



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**GRADO EN DISEÑO Y DESARROLLO DE VIDEOJUEGOS**

**Curso Académico 2022/2023**

**Trabajo Fin de Grado**

**VESTUARIO VIRTUAL**

**Autor:** Elisa Barba Ortiz

**Director:** Dan Casas

# 1 TABLA DE CONTENIDO

---

2	Índice de Ilustraciones .....	4
3	Agradecimientos .....	6
4	Resumen.....	7
5	Palabras clave.....	7
6	Introducción .....	9
7	Objetivos .....	10
7.1	Descripción del problema .....	10
7.1.1	Innovación y creatividad.....	10
7.1.2	Sostenibilidad.....	12
7.1.3	Eficiencia en costes y tiempo.....	14
7.1.4	Compra on-line .....	16
7.2	Contexto de la industria de la moda en 3D .....	22
7.2.1	Pasarelas de moda digitales .....	22
7.2.2	Moda en videojuegos .....	23
7.2.3	Metaverso y NFT .....	25
7.3	Objetivos y requisitos específicos del proyecto.....	26
7.3.1	Vestidor virtual para diseñar .....	26
7.3.2	Vestidor virtual para probarse prendas .....	27
8	Estudio de alternativas .....	28
8.1	CLO y Marvelous Designer .....	28
8.2	Browzwear .....	29
8.2.1	Vstitcher.....	30
8.2.2	Lotta .....	30
8.2.3	Stylezone.....	30
8.3	En el mundo académico .....	30
9	Metodología empleada.....	32
10	Descripción informática.....	35
10.1	Blender.....	35
10.2	Modelo del cuerpo .....	35
10.3	Modelo de prenda .....	36
10.4	Físicas .....	39

10.5	Texturización de la prenda.....	41
10.6	Animación con AMASS .....	42
11	Experimentos / Validación.....	44
12	Resultados y Análisis.....	49
12.1	Análisis de comportamiento de prenda en función del tipo de cuerpo .....	49
12.2	Análisis del comportamiento de diferentes materiales en el mismo cuerpo .....	52
12.3	Análisis de diferentes diseños en mismo tipo de cuerpo .....	54
13	Conclusiones .....	57
13.1	Logros principales alcanzados .....	57
13.2	Limitaciones y desafíos encontrados .....	58
13.3	Trabajos futuros y mejoras posibles .....	59
14	Bibliografía .....	60

## 2 ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

---

Figure 1 Christina Wootton, Roblox's vice president .....	10
Figure 2 LOVE KILLS Metal Dress by Kay Kwok      Figure 3 Waterfall jeans by American Eagle .....	11
Figure 4 Ejemplo de conjunto digital en Instagram by DressX.....	12
Figure 5 Gasto de agua en la producción de prendas.....	13
Figure 6 Muestreo 3D El Corte Inglés.....	15
Figure 7 Diseños 3D El Corte Inglés .....	16
Figure 8 E-commerce en jóvenes.....	17
Figure 9 E-commerce en adultos .....	18
Figure 10 E-commerce en seniors.....	18
Figure 11 Crecimiento de e-commerce en moda en España.....	19
Figure 12 Evolución de Shein.....	21
Figure 13 Decentraland MVFW 23 .....	22
Figure 14 Gucci en Animal Crossing.....	23
Figure 15 Balenciaga en Fortnite.....	24
Figure 16 Balenciaga's videogame Afterworld.....	25
Figure 17 Tommy Hilfiger NFT .....	26
Figure 18 Patrón en CLO y su visualización en 3D.....	29
Figure 19 Pipeline de trabajo con Browzwear.....	30
Figure 20 PERGAMO.....	31
Figure 21 Redes neuronales para Virtual Try-On.....	31
Figure 22 Pasos metodología en cascada.....	33
Figure 23 SMPL-X UI .....	36
Figure 24 Patrón 2D.....	37
Figure 25 Guía de tallas .....	37
Figure 26 Pasando la prenda a 3D .....	38
Figure 27 Tension springs (blue), compression springs (rojo), shear springs (cian), and angular bending springs (verde).....	39

Figure 28 Cosido de piezas .....	41
Figure 29 Substance 3D Panel .....	42
Figure 30 Captura de baile con Phasespace Impulse X2E.....	43
Figure 31 Guía de altura .....	44
Figure 32 Problema Self Collisions .....	46
Figure 33 Arrugas camiseta .....	47
Figure 34 Problema Object Collision .....	47
Figure 35 (a) Talla L modelo A en IMC bajo (b) Talla L modelo A en IMC de peso saludable (c) Talla L Modelo A en IMC de sobrepeso .....	49
Figure 36 (a) Talla L modelo B en IMC bajo (b) Talla L modelo B en IMC saludable (c) Talla L modelo B en IMC sobrepeso .....	50
Figure 37 (a) Movimiento camiseta A talla L IMC bajo (b) Movimiento camiseta A talla L IMC saludable (c) Movimiento camiseta A talla L IMC sobrepeso .....	51
Figure 38 Problema de colisión en IMC de sobrepeso en comparación con IMC saludable ..	52
Figure 39 Comparaciones de las distintas telas en un mismo avatar .....	53
<i>Figure 40 Comparación de distintos modelos y tallas en un mismo avatar.....</i>	<i>55</i>

### 3 AGRADECIMIENTOS

---

En primer lugar, agradecer a mi tutor del TFG Dan Casas, su coordinación, orientación, ayuda y disponibilidad a lo largo del desarrollo de este. Ya que, con todo ello, he podido hacer de una idea que se fue formando a lo largo de los últimos años, un proyecto que cumple con éxito los objetivos planteados.

Asimismo, agradecer a todos los docentes pertenecientes al grado su dedicación a lo largo de la carrera, la cual ha contribuido de manera muy positiva a mi formación y desarrollo en la universidad. Estos han sido fundamentales para así adquirir el conocimiento que poseo hoy en día.

Además, expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, y en especial a mis padres, los cuales me han apoyado en el día a día y han compartido mis logros como los suyos propios. Su apoyo y sacrificios constantes han sido un motor de motivación en mi trayectoria académica.

En último lugar, agradecer a Yassin su amor, apoyo y comprensión incondicionales. Su paciencia, la confianza que me brinda y el tiempo dedicado a apoyarme en los momentos de estrés y preocupación han sido, sin lugar a dudas, un pilar en la consecución de mis metas.

## 4 RESUMEN

---

El TFG *Vestuario Virtual* pretende abordar un tema de gran peso y de bastante actualidad: la industria de la moda 3D. Esta ha ganado gran importancia a lo largo de los últimos años debido principalmente a la gran creatividad que esta ofrece, el aumento de sostenibilidad, la reducción de costes y de tiempo y el aumento de los comercios digitales.

El principal objetivo de este proyecto ha sido crear un entorno virtual en el que usuarios consumidores de moda puedan probar una prenda en sus distintas tallas de la forma más realista posible. Más allá del usuario final, este entorno también está pensado como herramienta para los diseñadores de la industria, ya que, a pesar del reto inicial de llevar el patronaje del papel a la pantalla, podrían llevar a cabo diseños los cuales se podrían modificar de forma rápida y efectiva.

Como resultado, el proyecto ha logrado abordar muchas de las limitaciones actuales de la industria de la moda actual o “tradicional”. Esto incluye la creación de un avatar con un físico personalizado, el patronaje y confección de una prenda partiendo de algo tan básico como un plano y la simulación realista de físicas e interacción del avatar con la prenda a través de secuencias de animación.

## 5 Palabras clave

---

- Blender
- 3D
- Simulación de físicas
- Experiencia de usuario
- Librería SMPLX
- Base de datos AMASS
- Probador virtual
- Moda digital





## 6 INTRODUCCIÓN

---

Es innegable que la tecnología abarca cada vez más sectores y es capaz de dar soluciones de manera rápida y efectiva a tareas de nuestro día a día y la industria de la moda y el sector textil no iban a ser menos. Y es que estos están experimentando una transformación a medida que la tecnología se fusiona con la creatividad y el diseño. En este contexto, se tiene como objetivo desarrollar un sistema de indumentaria virtual en 3D en Blender con el apoyo de librerías que permitan generar avatares tridimensionales con movimientos altamente realistas basados en datos anatómicos y cinemáticos reales, garantizando una apariencia natural.

El objetivo general del proyecto es ofrecer una solución visualmente atractiva que mejore la experiencia de compra en línea de los usuarios de forma interactiva, así como una herramienta para los diseñadores que, combinando tecnologías 3D, sean capaces de tener una experiencia realista de lo que podría ser el producto físico antes de comprarlo, o en el caso del diseñador, de confeccionarlo.

A lo largo de este documento se indagará en las limitaciones de la industria de la moda, las soluciones que aporta la tecnología a estos problemas y tendencias actuales del sector haciendo uso del 3D, así como su impacto. Además, se describirá la metodología empleada detallando los aspectos técnicos del proyecto, los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas de los resultados. Finalmente, se proporcionará una visión general del tema, así como posibles direcciones futuras que podría tomar el proyecto.

## 7 OBJETIVOS

---

### 7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En este apartado, se profundizará en los principales problemas que acarrea el sector de moda y textil actual y los que, por tanto, han servido de inspiración y motivación en el desarrollo de este trabajo.

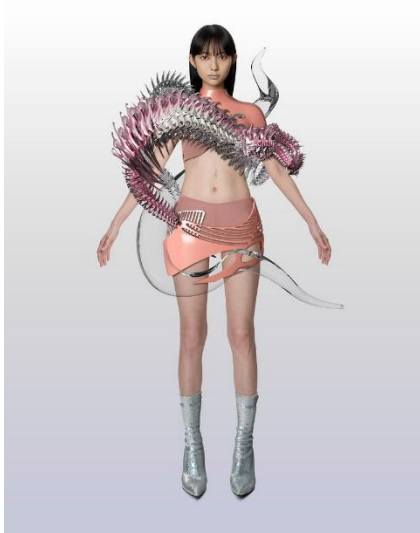
#### 7.1.1 Innovación y creatividad

La moda en 3D permite a los diseñadores expandir sus barreras de su creatividad y explorar diseños innovadores que eran muy complejos o incluso imposibles de llevar a cabo, además de generar experiencias inmersivas que acompañen o enriquezcan las historias en torno a sus productos e imágenes. Incluso Christina Wootton (Figura 1), la propia vicepresidenta de la plataforma de videojuegos en línea *Roblox* afirma que la moda digital implica que “*designer’s imagination can go wild*” y “*You can push the creative boundaries so much with digital fashion – you can have fire coming from your outfit. You can really do things that you can't do in the real world.*” (I)



Figure 1 Christina Wootton, Roblox's vice president

Y es que, más allá de patrones o formas complejas, que físicamente serían imposibles de replicar teniendo en cuenta aspectos físicos como la propia gravedad, la caída de la tela, su peso o elasticidad, como Christina dice, también se pueden jugar con las texturas y los materiales que componen estas prendas, no siendo de extrañar ver prendas de las que emana fuego. Ya que, a diferencia de la moda tradicional, que requiere materiales físicos, la moda digital únicamente requiere código, expandiendo los límites de lo que puede ser diseñado o creado.



