

custom-on-body

MEMORIA

PT2. Registro de la
variabilidad morfológica
y de las preferencias del
usuario

**Definición de una metodología de
diseño para la personalización de
productos adaptados a la variabilidad
morfológica de la población, que sean
fabricados mediante tecnologías de
producción flexible**



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de
Desarrollo Regional

Una manera de hacer Europa



IVACE
INSTITUT VALENCIÀ DE
COMPETITIVITAT EMPRESARIAL



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO	5
3. REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REGISTRO COMERCIALES	6
4. TÉCNICAS PARA EL REGISTRO DE LAS PREFERENCIAS DE USUARIO EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS PERSONALIZADOS	12
4.1. CAPTACIÓN DE PREFERENCIAS A TRAVÉS DEL HISTORIAL DE COMPRAS Y BÚSQUEDAS DE INFORMACIÓN EN LA RED	15
4.2. MARKETING COMO HERRAMIENTA PARA EL REGISTRO DE PREFERENCIAS: <i>INBOUND MARKETING</i>	16
4.3. CO-DISEÑO	17
5. PROTOCOLO PARA EL REGISTRO DIMENSIONAL DE CABEZA CUERPO Y EXTREMIDADES	19
5.1. PROTOCOLOS DE REGISTRO Y GENERACIÓN DE AVATARES	19
5.1.1. CUERPO COMPLETO	19
5.1.2. EXTREMIDADES: PIES	23
5.1.3. EXTREMIDADES: MANOS	26
5.1.4. EXTREMIDADES: CABEZA	27
5.2. TEST DE EVALUACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE REGISTRO Y GENERACIÓN DE AVATARES	31
5.2.1. CUERPO COMPLETO	31
5.2.2. EXTREMIDADES: PIES	34
6. BIBLIOGRAFÍA	39

1. INTRODUCCIÓN

En este informe se recoge el protocolo de registro de la morfología 3D revisado, que incluye el procedimiento tanto para registrar la morfología del cuerpo, como para tratar el fichero de salida para la generación de los avatares. Previamente se hará una breve descripción de la revisión y evaluación llevada a cabo de los sistemas de registro comerciales, y de las técnicas para el registro de las preferencias de usuario, con los que se ha elaborado el protocolo de registro.

2. OBJETIVO

Los sistemas de registro de bajo coste generan una nube de puntos, de la que no es posible extraer medidas cuantitativas y cualitativas para diseñar productos. El objetivo de este paquete de trabajo es desarrollar aplicaciones que permitan generar un avatar del cuerpo a partir de los registros 3D, generando un protocolo que detalle cómo deben obtenerse los registros y tratarse para generar los avatares, e identificando a su vez técnicas para obtener información del usuario. Tanto el protocolo como las técnicas de captación de las preferencias de usuario se emplearán para definir la metodología de diseño de productos personalizados, tanto a nivel emocional como funcional (en el PT5).

3. REVISIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE REGISTRO COMERCIALES

Se ha realizado una revisión de las soluciones comerciales de bajo coste, presentes en el mercado para escanear el cuerpo. De cada uno de los equipos comerciales identificados se ha recopilado información variada acerca de su precisión, resolución, campo de medida e incluso tiempos de procesado. La Tabla 1 muestra un resumen de la información recopilada para los escáneres corporales más representativos.

Tabla 1. Resumen de características técnicas de escáneres corporales.

Empresa/sistema de escaneo	Especificaciones técnicas	Coste
Microsoft Kinect	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste bajo
	Tecnología: RGBD	
ZBOT/ SCAN-X1	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio-bajo
	Velocidad captura: 30 FPS	
	Tiempo procesamiento: 3-5 minutos	
	Rango de escaneado: 40-200 cm	
	Precisión XY/profundidad: 0,6-0,9/0,05-1mm	
	Tecnología: luz estructurada	
MATRIX 3D CONCEPT Body Scanner	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio-bajo
	Tiempo captura 3D: 2 minutos	
	Tiempo procesamiento: 5 minutos	
	Área de escaneado: Ø60x200cm	
	Precisión: 0,6mm	
	Tecnología: luz estructurada	
3DMij	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio-bajo
	Tecnología: RGB	
FIT 3D/ Proscanner	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio-bajo
	Tiempo captura 3D: 40 segundos	
	Tecnología: RGBD	
SIZE STREAM/ SS20 3D Body Scanner	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio
	Tiempo captura 3D: 0,2-8 segundos	
	Tiempo procesamiento: 30 segundos	
	Volumen de escaneado: 200x95x80cm	
	Precisión: 3mm (cilíndrica)	
	Tecnología: RGBD	
Twindom/ Twinstant Mobile	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio
	Velocidad captura: 0,25 segundos	
	Tiempo procesamiento: 5-10 minutos	

	Volumen de escaneado: Ø90x200cm	
	Precisión/resolución: 0,05/0,7mm	
	Tecnología: luz estructurada	
TC2/ TC2-19B 3D Body Scanner	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio
	Tiempo captura 3D: 1 segundo	
	Tiempo procesamiento: 17 segundos	
	Volumen de escaneado: 80x103x210cm	
	Resolución: 75 puntos/cm ²	
	Tecnología: Sensores infrarrojos de profundidad	
Texel/ Portal	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio
	Tiempo captura 3D: 20 segundos	
	Tiempo procesamiento: 1-2 minutos	
	Área de escaneado: Ø120x220 cm	
	Precisión: 1mm	
	Tecnología: RGBD	
TELMAT/ SYMCAD	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio
	Tiempo captura 3D: 1-1,5 segundos	
	Precisión: ± 0,15%	
	Tecnología: luz estructurada	
4D Dynamics/ IIIDBody Scan	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste medio
	Tiempo captura 3D: 4 segundos	
	Volumen de escaneado: 170x170x210cm	
	Tecnología: RGBD	
Human Solutions/ VITUS ^{bodyscan}	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste alto
	Tiempo captura 3D: 1 segundo	
	Tiempo procesamiento: 6-10 segundos	
	Volumen de escaneado: 210x120x120cm	
	Precisión: 0,5mm	
	Tecnología: triangulación por láser	
3DMD/ 3DMDbody System	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste alto
	Tiempo captura 3D: 1,5 milisegundos	
	Precisión: <0,5mm (valor cuadrático medio)	
	Tecnología: sistema de captura 3D estéreo	
ESUN/ Twinlike Body Scanner	Escáner fijo de cuerpo completo	Coste alto
	Tiempo captura 3D: 3 segundos	
	Tiempo procesamiento: 5 segundos	
	Volumen de escaneado: Ø200x215cm	
	Precisión/resolución: 0,05/0,7mm	

	Tecnología: Luz estructurada	
XYZprinting/ Escáner 3D	Escáner portátil	Coste bajo
	Velocidad captura: 30 FPS	
	Volumen máximo escaneado: 100x100x200 cm	
	Resolución: 1-2,5mm	
	Tecnología: Intel® RealSense™	
3D systems/ iSense	Escáner portátil	Coste bajo
	Velocidad: 30 FPS	
	Volumen de escaneado (máx): 300x300x300 cm	
	Resolución (50cm) xy/profundidad: 0,9/1mm	
	Tecnología: luz estructurada	
Occipital/ Structure sensor	Escáner portátil	Coste bajo
	Velocidad: 30/60 FPS	
	Rango de funcionamiento: 40-350 cm	
	Precisión: 0,5mm a 40cm (0,15%)	
	Fuente de luz: luz estructurada	
SHINING 3D/ EinScan-Pro+	Escáner portátil	Coste medio-bajo
	Velocidad de escaneado: 450.000 puntos/seg	
	Rango de escaneado: 15-400 cm	
	Resolución: 0,16mm	
	Fuente de luz: LED de luz blanca	
Artec3D/ EVA	Escáner portátil	Coste medio
	Velocidad: Hasta 2M puntos/segundo	
	Área de escaneado (rango lejano): 53,6x37,1 cm	
	Resolución: 0,5 mm	
	Fuente de luz: Bombilla tipo flash (sin láser)	
THOR ^{3D} / THOR3D	Escáner portátil	Coste medio
	Velocidad de escaneado: 1,5M puntos/seg	
	Área de escaneado (máx): 91,4 x 122cm	
	Resolución: 1mm	
	Tecnología: luz estructurada	
Artec3D/ SPACE SPIDER	Escáner portátil	Coste medio
	Velocidad: Hasta 1M puntos/segundo	
	Área de escaneado (rango lejano): 18x14 cm	
	Resolución: 0,1 mm	
	Fuente de luz: LED azul	
SHINING 3D/ FreeScan X3	Escáner portátil	Coste medio
	Velocidad de escaneado: 210.000 puntos/seg	
	Rango de escaneado: 10x600 cm	

	Resolución: 0,1mm	
	Fuente de luz: láser	
Mantis Vision/ F5-B	Escáner portátil	Coste medio- alto
	Velocidad: 0,9M puntos/segundo	
	Área de escaneado (rango lejano): 310x363cm	
	Resolución: 0,5mm	
	Fuente de luz: laser (clase 1M)	
Creaform/ HandySCAN 300	Escáner portátil	Coste medio- alto
	Velocidad: 205.000 mediciones/segundo	
	Área de escaneado: 22,5 x 25 cm	
	Precisión/Resolución: 0,04mm/0,1mm	
	Fuente de luz: láser (clase 2M)	
Zeiss/ T-SCAN CS	Escáner portátil	Coste medio- alto
	Velocidad de escaneado: 210.000 puntos/seg	
	Profundidad de medida: +/- 50mm	
	Resolución: 0,075 mm	
	Fuente de luz: láser (clase 2M)	
I-Ware Laboratory Co/ INFOOT	Escáner de pie	-
	Velocidad de escaneado: 30mm/segundo	
	Tiempo procesamiento: 10 segundos	
	Área de escaneado: 40x20x15 cm	
	Precisión: Paso 1mm: Y-Z=1mm, X=2mm	
	Paso 0.5mm: Y-Z=1mm, X=1mm	
	Tecnología: sistema de láser óptico	
Human Solutions/ FootIn3D	Escáner de pie	-
	Tiempo de escaneado: 5-15 segundos/pie	
	Área de escaneado: 18x18x40 cm	
	Precisión/resolución: 0,3mm/0,1mm	
	Tecnología: láser, triangulación óptica	
VORUM/ Escáner 3D Yeti	Escáner de pie	-
	Velocidad de escaneado: 4 segundos	
	Precisión: +/- 0,5 mm	
	Tecnología: sistema de láser óptico	
I-Ware Laboratory Co/ Head Scanner	Escáner de cabeza y cara	-
	Velocidad de escaneado: ~10 segundos	
	Tiempo procesamiento: ~20 segundos	
	Área de escaneado: 44x32x32 cm	
	Precisión: Paso 1mm: Y-Z=1mm, X=2mm Paso 0.5mm: Y-Z=1mm, X=1mm	

