios. El software es MakeHuman (33) el conocimiento, el código, los algoritmos y la tecnología desarrollada por el equipo se comparte libremente con el mundo. Desde la primera versión, utiliza una malla única, que ha evolucionado a través de comunicados sucesivos, incorporando la retroalimentación de la comunidad y el resultado de los estudios y la experimentación.

"Automatic Generation of Personalized Human Models Based on Body Measurements." status: published (2011) (34). El objetivo de este estudio es evaluar el número de parámetros de entrada (conjunto de características antropométricas) necesarias para conseguir la exactitud necesaria de los modelos de cuerpo humano para la integración en el diseño ergonómico de los sistemas para dormir. Se utiliza un modelo de superficie genérico que puede ser personalizado en base a un conjunto seleccionado de parámetros de entrada antropométricos.

El modelado marco consta de tres pasos: la construcción de una base de datos, la extracción de los parámetros que influyen en la generación y el modelo. Para la base de datos participan un total de 60 sujetos, de los cuales se obtiene una serie de mediciones del cuerpo. 29 medidas corporales unidimensionales, incluyendo el sexo, la edad y el peso. Después, se utiliza la interfaz de proyecto MakeHuman para seleccionar algunos de los parámetros corporales medidos como entradas del modelo y devolver un modelo que corresponda en la forma del cuerpo, como salida, sobre la base de técnicas de morphing. Los resultados indican que cuando se utiliza seis parámetros de entrada: el sexo, la edad, talla, peso, circunferencia de la pelvis de anchura y acromion - los modelos resultantes tienen una precisión suficiente (error cuadrático medio de $5,0 \pm 3,5\%$) mientras que todavía da una representación suave del cuerpo humano necesario para el reconocimiento de la postura en la ergonomía durante el sueño.

"What is an Attractive Body? using an Interactive 3D Program to Create the Ideal Body for You and Your Partner." PLOS ONE 7.11 (2012) (35). En este trabajo utilizan el software DAZ 3D Studio para realizar un estudio sobre como determinan los hombres y las mujeres la figura ideal de sus parejas. Se realiza un estudio con 40 mujeres y 40 hombres caucásicos a los que se les pide modificar los hasta 94 parámetros antropométricos que permite DAZ 3D Studio (usando los paquetes 'Body morphs' y 'Body morphs++' de Daz3D) para que consigan representar lo que para ellos es un cuerpo ideal. El uso de los modelos Michael 4.0 y Victoria 4.2 y el foto realismo del programa permite que los usuarios verdaderamente se sientan identificados y los resultados conseguidos son que ambos sexos coinciden con el IMC y forma corporal perfecta para ellos y sus parejas y que la forma de la parte superior del cuerpo incluyendo el torso son las que más influencia tienen en esta decisión.

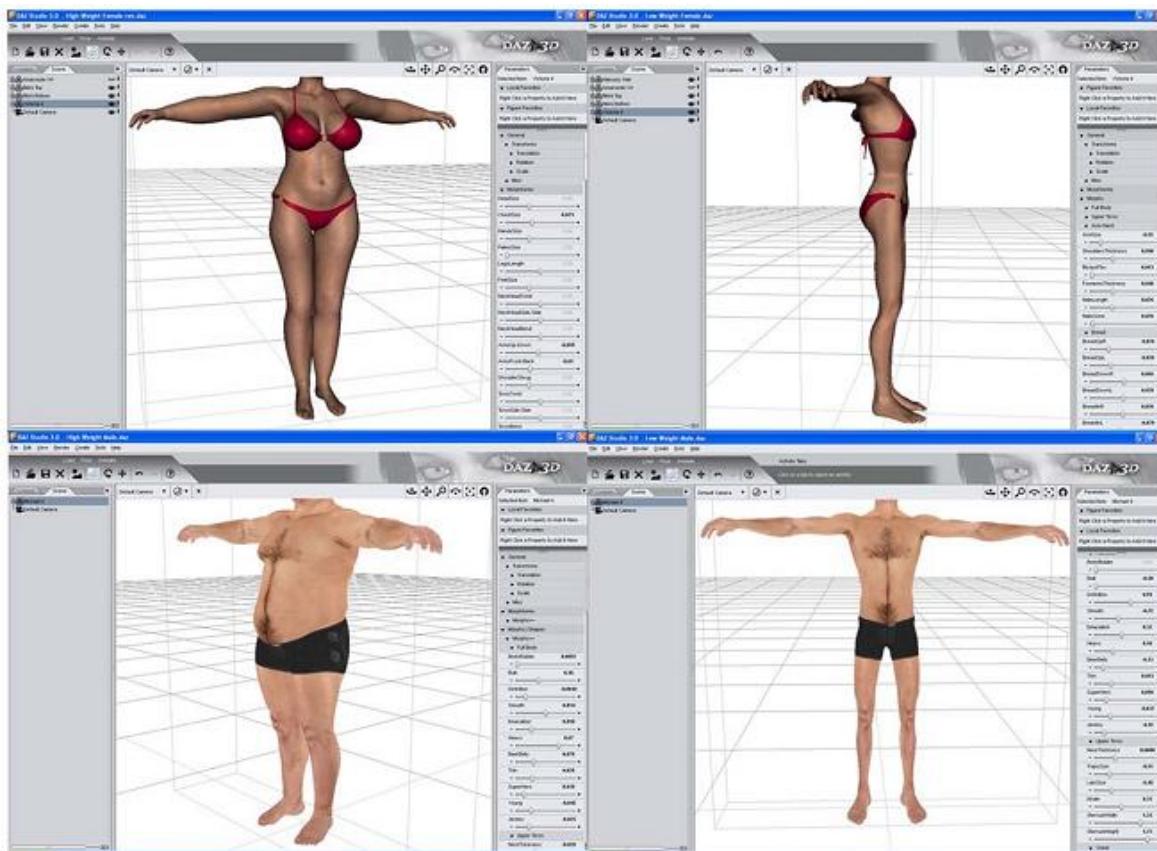


Figura 5 Un ejemplo de la interfaz Daz3d, con algunos de los cuerpos masculinos y femeninos creados con los paquetes de morfologías utilizados dentro del estudio

Paquet, Viktor “**Adjustment of virtual mannequins through anthropometric measurements, cluster analysis, and content-based retrieval of 3-D body scans.**” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 56(5), pp. 1924.* (36) refleja la necesidad de tener Modelos Humanos Virtuales realistas, que realmente represente la complejidad morfológica del cuerpo humano, en su trabajo y deciden presentar un enfoque para ajustar los modelos mediante el uso de medidas antropométricas, obtenidas por técnicas de optometría (escáneres 3D) sobre diferentes grupos de personas. Los maniquíes virtuales se ajustan entonces mediante el uso de las mediciones antropométricas del miembro del grupo más cercano, estos grupos pueden realizarse en base a datos antropométricos o demográficos. De esta manera, se crean maniquíes virtuales precisos y realistas. Este grupo utiliza la base de datos CAESAR™ de la que hablaremos un poco más en el apartado en el Anexo I ANTROPOMETRÍA. Y concluyen con la utilidad de poder obtener modelos virtuales que se ajusten a la realidad y que nos permite obtener diferentes grupos diferenciados o bien por los datos antropométricos o tener una división por datos demográficos.

2.4. Software de creación de avatares

Para la creación de los personajes hemos utilizado el software DAZ 3D™ Studio(37, 38), concretamente la versión 4.6, este software nace de la empresa Zygote(39) que actualmente se dedica al diseño de modelos anatómicos para sectores como la educación. Existen más programas muy utilizados para la creación de avatares virtuales, como MakeHuman (33), Poser® o Maya (40), pero nos decantamos por DAZ puesto que la anatomía de los personajes y la versatilidad morfológica, se puede representar la morfología de una embarazada(41), que permite la extensión Génesis y Génesis 2, es realmente buena. El software base es gratuito pero nosotros hemos adquirido los modelos estándar Victoria 6.0 y Michael 6.0, modelos humanos 3d que tienen una larga carrera dentro del mundo de los avatares virtuales, y que además son personajes muy realistas, con un nivel de texturas y topología de malla excelente(42)

Además adquirimos tanto los módulos de morph (Male body Morph and Female body Morph) como un módulo de medida (measure metrics) para poder tener en el programa una amplia posibilidad de variaciones antropométricas de la figura y una herramienta de medición de distancias, ángulos y perímetros. Estas herramientas nos han permitido ajustar la fisionomía de nuestro avatar al de una persona representativa de cada percentil de la población española y aplicar gran cantidad de medidas como parámetros de entrada obteniendo así un modelo de salida que representa realmente esos percentiles descritos.

2.5. Datos antropométricos

La antropometría es la ciencia de las mediciones que se utiliza para establecer la geometría física, propiedades de masa, y las capacidades de fuerza del cuerpo humano. La antropometría es el estudio de las medidas humanas corporales (altura, peso, tamaño, proporciones, etc) y sus características biomecánicas. El nombre deriva del griego anthropos, lo que significa ser humano, y metrikos, que significa "perteneciente a la medición". Las medidas antropométricas son críticas para el análisis y el desarrollo de los requisitos de diseño de ingeniería con el fin de ayudar a evaluar, por ejemplo, las distancias para llegar a los controles o para separar claramente el cuerpo de los peligros ambientales (43). La ciencia de las medidas del cuerpo humano tiene una amplia aplicación al especificar los requisitos de ingeniería para la iluminación, los teclados, los simuladores de vuelo, y el modelado físico, entre muchos otros. Los datos antropométricos, por lo tanto, se refieren a un conjunto de dimensiones físicas de un cuerpo humano. El objetivo es caracterizar el cuerpo humano por un conjunto de mediciones. Encontraremos los datos antropométricos utilizados y diferentes bases de datos en el Anexo I Antropometría.

Los modelos generados por ordenador del cuerpo humano en general, no representan adecuadamente la compleja morfología humana. Estos modelos, por lo tanto, no reflejan las realidades antropométricas y no son lo suficientemente específicos como para uso comercial. Esto es algo de lo que varios autores son conscientes 2.3 *Modelos humanos Virtuales* (36)'(34).

Debido entonces a esta evidente necesidad de fidelidad y realismo en los modelos humanos virtuales se procede a realizar un estudio de cuáles son los datos antropométricos necesarios, cuáles son las bases de datos que podemos encontrar, que índices antropométricos representan mejor la morfología humana y que normativa se debe cumplir para poder validar el modelo.

Los datos antropométricos que utilizaremos son las medidas longitudinales de los distintos segmentos del cuerpo y los perímetros de ciertas partes como puede ser el perímetro de cintura, cadera o torácico. La normativa vigente que veremos un poco más adelante y la revisión del trabajo de otros grupo de investigación nos definirá la cantidad de medidas que debemos aplicar en nuestro modelo para que este sea completamente útil y funcional.

2.6. Parámetros de representación morfológica

En este trabajo se pretende representar, con modelos humanos virtuales, de la forma más precisa posible la antropometría y la morfología de los sujetos a estudio con los sistemas de captura de movimiento.

La obesidad o sobrepeso es definido por la OMS como: "El sobrepeso y la obesidad se definen como una acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud". Por tanto se ha realizado un estudio para valorar que índices antropométricos son los más adecuados para la representación de la obesidad, es decir, su morfología, y de los riesgos cardiovasculares y metabólicos del sujeto.

Aplicando estos índices antropométricos como parámetros de entrada a nuestro sistema conseguimos que nuestro avatar nos dé más información sobre el sujeto que representa y ayude en el proceso de identificación de las causas de la anormalidad o limitaciones en la realización de un movimiento o de una patología.

Índices antropométricos

Cuando hablamos de índices de representación morfológica nos referimos principalmente a índices antropométricos que definen la cantidad de grasa visceral de un sujeto y/o la cantidad total como hace por ejemplo el índice de masa corporal (IMC). Diferentes distribuciones del tejido adiposo pueden asociarse a un incremento del riesgo cardiovascular e incluso la muerte (44). Estudios que correlacionan índices que miden la

cantidad de grasa abdominal o visceral como en el caso del índice cintura cadera (ICC) y otros utilizados de forma habitual para determinar la obesidad de una persona, concluyen que ni el IMC, ni el grosor de los pliegues cutáneos están asociados a riesgos cardiovasculares o a la muerte, en cambio si se declara que fumar es un factor que aumenta claramente el riesgo y que es más importante como está distribuida la grasa en el sujeto que la cantidad total de la misma. La grasa abdominal (también llamada visceral) es un indicador del riesgo cardiovascular más preciso que otros índices que indican el grado de obesidad, pero que no es independiente de otros factores como el nivel de colesterol o la presión arterial (45, 46).

Índice de masa corporal IMC (body mass index BMI)

Aunque el IMC es un medidor del grado de obesidad ampliamente extendido en el mundo de la salud, la OMS establece los cut-off de obesidad basándose en este índice, hay muchos especialistas que opinan que no es el mejor indicador para la valoración de los riesgos cardiovasculares y metabólicos que son parte de los efectos de la obesidad. Esto se debe fundamentalmente a que se basa en la relación del peso y la altura, por lo tanto no diferencia entre la cantidad de masa adiposa y masa magra (47).

El IMC tiene una buena especificidad pero una baja sensibilidad del diagnóstico, esto ocurre de forma acusada en ámbito pediátrico donde solo tiene una correlación considerable en los percentiles más altos (48). Debido a que el IMC se calcula usando la

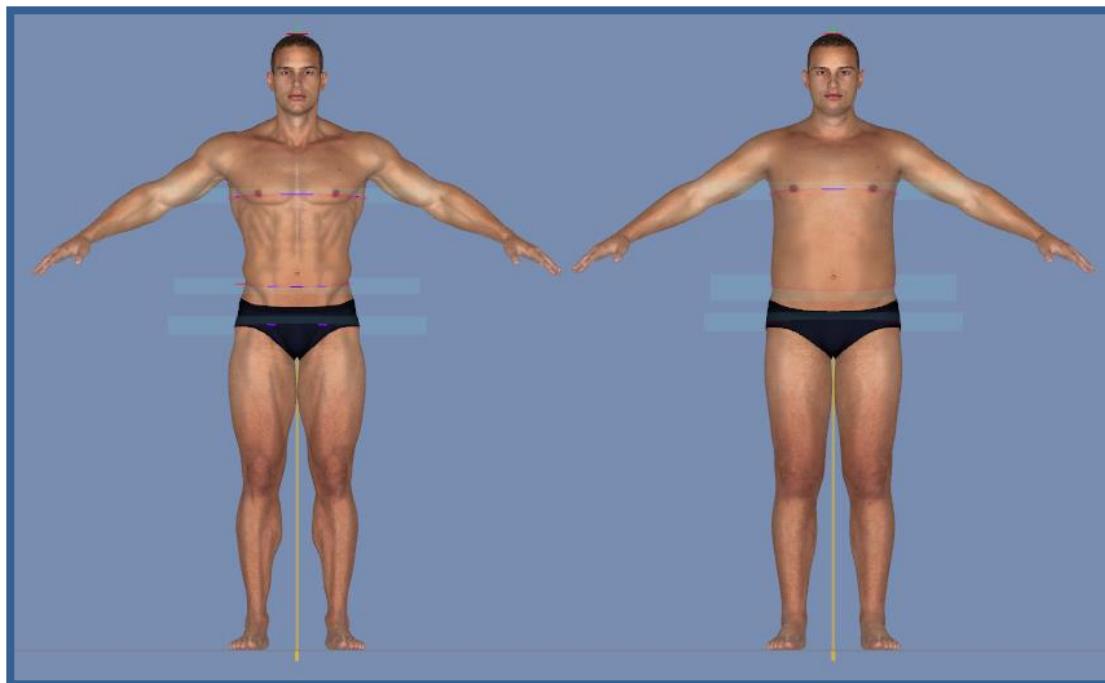


Figura 6 El IMC no distingue entre el peso generado por la masa magra y el peso generado por tejido adiposo, estas dos figuras podrían compartir el mismo IMC.

masa corporal total y no existe diferenciación entre la masa magra y la adiposa, contiene dos factores biológicos opuestos, ya que mientras el tejido adiposo se relaciona con resultados nocivos para la salud, el magro se asocia positivamente con la aptitud física, un mayor gasto calórico y la capacidad de ejercicio, todo ello asociado a una mejor supervivencia y claramente la diferente proporción en cantidades de ambas tiene como resultados perfiles morfológicos diferentes como se muestra en la Figura 6.

Además los valores establecidos para la definición de normalidad, sobrepeso, obesidad o infrapeso no son válidos para todas las razas o etnias (49) los valores límites que establece la OMS para la obesidad no son válidos para la población asiática. Aunque ya ha establecido nuevos valores para esta población ante la evidencia de varios autores chinos(50), japoneses(51), taiwaneses(52), indios(53), etc. coinciden en que esos primeros valores no son válidos.

Circunferencia de la cintura CC (Waist circumference WC)

La circunferencia de la cintura es otro índice utilizado junto con el IMC para la determinación de riesgos derivados de la obesidad. Este índice es utilizado por el instituto nacional de salud americano (NIH) como un complemento al IMC. Pero hay autores (54) que demuestran en su estudio que el CC es un indicador por sí mismo del riesgo derivado de la obesidad mejor que el IMC. En casos en los que una persona tiene un CC elevado tiene un riesgo mayor aunque su IMC este dentro de los valores normales. Por lo tanto el CC es un predictor independiente y que junto al IMC predicen las enfermedades cardiovasculares y sus factores mejor el IMC solo. Esto es debido a que la cantidad de grasa visceral es el principal predictor de los riesgos cardiovasculares y sus factores y esta se concentra en el área abdominal de a persona (45).

La obesidad visceral o abdominal se puede determinar fácilmente en la práctica clínica diaria mediante la medición del perímetro de la cintura en centímetros (cm), ya que diversos estudios clínicos demuestran que la grasa visceral, medida mediante tomografía computarizada a nivel de L4-L5, presenta un alto grado de correlación con el perímetro de cintura, y que esta correlación no está influida por el sexo ni por el grado de obesidad (46). Sin embargo, no existe un acuerdo unánime sobre cuál debe ser el punto de corte en cuanto al valor de la circunferencia de la cintura a partir del cual el exceso de grasa visceral se acompaña de un aumento claro del riesgo cardiovascular y para la definición del síndrome metabólico, al igual que sucede con el IMC para delimitar los niveles de riesgo, dependiendo del sexo, la etnia o la edad, estos valores cambian, por lo que no se pueden establecer unos márgenes universales válidos y esto complica su aplicabilidad en el ámbito de la medicina general (45, 55).

Aunque el CC se ha considerado un buen indicador tiene imprecisiones como que 2 personas con diferente IMC comparten el mismo CC, como se muestra la Figura 7 siendo

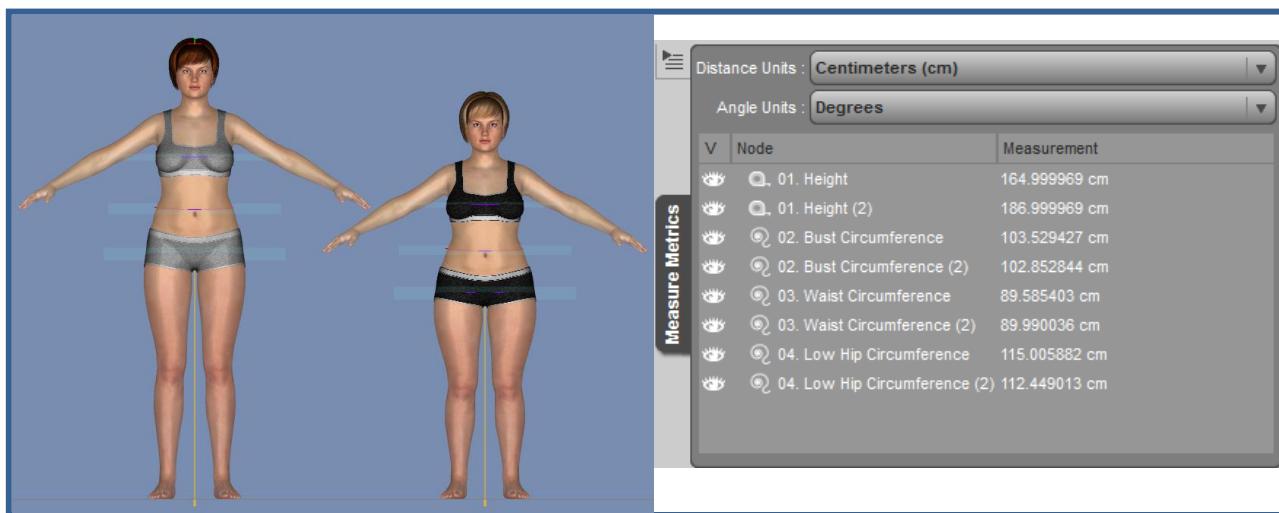


Figura 7 En la figura se muestra dos avatares que tienen diferente altura y misma cintura, el CC es de 90cm. La figura de la izquierda mide 1,87 con lo que estaría dentro de valores normales. La figura de la derecha mide 1,65, está dentro de sobrepeso.

del mismo sexo y de la misma raza, esto es debido a que parámetros antropométricos influyentes no se toman en consideración(56).

Índice Cintura Cadera ICC o C/C (Waist to Hip Ratio WHR)

En el caso del índice cintura cadera es aceptado por organismos como la OMS como un indicador tan válido como la circunferencia de la cintura. El ICC es el mejor discriminador de riesgo metabólico en el caso de los varones menores de 50 años. No sucede lo mismo en el caso de las mujeres donde el índice que obtiene mejor correlación es el ICT (57), aunque sigue siendo mejor que el IMC se aprecian imprecisiones debido a que el valor del índice puede ser el mismo aunque se produzcan cambios en la composición corporal, la covariancia de dos medidas de circunferencia es muy variable, y esa relación no tiene por qué variar al aumentar o disminuir de peso (58).

No se establecen unos Cut-off válidos para todas las poblaciones y edades y además se diferencian por sexos, el hombre puede llegar a una relación de 1 y la mujer siempre será inferior(59).

Es un error asumir que las personas con la misma ICC tendrán igual riesgo cardiovascular, independientemente de las diferencias del resto de medidas antropométricas. El porcentaje de grasa corporal y el ICC son mayores para las personas más bajas, en comparación con los individuos más altos con igual IMC (56).

Índice Cintura Talla ICT (Waist Stature Ratio WSR)

Hace más de 50 años que se destaca la importancia de la localización de la grasa con respecto a la grasa total en el cuerpo (60), A partir de aquí se comienzan a buscar nuevos índices, los comentados anteriormente. Cada vez son más los autores que rechazan los valores establecidos del IMC y buscan alternativas. Una de las últimas alternativas que han surgido es el índice de cintura talla (ICT), también llamado índice de cintura estatura (ITE).

Este índice relaciona el perímetro abdominal del sujeto, con su altura. Ésta última por lo general, se ha demostrado que tienen asociaciones inversas con la morbilidad y la mortalidad cardiometabólica (61), y esto es probablemente debido a la altura, además de tener un componente genético importante, también pueden reflejar las exposiciones tempranas de la vida en general (62) lo que proporciona una forma biológicamente plausible para explicar la superioridad de ICE sobre CC y el IMC también demuestran que el índice cintura/estatura tiene una mayor correlación que el índice cintura/cadera (52).