*Figure 2 LOVE KILLS Metal Dress by Kay Kwok    Figure 3 Waterfall jeans by American Eagle*

He aquí dos ejemplos de diseños digitales expuestos en la plataforma [DressX](#), una plataforma de venta de diseños digitales enfocados al metaverso, del que se profundizará más adelante, y la moda en realidad aumentada. Y es que, a pesar de la creatividad que brinda la moda digital, en muchos casos esta se queda, como su propio nombre dice, en lo digital, pudiendo observar

estos modelos en juegos, redes sociales, como en la Figura 4, *streamings*, o incluso vídeo conferencias.



Figure 4 Ejemplo de conjunto digital en Instagram by DressX

### 7.1.2 Sostenibilidad

Aunque pueda parecer sorprendente, la industria de la moda es actualmente la segunda más contaminante de todo el planeta tras la petrolera. Y es que ya sólo la producción de ropa y calzado supone el 8,1% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la atmósfera (III), repercutiendo en la polución del aire. Para ponerse en perspectiva, las emisiones de carbono son superiores a las que provocan los vuelos de todos los aviones y envíos marítimos internacionales juntos.

Pero no todo se queda en el aire, y es que, como se puede observar en la Figura 5, elaborar una camiseta estándar conlleva un gasto de 2.700 litros de agua. Por no hablar del agua contaminada por los tintes tóxicos, la huella ecológica del transporte, las emisiones de gases de efecto invernadero, etc.

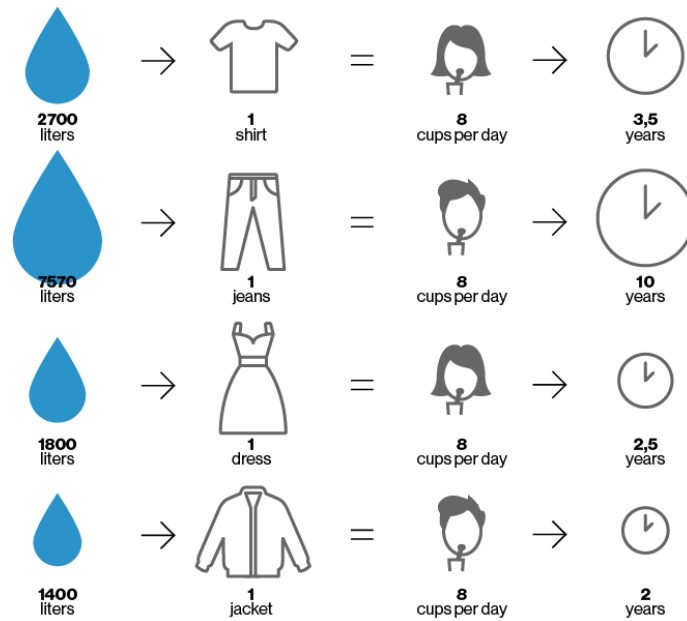


Figure 5 Gasto de agua en la producción de prendas

También cabe destacar el desperdicio generado por la moda, tanto en su fase de diseño, como a la hora de consumirlo. En su fase de diseño, aproximadamente el 15% (II) del tejido total utilizado por la industria se desperdicia, esto lo compone el exceso de muestreo o simplemente los espacios vacíos entre las piezas del patrón.

En cuanto a la consumición, una tendencia conocida como *Fast Fashion*, se refiere a los inmensos volúmenes de ropa producidos por la industria de la moda en función de las tendencias y una necesidad inventada de innovación, lo que fomenta una consumición acelerada para sustituir el inventario personal. Debido a estas tendencias breves, la industria prefiere optar por fabricar prendas con materiales de baja calidad y asegurar así un precio más barato. Su escasa calidad, bajo precio y continuas tendencias emergentes, hace que el consumidor perciba la ropa como desechable o de “usar y tirar”.

Mundialmente, las veces que se usa una misma prenda ha decrecido en un 36% (IV), habiendo prendas que se usan únicamente de 7 a 10 veces y se tiran. Si ponemos todo esto en cifras,

resulta que se generan 92 millones de toneladas de residuos textiles al año, un europeo medio tira 11 kilos de ropa anualmente, el 87% de toda la ropa desechada termina en un basurero o incinerad y tan sólo el 13% de la ropa consigue reciclarse. (V)

### **7.1.3 Eficiencia en costes y tiempo**

Se podría hablar de la producción de una prenda como una cadena de trabajo, ya que, desde su preproducción hasta su aprobación se involucran muchas etapas, entre ellas están el diseño, el corte, la costura, el tejido, el acabado, el empaquetado y el envío (VI). Todas ellas dependen la una de la otra, y por eso es muy importante que todas las partes involucradas se pongan de acuerdo en distintos aspectos antes de pasar de una etapa a la otra.

Desde luego, la comunicación es un factor clave en la industria, pero esta se puede mejorar de manera exponencial. Con una plataforma que permita compartir las creaciones y trabajar en un entorno colaborativo, los diseñadores podrían crear prototipos virtuales eliminando la necesidad del muestreo físico, pasando a ser muestreo digital como en la Figura 6. Además de acelerar el proceso iterativo de diseño y producción, se reducirían los costes asociados al muestreo y se eliminarían las prácticas de despilfarro y emisiones de carbono.

Existen ya grandes empresas que están empezando a reconvertir el proceso creativo de las colecciones, una de ellas es El Corte Inglés, la cual ha diseñado su primera colección en 3D y afirma que le permitirá *“incrementar la eficiencia y sostenibilidad de las colecciones de moda, al acortar los plazos de desarrollo y producción de las prendas, reducir el número de muestras y el stock y generará ahorro de costes, agilizará los procesos de flujo de información, abrirá nuevas posibilidades de fidelización, reducirá la huella de carbono y habilitará nuevos modelos de negocio”*. (VII)

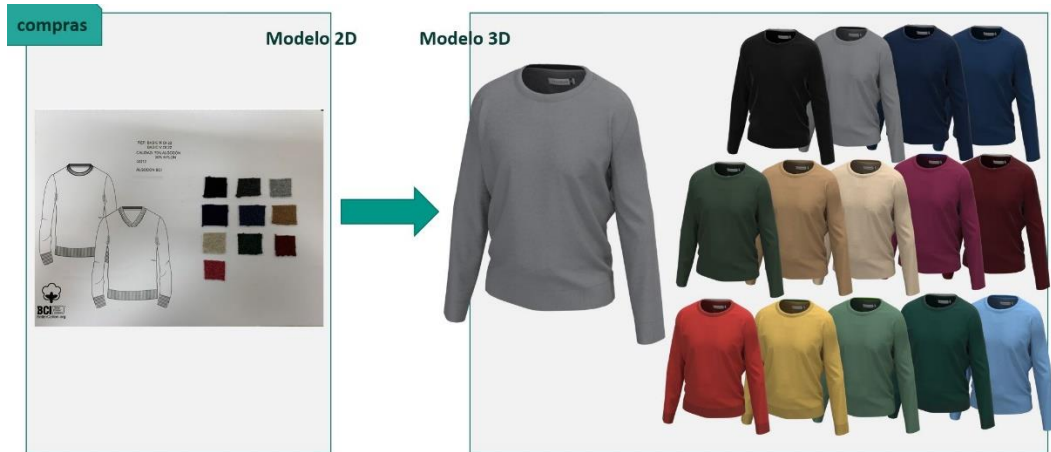


Figure 6 Muestreo 3D El Corte Inglés

En este proyecto piloto, El Corte Inglés se propone reducir la cantidad de sus muestras al 50%, una disminución de 15 días del tiempo que conlleva el proceso de aprobación de las colecciones y que los equipos involucrados en la promoción en punto de venta puedan intervenir con dos meses de adelanto. En este proyecto forma parte un equipo de diseñadores, patronistas, diseñadores tecnológicos, diseñadores gráficos y fabricantes, los cuales han logrado una comunicación digitalizada, trazable y online. La compañía dice que el sistema *“habilita la capacidad de diseño colaborativo entre los profesionales ubicados en diferentes espacios físicos y facilita que los procesos de validación, aprobación y compra se realicen de forma digital, que se reduzcan los tiempos de desarrollo de propuestas de diseño y distintas áreas optimicen su actividad mediante activos digitales, lo que redundará en una mayor eficiencia, sostenibilidad y rentabilidad”*. (VII)

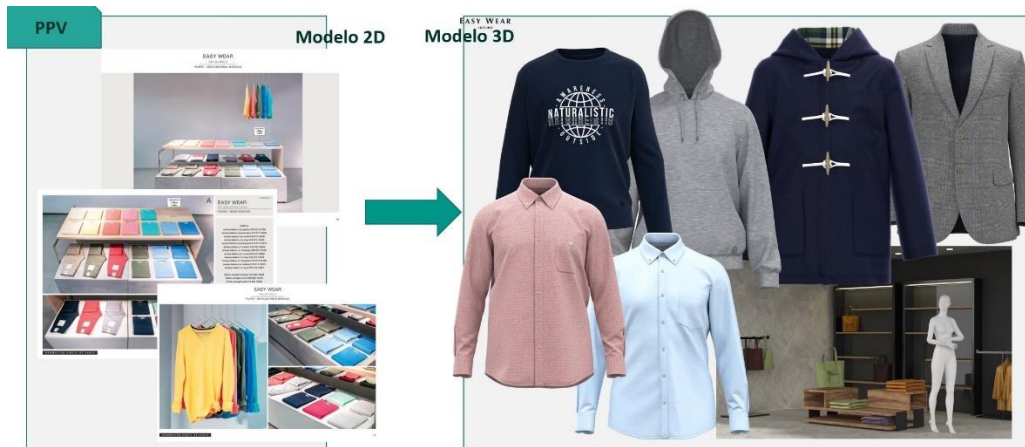


Figure 7 Diseños 3D El Corte Inglés

También aseguran que el sistema genera una fidelización bidireccional al poder contar con la opinión del cliente en el proceso creativo, antes de que se fabrique la colección. Esta forma de diseñar permite utilizar mecánicas de juego en redes sociales, para consultar la aceptación de la colección en 3D como se muestra en la Figura 7, realizar preventas y analizar esa retroalimentación para adaptar las prendas en función del nivel de éxito entre los clientes.

#### 7.1.4 Compra on-line

El COVID-19 desencadenó un cambio de los hábitos de consumo, intensificando el uso del *e-commerce* o comercio electrónico. Las medidas de distancia social y confinamiento para combatir el virus han provocado que las compras que se hacían de manera presencial se trasladasen a internet.

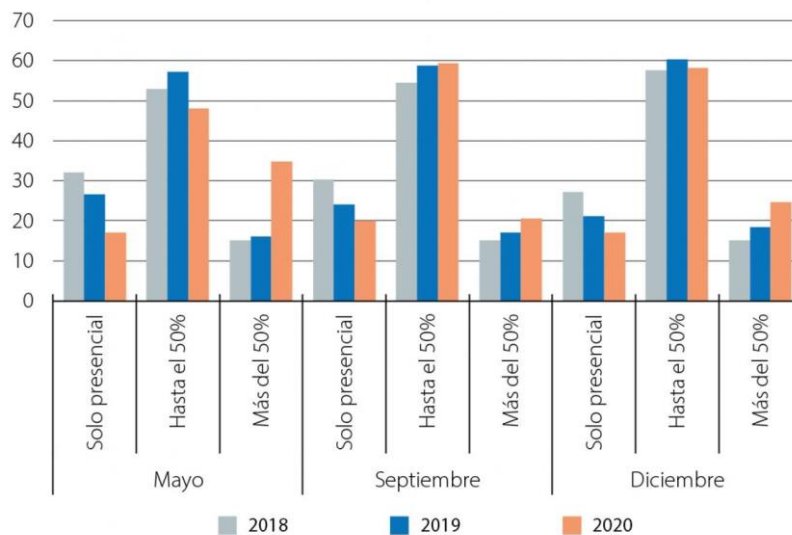
En 2020, CaixaBank realizó un análisis del crecimiento del *e-commerce* con el objetivo de determinar el uso del comercio electrónico en España entre distintos rangos de edad: joven (de 18 a 29 años), adulto (de 30 a 64 años) y sénior (de 65 años en adelante); y durante las distintas fases de la pandemia (mayo, septiembre y diciembre), así como compararlo con los años anteriores (VIII). Para ello, recurrieron a los datos de pagos con tarjeta realizados por los 13,4 millones de clientes de la entidad y calcularon qué proporción de gasto total se correspondía a



compras por internet. A continuación, se muestran los datos recopilados de los usuarios jóvenes, adultos y seniors.