	Tecnología: sistema de láser óptico	
Anatomi Metrix Manu3™	Escáner de manos	-
	Velocidad de captura: 30 milisegundos	
	Tiempo de procesado: 2 segundos	
	Tecnología: dos fotografías	

En general, la progresión de los escáneres corporales ha evolucionado hacia tecnología RGB y RGBD y se están abandonando los sistemas láser y de luz estructurada de alto coste que se han comercializado durante más de una década. Esta nueva tecnología de captura utiliza componentes de bajo coste (cámaras RGB o sensores de profundidad). El coste de esta tecnología depende del número de sensores de captura del escáner:

- Los sistemas que realizan la captura en una sola toma (tanto el sensor como el usuario permanecen quietos) tiene más precisión al no producirse movimientos ni cambios de postura. Los sensores se montan en una cabina para que permite situar los sensores de forma fija. En función de la configuración de cada equipo, se puede conseguir más o menos resolución. El precio de estos sistemas está en un rango intermedio entre 25-35k€.
- Los sistemas que utilizan solo un sensor de captura, requieren un protocolo de toma de datos que consiste en mover el sensor alrededor del cuerpo o que el usuario vaya girando para colocarse en varios ángulos distintos con respecto al sensor. La mayoría de estos equipos incluyen una peana giratoria donde se coloca el usuario. En otros casos, el que se mueve es la persona que realiza el escaneado, con lo que las vistas parciales del sujeto no se están alineadas con respecto a un sistema de referencia común (Figura 1). Estos sistemas se caracterizan por tener baja resolución, mucho ruido en la superficie de escaneado, la presencia de partes que corresponden al escenario de medida y que hay que aislar del cuerpo, y unas vistas parciales en 3D que hay que alinear para generar la forma corporal. Aunque el coste de estos dispositivos es relativamente bajo (entre 400-3.000€), se requieren algoritmos de procesado muy complejos para generar información útil en el proceso de diseño.

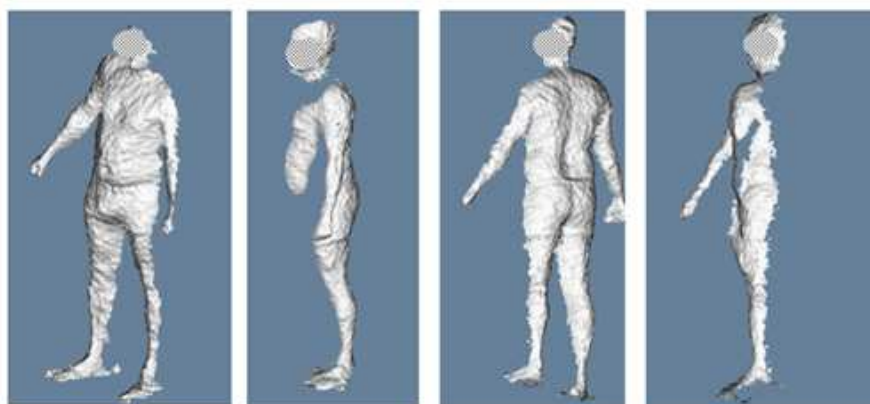


Figura 1. Vistas parciales de un escaneado corporal no alineadas respecto a un sistema de referencia común.

Se han solicitado escaneados corporales de prueba de más de 20 equipos distintos tanto comerciales como en desarrollo (Figura 2). Estos ejemplos se han utilizado para ajustar el protocolo de captura y los algoritmos de generación de avatares al mayor número de sistemas y características de los escaneados de entrada.

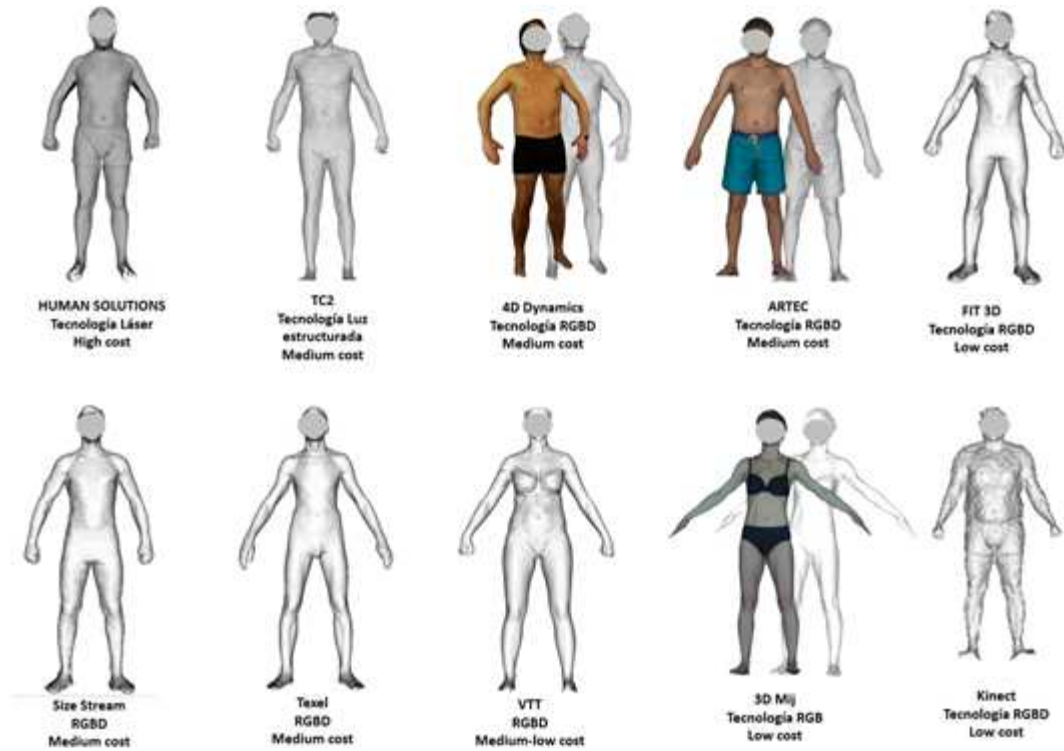


Figura 2. Representación de avatares corporales registrados con distintos sistemas de adquisición.

4. TÉCNICAS PARA EL REGISTRO DE LAS PREFERENCIAS DE USUARIO EN EL DESARROLLO DE PRODUCTOS PERSONALIZADOS

El objetivo de la personalización de productos es personalizar únicamente aquellos aspectos que van a conseguir crear un valor añadido en el consumidor, por eso es importante analizar qué tipo de personalización es la que el consumidor de un determinado producto está demandando y así evitar sobrecostos innecesarios.

Un producto puede considerarse que ha sido personalizado cuando una o más actividades del proceso productivo se realizan de acuerdo a necesidades específicas del cliente.

Existen 4 estrategias diferenciadas para personalizar productos¹ (Figura 3) que pueden ser utilizadas individualmente o combinándolas en función de si la personalización se realiza en el producto o en la forma de presentarlo:

- La **personalización colaborativa (collaborative customization)** lleva a cabo un diálogo con los clientes individuales para ayudarles a articular sus preferencias, para identificar la oferta precisa que cumple con esas preferencias, y para hacer productos a medida para ellos.
Un ejemplo de este tipo de personalización es una compañía de monturas de gafas que, a partir de una fotografía digital y las preferencias del usuario, propone una montura que posteriormente es refinada en la tienda junto con el vendedor.
- La **personalización adaptativa (adaptive customization)** ofrece un producto estándar, pero adaptable, dicho producto está diseñado para que los usuarios puedan alterarlo por sí mismos. El enfoque adaptativo es apropiado para las empresas cuyos clientes quieren el producto se configure de diferente manera en diferentes ocasiones, y cuando la tecnología disponible hace posible que puedan personalizar el producto con facilidad por su cuenta.
- La **personalización cosmética (cosmetic customization)** presenta un producto estándar de forma diferente a los diferentes clientes. El enfoque cosmético es adecuado cuando los clientes utilizan un producto de la misma manera y sólo se diferencian en la forma en que quieren que el producto sea presentado. En lugar de ser personalizado o personalizable, la oferta estándar está empaquetada especialmente para cada cliente. Por ejemplo, se muestra el producto de manera diferente, se anuncian sus atributos y beneficios de diferentes maneras, el nombre del cliente se coloca en cada artículo, etc. Aunque la personalización de un producto de esta manera es, francamente, cosmética, todavía es un valor real para muchos clientes.
- La **personalización transparente (transparent customization)** proporciona a los clientes individuales bienes o servicios únicos sin hacerles saber explícitamente que esos productos y servicios han sido diseñados para ellos. El enfoque transparente a la personalización es apropiado cuando las preferencias

¹ James H. Gilmore and B. Joseph Pine II. The Four Faces of Mass Customization. Harvard business review. January 1997.

específicas de los clientes son predecibles o pueden deducirse fácilmente, y especialmente cuando los clientes no quieren expresar sus preferencias en repetidas ocasiones. Personalizadores transparentes observan el comportamiento de los clientes y sin interacción directa, personalizan sus ofertas.

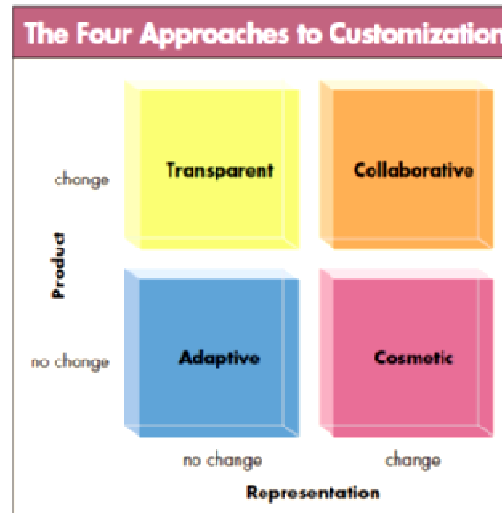


Figura 3. Tipos de personalización en función de si se realizan cambios en el producto o en su presentación.

En función de en qué etapa del proceso productivo se realice la personalización, es decir, qué etapa está influenciada por las preferencias del usuario, también podemos encontrar 4 tipos diferentes de personalización² (Figura 4):

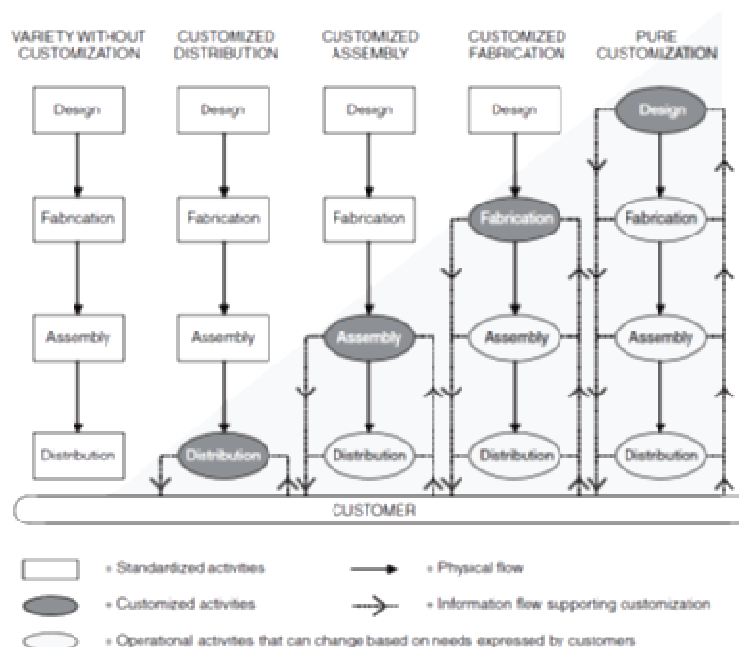


Figura 4. Tipo de personalización en función de en qué etapa del proceso productivo se realiza.