Se realizan estudios en 17 países diferentes que apoyan el valor límite de 0,5 para el WHtR, entre ellos hallamos caucásicos, asiáticos y centroamericanos. Lo que apoyaría científicamente a este índice como global y fundamentaría la frase de un peso por debajo de la mitad de tu altura (63).

Los valores límites se establecen de forma pragmática al igual que en el caso del IMC. El 0,5 como valor base ya había sido utilizado por otros autores (64) y además se traduce en la idea fácil de que tu peso tiene que estar por debajo de la mitad de tu estatura. Se necesitan más investigaciones para confirmar la idoneidad de estos valores límite para los niños. Aunque ahora hay buena evidencia mundial para el uso de ICE 0,5 (65) como el primer valor límite para el riesgo, los valores límite de 0,4 y 0,6 se establecieron en el razonamiento pragmático y es fundamental contar con datos de muchas otras poblaciones grupos para corroborar estas decisiones.

El problema del uso de la circunferencia de la cintura como indicador de obesidad abdominal, es que es diferente si es hombre o mujer y es diferente también dependiendo del grupo étnico (49). Por el contrario el índice de cintura estatura con el mero hecho de incluir la altura ya está solventando estas cuestiones como en el caso de los grupos étnicos donde los asiáticos debido a su baja estatura salían perjudicados si solo se tenía en cuenta la cintura abdominal, esta diferencia entre el CC y el ICT, es difícil de demostrar cuando la variación de altura en la población de estudio es pequeña.

Además este índice presenta otras ventajas como la facilidad de su obtención. La autoevaluación de la altura es conocida por ser más precisa que la del peso (66). Aunque el perímetro de la cintura se puede medir en diferentes sitios, la OMS y el NHI establecen

distintos protocolos para su obtención, se ha demostrado que esto no altera su predicción del riesgo (67).

Tabla Aswell (68, 69)

Esta tabla no es más que la representación gráfica del índice cintura talla. Diseñada y patentada por Ashwell ayuda a una visibilidad más rápida y práctica del riesgo cardiovascular y metabólica de una persona, es decir de su grado de obesidad, cantidad de grasa visceral.

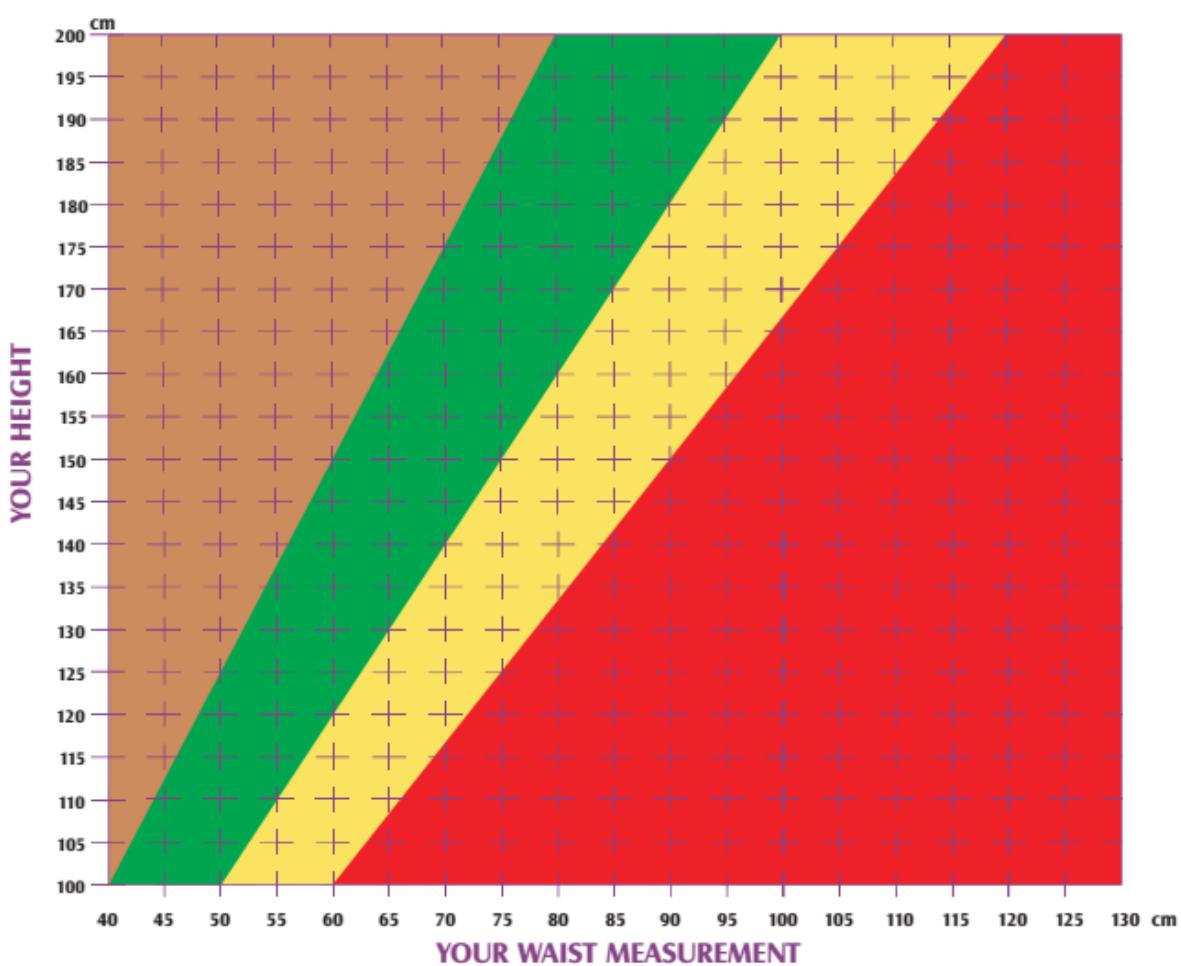


Figura 8 The Ashwell® Shape Chart basada en el índice cintura talla. (Copyright is held by Margaret Ashwell)(69).

Las indicaciones de uso que da el autor son: Esta tabla puede utilizarse para adultos (hombres y mujeres) y niños mayores de 5 años. En el eje x encontramos la medida de la circunferencia de la cintura (cm) y en el eje y la altura (cm). Los valores límite para la relación cintura-altura se fijan en 0,4 (marrón a verde), 0,5 (verde a amarillo) y 0,6 (amarillo a rojo). La zona verde indica normal. El área amarilla indica sobrepeso, preste atención, para adultos y obesidad, tenga cuidado, para los niños. La zona roja indica obesidad, tome medidas. La zona de marrón indica infrapeso, tenga cuidado.

2.7. Normativa

Para la realización de este proyecto ha sido necesario consultar y recopilar toda la normativa que afecta de forma directa e indirecta a nuestros avatares. Fundamentalmente la normativa que expresa las condiciones y los requerimientos que debe cumplir un maniquí virtual (avatar) para estar validado en el ámbito Europeo. Durante el texto encontraremos numerosas referencias a las normas que se citan a continuación.

UNE-EN ISO 15536-1 Ergonomía. Maniquíes informatizados y plantillas del cuerpo humano. (28, 29)

UNE-EN ISO 15537 Principios para la selección y empleo de personas en el ensayo de aspectos antropométricos de productos y diseños industriales. (70)

UNE-EN ISO 15535 Requisitos generales para el establecimiento de bases de datos antropométricos. (71)

UNE-EN ISO 7250 Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. (14)

UNE-EN ISO 20685 Metodología de exploración tridimensional para establecer bases de datos antropométricos compatibles de ámbito internacional. (72)

UNE-ENE 547 Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. (73)

En el Anexo II. NORMATIVA encontraremos una definición más detallada de en qué consiste cada una de las normas citadas.

2.8. Resumen del Estado de la Técnica.

Los avatares deben representar el movimiento recogido tanto por sistemas ópticos como iniciales. Además de poder ser utilizados para la creación de movimiento sintético o simulación de levantamiento de cargas. Deben cumplir la normativa establecida que le aporta validez y fidelidad al modelo.

Los sistemas con sensores iniciales presentan ventajas frente a los ópticos, no presentan occlusiones, se pueden utilizar fuera de un laboratorio, pueden sumergirse en el agua y tienen un precio razonable. En el caso de los ópticos además de rotaciones capturan los desplazamientos, con lo que calculan las longitudes de los huesos por sí solos, esto da como resultado mayor precisión en la obtención de los resultados. Búsqueda de la precisión de los ópticos con la ventaja de los iniciales.

Existe un claro interés en el diseño de avatares parametrizados que faciliten la tarea de adaptación del avatar al sujeto. En la documentación analizada durante el estudio se determinan 29 medidas corporales como el mínimo para representar la morfología humana. La norma UNE-EN ISO 15536 dice textualmente que “*la disponibilidad y precisión de los datos de las medidas del maniquí determinan la precisión y validez del mismo*”. Estas medidas pueden obtenerse realizando un estudio antropométrico a una muestra poblacional o utilizar las medidas recogidas en una base de datos antropométrica.

Interesa que se pueda adaptar el modelo humano al sujeto de forma ágil y objetiva, evitando así, que este deba ser instruido para la realización de calibraciones tediosas. Existen ya modelos basados en la representación de percentiles como el ejemplo RAMSIS que hemos visto en apartados anteriores, y tienen buena acogida en el sector industrial aunque no están diseñados para la representación del movimiento capturado en tiempo real. En este caso son modelos desarrollados virtualmente, en otros casos proceden de un escaneado 3D de personas reales.

Las claves para el diseño de un modelo humano virtual óptimo es cumplir los requisitos en cuanto a apariencia, movimiento y comportamiento del mismo durante la captura y la representación de la misma. Durante su creación hay 3 niveles que se deben abordar:

- Los huesos, la norma UNE-EN ISO 15536-1:2008 establece en 15 el número mínimo que deben tener. Cuanto mayor sea el número de huesos, más precisión obtendremos, pero también aumentará el coste computacional y económico. Se debe buscar un compromiso.
- Piel exterior, es necesaria una definición realista de la forma humana, pero teniendo en cuenta que debe componerse de una topología optimizada, a más

polígonos de la malla mayor coste computacional, algo a tener muy en cuenta durante las captura de movimiento en tiempo real. Se debe buscar un compromiso entre el número de polígonos y la calidad de la malla durante el movimiento.

- Texturas, son importantes para dar un acabado realista al avatar. La textura nos ayuda a compensar la disminución de polígonos en la piel exterior para el ahorro computacional.

El software DAZ Studio permite una amplia variedad de parámetros morfológicos y ha demostrado conseguir un gran realismo y resultados satisfactorios, además de un precio asequible.

Tras determinar que el perfil morfológico se define por la cantidad de grasa visceral y querer realizar una adaptación morfológica de los avatares, podemos concluir:

- Un claro rechazo, por parte de la sociedad científica, del IMC como un baremo objetivo del grado de obesidad. Su falta de diferenciación entre el tejido adiposo y el magro hacen que no sea un buen indicador de la morfología final del sujeto.
- El CC es un buen indicador de la cantidad de grasa visceral, y por lo tanto, del grado de obesidad. Pero tiene el problema de que no se ponen de acuerdo en los valores de corte que definen los grados de obesidad, influyen parámetros como el sexo, la etnia o la edad.
- El ICC al igual que el CC es un buen indicador de la grasa visceral y además al medir el parámetro de la cadera ya hace una diferenciación entre sexos. El problema es que dos medidas circunferenciales tienen una covarianza variable y si ambas medidas aumentan o disminuyen con la variación de peso, no lo detectan porque la relación entre ambas no tiene por qué variar. Además también hay discusión en los valores de corte para diferentes poblaciones, etnias o edades.
- El ICT o ICE parece ser el mejor indicador antropométrico para la definición del grado de obesidad. Incorpora la circunferencia de la cintura, que ya hemos determinado como válida para la medición de la grasa visceral. Y además lo relaciona con la altura, un parámetro que caracteriza los parámetros influyentes como son el sexo, la edad o la etnia. Con lo que se pueden determinar unos valores de cortes “universales” válidos para todos los individuos. En este caso 0,5, el valor de tu CC no debe superar la mitad de tu altura. Una definición sencilla de entender, y unas medidas fáciles de adquirir ya que solo se precisa de un metro. Además ya se han definido unos valores de corte 0,4 y 0,6 que nos indicarían los diferentes grados de infrapeso, sobrepeso y obesidad.

3. Instrumentación

La instrumentación utilizada en nuestro proyecto consiste en, el software desarrollado por el grupo IDERGO “MoveHuman-sensors” y un conjunto de sensores iniciales utilizados durante la captura. En el Anexo III encontramos una descripción más detallada de en qué consiste el software en el que posteriormente incorporaremos los nuevos avatares. Y un breve comentario sobre los sensores y las fijaciones diseñadas para su sujeción en el cuerpo de la persona que se va a ser capturada.

Al utilizar unos sensores iniciales habrá que tener en cuenta una serie de consideraciones importantes.

La orientación de los sensores se hará en base al propio eje X que aparece indicado sobre la superficie del sensor y que en las imágenes se identifica con una flecha de color rojo. La correcta colocación de los sensores en las diferentes partes del cuerpo es muy importante. Esta correcta orientación de los sensores se muestra en una imagen en el Anexo III INSTRUMENTACIÓN.

También será de gran importancia comprobar la correcta alineación de los sensores una vez han sido fijados. En el Anexo III también se indica mediante unas fotos, como deberían estar colocadas estas fijaciones en el cuerpo.

La otra consideración para nuestro sistema es que debemos asegurar que el sensor asociado a cada parte del cuerpo, permanezca perfectamente solidario a esa parte del cuerpo y durante todo el tiempo de la captura, con el fin de obtener resultados satisfactorios. Asimismo es también clave ubicar cada sensor en aquella zona donde la influencia del movimiento propio de la musculatura durante el movimiento no influya muy nocivamente en la calidad del movimiento resultante.

4. Diseño de los modelos Humanos

Después del análisis del estado del arte y del conocimiento de la técnica, software, hardware, fundamentos antropométricos y normativa. Se procede a la elaboración de unas especificaciones de diseño y unos objetivos a cumplir por nuestros avatares. Finalmente, se desarrollan los parámetros y procedimiento utilizados para su desarrollo.

4.1. Especificaciones de diseño

Las especificaciones de diseño, son las características y objetivos que deseamos que cumplan nuestros avatares. Se redactan en forma de puntos que nos guíen para la toma de decisiones durante el proceso de desarrollo. Así aseguramos la consecución de un resultado funcional y válido.

Estas especificaciones se basarán en el estudio realizado en los apartados anteriores, el conocimiento de la instrumentación, las directrices marcadas por el grupo IDERGO como objetivos del proyecto y la experiencia adquirida durante el aprendizaje de las técnicas de captura y uso de software. A continuación se enumeraran las propuestas divididas en 3 segmentos, funcionales, formales y de uso.

FUNCIONALES

- Adaptación al software “Move Human” para la representación del movimiento capturado.
- Correcta representación del movimiento capturado, asegurando el realismo en los movimientos de las articulaciones.
- Número y nombre de los huesos que componen el esqueleto del avatar adaptado al número de sensores disponibles y a la programación del software para su correcta integración.
- Adaptación y selección del avatar al sujeto de forma ágil y objetiva. Basada en medidas antropométricas cogidas directamente del sujeto (estatura y cintura)
- Creación de los avatares a partir de software que hayan sido adquiridos por el Grupo IDERGO.
- Correcta correlación entre la ubicación de los sensores y las partes del avatar a las que corresponde para mayor precisión en la captura de datos.
- Reducción de los tiempos de creación del avatar.

- Procesos objetivos.
- Asegurar la Repetitividad y reproducibilidad en el proceso de creación del avatar.

FORMALES

- Representación de la antropometría de la población sobre la que trabaja el grupo. Población española.
- Uso de los datos antropométricos proporcionados por el estudio realizado por el INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo)
- Representación de ambos sexos.
- Desarrollo de avatares representativos del percentil P5, P50 y P95 para aplicaciones de evaluación ergonómica.
- Aplicaciones de las medidas antropométricas como especifica la normativa vigente (posición, postura, nombre...)
- Desarrollo de avatares que además de la representación del percentil se adapten morfológicamente al sujeto al que se le realiza el estudio. Aplicación del índice antropométrico ICE (índice cintura estatura). Para su uso en aplicaciones biomédicas.
- Apariencia, comportamiento y movimiento realista.
- Vestimenta del avatar adaptada al entorno de trabajo.
- Cumplimiento de la normativa influyente en el diseño de avatares.

DE USO

- El sujeto debe sentirse identificado con la morfología del avatar y el movimiento que este realiza.
- El técnico que realiza la captura debe seleccionar correctamente el avatar que debe utilizar y diferenciarlo del resto.
- Optimización en la topología de la malla para un uso ágil por parte del ordenador. Sobre todo durante su uso en tiempo real.

- El técnico que realiza el análisis posterior de los datos pueda identificar el perfil morfológico de la persona que ha hecho el estudio.
- Avatares realistas que aporten seriedad a la prueba.
- Diseño de avatares válidos para sujetos de diferentes edades, sexos y etnias.

4.2. Representación de los percentiles

La representación antropométrica de los percentiles es fundamental para la validación de los mismos y cumplimiento de la normativa vista en el apartado 2.7. Es la forma normalizada de representar al porcentaje más alto de población y clasificarlo por sectores de medida. Como ya hemos visto en apartados anteriores ya son varios los autores y empresas que han aplicado sistemática a sus modelos humanos y han tenido éxito.

El percentil 05 representa el perfil poblacional más pequeño, un 5% de la población está contenido en estas medidas. El percentil 50 que representa el perfil medio, el 50% de la población está contenido en estas medidas. Y el percentil 95 que representa el perfil mayor y por tanto el 95% de la población está considerada dentro de ellas. A partir de estos datos, hemos creado 6 personajes. Tres de ellos representan varones, uno de percentil 5, otro de percentil 50 y otro de percentil 95. Los otros tres personajes corresponden igualmente a los 3 percentiles pero en el caso de la mujer.

La determinación de percentiles a partir de datos estadísticos, suponen algunos problemas inherentes, en particular referidos a los percentiles más extremos. Los avatares pequeños y grandes no pueden ser constituidos de forma que todos sus segmentos corporales tengan el mismo valor de percentil, los percentiles P5 y P95 están previstos, para que se adapten a los P5 y P95 de la estatura como nos indica que hagamos la norma UNE EN 15536. Pero esto da lugar a desviaciones en las dimensiones verticales que constituyen la línea de la estatura. Por lo tanto adaptamos la antropometría del maniquí identificando las dimensiones críticas, ajustándolas, y dejar el resto en función de la altura. Los valores P5 y P95 de espesor y anchura también se asignan a los correspondientes P5 y P95 de altura lo que conduce a combinaciones un poco raras en la realidad, pequeño y delgado, ancho y pesado(28).

4.3. Medidas aplicadas

En un primer momento, con la intención de validar nuestro modelo humano, cogimos la normativa europea UNE EN ISO 7250 que describe las medidas antropométricas establecidas para el hombre Europeo medio(14). El resultado de aplicar esas medidas estándar a nuestro modelo de forma rigurosa, nos dio como resultado el personaje que se

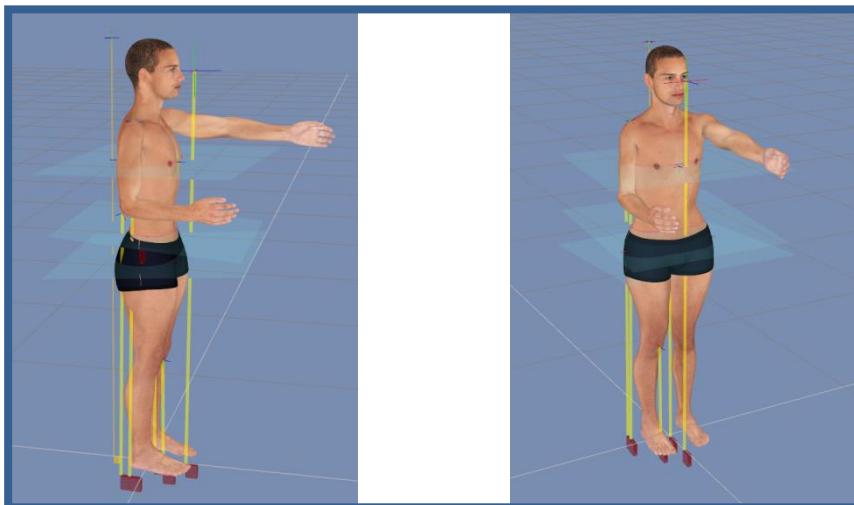


Figura 9 Modelo híbrido resultado de aplicar a la figura las medidas antropométricas de la población media Europea sin distinguir entre hombres y mujeres.

puede apreciar en la Figura 9, con proporciones extrañas debidas a la combinación de medias entre el hombre y la mujer, lo que tiene como resultado un híbrido que puede ser correcto a la hora de valoraciones ergonómicas para ambos sexos, pero que morfológicamente no sea un buen resultado. Y no solo morfológico sino que puede conllevar a errores durante la captura puesto que la persona que lleve puestos los sensores nunca se va a correlacionar con las proporciones del avatar.

Finalmente se decidió aplicar las medidas que podemos encontrar en el informe generado por el INSHT (15) donde tenemos un estudio muy detallado de la población española diferenciando hombres y mujeres. Los datos que se ofrecen en el informe son válidos ya que han sido sometidos al tratamiento apropiado y contrastados con otras bases de datos internacionales e incluso, utilizados para contribuir a elaborar la información contenida en las normas internacionales UNE EN ISO 7250:1998 y UNE EN 547-3:1997(3)(15).

El número de medidas que finalmente se han aplicado en nuestro avatar suman 41, en la norma UNE EN ISO 15536 se establecen 12 como mínimo para la validación. Se pueden encontrar toda la relación de medidas en el anexo y la tabla de medidas con el error diferencial y porcentual.

4.4. Representación morfológica

Además de la representación de los percentiles antropométricos queremos ajustarnos aún más al sujeto del estudio. Para esto se crean unos perfiles morfológicos basados en los niveles de obesidad establecidos por la OMS como normalidad, infrapeso, sobrepeso y obesidad. Con esto conseguimos una mayor correlación entre el avatar y el sujeto y por tanto más precisión y objetividad en la toma de datos.