### **España: distribución de la penetración del e-commerce en jóvenes (2018-2020)**

(% sobre el total de tarjetas CaixaBank)



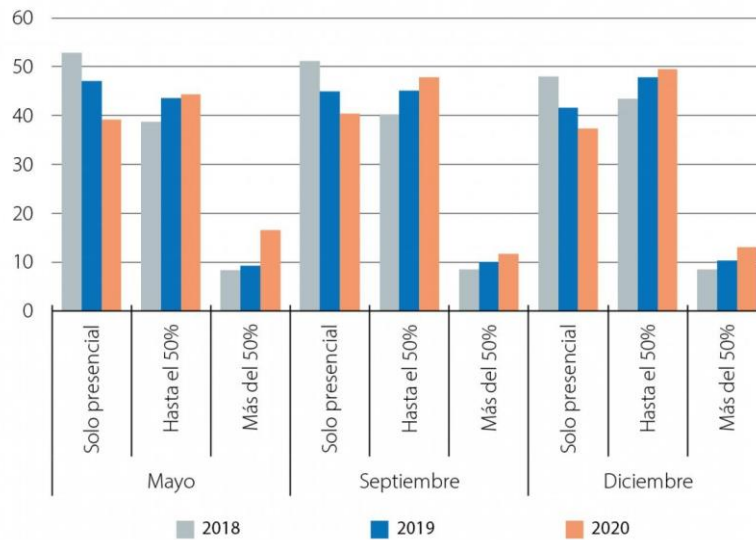
**Nota:** El eje horizontal representa el porcentaje del gasto total de los jóvenes correspondiente al e-commerce y se divide en tres franjas (solo presencial, hasta el 50% y más del 50%). El eje vertical representa el porcentaje de tarjetas que se encuentra en cada franja. Por construcción, la suma de las barras grises, azules y naranjas es 100% en cada uno de los tres meses analizados.

**Fuente:** CaixaBank Research, a partir de datos internos.

Figure 8 E-commerce en jóvenes

### España: distribución de la penetración del e-commerce en adultos (2018-2020)

(% sobre el total de tarjetas CaixaBank)



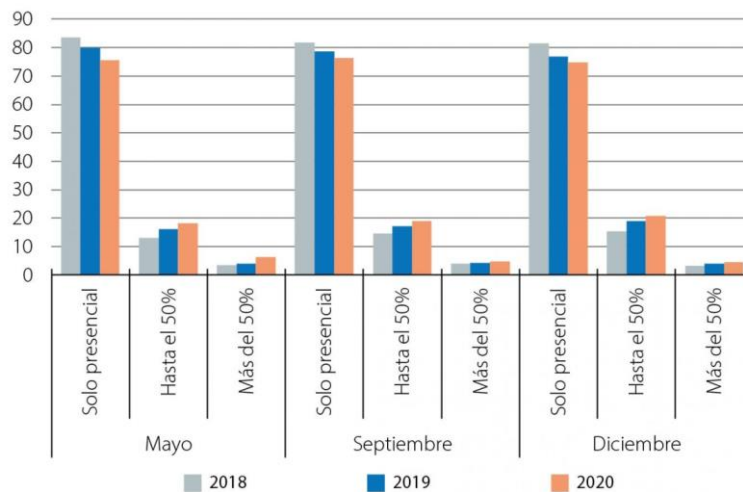
**Nota:** El eje horizontal representa el porcentaje del gasto total de los adultos correspondiente al e-commerce y se divide en tres franjas (solo presencial, hasta el 50% y más del 50%). El eje vertical representa el porcentaje de tarjetas que se encuentra en cada franja. Por construcción, la suma de las barras grises, azules y naranjas es 100% en cada uno de los tres meses analizados.

**Fuente:** CaixaBank Research, a partir de datos internos.

Figure 9 E-commerce en adultos

### España: distribución de la penetración del e-commerce en séniores (2018-2020)

(% sobre el total de tarjetas CaixaBank)



**Nota:** El eje horizontal representa el porcentaje del gasto total de los séniores correspondiente al e-commerce y se divide en tres franjas (solo presencial, hasta el 50% y más del 50%). El eje vertical representa el porcentaje de tarjetas que se encuentra en cada franja. Por construcción, la suma de las barras grises, azules y naranjas es 100% en cada uno de los tres meses analizados.

**Fuente:** CaixaBank Research, a partir de datos internos.

Figure 10 E-commerce en seniors

Los resultados del análisis muestran claramente la mayor aceleración de este canal de ventas al comenzar la pandemia entre los usuarios jóvenes. En general, el porcentaje de jóvenes y adultos que consumieron solo presencialmente es significativamente bajo, observándose una tendencia histórica de crecimiento del *e-commerce* en las Figuras 8 y 9. Caso aparte, el consumo por comercio electrónico entre el colectivo sénior no se aceleró, mostrando mucha más rigidez de hábitos en la Figura 9 que los jóvenes y adultos.

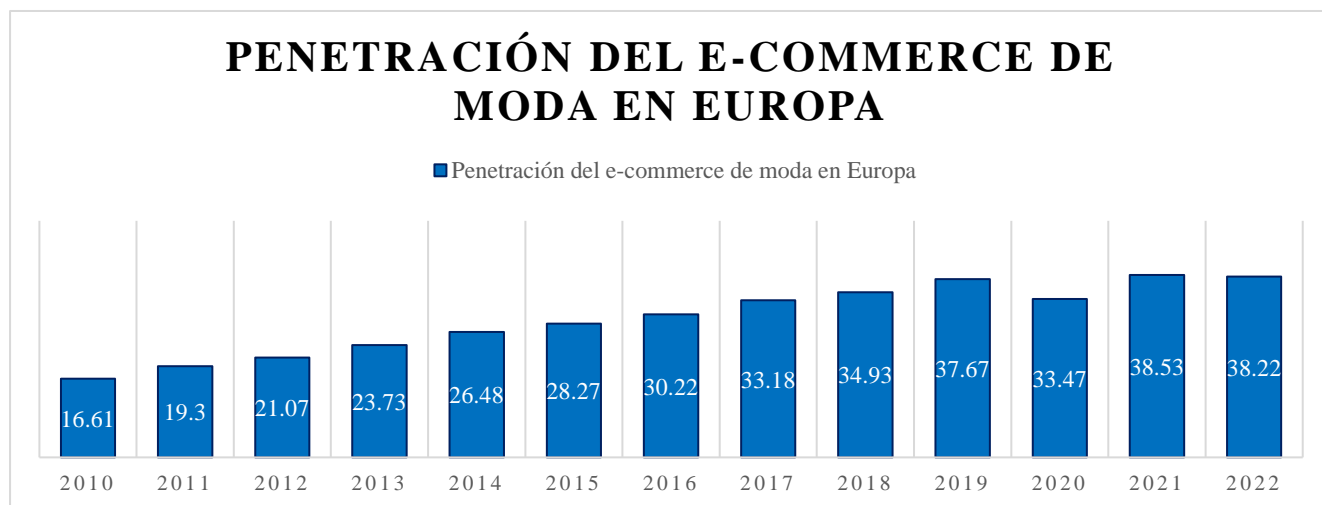
¿Y en la industria de la moda? Como se muestra en la Figura 11, en 2020 las ventas online crecieron sin precedentes hasta alcanzar un nuevo récord en 2021, copando el 20,8% de las ventas del sector, según el *Informe de la moda online en España(IX)*, elaborado por [Modaes](#) en colaboración con Kantar y el patrocinio de Prodware.



Figure 11 Crecimiento de e-commerce en moda en España

Llegado el 2022, el número de europeos que hacían su compra de ropa a través de Internet retrocedió levemente respecto al año anterior. Según datos de la agencia estadística de [Eurostat](#) (X) y los cuales se muestran a continuación, el 38,2% de los europeos compró ropa, calzado o accesorios a través de internet, a comparación del 38,5% del año anterior. Pese al descenso, la

moda continúa siendo, de lejos, el artículo que más europeos compran por internet.



Pero, a diferencia de Europa, la venta online en España continuó aumentando hasta el 37,99% (XI) y se predice que continuará elevándose hasta 2027, aunque a un ritmo menor.

A nivel internacional, la cuota online media se encuentra por debajo de la media europea, situándose en el 2022 con un 25,6%, y se predice que en 2027 alcanzará el 27,8%. La región con mayor penetración online es, y continuará siendo durante los próximos 5 años, Norteamérica. En 2022, la cuota del negocio online de Estados Unidos, Canadá y México en el sector de la moda alcanzó el 32,9% y se estima que se situará en 40,4% en 2027.

Este fenómeno ha hecho que grandes gigantes del negocio online especializados o con un peso importante en el negocio de la moda como Amazon, JD.com o Alibaba se hayan disparado en los últimos años. Pero sin duda, el protagonista de esta categoría ha sido el grupo chino Shein, pasando de facturar 50 millones de dólares en 2012 a 10.000 millones en 2020. Su modelo de negocio basado en el *Fast Fashion* produce cantidades masivas de ropa, replicando las tendencias de moda y vendiéndolas a bajo costo online. (XII)



Figure 12 Evolución de Shein

Pero debido a su naturalidad digital, este tipo de comercios fallan en cuanto a la interacción del usuario con el producto. Es decir, el comprador no tiene la misma experiencia personalizada de compra que en una tienda física en la que puede probarse la ropa, sentir el tejido que lo compone y, en general, visualizar y evaluar la prenda para llegar a la decisión final de comprarla o no. Esto provoca inmensas cantidades de devoluciones de ropa, lo cual supone, en primer lugar, la contaminación del transporte hasta al almacén y una vez allí se evalúa si la prenda se puede volver a poner a la venta (que esté en buen estado físico o aún esté en temporada). Se estima que alrededor del 10% de las devoluciones no se reintegran a la venta, con la mayoría acabando en la basura, lo que no solo afecta de nuevo al medio ambiente, sino que también hace perder dinero a la marca de ropa.

Con el objetivo de analizar la problemática de las devoluciones, iF Lastmile ha elaborado su informe Insights iF Lastmile: Cambios y Devoluciones online (XIV). De acuerdo con el estudio, el 81,7% de los cambios y devoluciones comprados a través de *e-commerce* se producen debido a errores de talla al no poder ver, tocar o probar. Otro 7,2% corresponden a que el producto no cumple con las expectativas que se reflejan en internet. Muchos otros usuarios practican algo denominado *bracketing*, que consiste en adquirir una misma prenda en varias tallas y/o colores para poder valorarlo en el domicilio y acto seguido devolver la mayor parte del pedido.