² Cipriano Forza and Fabrizio Salvador. Product Information Management for Mass Customization Connecting Customer, Front-office and Back-office for Fast and Efficient Customization. 2006. ISBN 13: 978-0-230-00682-9.

- **Personalización pura (pure customization).** Las necesidades específicas del cliente se consideran desde el proceso de diseño en adelante; de esta manera el producto es completamente personalizado. Con este tipo de estrategia, todos los pasos en el proceso de producción - diseño, fabricación, montaje y distribución - son altamente personalizados. Ejemplos de personalización pura se dan en empresas que diseñan y fabrican maquinaria industrial, empresas de construcción, fábricas de ropa y muchas tiendas de artesanía.
- **Fabricación personalizada (customized fabrication).** En este caso, las preferencias del cliente influyen directamente en las actividades de fabricación, no en el proceso de diseño. La compañía ofrece generalmente a los potenciales clientes un producto de base que posteriormente se modifica de acuerdo con sus preferencias. Sin embargo, los grados de flexibilidad y las modificaciones que pueden cambiar el producto base se definen a priori; de esta manera las necesidades del cliente están satisfechas (dentro de ciertos variantes fijos) sin modificar el diseño básico. Este es el caso de bicicletas (por ejemplo, Cannondale) y ropa industrial a medida (por ejemplo, Zegna).
- **Montaje personalizado (customized assembly).** En este caso, las preferencias del cliente influyen directamente en las actividades de montaje, no el proceso de diseño y fabricación. Los productos se hacen con un conjunto de componentes estándar, pero el montaje de este conjunto de componentes es personalizado para satisfacer los requisitos específicos de los clientes. Este es el caso, por ejemplo, de PCs personalizados. Otro ejemplo de montaje personalizado es la estantería modular.
- **Distribución personalizada (customized distribution).** En este caso, la única actividad operativa influenciada por las necesidades específicas del cliente es la distribución del producto. El diseño, fabricación y montaje del producto no son personalizados. Un ejemplo de distribución personalizada podría ser, entre otras posibilidades, ofrecer al cliente una lista personalizada de productos que incluyen sólo las variedades que le interesan, utilizando los mismos códigos de su sistema de información, incluyendo una lista de precios personalizada y diferentes opciones para el envío y la entrega. Librerías en línea, como Amazon.com, ofrecen un ejemplo típico. El producto (un libro) es, sin lugar a dudas, estandarizado, ya que no está ni diseñado ni fabricado de acuerdo a los requerimientos del cliente. Sin embargo, el cliente puede especificar una serie de requisitos relacionados con la distribución: correo exprés u ordinario, todos los libros enviados en un solo paquete o uno por uno, la facturación en una dirección diferente de la que en los libros se entregan, y así sucesivamente.
- **Variedad sin personalización** En este caso, el cliente no tiene influencia alguna de las actividades - diseño, fabricación, montaje o distribución. Esto no significa que la compañía ofrece un único producto normalizado (como sal o azúcar). La empresa puede ofrecer un amplio surtido de productos y el cliente puede elegir una variante. Muchos sectores ofrecen 'variedad sin personalización': por ejemplo, algunos fabricantes de muebles presentan una serie de soluciones, pero el cliente no puede pedir un producto diferente a los ofrecidos por la empresa.

Este es también el caso de los grandes supermercados, que ofrecen miles de productos, pero la elección se limita a lo que se muestra en las estanterías.

El reto de los productos personalizados es la definición del producto y de las actividades de fabricación en función de las especificaciones del cliente de la forma más eficiente posible (Figura 5).

	VARIETY WITHOUT CUSTOMIZATION	CUSTOMIZED DISTRIBUTION	CUSTOMIZED ASSEMBLY	CUSTOMIZED FABRICATION	PURE CUSTOMIZATION
ORDER ACQUISITION	No information related to product customization to be collected	Options and parameters describing product/service attributes have to be collected			New options and/or parameters describing product/service have to be defined
ORDER FULFILMENT	No customization-related activities	Need for identifying delivery, transportation, etc. Specifications related to each customer order	Need for identifying assembly cycles, part lists, etc. related to each customer order	Need for identifying fabrication specs, set-up, etc. related to each customer order	Ad-hoc design, fabrication, assembly, etc. activities
SCOPE OF PRODUCT CONFIGURATION					

Figura 5. Objetivo de la configuración del producto.

Se ha realizado una revisión de las técnicas más apropiadas para registrar las preferencias del usuario en el desarrollo de productos personalizados para los mercados identificados inicialmente como objetivo del proyecto. Se han buscado técnicas que permitan registrar información tanto cualitativa como cuantitativa. Como resultado se han establecido tres metodologías de captación de las preferencias de los usuarios.

4.1. CAPTACIÓN DE PREFERENCIAS A TRAVÉS DEL HISTORIAL DE COMPRAS Y BÚSQUEDAS DE INFORMACIÓN EN LA RED

Cada vez que se realiza una búsqueda, una compra o una publicación se están generando datos que quedan registrados en los servidores de las entidades que prestan estos servicios. Es lo que se conoce como *Big Data* (Figura 6), puesto que se recogen cantidades de información grandes de cada usuario. El *Big Data* gravita sobre cuatro uves (el volumen de datos, la velocidad con la que se toman y transfieren, la variedad de fuentes, y la veracidad). A través de su integración y el análisis adecuado, estos datos aportan información sobre los hábitos de los consumidores, de sus preferencias y de su manera de pensar y actuar. Pero más allá del *Big Data* surge un concepto que a veces se solapa con el anterior: el *Smart Data* para captar preferencias y datos de los usuarios. El *Smart Data* añade una uve más: el valor que producen para tomar decisiones y ejecutar acciones en consecuencia. En el *Smart Data* lo importante no es solamente la cantidad de datos, sino la calidad de su análisis, que se pueda ver reflejado en los resultados de las compañías e instituciones y/o en la mejora de la experiencia de los usuarios. Se apuesta por preguntar directamente información sobre sus hábitos de vida y consumo, sus gustos y sus preferencias relacionadas con un servicio o producto.

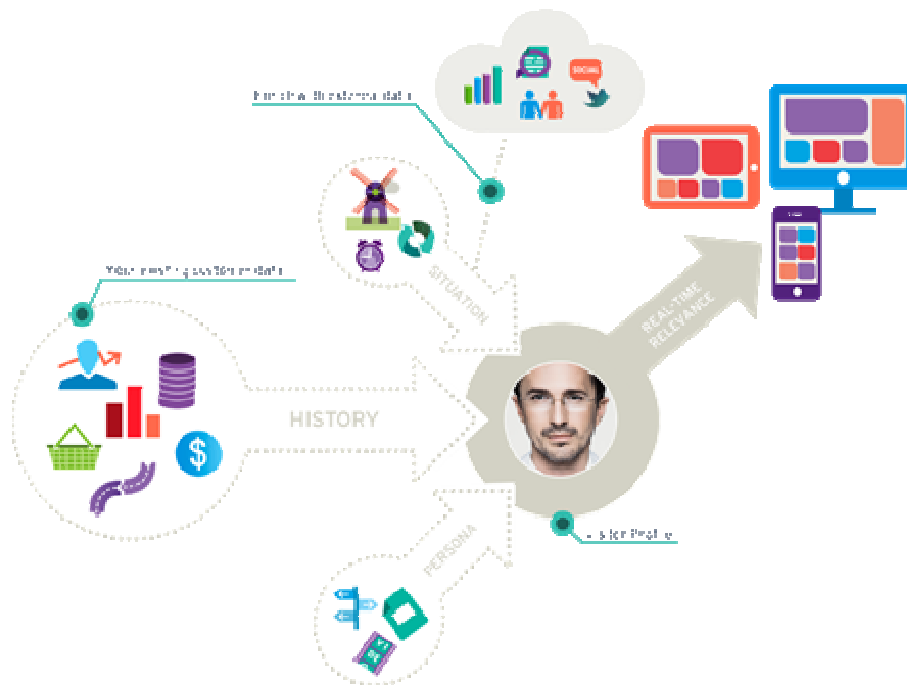


Figura 6. Perfilador de usuarios a través de la información en red.

4.2. MARKETING COMO HERRAMIENTA PARA EL REGISTRO DE PREFERENCIAS: *INBOUND MARKETING*

El *inbound marketing*³ es una metodología que combina técnicas de marketing y publicidad, especialmente no intrusivas, con la finalidad de contactar con un cliente al principio de su proceso de compra y acompañarle mediante el contenido apropiado para cada una de las etapas de maduración hasta la transacción final.

El *inbound marketing* se basa en 4 fases que corresponden a las etapas del proceso de compra del usuario: atracción, conversión, educación, y cierre y fidelización.

1. **Atracción:** a través de distintas técnicas de marketing y la publicidad, como el marketing de contenidos, las redes sociales, o los eventos, se atrae y se dirige a un usuario hacia una página web con información útil para conocer y entender su necesidad.
2. **Conversión:** Esta fase consiste en la puesta en marcha de procesos y técnicas para convertir las visitas que recibe una página web en registros para la base de datos de la empresa. Para ello, se le ofrecen contenidos relevantes y personalizados al usuario que podrá descargar a cambio de rellenar un formulario con sus datos.

³ <http://www.inboundcycle.com/inbound-marketing-que-es>



Figura 7. *Inbound marketing*: conversión.