Como la programación de modelos parametrizados que se ajusten dentro del propio

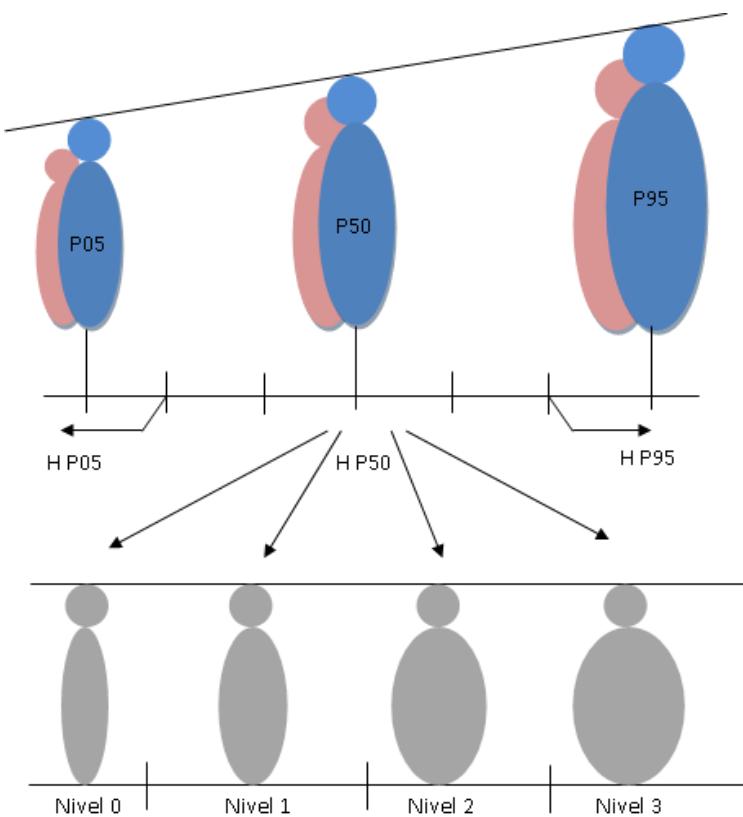


Figura 10 Estructura de distribución de los avatares.

software de “Move Human” no ha sido posible, se crean 4 modelos humanos con perfiles morfológicos diferentes para cada uno de los modelos que representan los percentiles P5, P50 y P95.

Para definir la morfología del avatar se utilizará el factor de Altura del percentil correspondiente. Con esta altura obtendremos la cintura que le corresponde a cada uno de los niveles, es decir se obtendrá de la tabla **Ashwell** la cintura que le corresponde a una persona en situación de infrapeso, de normalidad, de sobrepeso y de obesidad para esa altura. Y sabiendo la CC obtendremos el valor de cadera que debemos darle al avatar usando el ICC correspondiente a la población española y este lo obtenemos del estudio Dorica (59).

Finalmente se obtendrá una biblioteca de 30 avatares. 6 antropométricos, los tres avatares antropométricos del hombre y 3 de la mujer y 24 antropomorfos que son el resultado de obtener 4 avatares de cada percentil.

Percentil	Altura	Perímetro cintura	Cadera	Personaje
Hombre				
P05	1583	63	86.22	Nivel 0
		71	89.38	Nivel 1
		80	92.92	Nivel 2
		95	100.73	Nivel3
P50	1698	68	88.19	Nivel 0
		76	91.34	Nivel 1
		86	95.73	Nivel 2
		103	106.16	Nivel3
P95	1820	72	89.77	Nivel 0
		82	93.71	Nivel 1
		91	98.92	Nivel 2
		109	110.67	Nivel3
Mujer				
P05	1494	60	79.9	Nivel 0
		68	89.11	Nivel 1
		76	97.14	Nivel 2
		91	108.28	Nivel3
P50	1596	64	84.52	Nivel 0
		72	93.71	Nivel 1
		81	100.68	Nivel 2
		97	113	Nivel3
P95	1701	68	89.11	Nivel 0
		76	97.14	Nivel 1
		86	108.29	Nivel 2
		103	119.07	Nivel3

Tabla 1 Avatares creados y sus medidas.

4.5. Índices aplicados

Se pensó en un primer momento en representar el IMC (índice de masa corporal) ya que es un valor muy asentado en el ámbito de la salud mundial, la Organización Mundial de la Salud tiene estipulados unos niveles de IMC normal, delgadez, sobrepeso y obesidad. Pero como hemos visto en el apartado 2.6 el IMC es incapaz de distinguir entre el tejido adiposo y el tejido magro(49). Asimismo, el IMC no presenta una buena correlación con la cantidad de grasa total del organismo en niños, jóvenes, personas que hayan sufrido procesos

anabolizantes, atletas, adolescentes ni en ancianos, como tampoco en poblaciones de razas diferentes de la blanca(74).

Ya que el IMC no era el mejor identificador, se estudiaron otros índices. El índice de circunferencia de la cintura (CC) parecía ser un buen indicador, ya que ciertamente medía la cantidad de grasa corporal que es la que nos interesa representar(45), este correlaciona mucho mejor con los perfiles morfológicos que buscamos el problema que al no haber unos valores de corte establecidos, la elección del valor que habría que asignarle al avatar no sería objetiva y sería discutible.

EL siguiente índice que se estudió fue el que correlaciona el perímetro de cintura con el perímetro de cadera (ICC), este parecía ser incluso mejor que el CC ya que conseguía diferenciar morfologías masculinas y femeninas. Este índice al igual que el CC tiene problemas en la definición de los valores de corte, pero además el problema de que un aumento de peso pueda producir un aumento proporcional en ambas medidas y por tanto no ser detectable también era objeto de discusión.

Entonces se ve claramente la necesidad de relacionar el perímetro abdominal con un parámetro no circunferencial, que sirva además de parámetro influyente y diferenciador de ambos sexos, edades o etnias. Y un buen candidato es la altura(57) y esto lo hace el índice de cintura talla (ICT) o índice de cintura estatura (ICE).

Este mantiene las bases del índice CC que interpone un intervalo de medidas que se corresponden a los diferentes niveles ya establecidos de IMC (normal, infrapeso, sobrepeso y obesidad) pero además varia ese intervalo en función de la altura. Es muy sencillo de calcular porque sólo se deben dividir ambos valores en centímetros, y se considera 0,5 como el coeficiente de corte tanto para mujeres, hombres y niños de diferentes etnias(75).

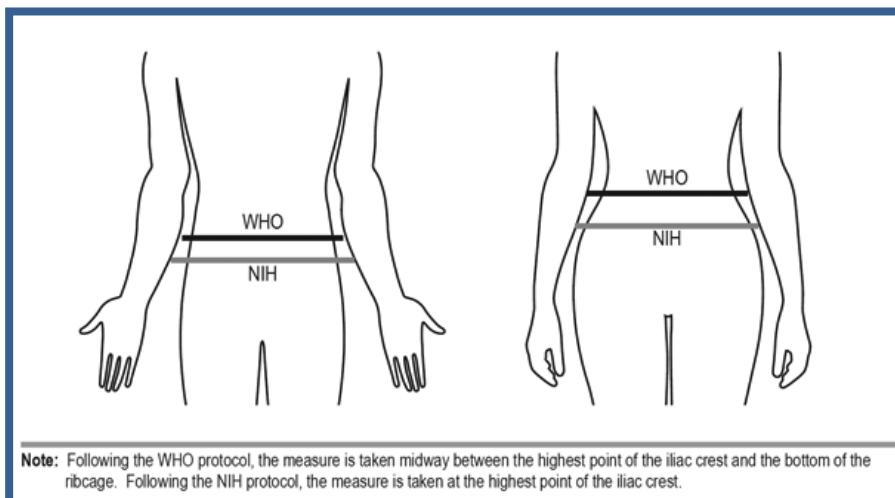
Este es el índice que finalmente utilizamos en el desarrollo de nuestros avatares para la definición de los perfiles morfológicos. Además su medición resulta más económica y ágil a la hora de tener que tomarlas a los sujetos que vayan a participar en las capturas.

Por tanto para la elección del perfil morfológico de avatar, el técnico solo deberá obtener la altura y la circunferencia de la cintura del sujeto que se someta a la prueba. La toma de la medida de altura está ampliamente asentada, pero frente a la toma de la medida del perímetro abdominal hay diferencias entre la OMS y el NIH, por lo tanto se ha seleccionado el método establecido por la OMS(76) como protocolo de medida:

"La circunferencia de la cintura debe medirse en el punto medio entre el margen inferior de la costilla menos palpable y la parte superior de la cresta ilíaca, usando una cinta resistente al estiramiento que proporciona una constante de 100 g de tensión. El perímetro de la

cadera se debe medir alrededor de la parte más ancha de las nalgas, con la cinta métrica paralela al suelo.

Para ambas mediciones, el sujeto debe pararse con los pies juntos, los brazos a los lados y el peso corporal distribuido uniformemente, y debe usar poca ropa. El sujeto debe estar relajado, y las mediciones se deben tomar al final de una espiración normal. Cada medición debe repetirse dos veces; si las mediciones se encuentran dentro de 1 cm unos de otros, se debe calcular la media. Si la diferencia entre las dos mediciones es superior a 1 cm, las dos mediciones se deben repetir”.



Note: Following the WHO protocol, the measure is taken midway between the highest point of the iliac crest and the bottom of the ribcage. Following the NIH protocol, the measure is taken at the highest point of the iliac crest.

Figura 11 Circunferencia de la Cintura. Protocolo de medida por la Organización Mundial de la salud (WHO) y el Instituto Nacional de la Salud (NIH)

5. Elaboración de los avatares

5.1. Creación (DAZ)

A continuación se describen detalladamente todos los pasos que se han llevado a cabo para la generación de los avatares. Desde los inicios en el software DAZ, su adaptación antropométrica, su adaptación morfológica, exportación e importaciones hasta su visualización en el programa Vizard.

Cargamos el personaje base Victoria o Michel del programa DAZ Studio. Cargamos dentro del programa la figura deseada y determinamos la morfología base. Vestimos nuestra figura y le añadimos el cabello

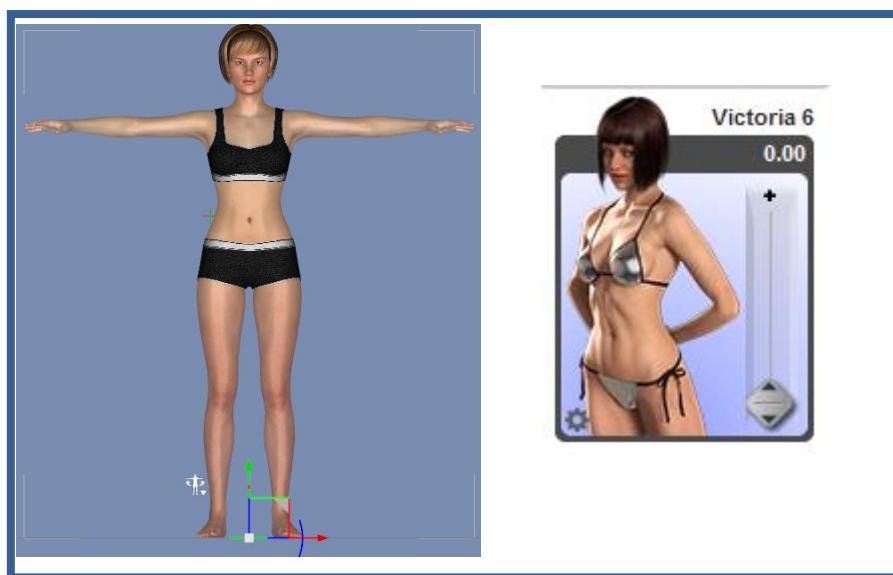


Figura 12 ponemos el dial de Victoria a 0 para obtener la morfología base de Génesis

Aplicamos el módulo de “Measure Metrics”. Para poder asignar las medidas antropométricas correspondientes y añadir todas aquellas que se consideran necesarias. La norma UNE EN ISO 15536 determina 12 medidas como críticas para la validación del percentil, finalmente nosotros aplicamos 41. Esto debemos realizarlo en 3 pasos. Entre los cuales variaremos la postura de la figura a la hora de medir, para ajustarnos a lo que nos dice la norma UNE EN ISO 7250:1998 y para poder validarla en base a la normativa UNE EN ISO 15536.

- a. **Medidas con el sujeto de pie.** (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.)
- b. **Medidas con el sujeto sentado.** (Figura 13)

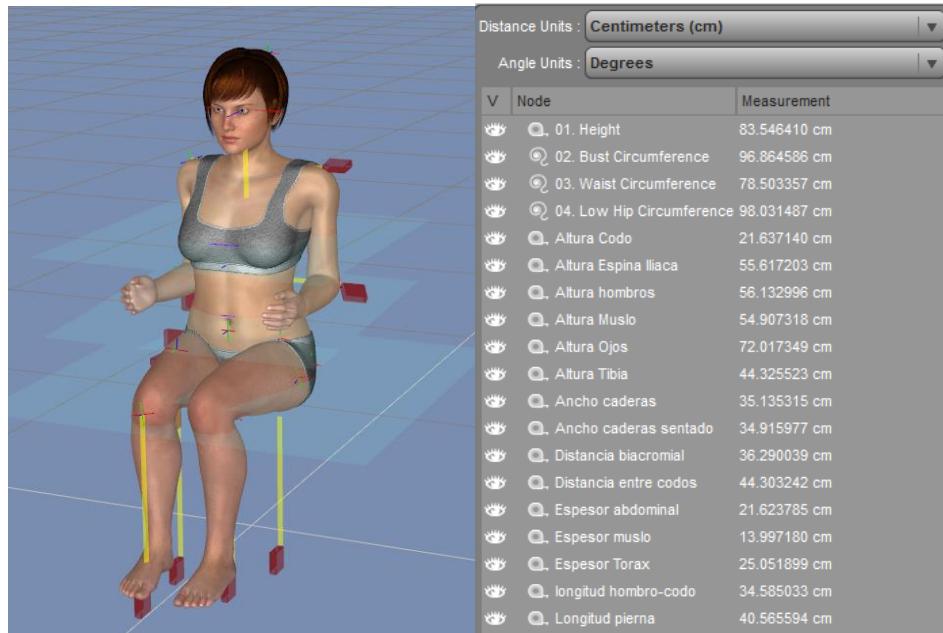


Figura 13 Medidas con el sujeto de sentado, Mujer P50

c. Medidas funcionales y de segmentos del cuerpo.

Conforme aplicamos las medidas, debemos modificar con las herramientas morfológicas del software DAZ, adaptando las longitudes corporales a las medidas antropométricas que deseamos aplicar.



Figura 14 Edición de los parámetros morfológicos de los brazos.

Le damos la posición inicial. Debemos definir la posición cero del avatar, puesto que esta es la considerada como cero rotaciones de las articulaciones, es muy importante que la postura sea correcta ya que un error como posicionar los brazos mal puede arrastrar errores a los cálculos.

Modificar el morph. Una vez que ya tenemos el personaje con las medidas antropométricas y la posición inicial, modificamos el parámetro morph heavy hasta que la cintura del avatar coincida con la cintura calculada para el perfil morfológico correspondiente, basándonos en el índice ICT estudiado anteriormente.



Ajuste del esqueleto. Estos personajes tienen la pelvis y el abdomen emparentados al hueso de la cadera HIP y nosotros necesitamos que el abdomen cuelgue de la pelvis para que luego nuestro software de captura de movimiento lo realice correctamente. Con lo cual con la herramienta “*Joint Editor*” realizamos todos los cambios en el esqueleto de nuestro personaje, emparentar, crear o eliminar huesos. Añadimos los huesos:

- HeadNub
- ToesEndNub

Eliminamos los huesos:

- Upper Jaw
- Lower Jaw
- Tongue Base
- Tongue 01-05
- Tongue Tip

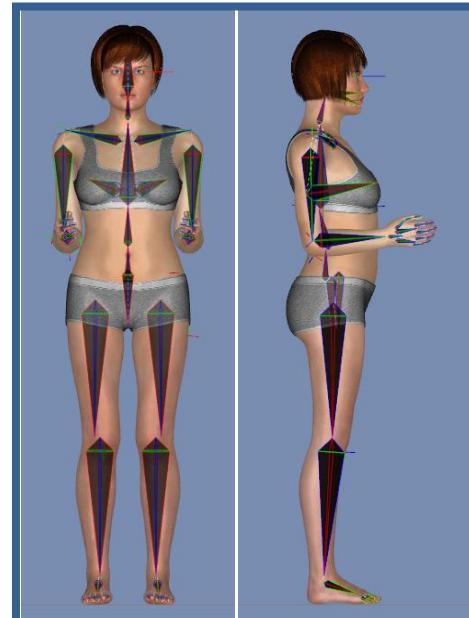


Figura 15 Falta cambiar esqueleto, añadir y quitar huesos, interesante poner los nombres con etiquetas

Eliminar superficies. Eliminamos todas las superficies sobrantes que al final resultan ser polígonos que aumentan el tamaño de malla y no sirven para nada. Para ello hemos utilizado la herramienta “*Polygon Group Editor*”

Crear texturas. Creamos una textura compacta de toda la figura, utilizamos la herramienta “*Texture Atlas*”. Debemos realizar este paso siempre igual y dejar la distribución de texturas que sale por defecto para que posteriormente puedan compartir la misma textura varias figuras. En el apartado de ahorro computacional se explica con mayor detalle.

Disminuir el número de polígonos. Debemos optimizar el peso de la malla es por esto que debemos reducir el número de polígonos. Hay que encontrar un compromiso entre la calidad de la malla para la representación del movimiento y el peso de la misma. Se pueden hacer diferentes reducciones por zonas.

5.2. Optimización (DAZ)

Las capturas en tiempo real y la creación de escenarios virtuales con uno o varios avatares, ocasiona un gasto computacional alto, es decir, la cantidad de archivos que debe manejar, más los cálculos angulares que deben realizarse simultáneamente de los datos enviados por los sensores o las cámaras es muy alto. Con lo que toda optimización tanto de procesos como de los objetos y avatares va a otorgar fluidez y usabilidad al programa de captura. Hay dos campos fundamentales que se han estudiado para conseguir un alto rendimiento de los avatares, el primero es la retopología de la malla 3d que compone el avatar y el segundo son las texturas.

El peso de una malla en coste computacional va a depender de la cantidad de polígonos que tenga, por tanto, cuantos menos tenga menos pesará la malla y menos le costará al ordenador cargarla y moverla. El problema es que una disminución excesiva de los polígonos va a dar como resultado un personaje con poca definición y que va a dar

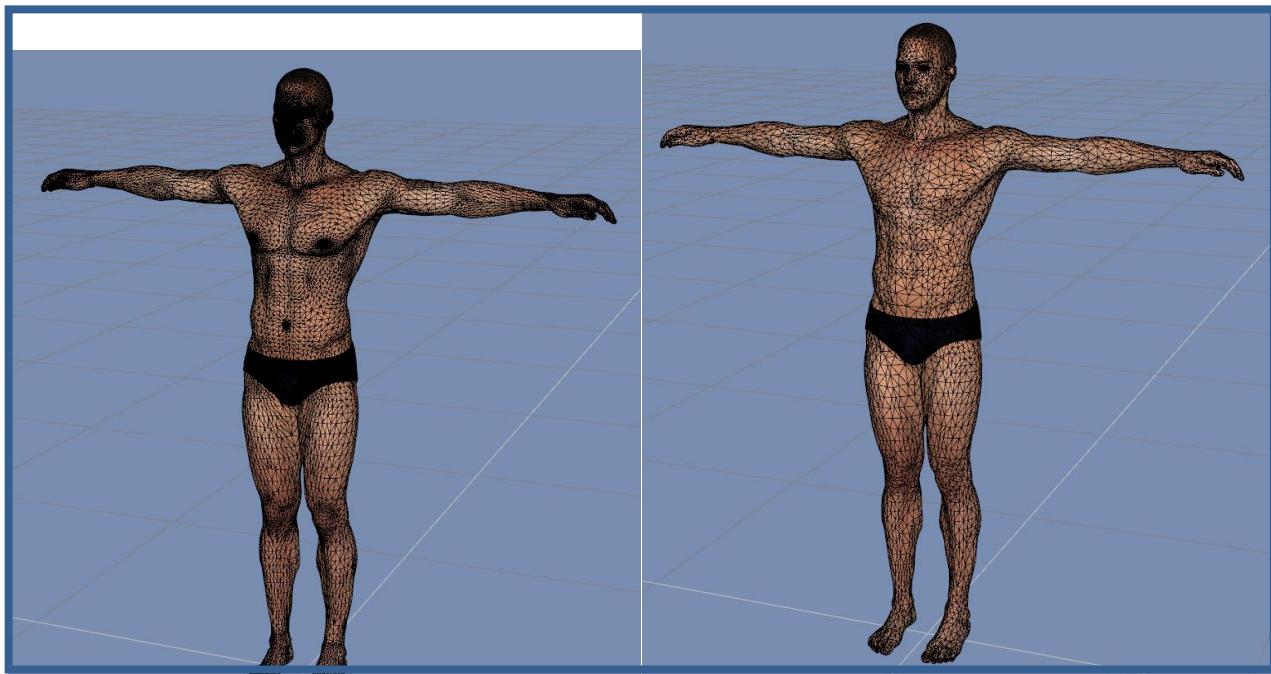


Figura 16 En la imagen de la izq. vemos la malla primitiva de los personajes de DAZ, en la imagen de la dcha. visualizamos la malla tras aplicar el modulo "Decimator"

problemas en las articulaciones a la hora de realizar movimientos, con lo cual, hay que encontrar un compromiso entre la densidad de la malla y la calidad del avatar.

La malla de partida es la que nos proporciona el programa DAZ Studio y sus personajes Michael y Victoria. Este programa ya nos proporciona la opción de seleccionar una malla de alta calidad o una malla base, seleccionamos la malla base. Una vez que tenemos nuestro avatar con las medidas antropométricas deseadas y la morfología requerida, procedemos a eliminar las superficies que no vamos a necesitar. Tenemos una función dentro del mismo programa que nos permite realizar estas modificaciones. Antes de realizar esto debemos guardar nuestro avatar, se debe tener en cuenta que el hecho de modificar la malla primitiva, nos va a suponer hostilidad por parte del software ya que al

realizar ciertas funciones, parte del algoritmo calcula con esa superficie y esto ocasionará errores, esto ocurre sobre todo si queremos realizar algún cambio morfológico tras la modificación.

Las superficies propuestas para su eliminación suelen ser todas aquellas que estén contenidas en la boca, tal como dientes, paladar, lengua, encías... ya que nuestro avatar en el programa de captura tendrá la boca cerrada. Otras superficies susceptibles de ser borradas son parte de los ojos, se procurará unificar todas las superficies que componen la córnea, el iris y la pupila. Y por último si nuestro personaje esta vestido eliminaremos todas las superficies corporales que estén cubiertas, así evitaremos el duplicado de mallas, este último suele ser el más costoso en lo que se refiere a tiempo y el que más problemas nos puede ocasionar al aplicar después el módulo de reducción.

Una vez hecho esto debemos reducir el número de polígonos de las superficies que hemos mantenido. Para esto hemos utilizado el modulo “*Decimator*”, de DAZ. Con este módulo podemos reducir la densidad de malla tanto del personaje como de la ropa y el cabello e incluso podemos reducir de forma indiferente distintas zonas del avatar. Con lo cual si necesitásemos optimizar al máximo nuestro personaje podríamos diferenciar la superficie de las articulaciones de hombros y rodillas para poder mantener una densidad de malla mayor en estas zonas, ya que son las que más se van a deformar durante el movimiento.

Las texturas es otro punto fuerte en el coste computacional y en la calidad del avatar, ya que le va a dar todo el realismo. La forma de optimizar las texturas es intentando compactar (Figura 17) todas las texturas en un mismo archivo de imagen manteniendo la máxima calidad posible. Las texturas primitivas de DAZ son texturas multicapa y puesto que los personajes son completamente personalizables tenemos texturas para las diferentes partes del cuerpo. Con el módulo de TEXTURE ATLAS de DAZ compactamos las texturas utilizadas en el avatar que estamos creando y exportamos el difuso, el bump, el normal y el especular.