## 7.2 CONTEXTO DE LA INDUSTRIA DE LA MODA EN 3D

### 7.2.1 Pasarelas de moda digitales

Otra consecuencia del COVID-19 fue el impacto en eventos de moda. Muchos diseñadores y casas de moda han tenido que recurrir a plataformas digitales como escaparate de sus colecciones. Durante la pandemia, marcas como Dior, Louis Vuitton y Off-White celebraron su primer desfile virtual en YouTube, en el que se mostraban vídeos de los modelos desfilando desde sus casas.

Con el paso del tiempo, las marcas han buscado crear eventos de moda con experiencias más interactivas, usando espacios virtuales en 3D. Uno de los eventos más relevantes y más recientes ha sido la *Metaverse Fashion Week* en el metaverso conocido como Decentraland, celebrada a finales de marzo de este año. En ella, marcas conocidas como Coach, Adidas (en la Figura 13 se puede percibir como fue unas de sus pasarelas) y Dolce & Gabbana se han unido a casas de moda digital como The Fabricant y han presentado sus desfiles de moda digital en una experiencia inmersiva. El evento sufrió problemas técnicos como tiempos de respuesta lentos y mucha gente criticó la calidad de sus gráficos.



Figure 13 Decentraland MFW 23

### 7.2.2 Moda en videojuegos

Cada vez es más habitual ver colaboraciones entre marcas de moda y videojuegos, y es que durante la pandemia muchas firmas se adaptaron rápidamente a los entornos virtuales. Grandes firmas han apostado por presentar sus colecciones a través de videojuegos como escaparates para llegar a un público más joven y diferente. A continuación, se listan ejemplos de este tipo de colaboraciones.

Las marcas Marc Jacobs, Valentino y Sandy Liang, y poco después Gucci, se adentraron en el videojuego *Animal Crossing: New Horizons*, permitiendo que los diseñadores presentasen virtualmente sus prendas en formato de *outfits* descargables dentro del propio juego. Gucci, además, introdujo en el juego la isla de la Figura 14 llamada *Guilty Gucci*. En *Animal Crossing: New Horizons*, el jugador puede personalizar su avatar, incluyendo las prendas que este luce, lo que hace del juego una excelente oportunidad para que los diseñadores enseñen sus trabajos.

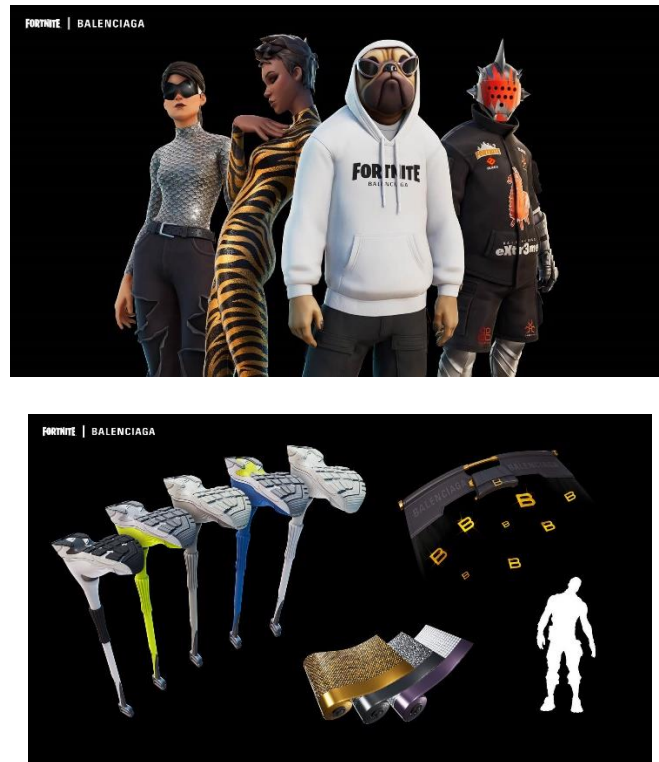


Figure 14 Gucci en Animal Crossing

Otra de las colaboraciones más destacadas ha sido la de Balenciaga y uno de los videojuegos más populares, Fortnite (XIII). En esta colaboración y como se observa en la Figura 15, personajes del juego no solo lucen un conjunto de Balenciaga, sino que se han introducido



accesorios que sirven de mecánica en el juego como una mochila de Balenciaga, un planeador o picos para extraer materiales en el juego.



*Figure 15 Balenciaga en Formite*

Han sido muchas otras las colaboraciones como Louis Vuitton con League of Legends, Prada con Final Fantasy o Moschino con los Sims. Incluso ha habido marcas que han lanzado su propio videojuego: Balenciaga y Afterworld: The Age of Tomorrow, Burberry y B Bounce (Figura 16), Louis Vuitton y Louis The Game o Gucci y Gucci Arcade. Aunque las mecánicas que componen estos juegos no sean necesariamente complejas, estos videojuegos dirigen con éxito la atención del consumidor a la marca.





*Figure 16 Balenciaga's videogame Afterworld*

### **7.2.3 Metaverso y NFT**

El metaverso es un término que hace referencia a una réplica del mundo real, cuya sociedad realiza intercambios económicos en cripto. En este caso, se hacen intercambios a través de NFTs (Non Fungible Tokens), es decir, bienes no fungibles. Realmente este punto está muy ligado a los dos anteriores, pero se introducen los modelos digitales de los que se habla anteriormente como coleccionables únicos con un valor económico. En la figura 17 se muestra un ejemplo de NFT de la reconocida marca Tommy Hilfiger.

La lista de marcas que ya se han abierto paso en este nuevo canal de mercado activo es amplia, es decir, crean colecciones exclusivamente digitales y únicas, por lo que una misma prenda solo puede poseerla una persona. Estos pueden ser meramente coleccionables o brindan la posibilidad de vestir a tu avatar en el metaverso o tu juego favorito con el NFT, visualizarlo a través de filtros como el de Snapchat o ser capaz de llevarlo en tus redes sociales haciendo uso de realidad aumentada.



*Figure 17 Tommy Hilfiger NFT*

### **7.3 OBJETIVOS Y REQUISITOS ESPECÍFICOS DEL PROYECTO**

Tras profundizar en los problemas que residen en el mundo de la moda actual, se ha llegado a la conclusión que estos podrían ser solventados con una tecnología 100% digital. Además, con la contextualización de la importancia de la moda 3D y el impacto que ha tenido en la industria de la moda, se ha podido observar que está transformando la forma en que esta se comercializa y se consume. Es por ello, que el objetivo de este trabajo es crear un espacio virtual o vestidor virtual realista en 3D el cual tendría dos enfoques principales.

#### **7.3.1 Vestidor virtual para diseñar**

Un espacio virtual para los diseñadores que no solo les brindaría un espacio en el que crear los patrones de las prendas, sino que podrían ver de manera rápida y realista cómo se vería en el cliente la pieza de ropa tras su confección. Esto proporcionaría la ventaja de hacer cambios sobre la prenda como medidas, color o incluso tipo de tejido y hacer tanto muestreo como sea necesario implicando un total de 0 desperdicio de tela y dinero, pasando el producto digital a producto físico una vez se logre el satisfactorio.

Además, un vestidor virtual proporcionaría un espacio colaborativo entre todas las partes implicadas en el diseño y producción de ropa, lo que permitiría a las empresas acelerar el proceso de aprobación de prendas. Incluso, como el Corte Inglés mencionaba, se podría emplear como técnica de estudio de mercado, al poder mostrar al cliente las colecciones antes de que estas siquiera existan y aplicar el *feedback* obtenido antes de realizar un lanzamiento.

### **7.3.2 Vestidor virtual para probarse prendas**

En este caso, el vestidor estaría destinado al usuario o cliente. El objetivo sería crear un probador en el que el usuario pueda probarle a un avatar, cuya complexión física se asemeje a él mismo, una misma prenda en las distintas tallas o colores disponibles. La clave reside en una experiencia inmersiva en la que tanto el avatar como la prenda sean lo más realistas posible y el usuario pueda obtener una representación fiel a cómo le quedaría la pieza física, así como observarla desde todos los ángulos posibles.

Esta solución, además de tener un impacto positivo sobre la experiencia de usuario en la compra online, reduciría considerablemente las grandes cantidades de devoluciones que experimenta la industria de la moda, y en especial, los populares comercios electrónicos que carecen de tienda física. Así, se reduciría el número de ropa que acaba siendo desperdicio, se reduciría la contaminación implicada en el transporte y las empresas perderían menos dinero ya que las devoluciones pueden suponer alrededor del 66% del valor del producto.

## **8 ESTUDIO DE ALTERNATIVAS**

---

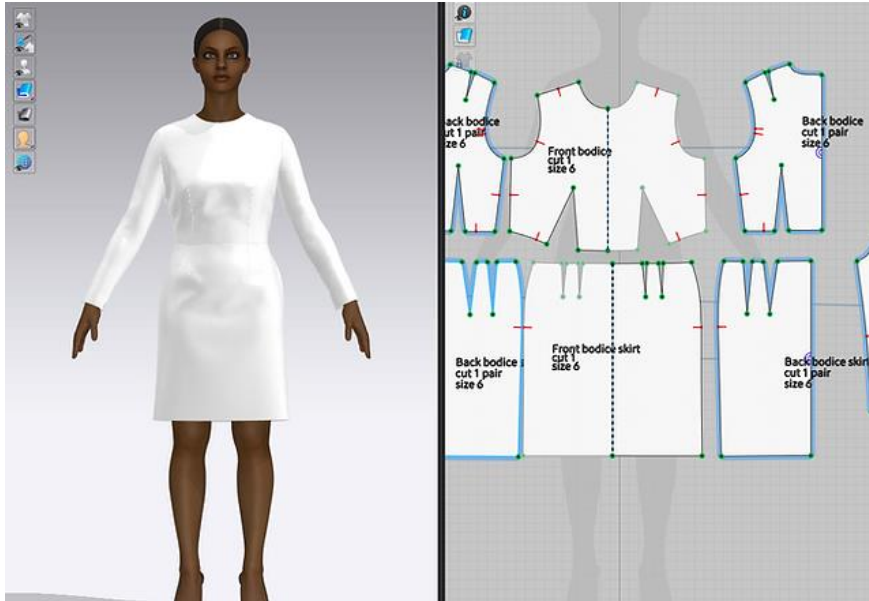
Para el estudio de alternativas se ha realizado un estudio de productos similares que se encuentran en el mercado. Lo que más se acerca al proyecto son softwares dedicados al diseño de moda en 3D.

### **8.1 CLO Y MARVELOUS DESIGNER**

Aunque sean programas distintos, los dos están creados por la misma empresa. Ambas son softwares de diseño de moda en 3D en el que se pueden crear prendas, sombreros, bolsos y más virtuales fieles a la realidad. Estas se crean a partir de piezas de patronaje en 2D que pasan a simularse de forma realista sobre un avatar en 3D cuyas medidas son personalizables (XVI).

Aunque la tecnología base de ambas es la misma, Marvelous Designer se utiliza principalmente en los sectores de la informática, la animación y los juegos.

CLO es una solución más robusta orientada a las industrias de la moda y la confección, con funciones que pueden aplicarse a varias etapas del proceso de desarrollo del diseño de prendas. La principal diferencia entre las dos soluciones es que la importación/exportación de archivos en CLO permite enviar patrones como el de la Figura 18, listos para la producción a su fabricante (XV).