3. **Educación:** Tras haber convertido, los usuarios reciben, a través del correo electrónico, información útil para cada una de las fases de su proceso de compra. Para poder realizarlo, las empresas se sirven de técnicas de automatización del marketing, concretamente usan dos: el *lead scoring* y el *lead nurturing*.
 - El *lead scoring* hace referencia a la valoración del nivel de cualificación de los *leads* (es decir, hasta qué punto es posible saber qué contactos son los que están más cerca de formalizar una compra). En otras palabras, es lo que permite medir la "temperatura" de un contacto respecto a su intención de adquirir un producto o servicio y, al mismo tiempo, de saber cómo evoluciona la postura de los compradores potenciales.
 - El *lead nurturing* permite entregar por correo electrónico y de forma automatizada contenidos personalizados en función de la fase del ciclo de compra del usuario, su perfil y su comportamiento.
4. **Cierre y fidelización:** El *inbound marketing* no sólo se orienta a conseguir clientes finales. También se centra en otros aspectos, entre los que se cuentan los siguientes:
 - Mantener a los clientes satisfechos
 - Ofrecerles información que pueda resultarles útil
 - Cuidar de aquellos registros que, pese a que nunca llegarán a ser clientes (por ejemplo, por falta de poder adquisitivo), siguen todas las novedades de la marca y, por lo tanto, pueden convertirse en prescriptores de la misma en Internet

4.3. CO-DISEÑO

El tercer método de captación de preferencias es el co-diseño o co-creación. Esta metodología se materializa en sistemas de configuración de producto que permiten al usuario seleccionar elementos del mismo para configurar un diseño personalizado. Se utiliza principalmente cuando se trata de una personalización estética del producto en la que el usuario selecciona para los principales componentes el color o el material o la introducción de diversos ornamentos. En algunos casos, la personalización estética se enriquece con la personalización funcional en la que el configurador guía al usuario

entre varias soluciones en función de su perfil considerando aspectos con la edad, la estatura o el peso (Figura 8).

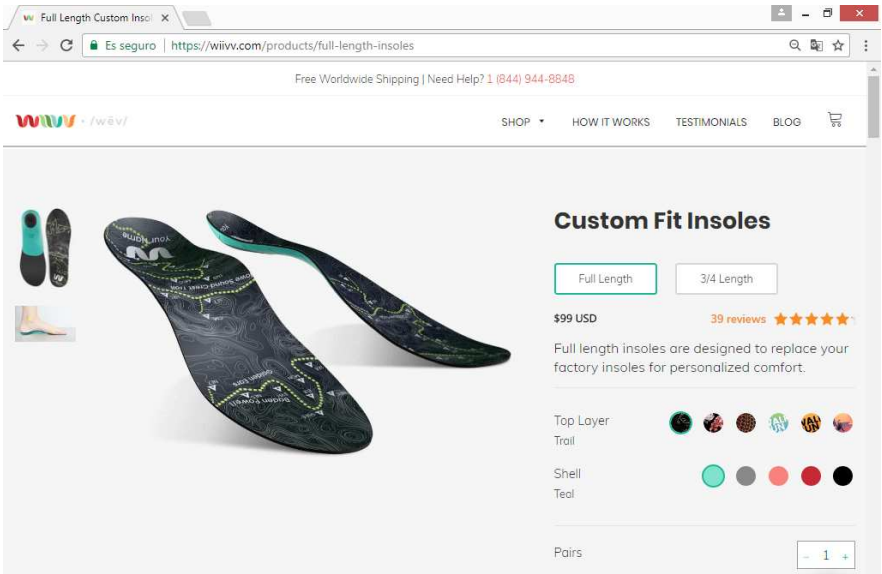
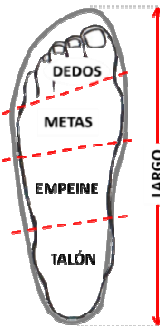


Figura 8. Configurador de plantillas considerando aspectos estéticos y funcionales.

En el caso del ajuste ergonómico de productos, la preferencia del usuario juega un papel muy importante además de su forma y dimensiones corporales. Tanto en calzado, ropa, equipo deportivo y plantillas, se ha confirmado que la sensibilidad al contacto del usuario, sea este con un mayor o menor nivel de presión, condiciona el diseño del producto para el resultado de la personalización sea un éxito. En este caso se han planteado formularios de captación de preferencias de ajuste que puedan integrarse en el proceso de diseño del producto (Tabla 2). En algunos casos se utiliza productos de referencia internacional para caracterizar las necesidades de ajuste de los usuarios. En estos casos se les pregunta por la talla y problemas de ajuste de un modelo de ropa (por ejemplo, un modelo de vaquero como los Levis) o calzado (como por ejemplo las Converse y las Adidas Stan Smith) del que se conoce sus propiedades (tallaje, horma, patrones y materiales).

Tabla 2. Formulario para registrar las preferencias de ajuste de calzado de los usuarios.

	Muy APRETADO	Un poco APRETADO	NORMAL	Un poco HOLGADO	Muy HOLGADO	
	LARGO	☐	☐	☐	☐	☐
	DEDOS	☐	☐	☐	☐	☐
	METAS	☐	☐	☐	☐	☐
	EMPEINE	☐	☐	☐	☐	☐
	TALÓN	☐	☐	☐	☐	☐

5. PROTOCOLO PARA EL REGISTRO DIMENSIONAL DE CABEZA CUERPO Y EXTREMIDADES

Se han definido una serie de herramientas para convertir la información registrada o capturada del usuario en avatares –superficies coherentes de las que obtener medidas y superficies de referencia para la personalización–. Ya que los escaneados procedentes de sistemas de registro del cuerpo completo no permiten obtener un nivel de detalle suficiente para la personalización de productos en las extremidades, se han definido protocolos distintos para el cuerpo completo, los pies, las manos y la cabeza. A continuación se detalla, en cada uno de los protocolos, el procedimiento a seguir para registrar el cuerpo y generar los avatares.

5.1. PROTOCOLOS DE REGISTRO Y GENERACIÓN DE AVATARES

Los protocolos desarrollados se han estado actualizando a lo largo de toda la fase de diseño de detalle de los demostradores. A continuación se describe cada uno de ellos.

5.1.1. CUERPO COMPLETO

Registro o captura del cuerpo

Para registrar el cuerpo completo se ha considerado el empleo de escáneres 3D *low cost* existentes en el mercado.

Como se ha mencionado en el apartado 3. *Revisión y evaluación de sistemas de registro comerciales*, se han solicitado escaneados corporales de prueba de más de 20 equipos distintos tanto comerciales como en desarrollo, empleando éstos distinta tecnología (láser, de luz estructurada, con sensores de profundidad, y de alta y baja resolución). Estos ejemplos se han utilizado para ajustar las especificaciones para el protocolo de registro y los algoritmos de generación de avatares al mayor número de sistemas y características de los escaneados de entrada.

Las especificaciones establecidas para el registro del cuerpo con escáneres *low cost* para poder generar avatares que puedan ser empleados en la personalización son las siguientes:

- Sólo se permiten Tri-mallas OBJ, STL, PLY. No se permite cargar quads, nubes de puntos u objetos sólidos.
- Sólo se permiten unidades en sistema métrico (mm, cm, m)
- Sólo se permiten cuerpos completos; éstos pueden tener algún agujero o alguna parte que falte (por ejemplo: pies, o parte superior de la cabeza). Se pueden evaluar otros casos específicos individualmente.
- Sólo se permite cabello corto o recogido. Se permiten gorros de piscina, redecillas, y la mayoría de los moños, pero no coletas; la nuca debe quedar despejada.
- Sólo se permite ropa ajustada, preferiblemente ropa interior, para no alterar la forma del cuerpo.

- Los escaneados de baja resolución o con ruido deben ir acompañados de un valor aproximado de altura del cuerpo y nivel del suelo.
- Hay que facilitar la orientación de los ejes: Y (vertical hacia arriba) y Z (frente)
- Sólo se permite postura en A con puños cerrados. Piernas cómodamente separadas. Se permiten dos posturas de brazo: Aeroplano (dorso de la mano apuntando hacia los lados) y Mariposa (dorso de la mano apuntando hacia delante). En la postura Mariposa los brazos también pueden estar ligeramente flexionados (Figura 9).

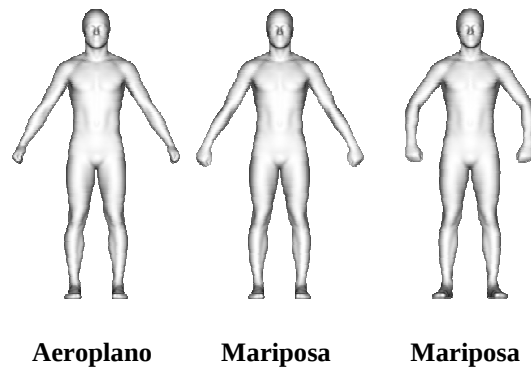
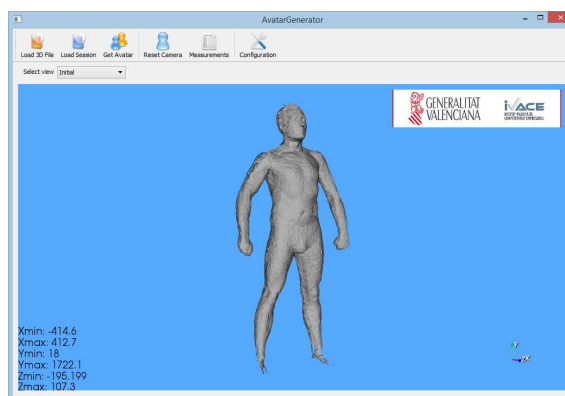


Figura 9: Ejemplos de distintas formas de adoptar la postura en A

Generación de avatares

El proceso de generación de avatares a partir de datos 3D de escáneres low cost se basa en el ajuste de un template o patrón 3D a la forma 3D objetivo. Para ello, dicho patrón (malla 3D con forma humana) se deforma siguiendo un modelo hasta que coincide con la forma del escaneado. Este modelo permite aplicar cambios de forma y cambios de postura al patrón 3D de forma independiente. De esta manera, siguiendo un proceso iterativo en el que en cada iteración se ajusta primero la postura y después la forma, se consigue una malla cerrada, limpia y organizada cuya forma coincide con la del escaneado. Debido a que las deformaciones del patrón están controladas por un modelo, es posible rellenar partes faltantes del dato original. Una síntesis matemática de una base de datos poblacional se incluye en el algoritmo para mejorar la precisión del ajuste. En la Figura 10 se pueden ver capturas de pantalla de distintas partes del protocolo de generación de avatares para pasar del original procedente de un escáner 3D low cost (imagen superior) hasta un avatar 3D que pueda emplearse en la personalización de producto (imagen inferior).