Para un ahorro aun mayor lo que hemos realizado es utilizar los mismos archivos de textura para todos los avatares, por un lado hombres y por el otro, mujeres, lo que va a reducir de forma considerable el espacio de memoria del disco duro. Para ello en el paso del protocolo de creación de texturas, debemos asegurar que la textura que creamos tiene la misma distribución. Debemos crear en un primer momento todos los mapas de texturas para que la malla se asocie al mapa UV correspondiente, aunque luego se enlazarán todos los

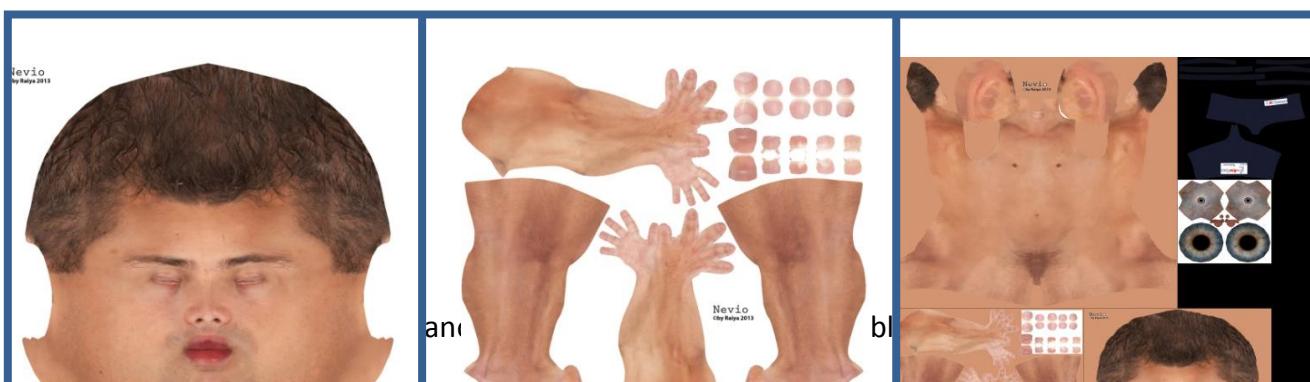


Figura 17 La imagen a) y b) representan las texturas primitivas del programa DAZ Studio, la imagen c) representa una textura creada con "Texture Atlas" y terminada con Photoshop® de Adobe

personajes a las mismas texturas y el resto se podrán eliminar.

5.3. Exportación (MAX, Cald 3D)

Exportación a FBX. Exportamos el avatar al formato FBX para poderlo abrir en 3D Studio Max y dese ahí poder exportar a el formato Cal 3D que es el que maneja el software de captura.

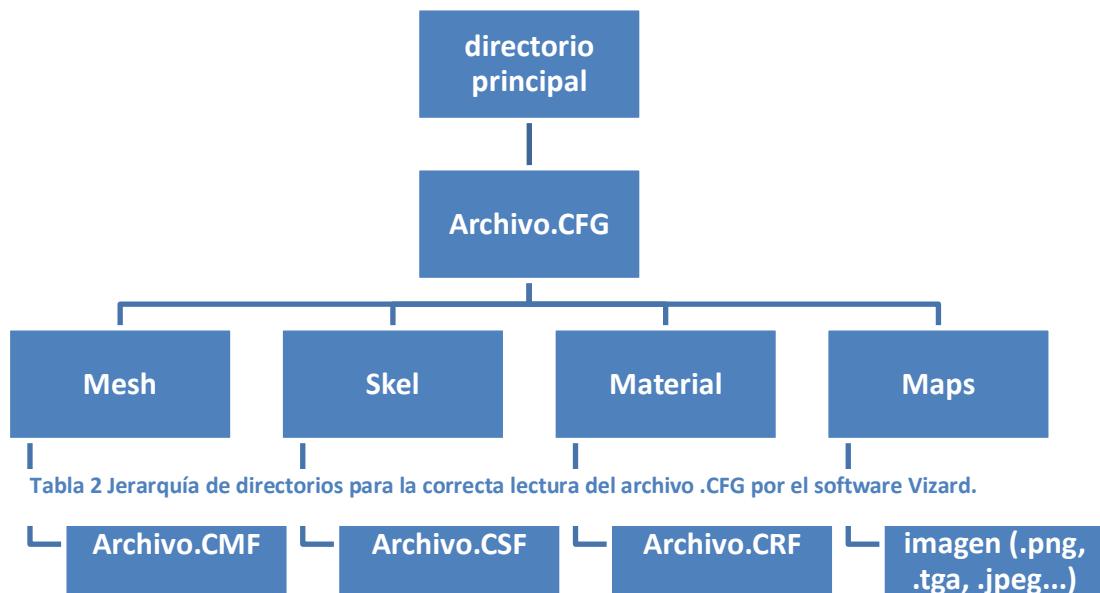
Importación 3D Studio Max. Debemos mantener unos parámetros fijos y asegurarnos que la escala de importación es la correcta. Daz Studio originalmente trabaja en cm, y 3D Studio Max en mm. Debemos tener esto en cuenta.

Aplicación de las texturas en Max. Cuando exportamos el FBX este crea sus propias texturas, que son texturas multicapa que el formato Cal 3D no maneja. Es aquí cuando debemos utilizar las que hemos creado en el paso 5 con el Texture Atlas. Debemos disponer las texturas en la raíz de carpetas definitivas para que funcione a la hora de la exportación.

Exportación a Cal 3D. Se debe realizar una exportación ordenada (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para que funcione correctamente la exportación. Debemos seguir los siguientes pasos:

- d. Seleccionar y exportar el esqueleto formato csf a la carpeta Skel.
- e. Seleccionar y exportar la malla en formato .cmf a la carpeta Mesh.
 - Debemos seleccionar el esqueleto al que cual linkamos la malla.
- f. Exportar los materiales de la malla en formato crf. a la carpeta Material.
 - Durante la exportación se debe indicar cuáles son los mapas y añadir al nombre el subdirectorio Maps\ para que los encuentre.

2. Organización de archivos. Para la correcta lectura del avatar los archivos deben estar dispuestos en una determinada jerarquía. Debemos crear un archivo .cfg que será el que se encuentre en la raíz principal y llame a los archivos Skel, Mesh y Material. Estos tres junto con las texturas deben estar contenidas en diferentes subdirectorios dentro del directorio principal.



6. Nueva operativa Move Human

6.1. Desarrollo

Una vez obtenidos los 4 niveles se plantea un método de asignación del avatar a cada persona, además de una adaptación para acabar de ajustar las medidas. A continuación explicamos los pasos que debemos seguir (Tabla 3):

Seleccionar el percentil. El primer dato que debemos tener en cuenta es la altura, esta nos va a definir en qué percentil se encuentra la persona, para esto se definen unos intervalos que separan el percentil P05 del P50 y del P95. En la definición de estos intervalos se tiene en cuenta que debe seguirse el patrón marcado por la campana de gauss, es decir una distribución normal(16). Entonces se definen los intervalos como la altura del percentil $50 \pm$ la desviación estándar, con lo que obtenemos que el 68% de la población pertenece a la desviación típica de la media P50, las alturas que se salgan de ese rango pasaran a pertenecer a los percentiles 05 o 95.

Seleccionar el nivel morfológico. Una vez que tenemos seleccionado el avatar del percentil se introduce la medida de la cintura para saber el perfil morfológico correspondiente. Para determinar el nivel que le corresponde, se introduce dentro de la programación del software de captura las líneas que determina la tabla de Ashwell como límites entre niveles. Así puede saber con los datos de la altura y de la cintura que avatar representa mejor a la persona en estudio.

Adaptar la altura del avatar al sujeto. Cuando ya sabemos dentro de qué percentil y qué nivel morfológico corresponde a la persona solo es necesario hacer un escalado del avatar base de ese nivel, para darle la altura del sujeto, se escala el personaje proporcionalmente en altura y profundidad, pero para la anchura, que representa medidas como la distancia entre hombros, se usa un factor de escala diferente ya que nos son directamente proporcionales con la distancia vertical. Este factor de escala se obtiene de la relación **entre la distancia biacromial y la altura de los diferentes percentiles**.

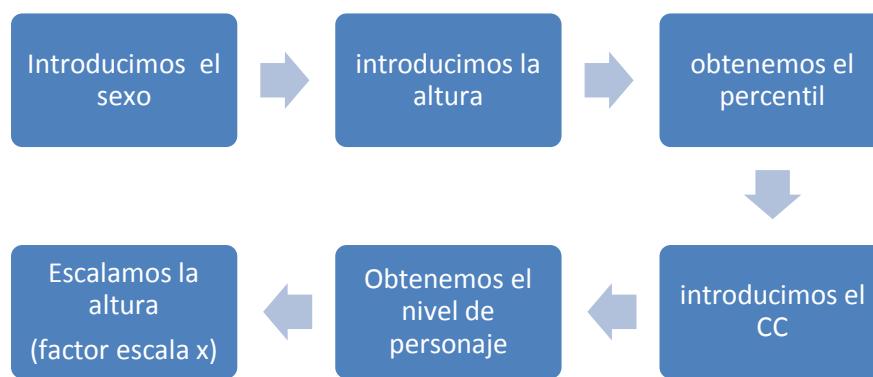
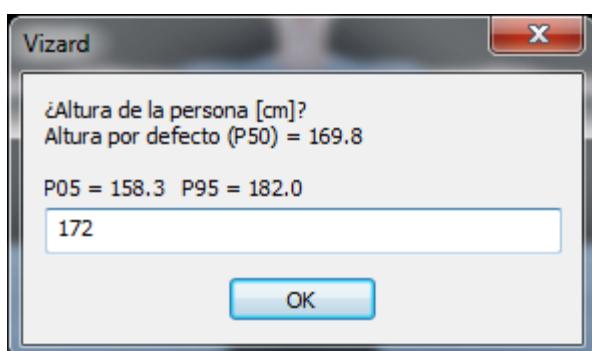
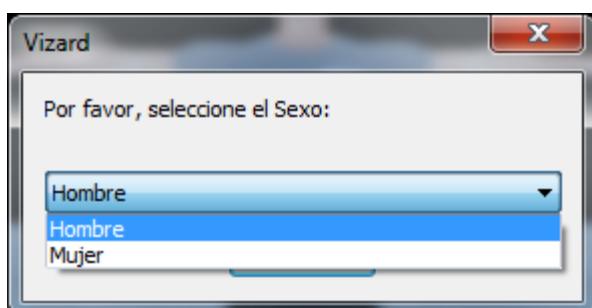


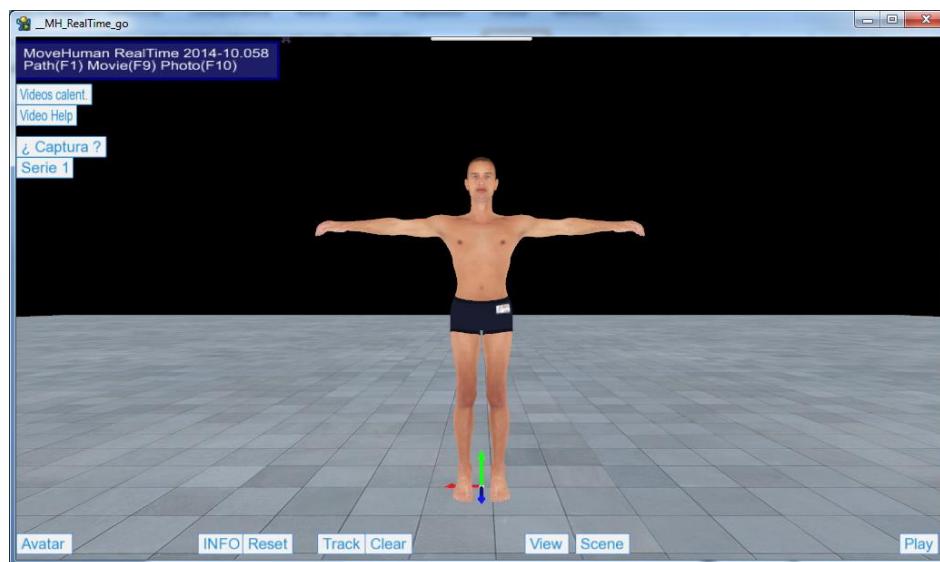
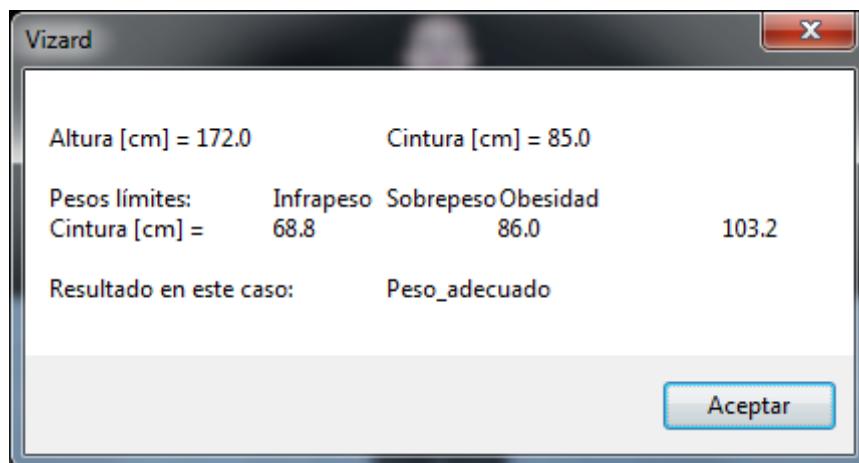
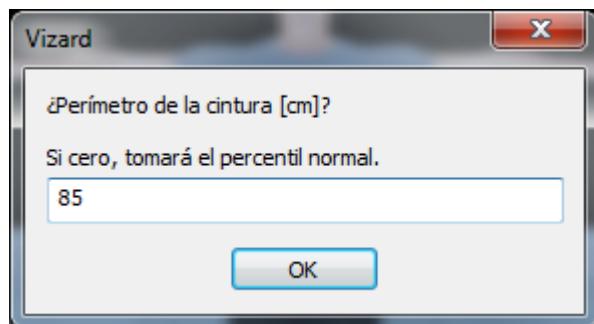
Tabla 3 Pasos para la asignación de avatares.

En ciertos casos, si la finalidad de la captura es el estudio ergonómico de un producto o una actividad, se escogerá un avatar puramente antropométrico, es decir, tras saber la altura de la persona se escogerá el percentil al que pertenece.

6.2. Operativa

A continuación, se muestra como se ha implementado la elección de los nuevos avatares dentro del software “Move Human” para su utilización en las pruebas de captura de movimiento.





7. Resultados.

Los resultados obtenidos son una librería de 30 avatares, compuesta de 15 personajes de sexo masculino y 15 del sexo femenino (Figura 18), de los cuales 3 son representativos de los percentiles P5, P50 y P95 basados en las medidas antropométricas de la sociedad española recogidas por el documento del INSHT(15). Y el resto de avatares corresponden a los perfiles morfológicos calculados con el índice antropométrico ICT distribuidos en grupos de 4 para cada percentil.



Figura 18 Conjunto de avatares femeninos resultantes

A cada uno de los avatares se les ha asignado 42 medidas corporales correspondientes a las tablas antropométricas incluidas en el Anexo I ANTROPOMETRÍA siguiendo los protocolos establecidos en las normativas UNE-EN ISO 7250 y UNE EN ISO 15536, y se han cumplido los requisitos de normalización expresados en las mismas, dando así validez europea al protocolo de creación y a su uso en las aplicaciones descritas en este documento y en la norma.

Los modelos humanos resultantes, están formados por un esqueleto de 74 huesos (Figura 19) de los cuales 26 son el esqueleto fundamental para la representación del movimiento y el resto corresponden a los dedos de las manos y pies, y los ojos. Estos últimos no se utilizan actualmente, pero sí está previsto que en el futuro se utilicen en aplicaciones de realidad virtual para el seguimiento de la mirada del sujeto, o la captura de los movimientos de los dedos y las manos con el uso de guantes de realidad virtual.

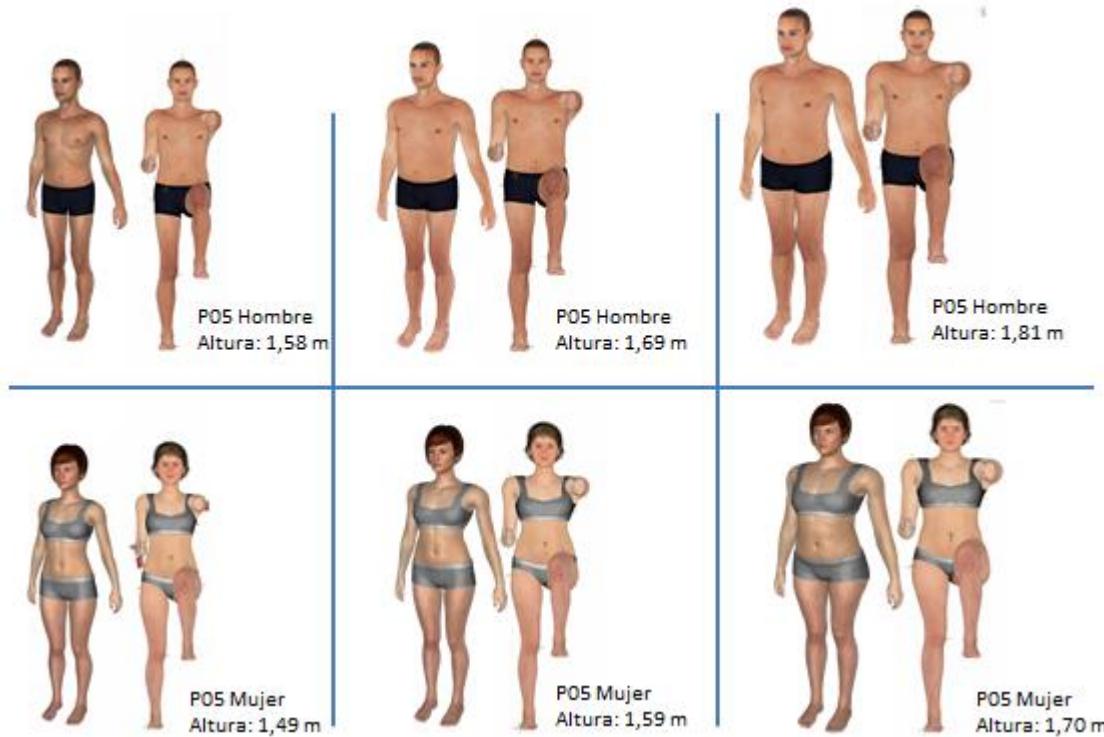
La cantidad de polígonos final que hemos obtenido corresponde a un número entre los 10.000 y los 15.000 triángulos, siendo las texturas creadas las que proporcionan el realismo final. Se ha utilizado la aplicación “Decimator” para realizar esta reestructuración de los polígonos y poder optimizar el peso computacional del avatar. Para ajustar más aun el ahorro en memoria del ordenador, se han creado dos texturas, una para mujer y otra para hombre, y se comparten entre todos los avatares del sexo correspondiente.

Aunque en este caso las medidas antropométricas son las de la sociedad española, el protocolo permite su extrapolación a cualquier población o sociedad de la cual exista una base de datos completa y fiable.



Figura 19 huesos que componen el avatar.

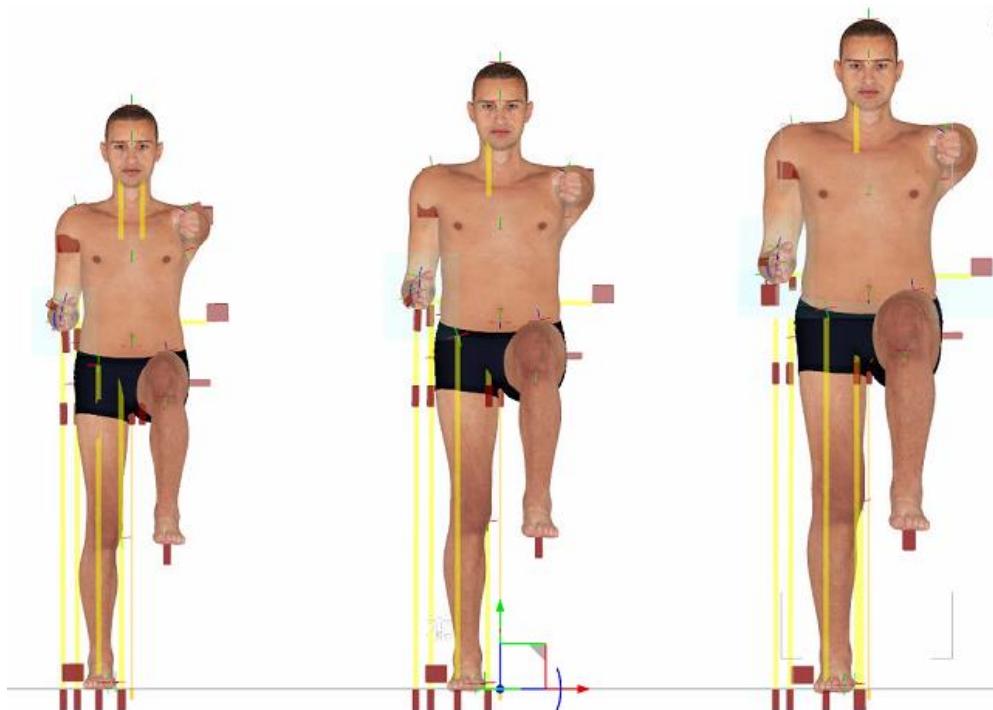
A continuación se exponen los modelos elaborados, comenzando por los modelos representativos de los percentiles antropométricos y las medidas aplicadas y siguiendo con los modelos morfológicos. Para más detalle acerca de las medidas aplicadas consultar el anexo I Antropometría.