*Figure 18 Patrón en CLO y su visualización en 3D*

CLO (XVII) menciona en su web algunos de los problemas mencionados anteriormente. Afirman que su producto acorta considerablemente el tiempo de comercialización con el muestreo virtual y fomenta la colaboración a distancia. También hacen alusión a crear de forma sostenible reduciendo la producción de muestras, el envío y el desperdicio de material.

## **8.2 BROWZWEAR**

Browzwear (XVIII) se define a sí mismo como un software que lleva el poder de 3D al diseño, desarrollo, marketing y colaboración de moda con un conjunto completo de soluciones fáciles de usar para llevar sus diseños creativos al mercado más rápido que nunca. Es una solución muy completa para diseñar, ajustar y mostrar el producto. Incluye los siguientes módulos.

Browzwear también menciona en su web el hecho de acelerar los flujos de trabajo, comenzando en el boceto hasta llegar a la tienda.

### 8.2.1 Vstitcher

Un programa de diseño de moda 3D a partir de importar patrones que permite crear diseños utilizando rangos de tallas, gráficos, telas, adornos, colores y renderización fotorrealista en 3D.

### 8.2.2 Lotta

Una solución de estilo 3D que permite experimentar con colores, texturas, materiales, adornos y más en bloques Vstitcher validados previamente.

### 8.2.3 Stylezone

Una plataforma de colaboración de ropa en línea que proporciona un espacio digital para que las empresas de ropa y sus usuarios muestren, colaboren, diseñen, guarden y comercialicen colecciones de prendas 3D realista.

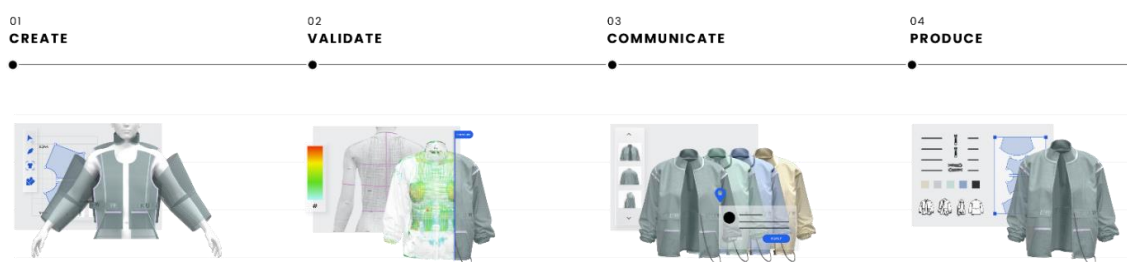


Figure 19 Pipeline de trabajo con Browzwear

## 8.3 EN EL MUNDO ACADÉMICO

El grupo MSLab (Multimodal Simulation Lab) de la URJC se dedica a investigar modelos y algoritmos para simular fenómenos mecánicos para una amplia variedad de aplicaciones. Entre sus proyectos, hay dos vinculados estrechamente a la moda: PERGAMO y Redes neuronales de gráficos convolucionales completos para pruebas virtuales paramétricas.

PERGAMO (XIX) identifica dos problemas en las simulaciones físicas realistas de prendas en 3D: su alto costo del tiempo de ejecución computacional y la brecha de simulación a real, que impide la síntesis de muestra de telas específicas del mundo real. Por ello, como se figura en la Figura 20, proponen un enfoque para prendas 3D a partir de imágenes monoculares con el

que reconstruir la geometría 3D de las prendas a partir de una sola imagen. El cual usan para crear un conjunto de datos de prendas a partir de vídeos para entrenar un modelo de regresión que predice con precisión cómo se deforma la prenda en función de la postura corporal.

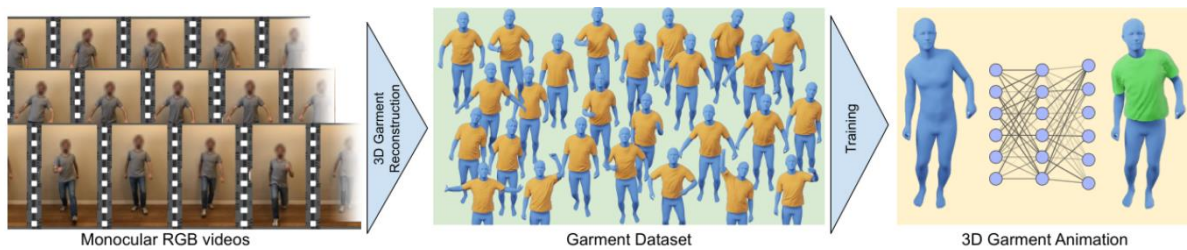


Figure 20 PERGAMO

Con las Redes neuronales de grafos convolucionales completos para pruebas virtuales paramétricas (XX) se propusieron predecir el drapeado 3D preciso de las prendas, usadas por cualquier forma de cuerpo con fines de probador virtual. Para lograr esto, propusieron un enfoque de red neuronal de grafos totalmente convolucional que es capaz de predecir las deformaciones no rígidas de prendas paramétricas con una topología de malla arbitraria. Además de un método eficiente, este se puede utilizar en aplicaciones de diseño ya que también permite manipular de forma interactiva los parámetros de diseño de la prenda y visualizar rápidamente el ajuste en cuerpos arbitrarios.

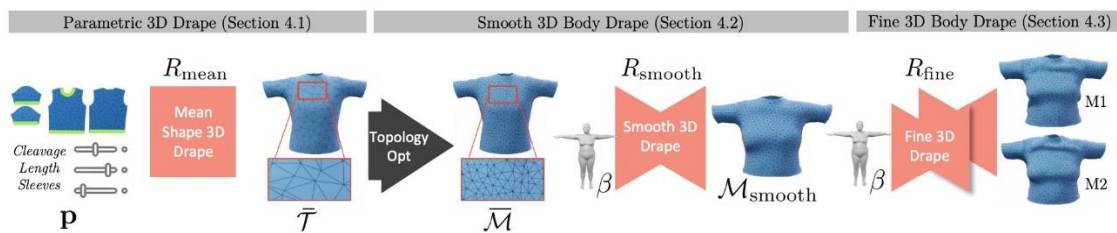


Figure 21 Redes neuronales para Virtual Try-On

## 9 METODOLOGÍA EMPLEADA

---

Para el desarrollo de este proyecto se ha optado por una metodología de cascada, una de las metodologías más populares. Esta consiste en planificar un proyecto de principio a fin y dividirlo en pasos secuenciales, que deben completarse en un orden determinado para lograr los resultados, es decir, una vez marcada la secuencia de pasos a seguir no se avanza hasta completar la fase anterior.

Algunas de las ventajas que ofrece esta metodología son una estructura clara que se concentra en pasos claros y definidos. Esto ayuda a generar un proyecto más completo y ordenado, además de ser claro e intuitivo. Otra ventaja es que determina el objetivo final rápidamente al comprometerse con un producto desde el principio, evitando el perderse en los detalles, a diferencia de las metodologías ágiles que divide los proyectos en *sprints* separados.

La decisión de emplear esta metodología es el bajo número de personas implicadas y un objetivo fijo marcado desde el comienzo: realizar un vestuario virtual. Además, al tratarse de un proyecto individual de investigación en el que no hay terceras partes implicadas tiene mucho más sentido optar por esta metodología que por otras ágiles en las que los objetivos dependen de un cliente y usuario final y los cambios están sujetos a la retroalimentación y requisitos de estos. En este caso, una vez marcado el objetivo final, se identifican los pasos para llegar hasta este y son validados una vez se cumplen los requisitos previamente marcados, sin necesidad de un amplio margen para cambios.



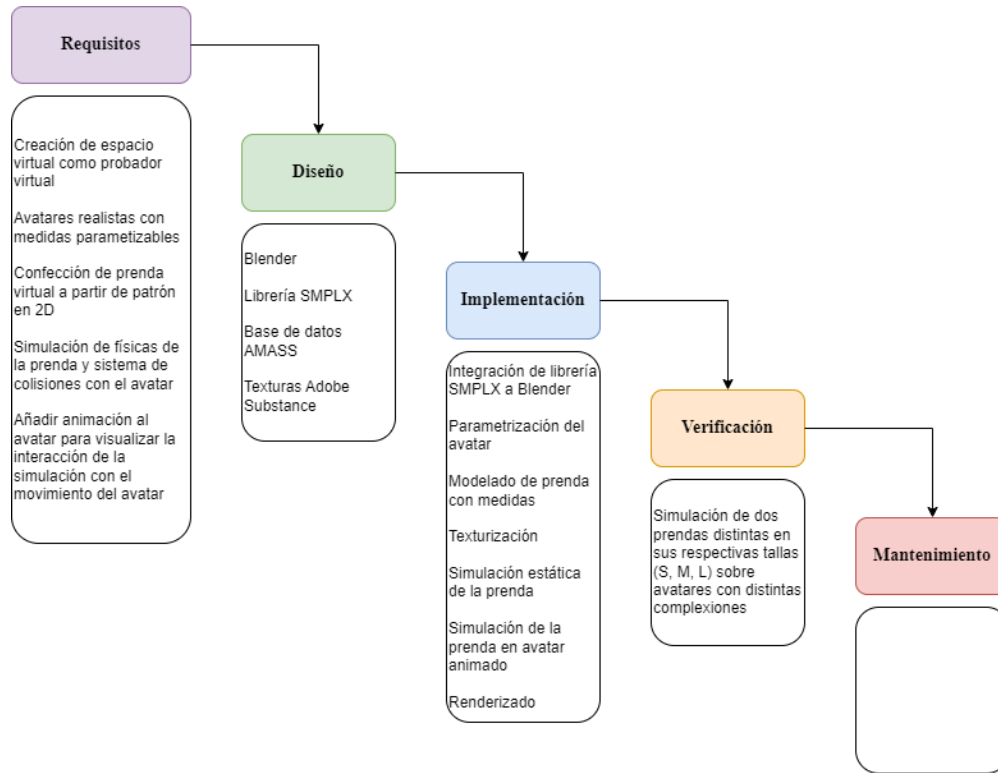


Figure 22 Pasos metodología en cascada

En la Figura 22 se muestran y se desglosan las etapas que forman esta metodología. Durante la fase de requisitos se definen los objetivos finales del proyecto, que en concreto serían: la creación de espacio virtual 3D como probador virtual con avatares realistas con medidas parametrizables, la confección y visualización de una prenda en 3D a partir de un patrón en 2D, simulación de físicas de la prenda y sistema de colisiones con el avatar y animar al avatar para que la prenda interactúe con el avatar en movimiento. En la fase de diseño se han determinado los recursos softwares, de los que se profundizará en la siguiente sección, para alcanzar los objetivos marcados, estos son: el programa Blender, la librería SMPL-X, la base de datos de secuencias de movimiento AMASS y el *add-on* de Adobe Substance para Blender. En la etapa de implementación se definen los pasos a seguir haciendo uso del software elegido en la fase de diseño para llegar a los requisitos marcados previamente, estos son: integración de librería SMPL-X a Blender, parametrización del avatar con su altura y peso, modelado de la prenda en

2D con medidas específicas correspondientes a un tallaje concreto, texturización de la ropa para darle realismo, confección del patrón bidimensional a una prenda en 3D con simulación de físicas, simulación de la prenda en el avatar animado y renderizado de los resultados. En el proceso de verificación se llevan a cabo pruebas para comprobar si se han cumplido los requisitos iniciales, en este caso se han llevado a cabo múltiples simulaciones de las tallas S, M y L en avatares animados con complejiones físicas distintas y otras con la misma prenda, pero con propiedades físicas distintas. La última fase correspondería al mantenimiento del producto una vez este pase a producción, lo cual no aplica en este contexto.