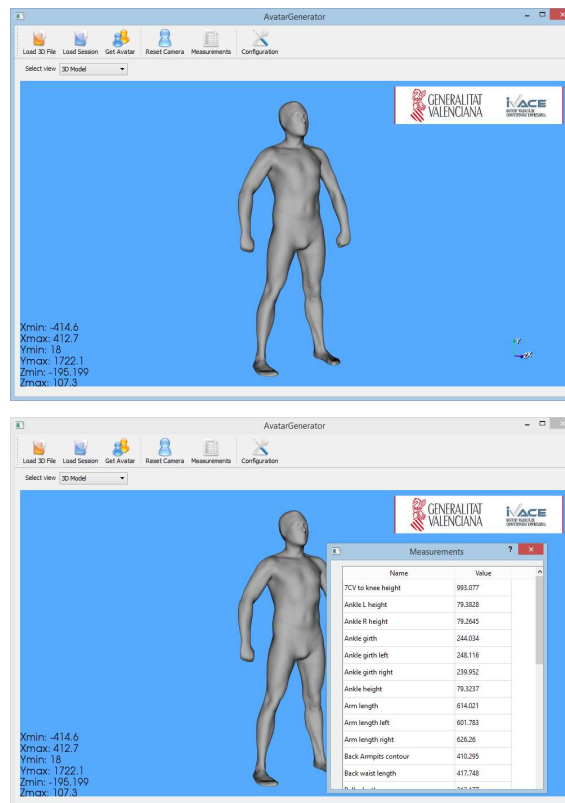


Figura 10: Proceso de generación de avatares 3D

Generación de medidas para personalización

La generación de medidas sobre los avatares se realiza mediante una “cinta métrica digital” desarrollada por el IBV. El protocolo de toma de medidas digital se basa en la localización previa de puntos característicos (*searchpoints*) sobre los cuales se toma la medida. A partir de los *searchpoints*, se traza la medida digital mediante una función geométrica. El software empleado dentro del proyecto incluye tanto funciones de búsqueda de puntos característicos como implementaciones base de funciones básicas de medidas geométricas implementadas en C++ [4].

Por otra parte, el programa permite la selección de las partes del cuerpo que intervienen en la toma de la medida.

A continuación, se presentan algunas de las medidas de cuerpo completo para personalización que se pueden obtener empleando la “cinta métrica digital”, complementando la información morfológica 3D de los avatares:

[4] Ballester, A.; Parrilla, E.; Uriel, J.; Piérola, A.; Alemany, S.; Nacher, B.; González, J.; González J.C.; 3D-Based Resources Fostering the Analysis, Use, and Exploitation of Available Body Anthropometric Data”. 5th International Conference on 3D Body Scanning Technologies, Lugano, Switzerland, October 2014. doi:10.15221/14.237

Cuerpo completo
Estatura Altura de la 7ª cervical Distancia vertical cintura-rodilla
Torso
Distancia vertical cuello-cadera Altura de nalgas Altura de entrepierna Altura delantera del cuello Perímetro de cuello a media altura Distancia axila-cintura Longitud acoplada de hombros entre acromios (Anchura de hombros) Longitud del hombro Distancia entre pechos Talle delantero Distancia acoplada pecho-cuello Perímetro de pecho horizontal Perímetro del tórax bajo pecho Longitud acoplada de espalda entre axilas Longitud acoplada del cuello a la línea de las axilas Longitud acoplada trasera cuello-cintura Longitud acoplada trasera cintura-nalgas Tiro delantero Tiro trasero Perímetro de cintura Longitud acoplada cintura-nalgas Perímetro de nalgas Perímetro de cadera Perímetro de cadera inferior
Brazo
Longitud acoplada del brazo hasta 7CV Longitud acoplada brazo hasta acromion Longitud acoplada brazo superior Longitud acoplada del antebrazo Perímetro brazo superior Perímetro de la muñeca
Piernas
Longitud pierna interna hasta el suelo Longitud acoplada pierna externa hasta el suelo Longitud acoplada pierna externa hasta el tobillo Perímetro horizontal del muslo Perímetro máximo del muslo Altura de rodilla Perímetro de rodilla Perímetro de pantorrilla Perímetro mínimo de pierna Perímetro de la pierna a cualquier distancia de la rodilla Perímetro de tobillo

5.1.2. EXTREMIDADES: PIES

Registro o captura de los pies

El primer escáner corporal 3D comercial fue un escáner de pies. La tecnología de escaneado en este caso está muy evolucionada, sin embargo, sigue teniendo un coste muy elevado para su implantación en tienda y su uso en personalización de calzado y asignación de talla.

El lanzamiento en los años 90 de los primeros escáneres 3D de pie comerciales revolucionó los métodos de medición del pie. Los escáneres de pie pueden adquirir la superficie del pie en 3D de forma precisa y permiten medirlo digitalmente. Éstos facilitaron el uso de formas reales del pie -y no solo de sus medidas- en el diseño CAD de producto. Desde entonces se han desarrollado diferentes tecnologías que permiten registrar la forma 3D del pie: tecnología láser, de luz estructurada, estereofotogrametría, y más recientemente, los sensores de profundidad. Sin embargo, a pesar de su precisión, éstas son demasiado voluminosas y caras para poder implantarse en tienda o de forma doméstica.

Más recientemente, y gracias a las bases de datos generadas empleando escáneres 3D de pie, se han desarrollado nuevos sistemas para digitalizar los pies basados en métodos de coste más bajo, como las reconstrucciones 3D a partir de datos. Para ello, tan solo hace falta partir de unas pocas medidas o imágenes 2D para estimar la forma 3D de la cara, los pies o el cuerpo. Esta tecnología tiene menores requerimientos de hardware que los escáneres 3D actuales, lo que la hace potencialmente apropiada para ser implementada en dispositivos *low-cost* sencillos para tienda, o incluso ser implementada en una aplicación de Smartphone.

En este sentido, el IBV ha desarrollado un método basado en la reconstrucción de pies a partir de tres fotos utilizando una base de datos 3D de pies para entrenar los algoritmos. Hay dos formas de obtener los registros de pies mediante fotos:

Aplicación para dispositivos móviles

Es una aplicación pensada para uso doméstico que funciona con la cámara trasera de un Smartphone y un folio A4 como elemento de calibración de la cámara (Figura 11a). La aplicación recoge tres imágenes (lateral interior, superior, y lateral exterior, Figura 11a) de cada pie. Las imágenes se procesan (Figura 11b) en un servidor remoto que manda de vuelta el modelo 3D de los pies (Figura 11c) y una serie de medidas en menos de un minuto.

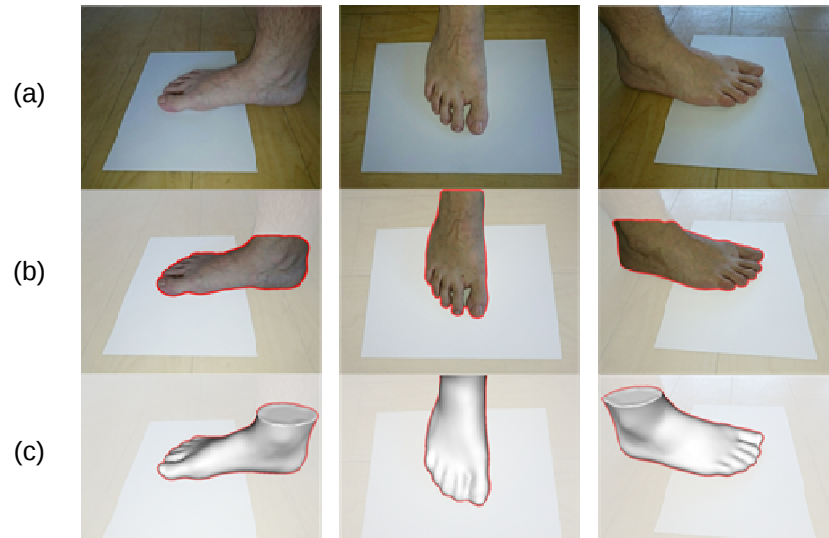


Figura 11. (a) 3 imágenes del pie (lateral interior, superior, y lateral exterior), (b) contornos del pie segmentados, y (c) pie en 3D que encaja los contornos anteriores.

DomeScan

DomeScan es una cabina ligera (35x45x45cm) que consiste en un marco de aluminio en forma de U que tiene una superficie inferior de vinilo no reflectante y dos espejos a los lados. En un puente sobre el marco lleva montado un Raspberry Pi, una cámara, conexión Bluetooth y un sistema de iluminación (Figura 12). El DomeScan sólo necesita un disparo para obtener las imágenes del pie correspondientes al lateral interior, parte superior, y lateral exterior reflejadas en los espejos, lo que lo hace el escáner de pie más rápido del mercado. El DomeScan escanea y mide dos pies en menos de un minuto. El hardware y los datos recogidos se gestionan con un PC con Windows y conexión Bluetooth. El DomeScan está concebido para tiendas, laboratorios o puntos de escaneo.

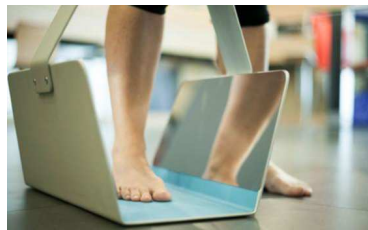


Figura 12. DomeScan.

Generación de pies modelos

El proceso de reconstrucción a partir de datos empleado consiste en cinco pasos (Figura 14): Adquisición de la imagen, segmentación de la imagen, calibración de la cámara, reconstrucción 3D y medición digital. La implementación tecnológica de los tres primeros pasos es ligeramente distinta para cada sistema debido a las diferencias en el hardware (Smartphone frente a cabina). Los algoritmos de medida del pie son comunes para ambos sistemas. Ambos usan el mismo espacio de formas de pie, que se ha sintetizado aplicando Análisis de Componentes Principales (PCA) a una base de datos de más de 700 pies escaneados registrados bajo una parametrización común para lograr una correspondencia punto a punto en todos los pies. Este espacio de

formas de pie basado en PCAs puede generar un pie arbitrario basado en 40 parámetros (las primeras componentes principales Figura 13) mediante un método a partir de datos.

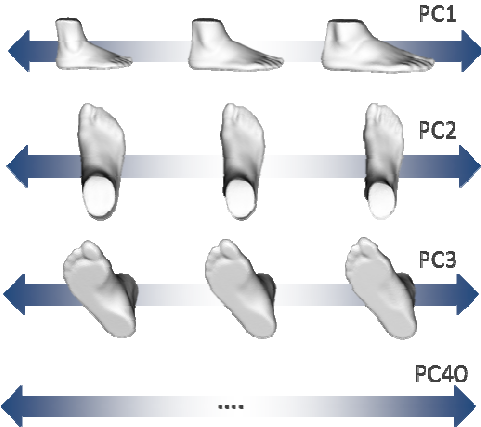


Figura 13. Primeras 3 componentes principales del espacio de forma del pie describiendo diferentes variaciones de la forma del pie.

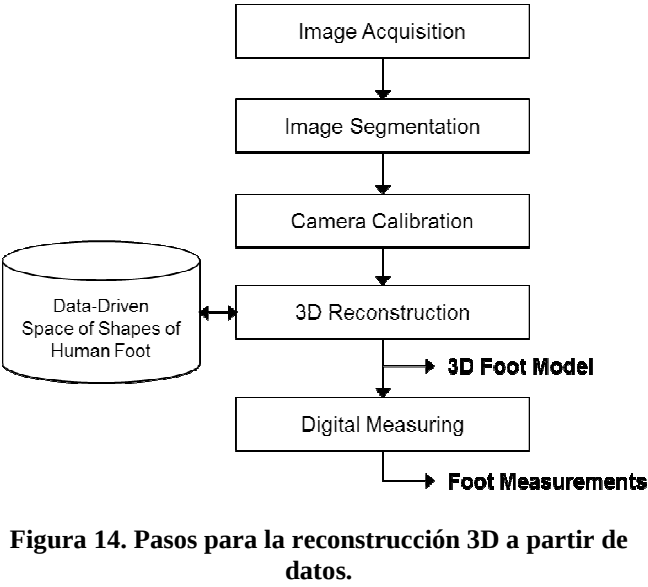


Figura 14. Pasos para la reconstrucción 3D a partir de datos.