PERCENTILES DE HOMBRE

Figura 20 Percentiles masculinos y altura

Figura 21 Medidas measure metrics (DAZ)



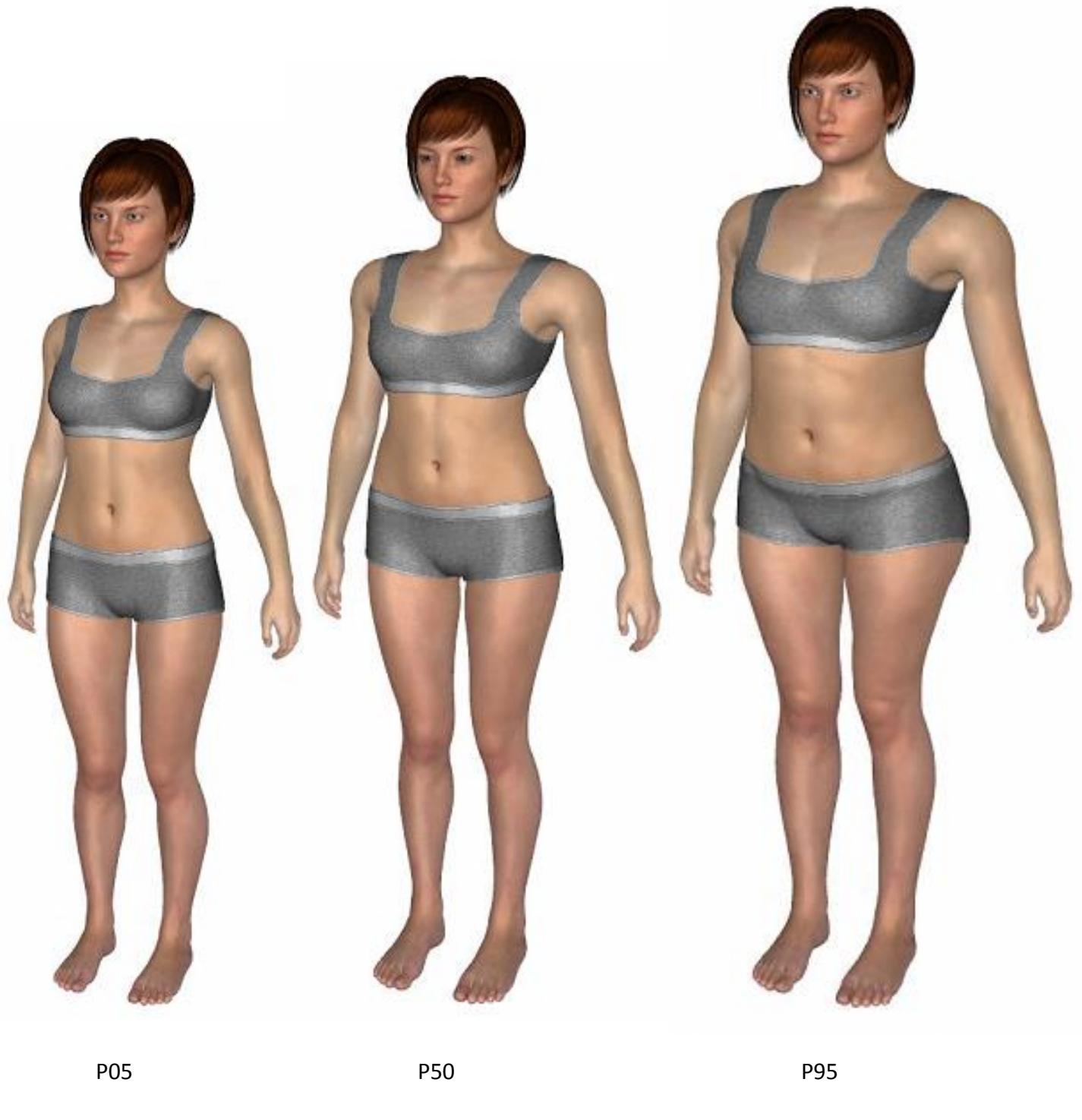
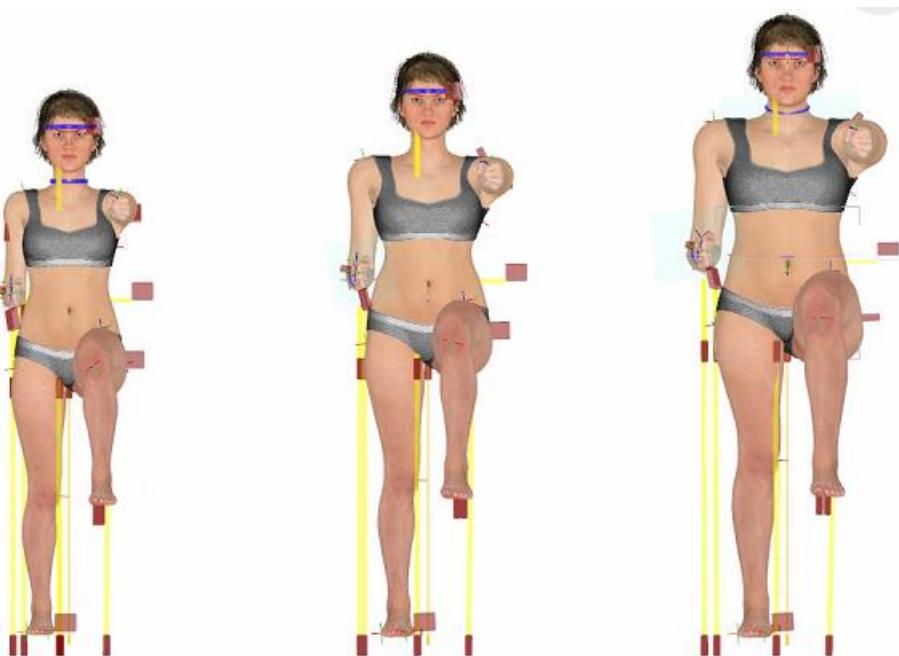
PERCENTILES DE MUJER

Figura 22 Percentiles femeninos y altura

Measure Metrics	Parameters	Posing	Shaping	Surfaces	Lights	Cameras	Render Settings	Measure Metrics	Parameters	Posing	Shaping	Surfaces	Lights	Cameras	Render Settings	Measure Metrics	Parameters	Posing	Shaping	Surfaces	Lights	Cameras	Render Settings	
Perímetro_cadera_P05	74.36 cm							Perímetro_cadera_P50	82.23 cm							Anchura_caderas_P95	40.02 cm							
Anchura_palma_P05	6.88 cm							Distancia_Interpupilar_P50	6.10 cm							Perímetro_cadera_P95	1 m 15.81 cm							
Longitud_mano_P05	16.15 cm							Anchura_palma_P50	7.76 cm							Distancia_interpupilar_P95	6.80 cm							
Perímetro_muñeca_P05	56.70 cm							Longitud_mano_P50	17.44 cm							Longitud_mano_P95	18.64 cm							
Longitud_codo_dedos_P05	38.31 cm							Perímetro_muñeca_P50	16.41 cm							Anchura_palma_P95	8.61 cm							
Anchura_biacromial_P05	28.30 cm							Longitud_codo_dedos_P50	42.41 cm							Perímetro_muñeca_P95	17.30 cm							
Perímetro_torácico_P05	82.29 cm							Anchura_biacromial_P50	35.04 cm							Longitud_codo_dedos_P95	46.03 cm							
Perímetro_cintura_P05	65.45 cm							Perímetro_torácico_P50	91.35 cm							Anchura_biacromial_P95	39.70 cm							
Altura_P05	1 m 49.46 cm							Perímetro_cintura_P50	76.06 cm							Perímetro_torácico_P95	1 m 11.60 cm							
Altura_hombros_P05	1 m 23.09 cm							Altura_P50	1 m 59.68 cm							Perímetro_cintura_P95	97.90 cm							
Altura_codo_P05	92.02 cm							Altura_Ojos_P50	1 m 48.78 cm							Altura_P95	1 m 70.14 cm							
Altura_espina_isca_P05	84.87 cm							Altura_hombros_P50	1 m 32.55 cm							Altura_Ojos_P95	1 m 58.00 cm							
Altura_gleno_tibial_P05	38.49 cm							Altura_codo_P50	97.18 cm							Altura_hombros_P95	1 m 42.91 cm							
Espesor_pecho_P05	20.22 cm							Altura_espina_isca_P50	92.45 cm							Altura_codo_P95	1 m 2.97 cm							
Espesor_abdomen_P05	16.79 cm							Altura_gleno_tibial_P50	42.94 cm							Altura_espina_isca_P95	98.15 cm							
Anchura_pecho_P05	24.78 cm							Espesor_pecho_P50	23.01 cm							Altura_gleno_tibial_P95	48.48 cm							
Anchura_caderas_P05	30.27 cm							Espesor_abdomen_P50	19.14 cm							Espesor_pecho_P95	29.65 cm							
Anchura_codos_P05	34.93 cm							Altura_pecho_P50	28.86 cm							Altura_pecho_P95	33.61 cm							
Altura_Ojos_P05	1 m 39.05 cm							Altura_caderas_P50	34.04 cm							Altance_max_horizontal_P95	73.84 cm							
Alcance_max_horizontal_P05	58.70 cm							Altance_max_horizontal_P50	67.00 cm							Altitud_pie_P95	25.80 cm							
Longitud_pie_P05	21.17 cm							Longitud_pie_P50	23.88 cm							Altura_pie_P95	9.67 cm							
Anchura_pie_P05	7.75 cm							Altura_pie_P50	9.19 cm							Perímetro_cabeza_P95	57.85 cm							
Perímetro_cabeza_P05	52.58 cm							Perímetro_cuello_P50	54.84 cm							Perímetro_cuello_P95	37.25 cm							
Distancia_interpupilar_P05	5.60 cm							Longitud_cabeza_P50	19.30 cm							Longitud_cabeza_P95	20.50 cm							
Perímetro_cuello_P05	29.75 cm							Altura_sentada_P50	82.74 cm							Altura_codo_sentado_P95	21.20 cm							
Longitud_cabeza_P05	18.13 cm							Altura_ojos_sentada_P50	71.84 cm							Altura_hombros_sentado_P95	61.14 cm							
Altura_sentada_P05	77.62 cm							Altura_hombros_sentado_P50	55.81 cm							Altura_sentada_P95	88.36 cm							
Altura_ojos_sentada_P05	67.41 cm							Anchura_codos_P50	43.07 cm							Altura_ojos_sentada_P95	77.22 cm							
Altura_hombros_sentado_P05	51.45 cm							Altura_codo_sentado_P50	20.24 cm							Altura_codos_P95	50.68 cm							
Altura_codo_sentado_P05	20.38 cm							Longitud_hombro_codo_P50	35.36 cm							Altura_popliteo_P95	45.22 cm							
Longitud_hombro_codo_P05	31.07 cm							Altura_popliteo_P50	40.94 cm							Altura_muslo_P95	61.88 cm							
Altura_popliteo_P05	35.97 cm							Altura_muslo_P50	54.54 cm							Profundidad_asiento_P95	52.06 cm							
Altura_muslo_P05	48.90 cm							Profundidad_asiento_P50	48.09 cm							Longitud_rodilla_trasero_P95	61.10 cm							
Profundidad_asiento_P05	44.20 cm							Longitud_rodilla_trasero_P50	54.29 cm							Longitud_hombro_codo_P95	40.28 cm							
Longitud_rodilla_trasero_P05	49.79 cm																							

Figura 23 Medidas measure metrics (DAZ)



MORFOLOGÍAS P05

P05 Infrapeso
Nivel 0



P05 Normal
Nivel 1



P05 Sobrepeso
Nivel 2

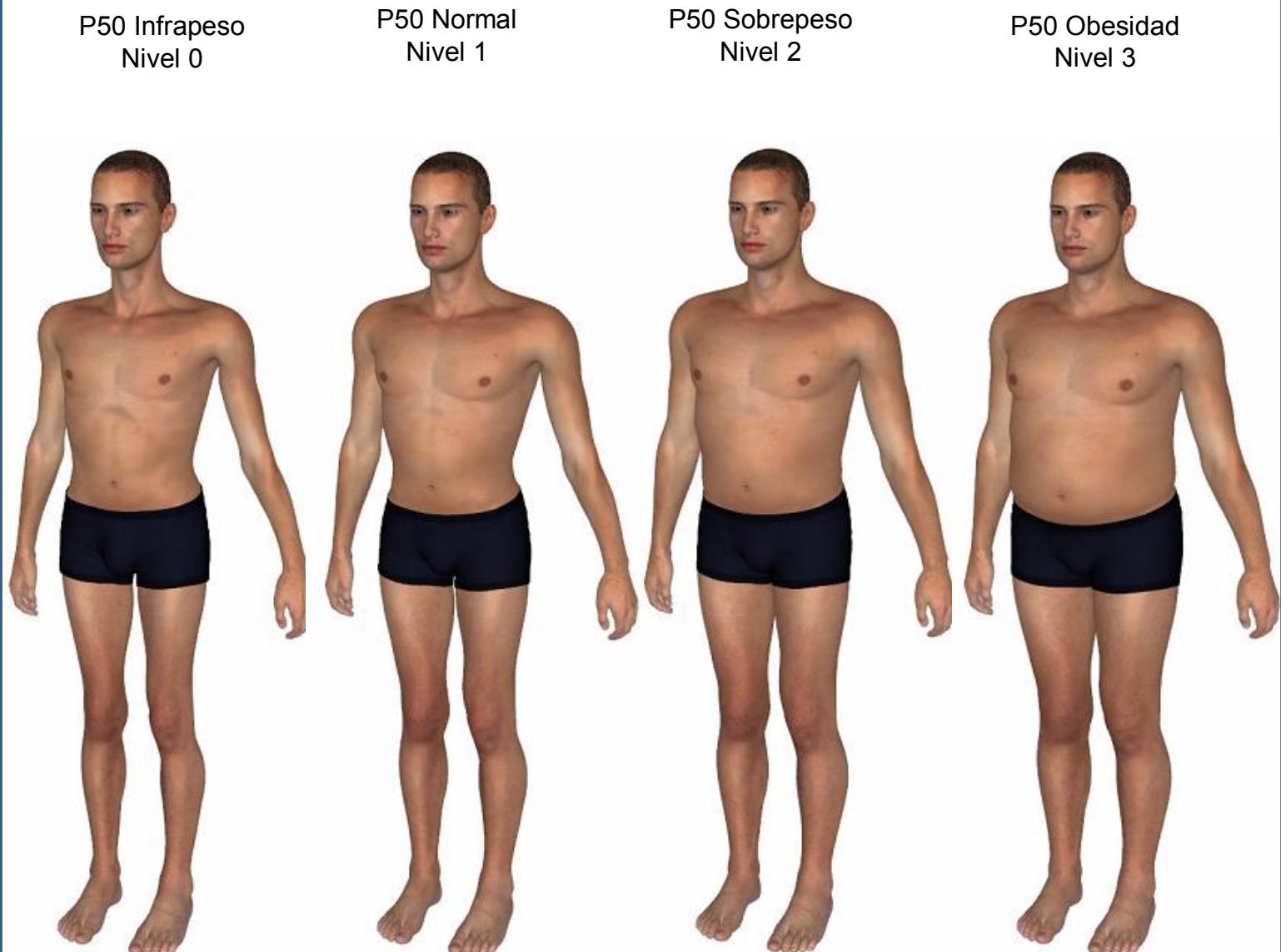


P05 Obesidad
Nivel 3



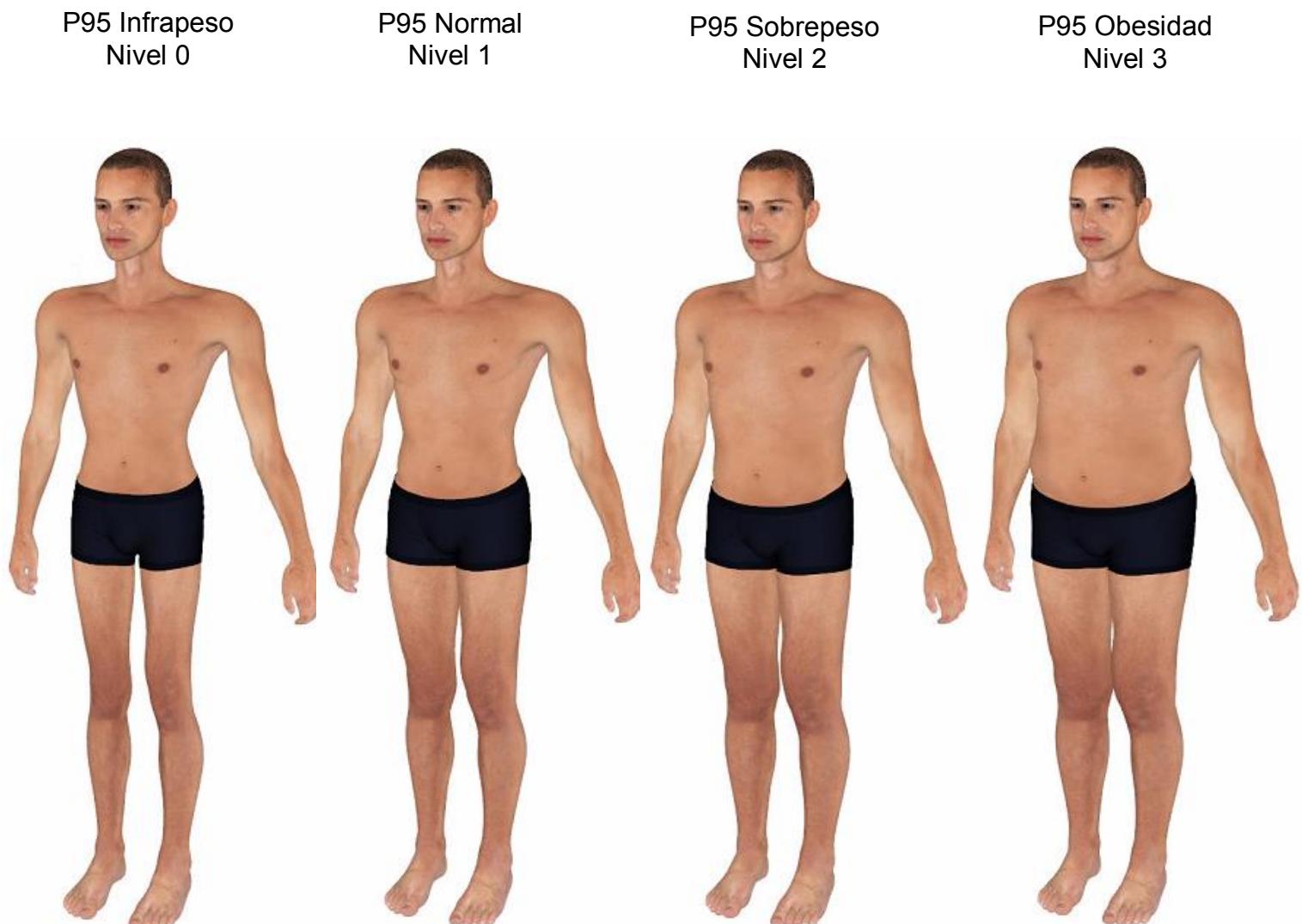
Percentil	Altura	Perímetro cintura	cadera	Personaje
Hombre				
P05	1583	63	86.22	Nivel 0
		71	89.38	Nivel 1
		80	92.92	Nivel 2
		95	100.73	Nivel 3

Figura 24 Modelos morfológicos de hombre de P05 y medidas claves utilizadas en el diseño



Percentil	Altura	Perímetro cintura	cadera	Personaje
Hombre				
P50	1698	68	88.19	Nivel 0
		76	91.34	Nivel 1
		86	95.73	Nivel 2
		103	106.16	Nivel3

Figura 25 Modelos morfológicos de hombre de P50 y medidas claves utilizadas en el diseño



Percentil	Altura	Perímetro cintura	cadera	Personaje
Hombre				
P95	1820	72	89.77	Nivel 0
		82	93.71	Nivel 1
		91	98.92	Nivel 2
		109	110.67	Nivel3

Figura 26 Modelos morfológicos de hombre de P95 y medidas claves utilizadas en el diseño

P05 Infrapeso
Nivel 0P05 Normal
Nivel 1P05 Sobre peso
Nivel 2P05 Obesidad
Nivel 3

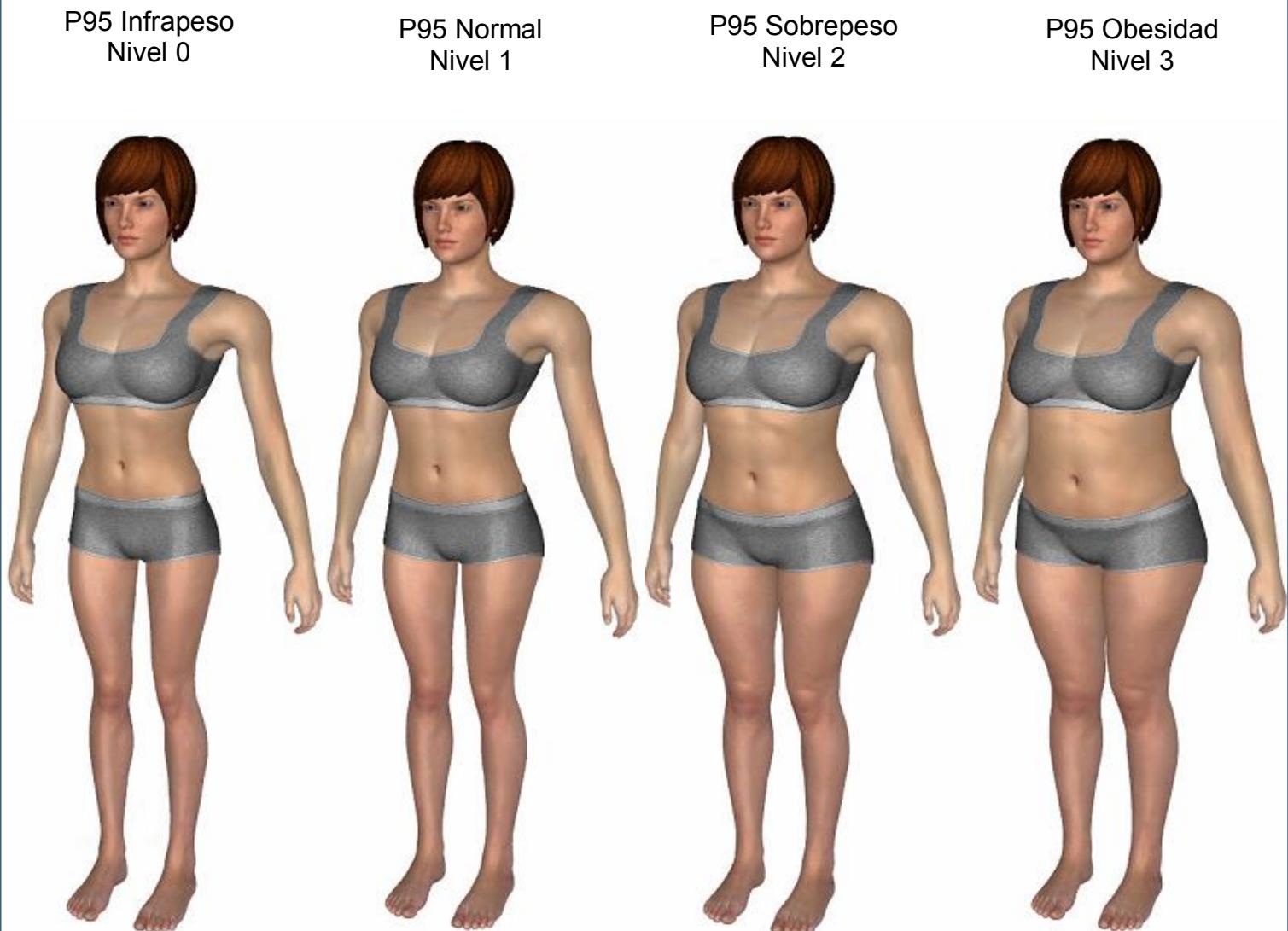
Percentil	Altura	Perímetro cintura	Cadera	Personaje
Mujer				
P05	1494	60	79.9	Nivel 0
		68	89.11	Nivel 1
		76	97.14	Nivel 2
		91	108.28	Nivel3

Figura 27 Modelos morfológicos de mujer de P05 y medidas claves utilizadas en el diseño

P50 Infrapeso
Nivel 0P50 Normal
Nivel 1P50 Sobrepeso
Nivel 3P50 Obesidad
Nivel 4

Percentil	Altura	Perímetro cintura	Cadera	Personaje
Mujer				
P50	1596	64	84.52	Nivel 0
		72	93.71	Nivel 1
		81	100.68	Nivel 2
		97	113	Nivel 3

Figura 28 Modelos morfológicos de mujer de P50 y medidas claves utilizadas en el diseño



Percentil	Altura	Perímetro cintura	cadera	Personaje
Mujer				
P95	1701	68	89.11	Nivel 0
		76	97.14	Nivel 1
		86	108.29	Nivel 2
		103	119.07	Nivel3

Figura 29 Modelos morfológicos de mujer de P95 y medidas claves utilizadas en el diseño

8. Discusión

La implantación de los avatares en el software “Move Human” se realiza correctamente, los avatares ya se están utilizando en los sistemas empleados por el Grupo IDERGO para la captura del movimiento, tanto en aplicaciones ergonómicas como biomédicas, con sistemas ópticos e inerciales. Los resultados que se están obteniendo de su uso son satisfactorios, la toma de datos de la estatura y la circunferencia de la cintura no han obstaculizado el proceso y los objetivos que se plantean al inicio del proyecto han sido alcanzados.