## 10 DESCRIPCIÓN INFORMÁTICA

---

### 10.1 BLENDER

En sí Blender sería el espacio virtual del que se habla. Este programa de código abierto ofrece soluciones para todo tipo de necesidades como modelado, esculpido, texturizado, renderizado, *scripting* con lenguaje de Python, efectos especiales visuales y de sonido, animación y más.

### 10.2 MODELO DEL CUERPO

Para abordar el objetivo del avatar con medidas variantes se ha optado por la integración de la librería SMPL-X (XXI), esta permite importar mallas de avatares a la escena de Blender con un *rig* o esqueleto acorde a su figura. Además, SMPL-X se diferencia de una muy similar llamada SMPL en que incluye la posibilidad de añadir expresiones faciales y manos articuladas a los avatares, haciéndolos aún más personalizables y realistas.

La integración de SMPL-X en Blender se hace a partir de un *add-on*. Una vez añadimos la herramienta, desde el panel de la Figura 23 tenemos la posibilidad de importar la maya de una persona de género masculino, femenino o neutro. Aunque la malla se importe con unas medidas predeterminadas, estas se pueden modificar especificando la altura en metros y el peso en kilos que se quieran aplicar al avatar en los correspondientes campos de entrada. También existen las posibilidades de aplicar unas medidas aleatorias, así como una expresión fácil aleatoria. Esto da mucha ventaja a la hora de cambiar la forma del cuerpo de forma rápida para un usuario.

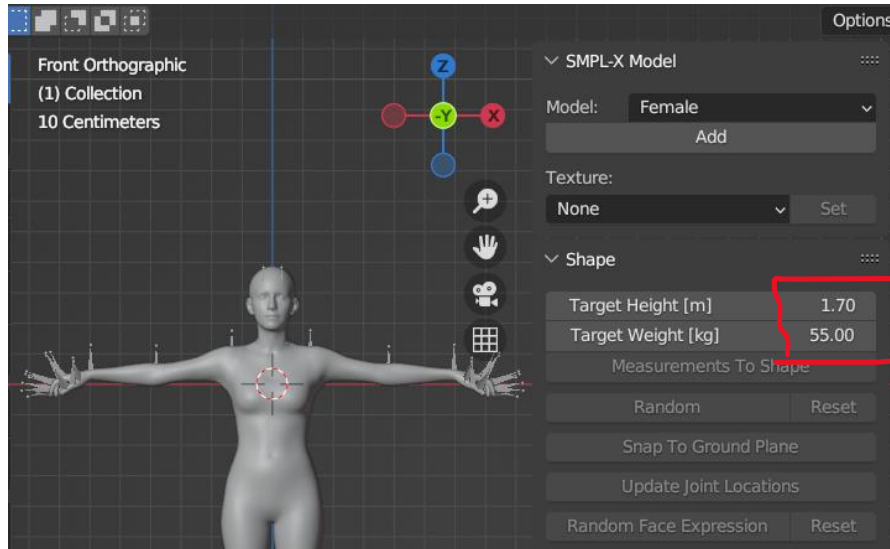


Figure 23 SMPL-X UI

### 10.3 MODELO DE PRENDA

El modelo de la prenda se ha desarrollado a partir de las herramientas que Blender ofrece para modelar. El objetivo principal de esta tarea era el poder crearla a partir de un patrón en 2D y que luego estas piezas se cosan como se haría con una prenda en la realidad, de esta forma, diseñadores pueden elaborar sus patrones acordes a lo que quieren crear y podrían medirlos y modificarlos a su gusto, haciendo una prenda fiel a la realidad y a la misma escala que emplea el avatar.

Para conseguir esto se ha partido de dar forma de patrón de camiseta de baloncesto a un plano de Blender, a este plano además se le ha añadido un modificador *Mirror* como ayuda para crear un patrón simétrico. El plano está dividido en suficientes polígonos como para que la tela se deforme con fluidez y no de la sensación de rígida.

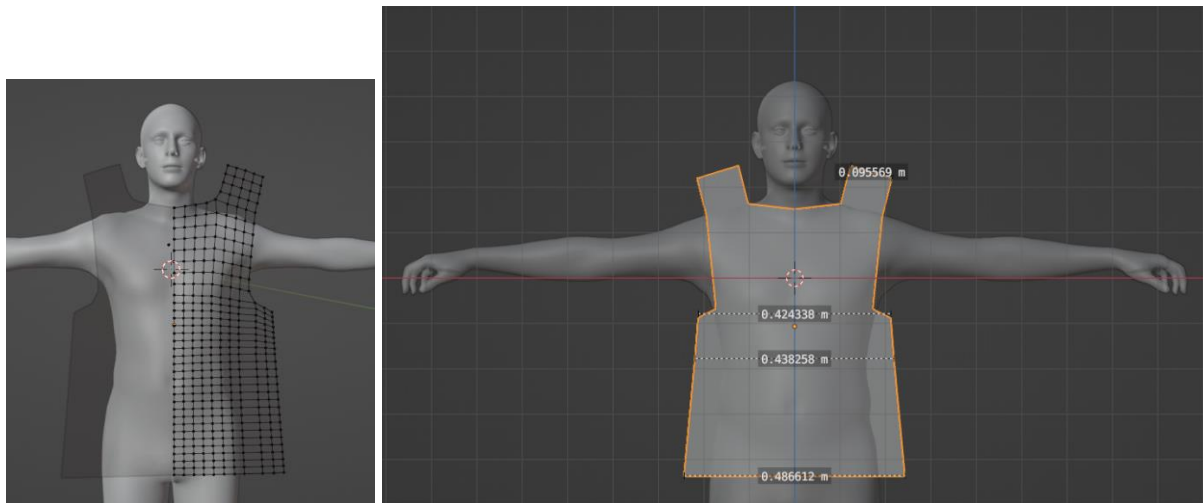


Figure 24 Patrón 2D

Blender además dispone de una herramienta de medición de geometría, haciendo sencillo el poder medir el plano y modificar concretas como el ancho y el largo, o más concretas como hombro, pecho, cintura, etc. Pudiendo recrear el patrón de piezas de ropa de forma totalmente digital. Es de esta forma y basando las medidas en la siguiente guía de tallas de la Figura 25, cómo se han modelado tres tallas distintas (*small*, *medium* y *large*) a partir de dos modelos distintos de camisetas de baloncesto: una más simple cuyas costuras se limitan a las de los costados y otra con mayor complejidad, añadiendo costuras para hacer un cuello y un bajo en la camiseta.

#### TALLAJE HOMBRE

Talla	XS	S	M	L	XL	2XL	3XL	4XL	5XL
LARGO	68	70	72	74	76	78	80	82	84
ANCHO	42	45	48	51	54	57	60	63	66

Figure 25 Guía de tallas

Una vez que la versión bidimensional de la prenda tiene la forma y medidas necesarias, habría que “proyectar” la prenda en 3D a forma de cubo (las caras corresponderían al frente, el reverso

o lados de la prenda) y así poder seleccionar cuáles van a ser las costuras de la prenda y eliminar geometría en lo que corresponderían los huecos de la camiseta como el de la cabeza y las mangas. Para hacer esto, se podrían juntar planos correspondientes a las piezas que componen el plano a partir de unir su geometría, pero lo más fácil es extruir el plano, obteniendo de forma directa las vistas de la prenda las cuales pueden luego modificarse para añadir detalles como las costuras del cuello y hombros de la Figura 26 o personalizar cada vista.

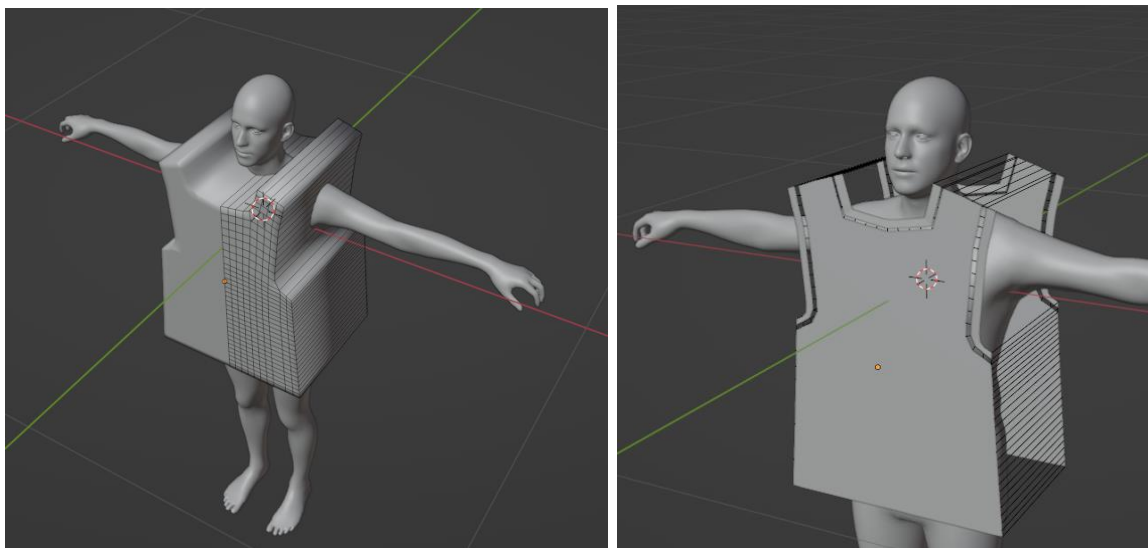


Figure 26 Pasando la prenda a 3D

En las imágenes se puede ver el plano proyectado a forma de cubo, que una vez se elimina la geometría extra, prevalecen las piezas que forman el patrón, y lo que serían las costuras de la prenda (aristas que unen los planos sin caras intermedias a modo de hilos).

Para dar a la camiseta más realismo, se ha aplicado un *Shade Smooth* a la prenda, suavizando todas sus caras, un modificador *Subdivision Surface* el cual divide los polígonos en otros más pequeños, suavizando la malla y permitiendo mejores deformaciones y otro *Solidify* para darle algo de grosor a la camiseta y su tela no sea plana.

## 10.4 FÍSICAS

Para simular las físicas y colisiones se ha añadido el modificador *Cloth* (XXII) al objeto que representa la ropa, el cual está diseñado para simular telas a partir de la física de las aristas que unen los vértices de la malla las cuales se usan a modo de muelle. El programa identifica cuatro tipos de muelles: *tension springs* (controlan la rigidez de la prenda), *compression springs* (controlan la cantidad de fuerza requerida para comprimir y contraer la tela), *shear springs* (parecidos a los de compresión, pero en vez de la fuerza controlan la deformación angular) y *angular bending springs* (controlan como de resistente es la tela a doblarse o arrugarse).

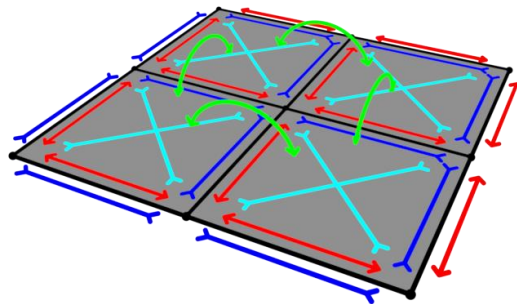


Figure 27 *Tension springs* (blue), *compression springs* (rojo), *shear springs* (cian), and *angular bending springs* (verde)

Este modificador permite cambiar muchas de las características que tiene una tela como peso, rigidez para controlar cómo de resistente es a estirarse o comprimirse y su amortiguamiento al hacerlo. Otra característica muy importante que sólo existiría en la prenda virtual es la gestión de colisiones, en el modificador se dividen en *Object Collisions* y *Self Collisions*.