Además, se ha desarrollado un método para reconstruir el tobillo (Figura 15), una de las zonas críticas en la captura, puesto que no aparece en la imagen superior y está condicionada por la zona de corte.



Figura 15. Mejoras desarrolladas en el método de reconstrucción 3D de pies.

Generación de medidas para personalización

Se han definido y programado las dimensiones críticas del pie necesarias para personalizar plantillas y calzado, y que son transferibles a la horma, complementando la información 3D que aporta la morfología del pie.

Dimensiones del pie
Longitud del pie
Posición de dedos
Ángulo de dedos
Perímetro de dedos
Altura de dedos
Anchura de dedos
Posición de la cabeza del 1er metatarsiano
Posición de la cabeza del 5º metatarsiano
Posición metatarsal

Ángulo metatarsal
Perímetro metatarsal
Altura metatarsal
Altura metatarsal medial
Altura metatarsal lateral
Anchura metatarsal
Perímetro del empeine
Altura del empeine
Anchura del empeine
Posición del navicular
Altura del navicular
Anchura del talón
Perímetro talón-empeine

5.1.3. EXTREMIDADES: MANOS

Registro o captura de las manos

Se trata de la parte corporal más compleja y la que requiere un equipamiento y puesta a punto compleja. Se han analizado tres aproximaciones para la captura antropométrica de la mano, dos de ellas 3D y una de ellas 2D mediante imagen.

Captura 3D mediante escáner pre-configurado para pies

Los escáneres de pies 3D de laboratorio tienen un volumen de medida similar al requerido por la mano. Por ello se ha realizado un test de escaneado de manos con este equipo. Como resultado, se ha concluido que la captura de la mano en posición cerrada es adecuada para adquirir perímetro de la palma y el espesor. Sin embargo, el escaneado de la mano con los dedos abiertos no es adecuada. Se producen zonas de sombra importantes entre los dedos donde se observa una pérdida de datos significativa. Por lo tanto, no es posible registrar las medidas de perímetro y anchura de dedos en las articulaciones.

Captura 3D mediante escáner manual

El escáner manual permite mover el cabezal de medida libremente orientándolo de forma adecuada para capturar las zonas de sombra entre los dedos. Actualmente, esta es la única forma de realizar un registro 3D de la mano. Sin embargo, este proceso de escaneado es lento y el resultado se verá afectado por la capacidad del sujeto para inmovilizar la mano sin ningún sustento, ya que requiere realizar varios barridos sobre la mano inmóvil y suspendida en el aire.

Captura 2D mediante imagen

En este caso se pierde la información de profundidad, con lo que no es posible obtener medidas de espesor ni perímetros de la mano y dedos. Sí que es posible registrar las longitudes y anchuras. Se cuenta por tanto con información limitada que puede ser de interés para el diseño de algunos productos. Un ejemplo de ello es el dispositivo Manu3; éste es un escáner comercial que realiza la captura del dorso de la mano mediante dos cámaras y calcula de forma semiautomática las medidas de los dedos, mano y muñeca, infiriendo también medidas de perímetros. Sin embargo, al no capturar la palma de la mano y los dedos, la información es incompleta y la precisión

de las medidas no alcanza la tolerancia necesaria para productos que requieren un ajuste fino. Este sistema de adquisición se utiliza para la fabricación de guantes para tratamiento de quemaduras, o compresivos que se fabrican con tejidos elásticos con tolerancias bastante amplias. Tampoco permite reproducir la forma tridimensional de la mano en postura de agarre u otras posturas que conviene mantener para la fabricación de férulas de descarga muscular.



Figura 16. Imágenes de registro de manos

Medidas para personalización

A continuación, se muestran las principales medidas de mano que se suelen emplear en la personalización.

Dimensiones de la mano
Perímetro muñeca Perímetro mano incluido pulgar Perímetro mano en las cabezas de los metacarpos, excluyendo pulgar Anchura palma mano en los metacarpos Longitud mano (distancia entre la muñeca y la punta del dedo medio) Longitud de los cinco dedos Longitud palma mano Perímetro máximo de las falanges Espesor mano

5.1.4. EXTREMIDADES: CABEZA

Registro o captura de la cabeza

A día de hoy existen varios equipos comerciales para registrar la forma de la cara y la cabeza. La fotogrametría facial es una práctica muy extendida, sobre todo para la extracción de medidas para cirugía facial o extracción de características faciales, aunque existen otros equipos de tecnología láser o proyección de luz estructurada que también se utilizan para registrar la forma de la cabeza.

Escaneado 3D

Los sistemas que más se utilizan se basan en estéreo-fotogrametría, o reconstrucción de objetos 3D a partir de fotografías 2D (Weissler et al. 2017). Sin embargo, son los escáneres de tecnología láser los que proporcionan mayor precisión en la reconstrucción de formas 3D, aunque son de coste más elevado y el tiempo de captura es superior.

En general, el escaneado tridimensional de la cabeza requiere que el pelo esté cubierto y que no haya vello facial que falsee las medidas del rostro o altere la forma real de la piel. Según el tipo de aplicación que se vaya a dar a los datos, será necesario resolver este tipo de aspectos de una forma u otra.

Se pueden utilizar escáneres de cuerpo completo, haciendo una selección de la extremidad de la cabeza, siempre y cuando la resolución del escáner sea adecuada para la aplicación a la que van destinados los datos.

La solución más directa es utilizar un escáner pre-configurado para cabeza: Existen bastantes equipos comerciales que se utilizan para la digitalización de la forma de la cara, pero sólo uno (Head Scanner de I-Ware Laboratory) está pre-configurado para capturar la cabeza completa. El tiempo de adquisición depende de la tecnología en la que esté basada la adquisición, pero si es demasiado largo o la persona no tiene mucho equilibrio, el escaneado presentará defectos que desvirtúan la forma real de la cabeza de la persona.

Escáner manual

El mayor inconveniente es que el tiempo de adquisición es bastante largo y requieren de mucha destreza en el uso. Puesto que es muy complicado evitar el movimiento del sujeto, la adquisición resultante puede resultar de baja calidad por falta de coincidencia en el solape de los distintos barridos que son necesarios para adquirir toda la superficie de la cabeza y la cara.

Medidas sobre imagen

Se pueden obtener medidas a partir de una imagen, siendo necesario obtener una calibración que corrija errores de paralaje, una posición y orientación conocida de la cámara y un posicionamiento protocolizado del sujeto, para evitar errores por tomar medidas fuera del plano que forman la cámara y el objeto de calibración. Además, se hace necesaria la colocación de marcas, ya sea físicamente sobre el sujeto o posteriormente en el software para la extracción de datos antropométricos.

El sistema más sofisticado es el propuesto por Kiwan et. Al., 2010, donde se disponía de un espacio preparado con un cefalostato para garantizar la misma posición de cabeza en todos los sujetos, una silla adaptable y también la colocación marcas circulares en puntos característicos sobre la cara. En este tipo de adquisición las medidas más fiables son la lineales situadas en el plano de calibración. Se utilizan para extraer relaciones matemáticas entre medidas faciales y estudiar diferencias entre rasgos faciales.



Figura 17.- Sistema de extracción de datos antropométricos (izq.) y ejemplo de sujeto colocado en el cefalostato con marcas faciales (dcha.) (Kiwan et al., 2010)

Generación de avatares

Los escaneados de cabezas en 3D consisten en un conjunto de puntos desorganizado con una triangulación que puede contener agujeros y artefactos. En la Figura 18 se puede ver un ejemplo de una cabeza escaneada con el escáner pre-configurado para cabeza de I-Ware Laboratory.

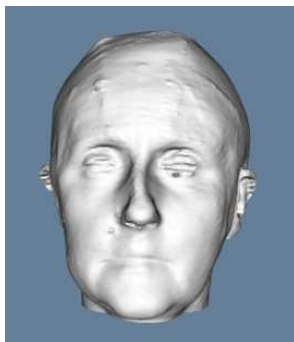


Figura 18.- Imagen procedente del escáner 3D pre-configurado para cabeza de I-Ware Laboratory.

Una forma que permite trabajar de forma genérica con cualquier cabeza es que todas sean homólogas. Esto significa que todas tengan el mismo número de puntos y que cada punto representa la misma posición anatómica. Esto permite realizar análisis estadísticos de las formas, como por ejemplo análisis de componentes principales.

El método para obtener un modelo homólogo consiste en ajustar una malla que se usa como patrón (Figura 19) a todos los escaneados, de esta forma, se consigue una malla cerrada, limpia y organizada cuya forma coincide con la del escaneado; y así los escaneados ajustados comparten las mismas propiedades. Es lo que en estadística se conoce como regularizar los datos.



Figura 19.- Malla patrón de la cabeza.

El primer paso para ajustar la malla patrón consiste en alinearla con el escaneado. Para ello se puede usar técnicas de machine learning, como por ejemplo la detección de rasgos faciales. En la Figura 20 podemos ver en verde como ha detectado la zona de las cejas, ojos, nariz y boca. Usando estos marcadores es posible alinear la cara del escaneado con la cara de la malla patrón.



Figura 20.- Proceso de detección de rasgos faciales.

Una vez están alineados se sigue un proceso de optimización en el que se minimizan las distancias de la superficie de la malla patrón al escaneado manteniendo cierta regularidad. En función de cómo queremos que sea el resultado final se pueden usar unos parámetros u otros. Por ejemplo, si el escaneado tiene mucho ruido se pueden usar unos parámetros que den más peso a la regularidad de la malla, y en caso de que se tenga poco ruido, más peso a la minimización de distancia entre superficies.

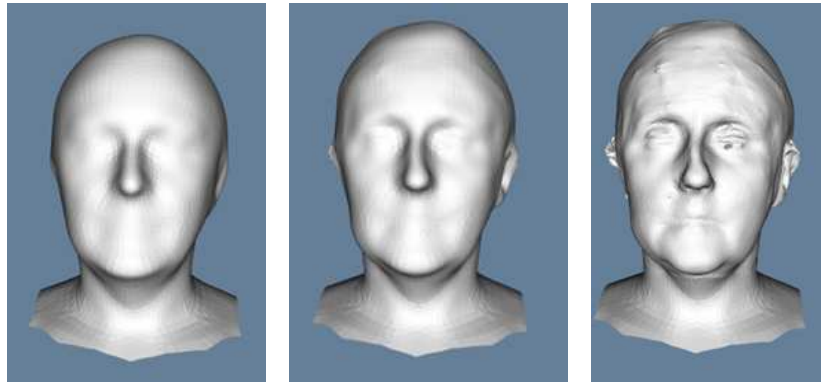


Figura 21.- Evolución del ajuste, y el ajuste final.