Se ha conseguido mejorar notablemente la correlación entre la posición de los sensores sobre el sujeto y el punto que representan en el avatar, ya que las longitudes de los segmentos corporales se han adaptado a las medidas antropométricas de los percentiles y han sido distribuidas en función de la altura. Se ha considerado que la normalidad es que exista proporcionalidad entre la altura y la longitud de los segmentos corporales, es decir, que una persona que tiene una altura de percentil 95 tendrá en la mayor parte de los casos una longitud del brazo dentro de los valores de ese percentil. Esto se contempla en la norma UNE EN ISO 15536(28) sobre maniquís virtuales, y en los estudios forenses que calculan la estatura de una persona en relación a la longitud de los segmentos corporales hallados de un cadáver (77-79). Sería interesante la realización de un estudio antropométrico, para hallar en qué porcentaje de los casos esto se cumple, y la correlación entre las medidas de distintas partes de cuerpo y la altura total en diferentes poblaciones y etnias.

Se ha conseguido una apariencia mucho más realista gracias al uso de las nuevas técnicas para el modelado digital y las técnicas de retopología de mallas. El tiempo de creación se ha visto optimizado, siendo la toma de datos antropométricos lo que conlleva mayor coste de tiempo, debido a la dificultad y a la precisión necesaria a la hora de asignar las medidas en las posiciones y puntos anatómicos correctos. Creados los avatares que representan los percentiles y conocidos los datos antropométricos, el tiempo necesario para la conclusión del diseño del personaje se reduce a unas pocas horas (2-3h) desde que cargamos el personaje, hasta que está funcionando dentro del software de captura, lo cual supone una importante reducción en el tiempo destinado al diseño.

Tras su uso en capturas reales se ha detectado que, aunque la aproximación de la morfológica entre el avatar y el sujeto ha mejorado considerablemente, quedan aún aspectos que deberían estudiarse más a fondo. Un ejemplo de esto es la diferencia de distribución del tejido adiposo entre sexos. Durante el proceso de modelado, cuando se aumentaba el ICT se aumentaba el volumen corporal de la forma más homogénea posible. Pero existen diferencias entre sexos. Los hombres tienden a acumular el tejido adiposo en su zona abdominal, en cambio la zona de los hombros, pecho, brazos, piernas e incluso

cadera permanece en valores normales, por lo que visualmente puede que no se asemeje tanto al avatar. En el caso de las mujeres tienden a acumular más en la zona del pecho, las caderas y el abdomen. Con lo que debería ampliarse el estudio centrado en la distribución del tejido adiposo para un diseño más ajustado del avatar.

Debe tenerse en consideración que los avatares aquí descritos reflejan los datos antropométricos de la sociedad laboral española de 1998, resaltar la complejidad de encontrar bases de datos antropométricos completas y específicas para cada población. En este caso han sido 42 las medidas que se han aplicado a cada uno de los avatares. La normativa y otros autores especifican en 12 el número de medidas que se consideran suficientes y una posible desviación de entre 10 y 60mm debido a la “postura natural” de una persona erguida.

Resaltar que para la precisión de los datos y el cálculo posterior, son las medidas del percentil las relevantes, el uso de la morfología no afecta por si misma a los cálculos es un valor añadido que aporta realismo a la prueba, consiguiendo que el sujeto se sienta más identificado. Y un apoyo al técnico o médico que posteriormente va a trabajar con los datos obtenidos y que puede identificar que ciertas irregularidades en el movimiento o patologías puedan ser debidas al grado de obesidad de la persona capturada.

Si comparamos esta técnica con otra muy en boga como la que utiliza un modelo 3D obtenido a través de un escaneado 3D de una persona, podemos destacar que no es necesario adquirir dispositivos costosos como es un escáner 3D, no es necesaria la participación de personas durante la creación y los problemas que esto conlleva en relación a disponibilidad, estandarización, repetitividad y diferencias entre individuos. Además del trabajo que repercute una correcta asignación de huesos, leyes cinemáticas y retopología de la malla obtenida. Aun así, sería interesante una comparativa entre la precisión obtenida con el uso de nuestro avatar o el propio escáner del sujeto, para realizar una valoración más objetiva.

9. Conclusiones

Mediante la realización del presente trabajo se ha conseguido diseñar e implementar un protocolo de creación de avatares robusto y normalizado gracias al cual se ha podido desarrollar una extensa librería de personajes representativos de los diferentes morfotipos de la sociedad compuesta a día de hoy por 6 avatares representativos de los percentiles P05, P50 y P95 tanto para hombre como para mujer y fundamentales de cara a conseguir una mayor precisión en la recogida de los datos y una correcta valoración ergonómica.

Si bien es cierto que los resultados obtenidos tras la conclusión del trabajo se consideran satisfactorios líneas futuras de desarrollo como aquellas encaminadas a reflejar el efecto de diferentes distribuciones del tejido adiposo o a establecer relaciones entre la altura y la longitud de los segmentos corporales o la comparación con técnicas de escaneado 3D quedan planteadas. Aún con todo se considera que los resultados obtenidos son altamente satisfactorios y constituyen un paso significativo hacia la personalización en el diagnóstico, clave de interés general dentro del ámbito biomédico..

10. Bibliografía

References

1. Corazza S, Andriacchi TP, Gambaretto E, Mündermann L. Automatic generation of a subject-specific model for accurate markerless motion capture and biomechanical applications. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 2010 -;57(4):806.
2. Ashish S, Mukesh A, Anima S, Pankhuri D. MOTION CAPTURE PROCESS, TECHNIQUES AND APPLICATIONS. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. APR 2013;1(4):251-7.
3. Carse B, Meadows B, Bowers R, Rowe P. Affordable clinical gait analysis: An assessment of the marker tracking accuracy of a new low-cost optical 3D motion analysis system. *Physiotherapy*. 2013 12;99(4):347-51.
4. Corazza S, Muendermann L, Chaudhari A, Demattio T, Cobelli C, Andriacchi T. A markerless motion capture system to study musculoskeletal biomechanics: Visual hull and simulated annealing approach. *Ann Biomed Eng*. 2006;34(6):1019-29.
5. Vlasic D, Adelsberger R, Vannucci G, Barnwell J, Gross M, Matusik W, et al. Practical motion capture in everyday surroundings. *ACM transactions on graphics (TOG)*; ACM; 2007.
6. Roetenberg D, Luinge H, Slycke P. Xsens MVN: Full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. *Xsens Motion Technologies BV, Tech.Rep.* 2009.
7. Liu H, Wei X, Chai J, Ha I, Rhee T. Realtime human motion control with a small number of inertial sensors. *Symposium on interactive 3D graphics and games*; ACM; 2011.
8. Moeslund T, Hilton A, Kruger V. A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis. *Comput Vision Image Understanding*. 2006 -;104(2-3):90.
9. Ferdinand RED. ADVANCED APPLICATIONS OF MOTION ANALYSIS IN SPORTS BIOMECHANICS. *International Symposium on Biomechanics in Sports: Conference Proceedings Archive*. 2010 -;28:70.
10. Moore JK, Kooijman J, Schwab A, Hubbard M. Rider motion identification during normal bicycling by means of principal component analysis. *Multibody System Dynamics*. 2011;25(2):225-44.
11. Regazzoni D, Rizzi C. Digital human models and virtual ergonomics to improve maintainability. *Computer-Aided Design and Applications*. 2014;11(1):10-9.
12. Marín Zurdo JJ, Boné Pina MJ, Benito Gil C. Evaluación de riesgos de manipulación repetitiva a alta frecuencia basada en análisis de esfuerzos dinámicos en las articulaciones sobre modelos humanos digitales. *Ciencia & trabajo*. 2013;15(47):86-93.

13. Marín Zurdo JJ, Boné Pina MJ, Martínez Jarreta M. Método MH-FORCES para valoración del riesgo de trastornos musculoesqueléticos derivados de movimientos repetitivos, comparación con método OCRA. Zaragoza. ; 05/2014.
14. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo humano y referencias.* 2010:UNE-EN ISO 7250-1. Madrid: AENOR.
15. Carmona Benjumea A. Datos antropométricos de la población laboral española. informe de resultados. INSHT Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. 2001(14):22-35.
16. Pheasant S, Haslegrave CM. Bodyspace: Anthropometry, ergonomics and the design of work. CRC Press; 2005.
17. Huston R. Principles of biomechanics. CRC press; 2008.
18. Kertis JD. Biomechanical evaluation of an optical system for quantitative human motion analysis. . 2012.
19. Mariani B, Hoskovec C, Rochat S, Büla C, Penders J, Aminian K. 3D gait assessment in young and elderly subjects using foot-worn inertial sensors. J Biomech. 2010;43(15):2999-3006.
20. Zhou H, Hu H. Human motion tracking for rehabilitation—A survey. Biomedical Signal Processing and Control. 2008 1;3(1):1-18.
21. Pfister A, West AM, Bronner S, Noah JA. Comparative abilities of microsoft kinect and vicon 3D motion capture for gait analysis. J Med Eng Technol. 2014 -;38(5):274.
22. Marín Zurdo JJ, Ros Mar R, Boné Pina MJ, Martínez Gamarra M. Move-human sensors: Sistema portátil de captura de movimiento humano basado en sensores iniciales para el análisis de lesiones musculoesqueléticas y utilizable en entornos reales. Proceedings of the sixth international conference on occupational risk prevention; ; 2008.
23. Marín Zurdo JJ, García Muñoz I, Gil Benito C, Boné Pina MJ. Validación de sistema de medición de capacidad funcional basado en sensores iniciales. XXVIII congreso de la sociedad española de ingeniería biomédica; Madrid 11/2010. ; 2010.
24. Magnenat-Thalmann N, Thalmann D. Virtual humans: Thirty years of research, what next? VISUAL COMPUTER. 2005 -;21(12):997.
25. Magnenat-Thalmann N, Thalmann D. Handbook of virtual humans. John Wiley & Sons; 2005.

26. Xiaoli Yang, Petriu DC, Whalen TE, Petriu EM. Hierarchical animation control of avatars in 3-D virtual environments. *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on*. 2005;54(3):1333-41.
27. Bandouch J, Engstler F, Beetz M. Accurate human motion capture using an ergonomics-based anthropometric human model. In: *Articulated motion and deformable objects*. Springer; 2008. p. 248-58.
28. *Ergonomía. Maniquíes Informatizados Y Plantillas Del Cuerpo Humano. Parte 1: Requisitos Generales*, UNE-EN ISO 15536-1. Madrid: AENOR2008).
29. *Ergonomía. Maniquíes Informatizados Y Plantillas Del Cuerpo Humano. Parte2: Verificación De Funciones Y Validación De Dimensiones De Los Sistemas De Maniquíes Informatizados*.
, UNE-EN ISO 15536-2. Madrid: AENOR.2007).
30. Yong-You Ma, Hui Zhang, Shou-Wei Jiang. Realistic modeling and animation of human body based on scanned data. *Journal of Computer Science & Technology* (10009000). 2004 - ;19(4):529.
31. Happee R, Hoofman M, Van den Kroonenberg A, Morsink P, Wismans J. A mathematical human body model for frontal and rearward seated automotive impact loading. 42nd stapp car crash conference tempe; Arizona. SAE Technical Paper; 1998.
32. Bastioni M, Re S, Misra S. Ideas and methods for modeling 3D human figures: The principal algorithms used by MakeHuman and their implementation in a new approach to parametric modeling. Proceedings of the 1st bangalore annual compute conference; ACM; 2008.
33. Opensource. MakeHuman. 2001-2004.
34. Van Deun D, Verhaert V, Buys K, Haex B, Vander Sloten J. Automatic generation of personalized human models based on body measurements. status: published. 2011.
35. Crossley K, Cornelissen P, Tovee M. What is an attractive body? using an interactive 3D program to create the ideal body for you and your partner. *PLOS ONE*. 2012 -;7(11).
36. Paquet E, Viktor HL. Adjustment of virtual mannequins through anthropometric measurements, cluster analysis, and content-based retrieval of 3-D body scans. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2007 -;56(5):1924.
37. DAZ 3D releases studio. *Comput Graphics World*. 2011;34(7):9-.
38. DAZ 3D studio (digital art zone) [Internet].; 2014 []. Available from: www.daz3d.com
39. [Internet].; 2014 []. Available from: <http://www.zygote.com/>
40. Autodesk I. Maya. 2014.

41. de la Plata Alcalde, Juan Pablo, Bibin L, Anquez J, Boubekur T, Angelini E, Bloch I. Physics-based modeling of the pregnant woman. In: Biomedical Simulation. Springer; 2010. p. 71-81.
42. Lambropoulos N, Kampylis P, Bakharia A. User innovation networks and research challenges. In: Online Communities and Social Computing. Springer; 2009. p. 364-73.
43. Porter M. Anthropometric methods: Designing to fit the human body - roebuck,JA. Ergonomics. 1997 ;40(2):248.
44. Larsson B, Svardsudd K, Welin L, Wilhelmsen L, Björntorp P, Tibblin G. Abdominal adipose tissue distribution, obesity, and risk of cardiovascular disease and death: 13 year follow up of participants in the study of men born in 1913. Br Med J (Clin Res Ed). 1984 May 12;288(6428):1401-4.
45. Adarmouch L, Sebbani M, Amine M. Correlation between body mass index and waist circumference in individuals aged 15 years and over. Nutricion Clinica y Dietetica Hospitalaria. 2012 ;32(SUPPL.2):82.
46. Concepción L, Aliaga R, Delgado F, Morillas C, Hernández A, Martí-Bonmatí L. Estudio de la grasa abdominal mediante resonancia magnética: Comparación con parámetros antropométricos y de riesgo cardiovascular. Medicina Clínica. 2001;117(10):366-9.
47. Romero-Corral A, Somers VK, Sierra-Johnson J, Thomas RJ, Collazo-Clavell M, Korinek J, et al. Accuracy of body mass index in diagnosing obesity in the adult general population. Int J Obes. 2008;32(6):959-66.
48. Smalley KJ, Knerr AN, Kendrick ZV, Colliver JA, Owen OE. Reassessment of body mass indices. Am J Clin Nutr. 1990 Sep;52(3):405-8.
49. Pua YongHao, Ong PeckHoon. Anthropometric indices as screening tools for cardiovascular risk factors in singaporean women. Asia Pac J Clin Nutr. 2005 ;14(1):74.
50. Wildman RP, Gu D, Reynolds K, Duan X, He J. Appropriate body mass index and waist circumference cutoffs for categorization of overweight and central adiposity among chinese adults. Am J Clin Nutr. 2004 Nov;80(5):1129-36.
51. Ito H, Nakasuga K, Ohshima A, Maruyama T, Kaji Y, Harada M, et al. Detection of cardiovascular risk factors by indices of obesity obtained from anthropometry and dual-energy X-ray absorptiometry in japanese individuals. Int J Obes. 2003;27(2):232-7.
52. Lin WY, Lee LT, Chen CY, Lo H, Hsia HH, Liu IL, et al. Optimal cut-off values for obesity: Using simple anthropometric indices to predict cardiovascular risk factors in taiwan. Int J Obes Relat Metab Disord. 2002 Sep;26(9):1232-8.

53. Deurenberg-Yap M, Chew S, Lin F, Van Staveren W, Deurenberg P. Relationships between indices of obesity and its co-morbidities among chinese, malays and indians in singapore. BODY COMPOSITION AND DIET OF CHINESE, MALAYS AND INDIANS IN SINGAPORE. 2001;87.
54. Janssen I, Katzmarzyk PT, Ross R. Waist circumference and not body mass index explains obesity-related health risk. Am J Clin Nutr. 2004 Mar;79(3):379-84.
55. Fernández JR, Redden DT, Pietrobelli A, Allison DB. Waist circumference percentiles in nationally representative samples of african-american, european-american, and mexican-american children and adolescents. J Pediatr. 2004;145(4):439-44.
56. López-Alvarenga JC, Montesinos-Cabrera RA, Velázquez-Alva C, González-Barranco J. Short stature is related to high body fat composition despite body mass index in a mexican population. Arch Med Res. 2003;34(2):137-40.
57. Luengo Pérez LM, Urbano Gálvez JM, Pérez Miranda M. Validation of alternative anthropometric indexes as cardiovascular risk markers. Endocrinologia y Nutricion. 2009 - ;56(9):439.
58. Huxley R, Mendis S, Zheleznyakov E, Reddy S, Chan J. Body mass index, waist circumference and waist: Hip ratio as predictors of cardiovascular risk—a review of the literature. Eur J Clin Nutr. 2009;64(1):16-22.
59. Millán J, Mantilla T, Aranceta J, Foz M, Gil B, Jover E, et al. Originales: Parámetros antropométricos asociados al riesgo cardiovascular en españa. estudio DORICA. Clinica e Investigacion en Arteriosclerosis. 2007 -;19(2):61.
60. VAGUE J. The degree of masculine differentiation of obesities: A factor determining predisposition to diabetes, atherosclerosis, gout, and uric calculous disease. Am J Clin Nutr. 1956 Jan-Feb;4(1):20-34.
61. Langenberg C, Shipley MJ, Batty GD, Marmot MG. Adult socioeconomic position and the association between height and coronary heart disease mortality: Findings from 33 years of follow-up in the whitehall study. Am J Public Health. 2005 Apr;95(4):628-32.
62. Barker D, Osmond C, Golding J. Height and mortality in the counties of england and wales. Ann Hum Biol. 1990;17(1):1-6.
63. Ashwell M, Gunn P, Gibson S. Waist-to-height ratio is a better screening tool than waist circumference and BMI for adult cardiometabolic risk factors: Systematic review and meta-analysis. obesity reviews. 2012;13(3):275-86.
64. Hsieh S, Yoshinaga H, Muto T. Waist-to-height ratio, a simple and practical index for assessing central fat distribution and metabolic risk in japanese men and women. Int J Obes. 2003;27(5):610-6.

65. Browning LM, Hsieh SD, Ashwell M. A systematic review of waist-to-height ratio as a screening tool for the prediction of cardiovascular disease and diabetes: 0·5 could be a suitable global boundary value. *Nutrition research reviews*. 2010;23(02):247-69.
66. Bolton-Smith C, Woodward M, Tunstall-Pedoe H, Morrison C. Accuracy of the estimated prevalence of obesity from self reported height and weight in an adult scottish population. *J Epidemiol Community Health*. 2000 Feb;54(2):143-8.
67. Ross R, Berentzen T, Bradshaw AJ, Janssen I, Kahn HS, Katzmarzyk PT, et al. Does the relationship between waist circumference, morbidity and mortality depend on measurement protocol for waist circumference? *Obesity reviews*. 2008;9(4):312-25.
68. Ashwell M. Waist to height ratio and the ashwell® shape chart could predict the health risks of obesity in adults and children in all ethnic groups. *Nutr Food Sci*. 2005 -;35(5):359.
69. Ashwell M. Charts based on body mass index and waist-to-height ratio to assess the health risks of obesity: A review. *Open Obesity Journal*. 2011 -;3:78.
70. *Principios Para La Selección Y Empleo De Personas En El Ensayo De Aspectos Antropométricos De Productos Y Diseños Industriales*, UNE-EN ISO 15537. Madrid: AENOR2009).
71. Requisitos Generales Para El Establecimiento De Bases De Datos Antropométricos. 2012, EN ISO 15535:2012. Madrid: AENOR).
72. *Metodología De Exploración Tridimensional Para Establecer Bases De Datos Antropométricos Compatibles De Ámbito Internacional*, UNE-EN ISO 20685. Madrid: AENOR2010).
73. Seguridad De Las Máquinas. Medidas Del Cuerpo Humano. Parte 1: Principios Para La Determinación De Las Dimensiones Requeridas Para El Paso De Todo El Cuerpo En Las Máquinas, UNE-EN 547-1. Madrid: AENOR2009).
74. Widhalm K, Schönegger K. BMI: Does it really reflect body fat mass? *J Pediatr*. 1999 - ;134(4):522.
75. Shao J, Yu L, Shen X, Li D, Wang K. Waist-to-height ratio, an optimal predictor for obesity and metabolic syndrome in chinese adults. *J Nutr Health Aging*. 2010;14(9):782-5.
76. Consultation WE. Waist circumference and waist-hip ratio. . 2011.
77. Coma JMR. Antropología forense. Ministerio de Justicia; 1999.
78. Trotter M, Gleser GC. A re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death. *Am J Phys Anthropol*. 1958;16(1):79-123.

79. Trotter M, Gleser GC. Estimation of stature from long bones of american whites and negroes. *Am J Phys Anthropol.* 1952;10(4):463-514.
80. Civilian american and european surface anthropometry resource Project—CAESAR® [Internet]. []. Available from: <http://www.sae.org/standardsdev/tsb/cooperative/caesar.htm>
81. DINED anthropometric database [Internet]. []. Available from: <http://dined.io.tudelft.nl/dined/#>
82. MAN-SYSTEMS INTEGRATION STANDARDS volume I [Internet]. []. Available from: <http://msis.jsc.nasa.gov/volume1.htm>
83. Marín Zurdo JJ, Boné Pina MJ, Martínez Jarreta MB. "Método MH-FORCES para valoración del riesgo de trastornos musculoesqueléticos derivados de movimientos repetitivos, comparación con método OCRA". Actas congreso internacional de prevención de riesgos laborales. ORP 2014; Zaragoza 05/2014.
84. Marín Zurdo JJ, Boné Pina MJ, Benito Gil C. "Evaluación de riesgos de manipulación repetitiva a alta frecuencia basada en análisis de esfuerzos dinámicos en las articulaciones sobre modelos humanos digitales". *Ciencia & trabajo.* 2013;15(47):86-93.
85. Nordin M, Frankel VH. Basic biomechanics of the musculoskeletal system. Lippincott Williams & Wilkins; 2001.