*Object Collisions* indica a la tela si esta debe desviarse al chocar con otro objeto, es muy importante que este otro objeto sea una malla, al igual que permitir las colisiones de este otro objeto. Es decir, se activará el modificador *Collisions* del avatar, al igual que se tendría que hacer con cualquier otro objeto con el que queremos que nuestra prenda colisione y no lo atraviese. En caso de tener una escena con múltiples objetos que emplean el modificador *Collisions* se pueden limitar los objetos con los que queremos que la prenda colisione

añadiéndolos a *Collision Collection* en el modificador de la tela. Otros parámetros que componen este modificador, y cuyos valores hablaremos en el apartado de experimentación son: *Distance* (la distancia a otro objeto a la que debe llegar la prenda para que la simulación repela la tela fuera del camino del otro objeto), *Impulse Clamping* (previene que la tela “explote” en situaciones de colisiones estrechas y complicadas restringiendo la cantidad de movimiento después de una colisión) y *Vertex Group* (las caras cuyos vértices estén en este grupo se excluirán de las colisiones) aunque este último parámetro no se ha utilizado.

*Self Collisions* previene que la tela se atraviese a sí misma y que en su lugar, colisione. Activar este parámetro supone añadir a la simulación mucho tiempo de cómputo, pero proporciona resultados realistas, ya que como cliente o diseñador no querríamos que la ropa se comporte de manera anómala. Los parámetros que componen este modificador son prácticamente idénticos al anterior, exceptuando *Friction* (coeficiente que indica cómo de resbalosa va a ser la tela cuando colisione con ella misma, por ejemplo, una tela que representase la seda tendría un coeficiente menor al del algodón), también incluye *Distance*, *Impulse Clamping* y *Vertex Group*, con la diferencia de que todos ellos apelan a las colisiones de la tela consigo misma en lugar de con otro objeto.

En último lugar, y el paso más importante para poder unir nuestras piezas que componen la tela “cosiéndolas” es el apartado *Shape* dentro del modificador *Cloth*. Dentro de este apartado, se activará la opción de *Sewing*. Lo que hace esta opción es que, al activar la simulación juntará los vértices de las piezas unidos por aristas, las cuales interpretará como *Sewing Springs* al no tener caras entre ellas, dejando ver como unión, una costura realista. Otros parámetros interesantes de esta sección son: *Max Sewing Force* (fuerza aplicada a los *Sewing Springs* para atraer los vértices entre sí, un valor 0 implica piezas sin consolidar).





Figure 28 Cosido de piezas

### 10.5 TEXTURIZACIÓN DE LA PRENDA

Para añadir realismo a las camisetas, se le ha añadido texturas de tejido de Adobe Substance, un popular software de pintura en 3D que permite a los usuarios aplicar texturas, materiales y máscaras o mapeado UV en activos 3D en tiempo real. Este software publicó un *plugin* que te permite importar materiales de Substance a Blender, los cuales pueden customizarse al proyecto (XXIII). Este *add-on* genera mapas de texturas a partir de ficheros *.sbsar* y los usa para generar un material blender.

En primer lugar, ha sido necesaria instalar una herramienta de integración de Adobe Substance al sistema operativo (disponible para Windows, Mac y Linux), para después descargar el *plugin*. Una vez en Blender, el panel te permite importar materiales pertenecientes a su comunidad, o desde su librería de assets. Una vez importados y asignados a la tela, estos pueden modificarse desde el panel de Substance y refinar desde el panel *Shading* del propio Blender.

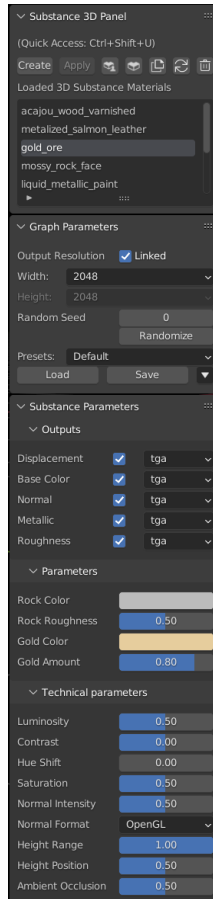


Figure 29 Substance 3D Panel

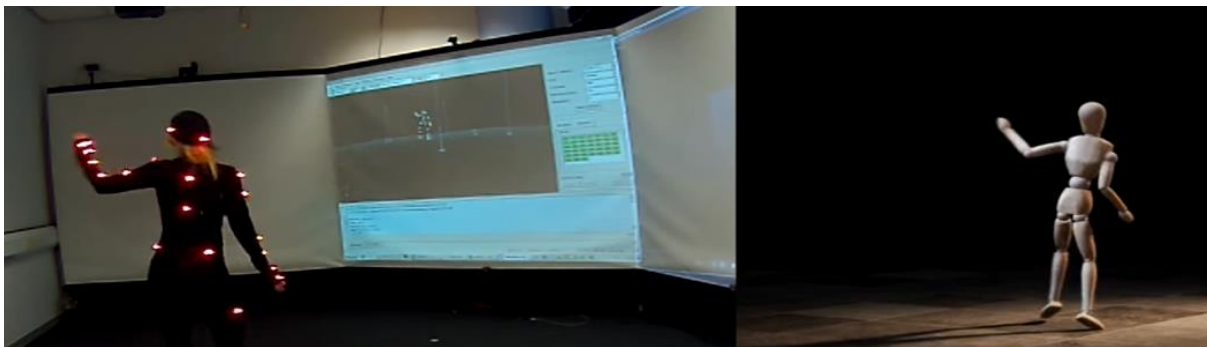
## 10.6 ANIMACIÓN CON AMASS

En último lugar, y para ver la prenda en movimiento, se ha utilizado la base de datos AMASS (XXIV). Esta base de datos contiene animaciones humanas a partir de 15 *mocap datasets*, 42 horas en total de datos 346 sujetos y 11451 variaciones de movimientos, convirtiendo lo datos de los *mocap* en representaciones humanas realistas en 3D haciendo uso de SMPL.

Estos *mocaps* pueden descargarse desde la página de AMASS e integrar en Blender desde el panel de SMPL-X. Este importará a la escena otra malla de un cuerpo humano, pero ya animada. Para vestir a nuestro sujeto en movimiento con la prenda necesaria es imprescindible que en el primer *frame* se coloque al sujeto en posición T y se duplique este *frame* hasta un punto en la línea del tiempo en el que nos aseguremos de que la prenda ya está cosida, ya que si

simplemente iniciamos la animación el avatar comenzará a moverse al mismo tiempo que la prenda se cose, y esta simplemente caerá al no poder posicionarse en el lugar correcto del avatar.

En concreto, se ha escogido la base de datos *DanceDB* (XXV) creada por la Universidad de Chipre a partir de capturar y escanear los movimientos de distintos bailarines gracias a Phasespace Impulse X2E motion capture system equipada con 24 cámaras capaces de capturar movimientos en 3D usando LEDs modulares.



*Figure 30 Captura de baile con Phasespace Impulse X2E*

## 11 EXPERIMENTOS / VALIDACIÓN

---

Para poder validar el realismo y usabilidad del vestuario virtual se han llevado a cabo dos tipos de pruebas: una relativa al programa de cara al cliente para verificar que las prendas pueden ser probadas por múltiples usuarios independientemente de su complejión física y otra de cara a los diseñadores para comprobar puede ser usado para trabajar con múltiples de tejidos.

Las prendas deberían poder adaptarse a cualquier cuerpo sobre el que se quiere probar la ropa, para asegurarse de esto se han llevado a cabo múltiples simulaciones con dos modelos de camiseta en sus distintas tallas (S, M, L) en avatares con 3 distintas complejiones físicas.

Debido a que los parámetros de entrada modificables del avatar en cuanto a medidas son la altura y su peso se ha optado por hacer pruebas en cuerpos basándose en su índice de masa corporal. El índice de masa corporal o IMC se calcula dividiendo el peso de una persona en kilogramos dividido por el cuadrado de su estatura en metros. Es un método de evaluación fácil y económico para la categoría de peso: bajo peso (<18,5 IMC), peso saludable (18,5 - 24,9 IMC), sobrepeso (25 – 29,9 IMC), y obesidad (>30 IMC). (XXVI)

Para cada talla se ha optado por una misma altura siguiendo la guía de tallas de otra marca de ropa, en concreto, Adidas. En concreto estas han sido: 1,70 metros para la talla S, 1,80 metros para la M y 1,90 para la talla L.

### *TALL/LONG & SHORT SIZES*

Las tallas "Tall/Long" están pensadas para hombres que midan más de 189 cm (6'2")

La talla "Short" está pensada para hombres que midan hasta 175 cm (5'9")

*Figure 31 Guía de altura*

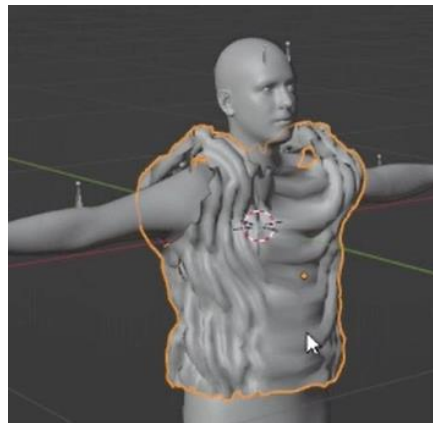
Una vez seleccionada la altura se han escogido 3 pesos, que, acorde a la altura del avatar proporcionasen como resultado en el índice de masa corporal un índice que encajasen en cada una de las 3 categorías: bajo peso, peso saludable y sobrepeso.

<b>TALLAS/IMC</b>	<b>BAJO PESO</b>	<b>PESO SALUDABLE</b>	<b>SOBREPESO</b>
<b>S</b>	1,70m	1,70m	1,70m
	53kg	60kg	80kg
	18 IMC	20,8 IMC	27,7 IMC
<b>M</b>	1,80m	1,80m	1,80m
	55kg	70kg	85g
	17 IMC	21,5 IMC	27,8 IMC
<b>L</b>	1,90m	1,90m	1,90m
	65kg	85kg	100kg
	18 IMC	22 IMC	27,7 IMC

Una vez confeccionado el patrón se ha observado cómo de precisa era la simulación, cómo reaccionaba la prenda con cuerpos cuyo índice salía de los límites de peso saludable, cómo actuaba el sistema de colisiones, las arrugas que se formaban, el movimiento de esta durante la animación... Este tipo de experimentos no solo han puesto a prueba la adaptabilidad del proyecto a los cuerpos de los múltiples de clientes que harían uso del vestidor virtual, sino que

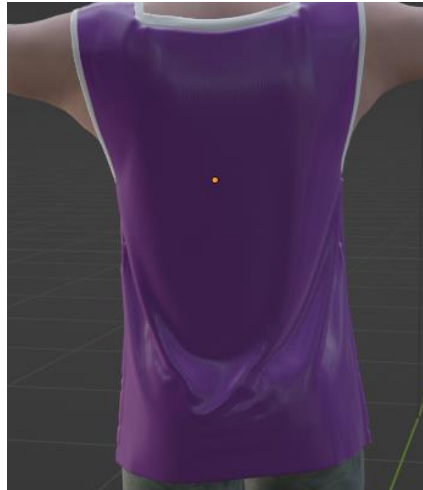
ha sido la prueba/error necesaria para ajustar los parámetros de simulación de físicas para minimizar comportamientos anómalos en los dos extremos de la escala de índice corporal.