Medidas para personalización

Se ha definido el listado de medidas antropométricas de la cara y cabeza requeridas para el diseño de productos ajustado a esta zona corporal. Las medidas antropométricas están asociadas a puntos anatómicos que también han sido definidos. Del total de las medidas, únicamente tres de ellas requieren el escaneado completo de la cabeza. El resto es posible registrarlas con un escáner de cara, siempre y cuando disponga de tridimensionalidad.

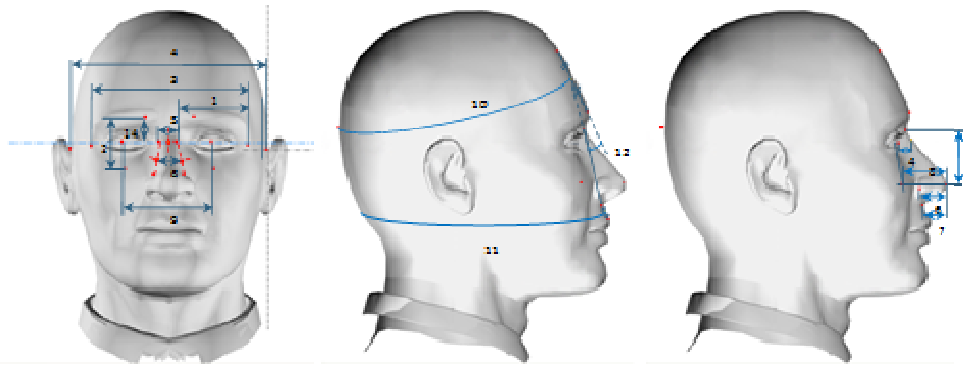


Figura 22. Medidas antropométricas definidas en la cabeza para la personalización de productos.

Dimensiones de la cabeza
Perímetro de la cabeza
Anchura máxima de la cabeza
Altura vertex-tragion
Altura vertex-pupilas
Distancia Interpupilar
Longitud de la nariz
Anchura de la nariz en el puente
Anchura de la nariz media
Anchura de la nariz inferior
Anchura fronto-cigomática de la cara

5.2. TEST DE EVALUACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE REGISTRO Y GENERACIÓN DE AVATARES

La forma del cuerpo humano y sus dimensiones son aspectos muy valiosos para el diseño ergonómico de productos. Para poder realizar diseños personalizados, se requiere de una elevada precisión y fiabilidad de los sistemas de registro corporal y generación de avatares. En este sentido se ha llevado a cabo una evaluación de dichos sistemas. Se han realizado registros corporales 3D siguiendo los protocolos de adquisición definidos en el apartado anterior, y se ha realizado una evaluación del protocolo de generación de avatares a partir de dichos registros. La evaluación de los protocolos se ha centrado en el registro y generación de avatares de cuerpo completo y de pies, al tratarse de los dos métodos en los que se utiliza una tecnología basada en datos que permite reconstruir formas 3D a partir de capturas de bajo coste.

Cabe destacar que los protocolos se han estado revisando y evaluando a lo largo de toda la fase de diseño de detalle de los demostradores, y se han implementado los errores y mejoras detectadas. A continuación, se muestra la metodología de evaluación empleada y los resultados de la evaluación llevada a cabo.

5.2.1. CUERPO COMPLETO

Metodología de evaluación

Para la metodología de evaluación se han empleado los siguientes datos de sujetos:

- 8 vistas diferentes de cada sujeto en forma de nube de puntos 3D, obtenidas con una Kinect v2
- Imágenes de los sujetos obtenidas con un escáner de alta resolución

Los datos procedentes de la Kinect se han procesado para generar avatares 3D, de los cuales se ha extraído una serie de medidas corporales. Los avatares procedentes del escáner de alta resolución se han empleado como referencia para la comparación de medidas.

A continuación se muestran las imágenes registradas con Kinect frente a la imagen obtenida del escáner de alta resolución (Figura 23), y los avatares 3D generados a partir de Kinect y a partir del escáner de alta resolución (Figura 24).

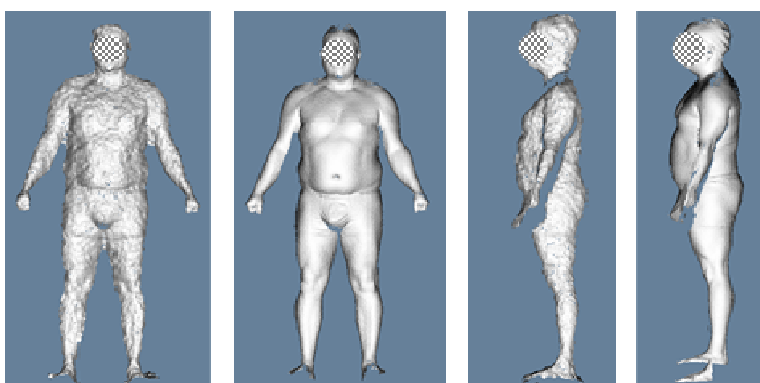


Figura 23. Imagen realizada con Kinect (izquierda) e imagen realizada con el escáner de alta resolución (derecha).

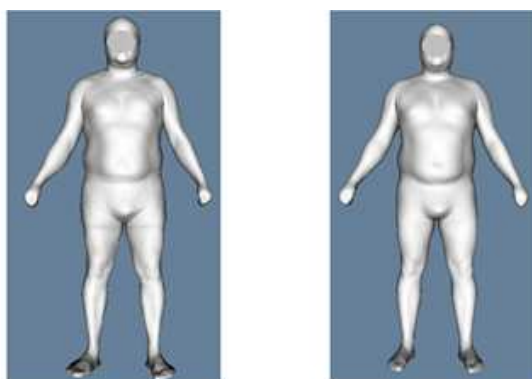


Figura 24. Izquierda: Avatar generado a partir del registro con Kinect. Derecha: Avatar generado con el escáner de alta resolución.

Para cada tipo de procesado se ha evaluado el error de medida (MAD, en valor absoluto y relativo).

Resultados de evaluación

El Error absoluto medio (MAD) en mm de las medidas se puede ver en la Tabla 3, y el MAD relativo se puede ver en la Tabla 4. Las columnas contienen el error de medida para la reconstrucción con Kinect.

Tabla 3. Error absoluto medio, MAD (mm), para las medidas de cuerpo.

Escáner-Kinect

Longitud del hombro	4
Perímetro de la muñeca	11
Distancia vertical cintura-rodilla	9
Estatura	21
Altura de rodilla	20
Distancia vertical cuello-cadera	13
Altura delantera del cuello	15
Talle delantero	13
Distancia entre pechos	9
Perímetro de tobillo	22
Perímetro brazo superior	29
Perímetro de cuello a media altura	17
Longitud acoplada brazo hasta acromion	13
Altura de nalgas	30
Longitud pierna interna hasta el suelo	33
Perímetro mínimo de pierna	14
Altura de la 7ª cervical	19
Altura de entrepierna	35
Longitud acoplada cintura-nalgas	8
Perímetro de nalgas	21
Perímetro de cintura	24
Perímetro de rodilla	16
Perímetro del tórax bajo pecho	27
Longitud acoplada del antebrazo	7
Longitud acoplada trasera cuello-cintura	13
Perímetro máximo del muslo	20
Perímetro de pecho horizontal	25
Longitud acoplada brazo superior	8
Longitud acoplada de espalda entre axilas	17
Anchura de hombros	12

Tabla 4. Error absoluto medio, MAD (%), para las medidas de cuerpo.

	Escáner-Kinect
Longitud del hombro	3%
Perímetro de la muñeca	7%
Distancia vertical cintura-rodilla	2%
Estatura	1%
Altura de rodilla	4%
Distancia vertical cuello-cadera	2%
Altura delantera del cuello	1%
Talle delantero	3%
Distancia entre pechos	4%
Perímetro de tobillo	9%
Perímetro brazo superior	9%
Perímetro de cuello a media altura	5%
Longitud acoplada brazo hasta acromion	2%
Altura de nalgas	3%
Longitud pierna interna hasta el suelo	4%
Perímetro mínimo de pierna	6%
Altura de la 7ª cervical	1%
Altura de entrepierna	5%
Longitud acoplada cintura-nalgas	4%
Perímetro de nalgas	2%
Perímetro de cintura	3%

Perímetro de rodilla	4%
Perímetro del tórax bajo pecho	3%
Longitud acoplada del antebrazo	3%
Longitud acoplada trasera cuello-cintura	3%
Perímetro máximo del muslo	3%
Perímetro de pecho horizontal	3%
Longitud acoplada brazo superior	2%
Longitud acoplada de espalda entre axilas	4%
Anchura de hombros	3%

Los errores más altos se han encontrado en:

- Medidas que implican altura (estatura, altura de la 7ª cervical, altura de nalgas, etc.): como se ha mencionado anteriormente, la detección del plano del suelo con el nivel de ruido que presenta la escena es poco preciso. Cualquiera de las medidas que usen el suelo como referencia están afectadas por este artefacto. Estas medidas serían más precisas con un suelo plano.
- Medidas de tobillo: debido al elevado ruido en el suelo, el algoritmo de limpieza tiene que retirar mucho material en regiones cerca de los pies de modo que el tobillo reconstruido es más fino que el real. Este error también podría verse afectado por la distorsión de la piel introducida por el sensor.
- Medidas de brazo: en ocasiones los brazos reconstruidos son ligeramente más finos que los reales. Este efecto puede deberse al ruido en los brazos y la distorsión introducida por el sensor.

Por otro lado, no es posible determinar hasta qué punto el resto de medidas (perímetros de torso, brazos o piernas) están afectadas por las distorsiones del sensor de la Kinect v2. Sin embargo, los resultados tanto visuales como en desviación de medidas muestran que la mayoría de medidas obtenidas a partir de este sistema de escaneado *low cost* son aptas para la personalización de productos.

5.2.2. EXTREMIDADES: PIES

Metodología de evaluación

Se ha validado el proceso de reconstrucción de pies a partir de tres fotos mediante un estudio con usuarios en el que han sido escaneados mediante 3 sistemas de captura (Figura 25):

- Aplicación de captura 3D
- Escáner de bajo coste que utiliza también la metodología de reconstrucción con tres fotos DomeScan
- Escáner de laboratorio de alta resolución que se utilizó como referencia para comprar los resultados

A su vez también se han tomado medidas manuales de forma tradicional por un medidor entrenado (Figura 26).

Las medidas tomadas para el estudio han sido el largo de pie, el perímetro de dedos, el perímetro metatarsal, el ancho metatarsal, el perímetro de empeine y la altura de empeine. Todos los pies capturados digitalmente en 3D con los sistemas arriba

mencionados se han medido con los mismos algoritmos de medición digital desarrollados por el IBV.