Anexo I. ANTROPOMETRÍA.

Bases de Datos

Existen muchas bases de datos antropométricas, estas bases consisten en la recolección de un conjunto de medidas de una población específica, puede ser la de una región, un país, un continente e incluso una raza. Podemos encontrar muchas bases de datos públicas y privadas, aquí exponemos algunos ejemplos a título ilustrativo.

Base de datos CAESAR® (80)

Esta línea de productos se ha desarrollado como resultado de un proyecto integral de investigación que reunió a representantes de numerosas industrias, incluyendo la industria textil, la industria aeroespacial y de la automoción. CAESAR comenzó como una asociación entre el gobierno y la industria para recoger y organizar la más amplia muestra de medidas del cuerpo de los consumidores. El proyecto recoge y organizar los datos en 2400 civiles de los Estados Unidos y Canadá y 2.000 civiles europeos. Con estos datos se crea una línea de productos que hace que los resultados de este estudio de investigación estén disponibles para los diseñadores de todo el mundo.

TABLE II
SUBSET OF THE BODY MEASUREMENTS CONTAINED
IN THE CAESAR™ DATABASE

Measurement	Measurement
Acromial Height Sitting	Spine to Shoulder Length
Ankle Circumference	Spine to Elbow Length
Arm Length: Spine to Wrist	Arm Length: Shoulder to Wrist
Arm Length: Shoulder to Elbow	Arm Circumference
Bust Chest Circumference	Buttock Knee Length
Crotch Height	Eye Height Sitting
Face Length	Foot Length
Hand Length	Shoulder Breadth
Sitting Height	Vertical Trunk Circumference
Triceps Skinfold	Head Circumference
Knee Height Sitting	Thumb Tip Reach
Head Breadth	Hand Circumference

Figura 30 Ejemplos de medidas que podemos encontrar en la base de datos CAESAR.

La base de datos de CAESAR contiene la variabilidad antropométrica de los hombres y mujeres, de edades comprendidas entre 18-65 años. Se solicitó una representación para garantizar muestras para varios pesos, etnias, género, regiones geográficas, y la situación socioeconómica. El estudio se realizó entre abril de 1998 y principios de 2000. Los métodos de recolección de

datos fueron estandarizados y documentados de manera que la base de datos puede ser ampliada y actualizada constantemente.

Las mediciones de alta resolución de la superficie del cuerpo se hicieron utilizando una nueva tecnología de recopilación de datos tridimensional que consiste en el uso de un escáner 3D y una tecnología de reconocimiento automático de puntos corporales (Antropometría de superficie). Se proporcionaron más de 100 medidas invariantes, más de 60 desde la exploración y aproximadamente 40 usando mediciones tradicionales. También fueron capturados los datos demográficos como la edad, grupo étnico, sexo, región geográfica, nivel de educación, y la actual ocupación, el ingreso familiar y más.

Base de datos DINED (81)

Dined.nl ofrece una visión general sobre cómo los datos antropométricos se puede utilizar cuando se enfrenta a retos de diseño. Adicionalmente, provee un conjunto disponible de los datos antropométricos en un formato optimizado para su uso en el diseño de productos.

Esta página pertenece a la Delft University of Technology y es holandesa, en ella podemos encontrar una herramienta que compara y muestra las medidas antropométricas de varias poblaciones. Los datos que utiliza los obtiene de la literatura. Y la población mejor definida es la Holandesa, aunque también encontramos datos antropométricos de los Europeos, americanos, alemanes, etc

Las posibilidades de la aplicación web son:

- Operaciones de búsqueda y comparación de las medidas disponibles de diferentes poblaciones y estudios.
- Consultar disponibilidad de medidas para una población y poblaciones de una medida.
- Cálculos automatizados entre los percentiles y los valores de medición.
- Cálculos automatizados para la combinación de poblaciones y medidas.
- Calcular los valores de medición y los percentiles para múltiples poblaciones y medidas a la vez.
- Información básica de búsqueda en las poblaciones y las medidas disponibles.

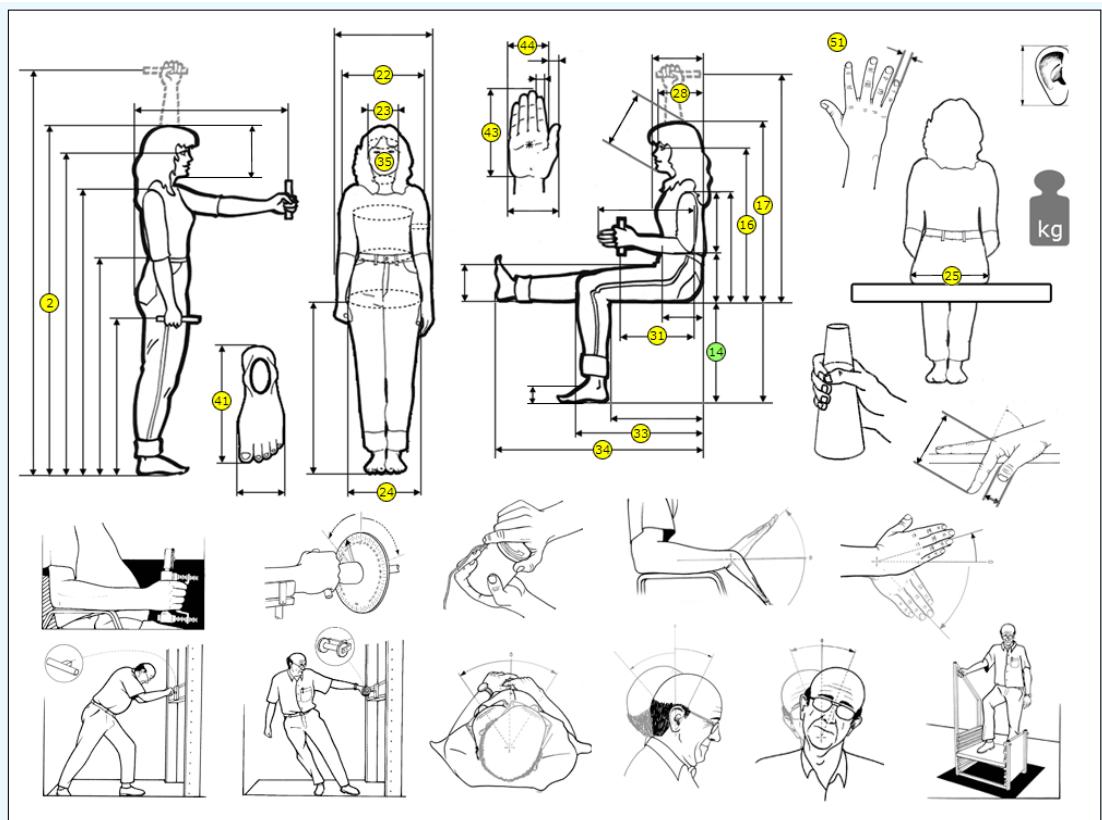


Figura 31 Ilustración de las medidas disponibles para las distintas poblaciones

Base de datos de la NASA (82)

En el NASA-level standards document Volumen 1, sección 3, se presenta información sobre el tamaño del cuerpo humano, postura, movimiento, superficie, volumen y masa.

En el documento encontramos mediciones muy detalladas y completas pero son tomadas a personal que trabaja en la NASA por lo que las medidas corresponden a un sector poblacional muy concreto, tal y como se explica en el documento:

"Para los propósitos de este documento, las dimensiones del cuerpo y descripciones de movilidad se limitan a la gama de personal que se considera más probable que sean miembros de la tripulación del módulo espacial y personal visitante. Se supone que este personal estará en buen estado de salud, completamente adulto en el desarrollo físico, y una edad media de 40 años. Una amplia gama de orígenes étnicos y raciales puede ser representada. Los miembros de la tripulación pueden ser masculinos o femeninos. Los datos dimensionales en el párrafo 3.3.1, Tamaño del cuerpo, son las estimaciones del tamaño de la tripulación en el año 2000."

Datos antropométricos de la población laboral española INSHT (15)

El estudio, responde al desarrollo del proyecto nacional INSHT/PN 543, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Entre sus objetivos se encuentran el desarrollar un método para la obtención de datos antropométricos de la población laboral española, de acuerdo con los criterios más autorizados y, en particular, con las recomendaciones incluidas en la norma internacional UNE EN ISO 7250:1998 (1) y, consecuentemente, el establecimiento de una base de datos antropométricos de la población laboral española.

Los datos que se ofrecen son perfectamente utilizables ya que han sido sometidos al tratamiento apropiado y contrastados con otras bases de datos internacionales e, incluso, utilizados para contribuir a elaborar la información contenida en las normas internacionales UNE EN ISO 7250:1998 y UNE EN 547-3:1997.

La población objeto del estudio está formada por la llamada Población Ocupada de España, al considerar que es el grupo que mejor representa, dentro de aquellos para los que se dispone de datos estadísticos, a la población laboral. Esta Población, de acuerdo con la información correspondiente a 1996(4) estaba formada por una muestra, que ha resultado ser de 1723 personas, de las que 1130 son hombres y 593 mujeres, representativa de la proporción que ambos sexos tienen en la población ocupada. En la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los estratos por sexo y edad y su proporción respectiva con relación al total de hombres y mujeres.

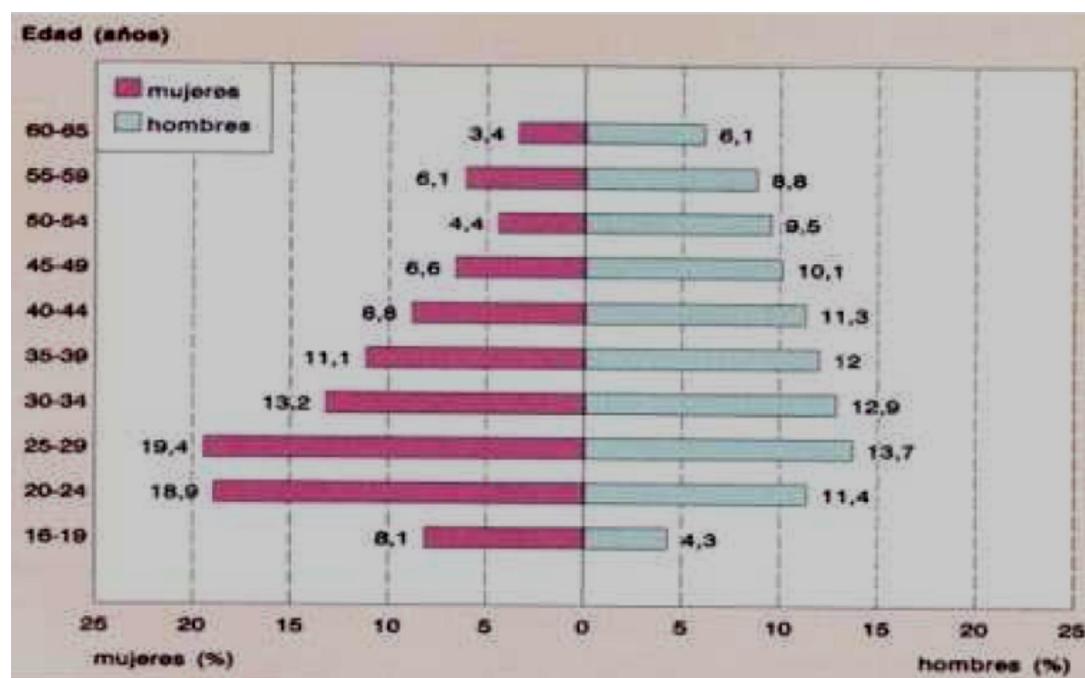


Figura 32 Distribución por sexo y edad y su proporción respectiva del total

Esta base de datos antropométricos es muy completa en ella encontramos hasta 48 mediciones corporales, para los percentiles P1, P5 , P50, P95 y P99, la desviación típica, el error típico, la media e incluso su referencia a la norma UNE EN ISO 7250:1998.

Tablas Antropométricas.

Tabla procedente de la normativa UNE EN ISO 15536

Comparación y error de las medidas fundamentales aplicadas a los avatares

Tabla 4 Comparación entre datos iniciales y mediciones medidas directamente de los maniquíes representativos de los hombres en posturas normalizadas. (Tabla extraída de la norma UNE EN ISO 15536 para la valoración de la precisión)

Medidas antropométricas básicas		P5 hombre			P50 hombre			P95 hombre		
		Datos iniciales	Medida en maniquí	Diferencia %	Datos iniciales	Medida en maniquí	Diferencia %	Datos iniciales	Medida en maniquí	Diferencia %
1.	Estatura (altura del cuerpo)	1583	1583.4	0.03	1698	1698.1	0.01	1820	1819.5	-0.03
2.	Altura sentado (erguido)	816	807.5	-1.04	874	873.8	-0.02	936	929.7	-0.67
3.	Alcance hacia delante (con el puño)	632	624.5	-1.19	720	721.3	0.18	796	799.8	0.48
4.	Anchura de hombros (biacromial)	318	318.7	0.22	386	384.9	-0.28	436	434.3	-0.39
5.	Anchura de caderas (de pie)	310	306.9	-1.00	344	337.6	-1.86	383	389.2	1.62
6.	Espesor del pecho (de pie)	209	209.2	0.10	251	253.2	0.88	292	291.2	-0.27
7.	Espesor del cuerpo (de pie)	184	187.8	2.07	240	240.3	0.125	301	293.1	-2.62
8.	Anchura del pecho (de pie)	280	284.8	1.71	320	330.9	3.41	364	371.1	1.95
9.	Altura del codo (de pie)	970	983.3	1.37	1049	1047	-0.19	1134	1117.9	-1.42
10.	Longitud hombro-codo	328	333.5	1.68	366	374.9	2.43	399	410	2.76
11.	Altura de la tibia	409	410.3	0.32	461	455.7	-1.15	520	510.6	-1.81
12.	Espacio libre para el muslo	516	520.2	0.81	568	586.9	3.33	619	647.1	4.54

^a La descripción de estas medidas antropométricas se proporcionan en la Norma ISO 7250

Tabla 5 Comparación entre datos iniciales y mediciones medidas directamente de los maniquíes representativos de las mujeres en posturas normalizadas. (Tabla extraída de la norma UNE EN ISO 15536 para la valoración de la precisión)

Medidas antropométricas básicas ^a		P5 mujer			P50 mujer			P95 mujer		
		Datos iniciales	Medida en maniquí	Diferencia %	Datos iniciales	Medida en maniquí	Diferencia %	Datos iniciales	Medida en maniquí	Diferencia %
1.	Estatura (altura del cuerpo)	1494	1494.6	0.04	1596	1596.8	0.05	1701	1701.3	0.02
2.	Altura sentado (erguido)	772	778.1	0.79	830	827.4	-0.31	884	883.6	-0.05
3.	Alcance hacia delante (con el puño)	587	587	0.00	663	670	1.06	734	738.4	0.60
4.	Anchura de hombros (biacromial)	287	282.9	-1.43	351	350.3	-0.20	397	397	0.00
5.	Anchura de caderas (de pie)	299	302.7	1.24	337	340.4	1.01	388	400.2	3.14
6.	Espesor del pecho (de pie)	207	202.2	-2.32	241	230.1	-4.52	304	296.5	-2.47
7.	Espesor del cuerpo (de pie)	160	167.8	4.88	203	191.4	-5.71	279	283.8	1.72
8.	Anchura del pecho (de pie)	247	247.7	0.28	280	288.6	3.07	328	336.1	2.47
9.	Altura del codo (de pie)	913	920.2	0.79	985	971.8	-1.34	1059	1029.7	-2.77
10.	Longitud hombro-codo	303	310.7	2.54	335	353.6	5.55	368	393.3	6.88
11.	Altura de la tibia	384	384.9	0.23	430	429.4	-0.14	488	484.8	-0.66
12.	Espacio libre para el muslo	484	489	1.03	540	545.3	0.98	595	618.7	3.98

^a La descripción de estas medidas antropométricas se proporcionan en la Norma ISO 7250

A continuación se muestran las tablas, con los datos antropométricos utilizados, obtenidos de documento del INSHT.

Nº(Refer. ISO 7250)	Designación	Media Tipica	mujer			hombre		
			Desv. P05	P50	P95	Desv. P05	P50	P95
1 Medidas tomadas con el sujeto de pie (mm)								
1(4.1.1)	Masa corporal	60,45	9,18	48,1	59,0	77,0	75,67	11,05
2(4.1.2)	Estatura	1595,37	62,97	1494	1596	1701	1698,84	70,49
3(4.1.3)	Altura de los ojos	1491,17	60,95	1393	1490	1595	1592,82	69,50
4(4.1.4)	Altura de los hombros	1320,09	57,66	1229	1319	1420	1414,62	63,68
5(4.1.5)	Altura del codo	985,65	47,86	913	985	1059	1049,11	50,48
6(4.1.6)	Altura de la espina ilíaca	907,54	48,50	829	908	985	948,48	55,60
7(4.1.8)	Altura de la tibia	432,32	31,65	384	430	488	461,96	34,80
8(4.1.9)	Espesor del pecho, de pie	245,75	28,73	207	241	304	250,95	25,73
9(4.1.10)	Espesor abdominal, de pie	207,88	36,98	160	203	279	241,66	36,16
10(4.1.11)	Anchura del pecho	283,16	28,01	247	280	328	321,35	26,97
11(4.1.12)	Anchura de caderas (de pie)	340,01	27,07	299	337	388	345,02	22,56

Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más alto de la cabeza.

Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al vértice interno de los ojos.

Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más elevado del acromion.

Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto óseo más bajo del codo flexionado.

Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) a la espina ilíaca antero-superior.

Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más alto del borde antero superior interno de la glena tibial (platillo tibial interno).

Espesor del torso a nivel mesosternal, medido en el plano sagital medial del pecho a la altura del plano horizontal que pasa por el vértice inferior de ambos omóplatos.

Espesor del vientre a la altura de la protuberancia máxima anterior del abdomen.

Anchura máxima horizontal del tórax.

Distancia máxima horizontal entre caderas o muslos.

Anexo I. ANTROPOMETRÍA.

Nº(Refer. ISO 7250)	Designación	Media	Desev. Típica	mujer			hombre					
				P05	P50	P95	Media	Desev. Típica	P05			
2 Medidas tomadas con el sujeto sentado (mm)												
12 (4.2.1)	Altura sentado	830,34	34,23	772	830	884	874,99	36,59	816	874	936	Distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el punto más alto de la cabeza.
13 (4.2.2)	Altura de los ojos, sentado	726,00	32,46	673	725	779	767,16	35,75	710	767	828	Distancia vertical desde la superficie horizontal de asiento al vértice interno del ojo.
14 (4.2.3)	Altura del punto cervical, sentado	604,95	28,43	559	604	651	644,97	30,30	596	645	697	Distancia vertical máxima desde la superficie horizontal de asiento hasta el punto correspondiente al extremo superior de la apófisis espinosa de la séptima vértebra cervical.
15 (4.2.4)	Altura de los hombros, sentado	556,32	29,04	511	556	604	590,36	29,85	543	589	640	Distancia vertical desde la superficie horizontal de asiento hasta el punto más elevado del acromion.
16 (4.2.5)	Altura del codo, sentado	222,82	24,70	182	223	264	226,10	27,24	181	224	272	Distancia vertical desde una superficie de asiento horizontal hasta el punto óseo más bajo del codo flexionado en ángulo recto, con el antebrazo horizontal
17 (4.2.6)	Longitud hombro - codo	335,06	19,84	303	335	368	365,05	21,78	328	366	399	Distancia vertical desde el acromion hasta el punto más bajo del codo flexionado en ángulo recto, con el antebrazo horizontal
18 (4.2.8)	Anchura de hombros, biaxial	347,15	33,92	287	351	397	381,37	37,00	318	386	436	Distancia, en línea recta, entre los extremos externos de ambos acromios
19 (4.2.10)	Anchura entre codos	420,30	45,45	346	419,5	500	477,51	46,14	398	479	551	Distancia máxima horizontal entre las superficies laterales de ambos epicondilos laterales.
20 (4.2.11)	Anchura de caderas, sentado	366,85	32,87	312	368	425	364,25	29,06	317	363	415	Distancia horizontal máxima entre caderas, medida sobre un plano paralelo al de asiento y sobre la parte más ancha de ambos muslos.
21 (4.2.12)	Longitud de la pierna (altura del popiteo)	399,41	26,17	356	400	445	437,99	25,65	388	428	468	Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies hasta la superficie inferior del muslo inmediata a la rodilla, con ésta doblada en ángulo recto
22 (4.2.13)	Espesor del muslo, sentado	141,42	16,99	112	142	169	146,55	19,60	113	147	176	Distancia vertical desde la superficie de asiento al punto más alto del muslo derecho.
23 (No incl.)	Altura del muslo, sentado	538,983	33,743	484	540	595	568,33	31,46	516	568	619	Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) al punto más alto del muslo derecho.
24 (4.2.15)	Espesor abdominal, sentado	213,245	38,897	163	206	289	254,24	39,95	190	254	320	Máxima espesor del abdomen en posición sentado.

Nº(Refer. ISO 7250)	Designación	Media Típica	mujer			hombre		
			Desv. P05	P50	P95	Media Típica	Desv. P05	P50
3 Medidas de segmentos específicos del cuerpo (mm)								
25 (4.3.1)	Longitud de la mano	172,99	8,72	159	173	188	188,18	9,79
26 (4.3.3)	Anchura de la palma de la mano (en metacarpianos)	77,65	4,69	70	78	86	89,30	5,99
27 (4.3.4)	Longitud del dedo índice	68,46	4,01	62	68	75	73,89	4,64
28 (4.3.5)	Anchura proximal dedo índice	18,11	1,54	16	18	21	0,80	1,50
29 (4.3.6)	Anchura distal del dedo índice	15,51	1,44	13	15	18	18,23	1,62
30 (4.3.7)	Longitud del pie	236,65	13,35	215	237	257	259,36	14,56
31 (4.3.8)	Anchura del pie	90,92	6,70	79	91	100	100,34	7,68
32 (4.3.9)	Longitud de la cabeza	181,18	7,02	170	181	193	190,64	7,63
33 (4.3.10)	Anchura de la cabeza	140,25	6,91	129	141	151	147,09	6,99
34 (4.3.11)	Longitud de la cara (nasionmentón)	119,57	11,48	107	118	135	127,79	10,43
35 (4.3.12)	Perímetro de la cabeza	552,36	16,27	525	552	580	572,63	18,24
36 (4.3.13)	Arco de la cabeza	345,587	24,575	310	342	392	358,84	24,75
37 (4.3.14)	Arco bitrajial	350,836	18,809	320	351	381	364,07	18,76
38 (No incl.)	Distancia interpupilar	61,017	4,029	55	61	68	63,68	4,30

Nº(Refer. ISO 7250)	Designación	Media	mujer			hombre					
			Desv. Típica	P05	P50	P95	Media	Desv. Típica	P05	P50	P95
4 Medidas funcionales (mm)											
39(4.4.2)	Alcance máximo horizontal (puño cerrado)	661,75	43,46	587	653	734	718,36	48,92	632	720	796 si
40(4.4.3)	Longitud codo - puño	315,83	21,68	281	315	351	346,45	20,71	312	347	380
41(4.4.4)	Altura del tercer metacarpiano	706,94	36,61	647	706	767	746,38	40,51	680	746	813
42(4.4.5)	Longitud codo-punta de dedos	421,53	22,78	385	421	458	460,73	24,37	420	461	501 si
43(4.4.6)	Profundidad de asiento	486,56	24,59	450	485	531	497,16	29,06	451	497	545
44(4.4.7)	Longitud rodilla - trasero	575,08	27,85	530	573	622	598,92	30,22	550	598	650 comp
45(4.4.8)	Perímetro del cuello	329,64	22,97	297	326	372	388,53	25,34	348	388	430 si
46(4.4.9)	Perímetro torácico, de pie	921,15	85,08	810	909	1083	994,06	83,68	860	989	1130 si
47(4.4.10)	Perímetro de cintura, de pie	782,12	98,94	654	765	981	918,83	99,99	751	920	1075 si
48(4.4.11)	Perímetro de la muñeca	152,38	8,95	139	152	168	173,34	9,69	157	173	189 si

Distancia horizontal desde una superficie vertical hasta el eje del puño de la mano mientras el sujeto apoya ambos omóplatos contra la superficie vertical.

Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta el eje del puño, el codo flexionado en ángulo recto.

Distancia vertical desde la superficie de apoyo de los pies (suelo) hasta la cabeza del tercer metacarpiano.

Distancia horizontal desde la parte posterior del brazo (a la altura del codo) hasta la punta de los dedos, el codo flexionado en ángulo recto.

Distancia horizontal medida desde, el borde posterior de la cabeza del peroné, hasta el punto posterior del trasero.

Distancia mínima horizontal desde el vértice rotuliano inferior al punto posterior del trasero.

Longitud máxima del perímetro del cuello medida según el plano horizontal que pasa justo por debajo de la protuberancia del cartílago tiroideo.

Perímetro del torso a la altura del plano que pasa por el borde inferior de ambos omóplatos.

Perímetro mínimo del tronco medido sobre la zona situada entre las costillas inferiores y la cresta ilíaca.

Circunferencia de la muñeca medida entre las apófisis estiloides y la mano, con la misma extendida.

Anexo II. NORMATIVA.

A continuación se explica brevemente en que consiste la normativa que se ha consultado para la realización de este proyecto.

UNE-EN ISO 15536-1 Ergonomía. Maniquíes informatizados y plantillas del cuerpo humano. (28, 29)

Esta norma se compone de dos partes:

Parte 1: “*Requisitos generales*”. Establece los requisitos generales para el diseño y desarrollo de maniquíes informatizados, plantillas del cuerpo humano y sistemas basados en maniquíes. Aborda sus propiedades antropométricas y biomecánicas, teniendo en cuenta su usabilidad y las restricciones relativas a su complejidad estructural y versatilidad funcional. Puede utilizarse como guía para la selección de maniquíes y de los sistemas basados en ellos, así como para la evaluación de su precisión y usabilidad para un uso determinado.

Parte 2: “*Verificación de funciones y validación de dimensiones de los sistemas de maniquíes informatizados*”. Establece los requisitos que conciernen a la documentación de los datos empleados en la construcción de dichos maniquíes y a los métodos utilizados para verificar y validar sus funciones en relación con su precisión dimensional. Aunque se refiere fundamentalmente a datos y métodos antropométricos, incluye algunos parámetros biomecánicos que son necesarios para construir y aplicar estos maniquíes.

UNE-EN ISO 15537 Principios para la selección y empleo de personas en el ensayo de aspectos antropométricos de productos y diseños industriales. (70)

Esta Norma Internacional, establece métodos para determinar la composición de grupos de personas cuyas características antropométricas sean representativas de la población de usuarios potenciales de cualquier objeto específico sometido a ensayo.

Esta norma es aplicable al ensayo de los aspectos antropométricos de aquellos productos y diseños industriales que vayan a tener un contacto directo con el cuerpo humano o dependan de sus medidas, por ejemplo, máquinas, equipos de trabajo, EPI, bienes de consumo, espacios de trabajo, detalles arquitectónicos o equipos de transporte.

También es aplicable al ensayo de los aspectos de seguridad de los productos que dependan de las medidas del cuerpo humano.

UNE-EN ISO 15535 Requisitos generales para el establecimiento de bases de datos antropométricos. (71)

Esta Norma Internacional está prevista para ser empleada en estrecha relación con la Norma ISO 7250. Especifica qué requisitos deben cumplir las bases de datos antropométricos así como los informes derivados de las mismas, siempre considerando que las medidas se efectúan de acuerdo con lo indicado en la Norma ISO 7250.

UNE-EN ISO 7250 Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. (14)

Esta Norma Internacional proporciona una descripción de las medidas antropométricas que se pueden utilizar como base para la comparación de grupos de población. Establece cuatro grupos de medidas fundamentales:

Medidas tomadas con el sujeto de pie: como la estatura, la altura de los ojos, hombros y codo, anchura del pecho y de caderas, etc.

- Medidas tomadas con el sujeto sentado: aquí también se indica la altura (sentado), la altura de los ojos, hombros y codo, anchura de hombros y de cadera, espesor del muslo, altura de la rodilla, etc.
- Medidas de segmentos específicos del cuerpo: como la longitud de la mano, la anchura de la mano en los metacarpianos, la longitud del dedo índice, la longitud y anchura del pie, longitud y anchura de la cabeza, etc.
- Medidas funcionales: como el alcance del puño (hacia delante), la longitud antebrazo-punta de los dedos, longitud poplíteo-trasero (profundidad del asiento), perímetro del cuello, pecho, cintura, muslo, etc.

En total, define 56 dimensiones para cada una de las cuales la norma indica la descripción, el método y el instrumento de medida, acompañado de una figura que facilita la comprensión de la misma.

Método: Sujeto de pie, completamente derecho, con los pies juntos. La cabeza orientada en el plano de Frankfurt. (Plano horizontal).

Instrumento de medida: Antropómetro.

UNE-EN ISO 20685 Metodología de exploración tridimensional para establecer bases de datos antropométricos compatibles de ámbito internacional. (72)

Como hemos visto en apartados anteriores uno de los instrumentos de recogida de medidas antropométricas relativamente nuevo es el escáner tridimensional (3D). El objetivo de esta norma es asegurar la compatibilidad de las medidas del cuerpo especificadas en la norma ISO 7250 tomadas mediante exploración en 3D y que dichos

datos puedan ser convenientemente integrados en las bases de datos internacionales descritas en la norma ISO 15535.

UNE-ENE 547 Seguridad de las máquinas. Medidas del cuerpo humano. (73)

Esta norma consta de tres partes:

La parte 1: “Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para el paso de todo el cuerpo en las máquinas”, especifica las dimensiones de las aberturas destinadas al paso de todo el cuerpo, aplicadas a las máquinas.

La parte 2: “Principios para la determinación de las dimensiones requeridas para las aberturas de acceso”, es similar pero referida a las aberturas de acceso.

La parte 3 de la norma: “Datos antropométricos” es la que establece las medidas requeridas por las dos partes anteriores para el cálculo de las dimensiones de las aberturas de acceso en máquinas.

ANEXO III. INSTRUMENTACIÓN

Sistema "move human-sensors"

El sistema "MoveHuman-Sensors" se basa en la captura de movimiento "*Motion Capture*"(22).

Esta captura consiste en recoger los movimientos que hace una persona mediante unos sensores iniciales, imitando dichos movimientos con modelos virtuales de personas o avatares adecuados a las medidas antropológicas de cada persona, mediante un software de animación 3D.

La finalidad del Sistema "MoveHuman-Sensors" (en adelante MH-Sensors) es proporcionar un sistema de captura de movimiento portátil, que nos permita realizar posteriormente un análisis tridimensional del movimiento humano. En el caso que nos ocupa estaría enfocada al análisis y evaluación de la capacidad funcional de un sujeto, pero también se utiliza como herramienta para medir la evaluación de riesgos en el ámbito laboral (83, 84).

Para capturar el movimiento, además de utilizar un conjunto de sensores iniciales que se fijan en ciertos puntos anatómicos, necesitamos un software de animación 3D. La combinación de ambos permiten trasladar el movimiento capturado a un modelo biomecánico, para posteriormente hacer un análisis preciso de los movimientos capturados.

Procedimiento

El procedimiento a seguir para llevar a cabo el análisis de la Capacidad Funcional de un sujeto haciendo uso del sistema MH-Sensors se puede sintetizar en **3 fases**.

En la **1^a fase** se realiza la captura del movimiento propiamente dicha de cada uno de los movimientos articulares que se desea estudiar, siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.

En la **2^a fase** se hará uso del software de simulación 3D donde, ejecutando ciertas funciones implementadas en dicho software, se procesarán los datos recogidos de los sensores con el fin de recrear el movimiento sobre un modelo biomecánico que se moverá como el sujeto observado (17, 85).

A la vez, se realizaran los cálculos necesarios de ángulos y velocidades de los movimientos articulares capturados y se exportaran a ciertos ficheros para su tratamiento posterior en la siguiente fase.

En la **3^a fase** podremos analizar, por medio de una hoja Excel donde se importarán los ficheros generados en la fase anterior, los datos resultantes para valorar la capacidad del sujeto en relación a la normalidad de los movimientos articulares capturados, comparando serie 1^a y 2^a. Finalmente podremos generar un informe detallado de los resultados de la prueba en un formato pre-maquetado MS-Word en el cual podremos incluir las conclusiones del estudio.

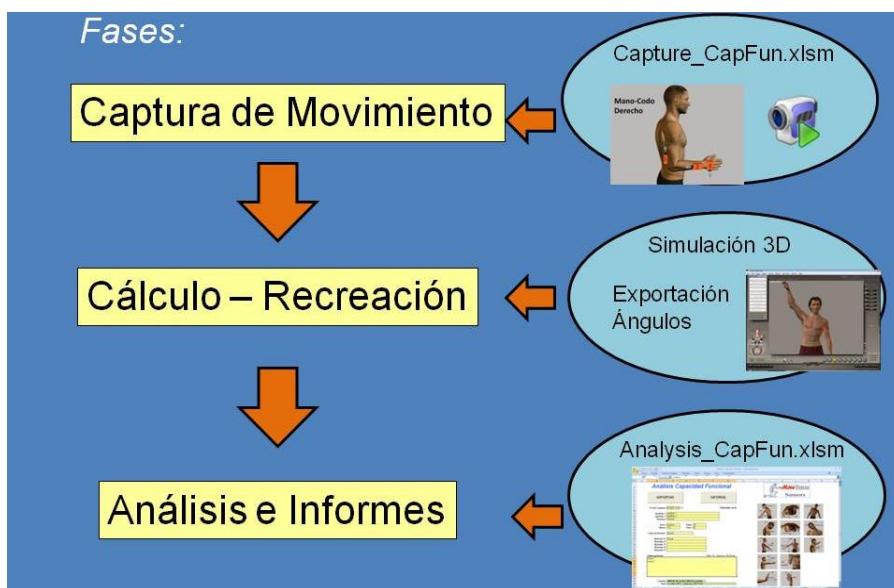


Figura 33 Fases del procedimiento de trabajo

Sensores inerciales

Para medir la capacidad funcional en nuestro caso, es preciso disponer de 9 sensores inerciales. El equipo se complementa con una antena o "Dongle", capaz de transmitir de forma inalámbrica los datos de la captura permitiendo la comunicación entre los sensores y un ordenador portátil.

Para las pruebas de evaluación de la capacidad funcional cervical y de hombros se utilizan sensores inerciales inalámbricos de la marca Colibrí.



Figura 34 Sensores Colibrí y “Dongle” USB de comunicación.

Estos sensores irán sujetos al cuerpo del sujeto a evaluar, mediante un conjunto de fijaciones. Cada sensor se identifica mediante un número que determina la zona del cuerpo sobre la que deberá ir colocado. Los sensores numerados se colocan siguiendo la siguiente secuencia:

- Sensor 1 Pelvis parte posterior
- Sensor 2 Tórax parte posterior
- Sensor 3 Cabeza (situado en las gafas)
- Sensor 4 Húmero brazo derecho
- Sensor 5 Muñeca antebrazo derecho.
- Sensor 6 Húmero brazo izquierdo
- Sensor 7 Muñeca antebrazo izquierdo.
- Sensor 8 Mano derecha.
- Sensor 9 Mano izquierda.

Equipos complementarios para la captura

Para la realización de las capturas necesitamos colocar los sensores antes descritos sobre el cuerpo del paciente. Para ello necesitamos una serie de fijaciones que describimos a continuación.

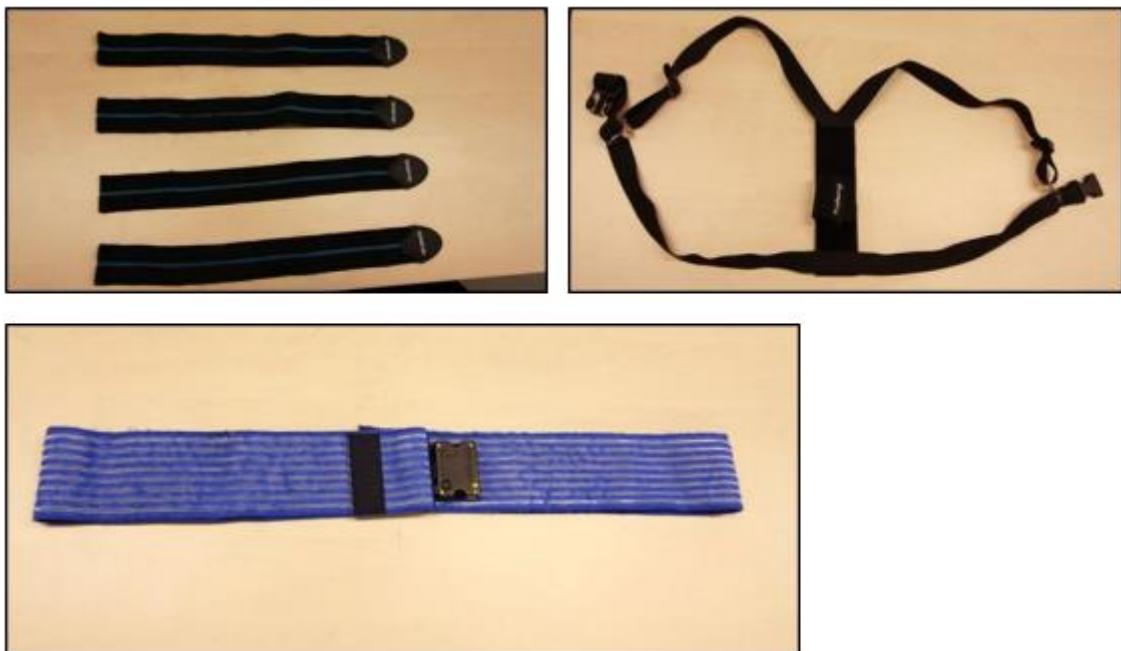


Figura 35 Fijaciones de los sensores

Para la colocación del sensor de la cabeza se utilizan unas gafas de protección homologadas de la marca UVEX. Las gafas disponen en la parte superior de una base donde colocar el sensor. La posición horizontal de esta base se corresponde con la posición horizontal de la cabeza.

Para la captura de movimientos y el análisis de los datos utilizaremos un ordenador con altas prestaciones para que la tarea sea desarrollada con la necesaria celeridad.



Figura 36 Gafas



Figura 37 Ordenador portátil utilizado durante las capturas

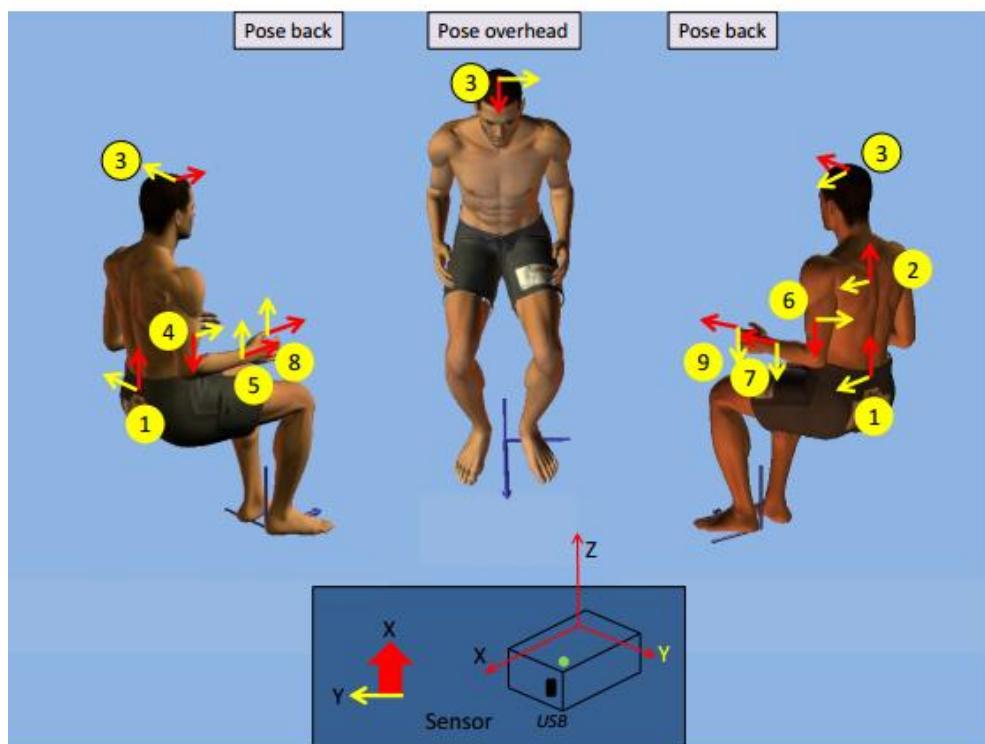
Para filmar las capturas utilizamos una webcam, colocada sobre un trípode y conectada al ordenador mediante una conexión USB, esto es necesario para poder comprobar en cualquier momento que los movimientos que vemos en el ordenador corresponden con los que está realizando el sujeto y no hay ningún tipo de interferencia.



Figura 38 Dos modelos de cámara de alta definición utilizados

Colocación y orientación de los sensores y fijaciones

La numeración de los sensores y su orientación se presenta en la siguiente imagen, donde las flechas de color rojo representan el eje X y las de color amarillo el eje Y.



A continuación la colocación de los sensores sobre el cuerpo.

Figura 39 Posición y orientación del tren superior del cuerpo



Figura 42 Colocación en tórax



Figura 40 Colocación en brazos



Figura 41 Colocación en pelvis

ANEXO IV. REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS

Prácticas realizadas en el IMLA (Instituto de Medicina Legal de Aragón) junto a la médico forense Cristina Mochales, desarrolladas durante los meses de Octubre y Noviembre de 2014. Se realizan reuniones en el Edificio Torres Quevedo de la UZ y labores de campo en el laboratorio de antropología y la sala de autopsias del IMLA.

El objetivo de la realización de las prácticas es el desarrollo de un protocolo para la representación en 3D de personas fallecidas, antes de la realización de la autopsia. Elaborando así una biblioteca 3D de contenido forense, relacionado con las dimensiones de heridas producidas por arma blanca, ángulo de incidencia, marcas de accidentes, etc.

Las técnicas planteadas para la reconstrucción tridimensional son el uso de fotogrametría, con el software Photomodeler Scanner y una cámara de fotos Canon EOS (Figura 44) y el uso del escáner 3D Eva de la empresa Artec (Figura 43). La fotogrametría presenta ventajas económicas y facilidad de uso frente al escáner, pero la precisión y realismo obtenido por este último en la reconstrucción es bastante superior. Por eso se trabajan ambas técnicas y el protocolo a seguir para el uso de cada una de ellas y finalmente se comparan las ventajas e inconveniente de las mismas.



Figura 44 Cámara fotográfica Canon EOS 60 D



Figura 43 Escáner 3D EVA de Artec

La instrumentación utilizada durante las labores de campo en la sala de autopsias son, la cámara fotográfica, un trípode, el escáner 3D, un ordenador portátil con los software photomodeler scanner y Artec instalados para el procesado de las capturas y una cinta métrica para la toma de medidas protocolarias.

El desarrollo de las prácticas consistió en acudir al laboratorio de antropología coger un cadáver momificado, llevarlo a la sala de autopsias y una vez allí realizar pruebas en la toma de fotografías, posición, orientación, distancias, enfoque, colocación de la instrumentación, el ordenador, el cableado... y definir el protocolo a seguir para una toma de datos fiable, robusta, realizable en otras salas de autopsias y asegurando la

repetitividad de las pruebas. Después en los laboratorios de la UZ se procesaban los datos, se configuran los parámetros y se analizan los resultados para asegurar la fiabilidad del proceso.

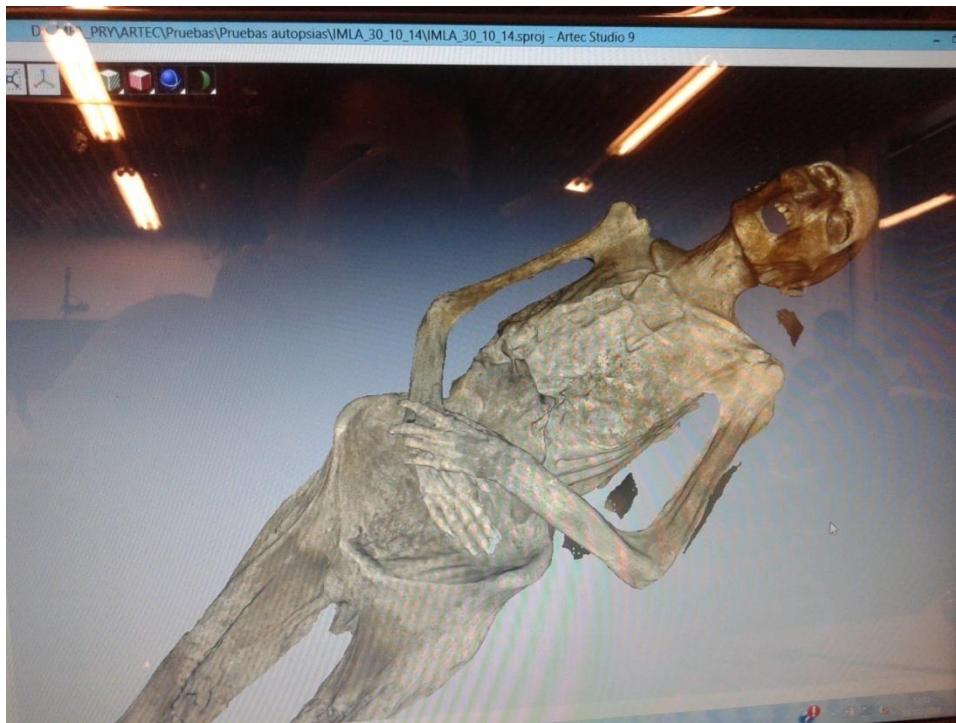


Figura 45 representación 3D obtenida con escáner EVA

Una vez que se estableció el primer protocolo se da el siguiente paso que consiste en la toma de datos sobre cadáveres recientes que son los que realmente van a ser sujeto de estudio.