Figura 25. Adquisición digital 3D de pies, de izquierda a derecha: escáner de alta resolución, DomeScan, aplicación de captura.



Figura 26. Métodos antropométricos tradicionales; escala, calibre y cinta métrica

En el estudio participaron 16 adultos voluntarios (8 mujeres y 8 hombres), con edad comprendida entre los 24 y los 63 años, y con tallas de pie comprendidas entre la EUR35 y la EUR 47. En cada sesión de medida, los sujetos fueron medidos 3 veces con cada una de las 4 técnicas siguiendo un orden aleatorio mientras permanecían en bipedestación apoyando de forma cómoda ambos pies en el suelo. Se recogieron un total de 192 observaciones (16 sujetos x 4 instrumentos x 3 repeticiones).

La fiabilidad se ha evaluado por medio del Error Estándar de Medida (SEM), que proporciona la magnitud del error aleatorio en unidades de medida, y el Índice de Correlación Intraclass (ICC) que proporciona su fiabilidad relativa. La validez se ha evaluado estudiando los errores sistemáticos de los dos nuevos métodos (DomeScan y la aplicación de captura) con respecto a los dos establecidos (escáner 3D de alta resolución y antropometría tradicional), cuya validez ya se ha abordado en la literatura [5,6,7,8].

Resultados de la evaluación

⁵ Kouchi, M. et al. (2014). Anthropometric methods for apparel design: Body measurement devices and techniques. In: Anthropometry, apparel sizing and design, Woodhead Publishing, 67-94.

⁶ Williams, D. S., and McClay, I. S. (2000). Measurements used to characterize the foot and the medial longitudinal arch: reliability and validity. *Physical therapy*, 80(9), 864-871.

⁷ Witana, C. P. et al. (2006). Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods. *Int J of Industrial Ergonomics*, 36(9), 789-807.

⁸ De Mits, S. et al. (2010). Reliability and validity of the Infoot 3D foot digitizer for normal healthy adults. *Footwear Science*, 2(2), 65-75.

Fiabilidad: El SEM y el ICC de las 6 medidas tomadas, para cada una de las 4 técnicas evaluadas, se presentan en la Tabla 5 y la Tabla 6. Los resultados muestran que con las 4 técnicas se han obtenido resultados similares. Los ICCs de las mediciones procedentes de las 3 técnicas digitales están por encima de 0,980 y los ICCs de la antropometría tradicional están por encima de 0,970. El SEM de las medidas lineales (longitud de pie, perímetro metatarsal y altura de empeine) con todas las técnicas está por debajo de 1mm. EL SEM de las medidas tomadas con las 3 técnicas digitales está por debajo de los 2mm excepto por el perímetro de dedos. El SEM de las medidas tomadas mediante antropometría tradicional está por debajo de los 2mm excepto por el perímetro de dedos y el perímetro metatarsal.

Tabla 5. Valores de SEM en mm para la Antropometría Tradicional, escáner 3D, DomeScan y la aplicación de captura, comparados con valores de referencia encontrados en literatura para Antropometría Tradicional y escáneres 3D de pie.

	Ant. Trad	Escáner 3D	DomeScan	Sistema captura	Ant. Trad [6,9,10,11]	Escáner 3D [8]
Longitud de pie	0.9	0.8	0.6	0.7	0.5-2.4	0.8-1.0
Perímetro de dedos	3.3	3.0	2.3	1.8	-	-
Perímetro metatarsal	2.1	1.6	1.2	1.0	1.8-2.1	1.1
Ancho metatarsal	0.8	0.8	0.6	0.6	1.0-1.8	0.7
Perímetro de empeine	1.1	0.6	1.3	1.2	-	0.6
Altura de empeine	1.0	0.8	0.7	0.8	0.5-1.8	0.5-0.6

Tabla 6. Valores de ICC para la Antropometría Tradicional, escáner 3D, DomeScan y la aplicación de captura, comparados con valores de referencia encontrados en literatura para Antropometría Tradicional y escáneres 3D de pie

	Ant. Trad.	Escáner 3D	DomeScan	Sistema captura	Ant. Trad [12,9,7,13,14,15,16]	Escáner 3D [8,13]
Longitud de pie	.998	.999	.999	.999	.968-.998	.997-.998
Perímetro de dedos	.977	.981	.988	.993	-	-
Perímetro metatarsal	.991	.994	.997	.998	.991	.995-.996
Ancho metatarsal	.990	.992	.995	.996	.871-.992	.950-.991
Perímetro de empeine	.997	.999	.996	.997	.990-.992	0.999
Altura de empeine	.977	.985	.988	.985	.897-.994	.970-.990

⁹ Liu, W. *et al.* (1999). Accuracy and reliability of a technique for quantifying foot shape, dimensions and structural characteristics. *Ergonomics* 42 (2), 346-358.

¹⁰ Kouchi, M. *et al.* (1996). Random errors in anthropometry. *Journal of human ergology*, 25(2), 155-166.

¹¹ Gordon C. C. *et al.* (1989). 1987-1988 Anthropometric Survey of U.S. Army Personnel: Methods and Summary Statistics, *Technical Report NATICK/TR-89-004*. Natick, MA: U.S. Army Natick Research, Devand Eng Center

¹² Laughton, C. *et al.* (2002). A comparison of four methods of obtaining a negative impression of the foot. *JAPMA*, 92(5), 261-268.

¹³ Lee, Y. C. *et al.* (2014). Comparing 3D foot scanning with conventional measurement methods. *Journal of foot and ankle research*, 7(1), 44.

¹⁴ Butler, R. J. *et al.* (2008). Arch height index measurement system: establishment of reliability and normative values. *JAPMA*, 98(2), 102-106.

¹⁵ Pohl, M. B. and Farr, L. (2010). A comparison of foot arch measurement reliability using both digital photography and calliper methods. *Journal of foot and ankle research*, 3(1), 14.

¹⁶ Mall, N. A. *et al.* (2005). The reliability and reproducibility of foot measurements using a mirrored foot photo box compared to calliper measurements. *In American Society of Biomechanics National Meeting*, Cleveland, OH

El SEM y el ICC de las medidas obtenidas con el escáner 3D de pie y mediante antropometría tradicional son consistentes con la literatura existente.

Los valores de ICC de las 4 técnicas para las 6 medidas estudiadas muestran una fiabilidad excelente (por encima de 0,95).

El sistema de captura 3D y el DomeScan son igual de fiables que el escáner 3D para la longitud de pie, el ancho metatarsal, y la altura de empeine, y ligeramente más fiables que el escáner 3D para el perímetro de dedos y el perímetro metatarsal. El escáner 3D es más fiable para el perímetro de empeine. El perímetro de dedos es la medida menos fiable de todas, posiblemente porque la zona de los dedos es la parte más articulada del pie y los dedos pueden adoptar posturas ligeramente diferentes en cada repetición; además, la incertidumbre en la colocación de las pequeñas articulaciones (los dedos) puede también influir.

Validez: Los errores sistemáticos en mm entre el DomeScan y el sistema de captura, con respecto a las medidas tradicionales y el escáner 3D se presentan en la Tabla 7. Los resultados muestran que las únicas diferencias significativas entre el DomeScan y el sistema de captura con el escáner 3D se encuentran respectivamente en el ancho metatarsal y longitud de pie, pero son de tan solo 1mm. Se pueden observar sesgos significativos entre las 3 técnicas de medida digital y los métodos tradicionales, las diferencias en perímetro de dedos y perímetro metatarsal son las más significativas, con valores respectivos de 4,7-6,1mm y 2,3-3,3mm

Tabla 7. Errores sistemáticos en mm entre DomeScan y el sistema de captura y la antropometría tradicional y el escáner 3D.

	Sistema de captura – Escáner 3D	DomeScan – Escáner 3D	Ant. Trad. – Escáner 3D	Ant. Trad – DomeScan	Trad.Ant. – Sistema de captura
Longitud de pie	1.0*	-0.2	-0.5*	-0.3	-1.5*
Perímetro de dedos	0.2	-1.2	-5.9*	-4.7*	-6.1*
Perímetro metatarsal	-0.1	-1.0	2.3*	3.3*	2.5*
Ancho metatarsal	0.1	-1.0*	-1.2*	-0.2	-1.4*
Perímetro de empeine	0.3	-0.7	-1.1*	-0.4	-1.3*
Altura de empeine	-0.3	0.3	-2.0*	-2.2*	-1.7*

* Diferencia significativa ($p < 0.05$)

El error sistemático de las medidas procedentes del sistema de captura y el DomeScan en comparación con las procedentes del escáner 3D es pequeño (1mm o menos), y no significativo. Las medidas procedentes de estos nuevos sistemas pueden considerarse compatibles con las medidas del escáner 3D.

La precisión y fiabilidad de las técnicas digitales parecen adecuadas para el diseño de producto (calzado y plantillas). La ventaja principal de las implementaciones de reconstrucción 3D a partir de datos frente a los escáneres 3D actuales es su eficiencia, lo que se traduce en costes más bajos y procesamiento más rápido ya que no requieren cámaras, proyectores ni recursos informáticos de alta gama. Tanto el sistema de captura como el DomeScan son, respectivamente, las soluciones de escaneado 3D de pie más portátil y rápida disponibles.

Los resultados muestran que, para las 6 medidas estudiadas, la reconstrucción 3D a partir de datos es tan fiable como los escáneres 3D de alta resolución y ligeramente

más fiable que las mediciones manuales tomadas por un experto. Debido a su menor coste, su velocidad y su portabilidad tienen el potencial de ser más adecuados que los escáneres 3D existentes para determinados contextos de uso. El sistema de captura basado en fotos puede ser distribuido masivamente y empleado domésticamente de forma cómoda para recomendar talla online, o para pedidos de plantillas, ortesis y calzado personalizados. DomeScan puede emplearse en puntos de elevado tráfico de medida como en las tiendas.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Kiwan, H., Kwon, H. J., Choi, T. H., Kim, J. H., & Son, D. (2010). Comparison of anthropometry with photogrammetry based on a standardized clinical photographic technique using a cephalostat and chair. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 38, 96-107.
2. Lucas, B., Bernardino-Junior, R., Gonçalves, L., & Gomes, V. (2009). Distance between the medialis angles of the eyes as an anatomical parameter for tooth selection. *Journal of Oral Rehabilitation*, 36; 840–847.
3. Rajion, Z., & Yusdirman, A. (2008). Computer Aided Photogrammetry for Facial Analysis. *Biomed 2008, Proceedings* 21, pp. 548–551
4. Weissler, Jason M., Carrie S. Stern, Jillian E. Schreiber, Bardia Amirlak, y Oren M. Tepper. 2017. «The Evolution of Photography and Three-Dimensional Imaging in Plastic Surgery». *Plastic and Reconstructive Surgery* 139 (3):761. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000003146>