Los campos de entrada sobre los que más se han trabajado han sido aquellos referentes al sistema de colisiones tanto del avatar como de la prenda. En simulaciones estáticas, un número más alto de *Self Collision*, hacía que en cuanto la prenda tuviese una mínima arruga o hubiese polígonos de la malla que se acercasen mucho entre sí, el sistema de colisiones de la prenda consigo misma reaccionaba intentando repelerse entre sí y proporcionando resultados nada óptimos.



*Figure 32 Problema Self Collisions*

Cuando la simulación estática parecía óptima, se introdujo una secuencia de movimiento en el avatar. Durante esta secuencia, la prenda se mueve, se deforma o se arruga como lo hace en la realidad, pero el sistema de colisiones, una vez más, reaccionaba cuando no era necesario o más de la cuenta, por lo que se terminó optando por el mínimo valor posible de entrada: 0,001m. Este valor era el justo para que la tela no se atravesase entre sí, pero que a la vez fuese capaz de deformarse de forma realista sin dejar ver ningún tipo de anomalía.



*Figure 33 Arrugas camiseta*

Otro error que se podía observar a simple vista era que, aunque la prenda colisionase bien con el avatar en el momento de confección, colocándose bien sobre este, no se podía decir lo mismo cuando en las simulaciones el avatar pegaba los brazos sobre el torso, entrando en contacto sobre la prenda, o en simulaciones sobre avatares con un índice de masa elevado ya que la prenda quedaba muy estrecha o directamente atravesaba la otra malla. En estas situaciones la prenda creaba picos, es decir, la malla trataba de repelerse del objeto con la que estaba en contacto y si coincidía con una costura, esta se descosía para evitar el contacto. Además, un valor muy alto producía que la camiseta “levitase” sobre el cuerpo.



*Figure 34 Problema Object Collision*

Esto se solventó de forma que el problema anterior, reduciendo al mínimo la distancia (0,001m), tanto en el sistema de colisiones del avatar como de la prenda, entre la prenda con el avatar con la que el sistema reaccionaría.

Para llevar a cabo la prueba de los tejidos se ha comparado la camiseta original más simple, con parámetros que representan una camiseta de algodón ligera, una más rígida, otra más gruesa y pesada y una sin amortiguamiento en sus *springs*. Esto se ha hecho modificando y ajustando los parámetros relativos a las *Physical Properties* del *Cloth modifier* con unos valores algo exagerados para poder apreciar el cambio de la prenda durante la simulación.



## 12 RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 12.1 ANÁLISIS DE COMPORTAMIENTO DE PRENDA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CUERPO

Respecto a las pruebas orientadas a la adaptabilidad de una misma prenda sobre complexiones físicas distintas, el programa alcanza las metas propuestas y logra reflejar de forma altamente realista cómo la camiseta interactúa con cuerpos distintos y se mueve como se esperaría en la realidad.



*Figure 35 (a) Talla L modelo A en IMC bajo (b) Talla L modelo A en IMC de peso saludable (c) Talla L Modelo A en IMC de sobrepeso*



*Figure 36 (a) Talla L modelo B en IMC bajo (b) Talla L modelo B en IMC saludable (c) Talla L modelo B en IMC sobrepeso*

En las Figuras 35 (a, b , c) y Figuras 36 (a, b , c) se aprecian las camisetas en su talla L sobre los cuerpos cuyo IMC encaja en las 3 categorías comentadas con anterioridad. Los 3 avatares tienen la misma altura, pero debido a su complejión física, la camiseta cae sobre el cuerpo de maneras distintas quedando a diferentes alturas como se esperaría en la realidad. A los avatares con bajo peso de las Figuras 35 (a) y 36 (a) les queda la camiseta bastante holgada, se nota que sus constituciones corporales no les permite llenarla por completo, creando arrugas verticales debido al exceso de tela a lo ancho y permitiendo a la camiseta moverse y deformarse mucho más que en los otros dos casos.



*Figure 37 (a) Movimiento camiseta A talla L IMC bajo (b) Movimiento camiseta A talla L IMC saludable (c) Movimiento camiseta A talla L IMC sobrepeso*

En el caso del avatar con un peso considerado saludable, la camiseta se ajustaba bien a las medidas, quedaba a una altura correcta, se movía junto al cuerpo, pero de una forma controlada y las arrugas que se formaban era acorde a los movimientos que este realizaba.

En los casos de sobrepeso, la prenda queda muy pegada al cuerpo del avatar, formando muchas arrugas horizontales debido a la tela colisionando con el cuerpo y no pudiendo caer como en los casos anteriores, cosa que podemos apreciar en las Figuras 35 (c), 36 (c) y 37 (c). Durante la animación, la camiseta se deforma con los movimientos, pero no tiene tanta holgura como para moverse como en los casos anteriores, comportándose de forma realista.

Aun así, en casos algo extremos de sobrepeso, o simplemente cuando al cuerpo le queda la prenda muy pequeña seguían habiendo ciertas anomalías en cuanto a colisiones y esto se debe a la forma en que la camiseta se pone en el avatar, cosiéndose de forma forzada en el cuerpo y corriendo el riesgo de que ciertas partes queden atrapadas en la malla del cuerpo en lugar de simplemente no caber como sucedería en la realidad, pero más que un “error” esto es algo

esperado porque el usuario en cuestión no podría ponerse la prenda y el vestidor simplemente reflejaría este hecho.



Figure 38 Problema de colisión en IMC de sobrepeso en comparación con IMC saludable

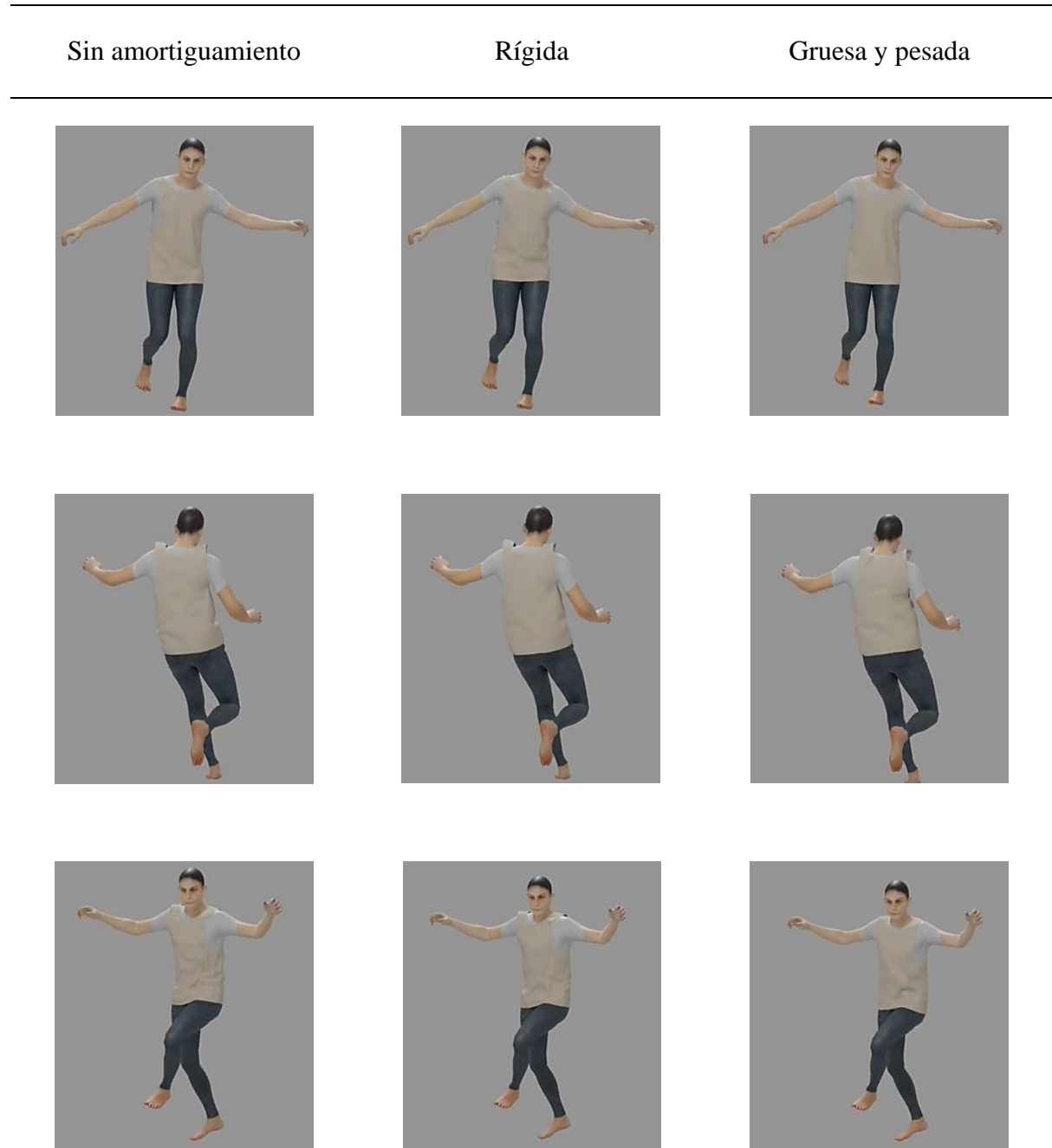
## 12.2 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE DIFERENTES

### MATERIALES EN EL MISMO CUERPO

Que la solución propuesta sea capaz de representar distintos tipos de tejidos es crucial para que un diseñador pueda llevar a cabo sus creaciones de forma digital y sabiendo que estas serán lo más fieles posibles a la realidad, ya que un vestido de seda cuya tela es más ligera, con buena caída y poco amortiguamiento no será igual que el mismo vestido de una tela vaquera más pesada y rígida.

Para poder verificar si la solución sería factible para distintos tipos de telas o materiales, se observó *frame a frame* el comportamiento de las distintas telas (rígida, pesada y gruesa, y sin amortiguamiento) en el mismo modelo de camiseta y en avatares con la misma complejión física para poder identificar si realmente existía una diferencia o no y si estas se asemejaban a la realidad. Y aunque los parámetros fuesen algo extremos (en la primera se quitó

completamente el amortiguamiento, en la segunda se duplicó la rigidez y en la tercera se triplicó el peso de la camiseta) haciendo que ciertos cálculos de colisiones se acomplejasen, las camisetas cumplieron los objetivos.



*Figure 39 Comparaciones de las distintas telas en un mismo avatar*

La camiseta con menos amortiguamiento se comprimía y se tensaba muchísimo en comparación con las otras dos, resultando en más arrugas y movimiento en general. La más rígida apenas se tensaba y comprimía lo que dejaba ver un movimiento muchísimo más rígido y un número bastante más reducido de arrugas. En cuanto a la más gruesa y pesada, cuando el personaje saltaba, subía y caía de forma más brusca, pero sin deformarse a penas, resistiendo más a las acciones de comprimirse, tensarse o doblarse.

Estos resultados se traducen en una representación realista y precisa de diferentes materiales a través de las simulaciones, proporcionando al diseñador una visión más precisa de cómo se verán y comportarán sus prendas.

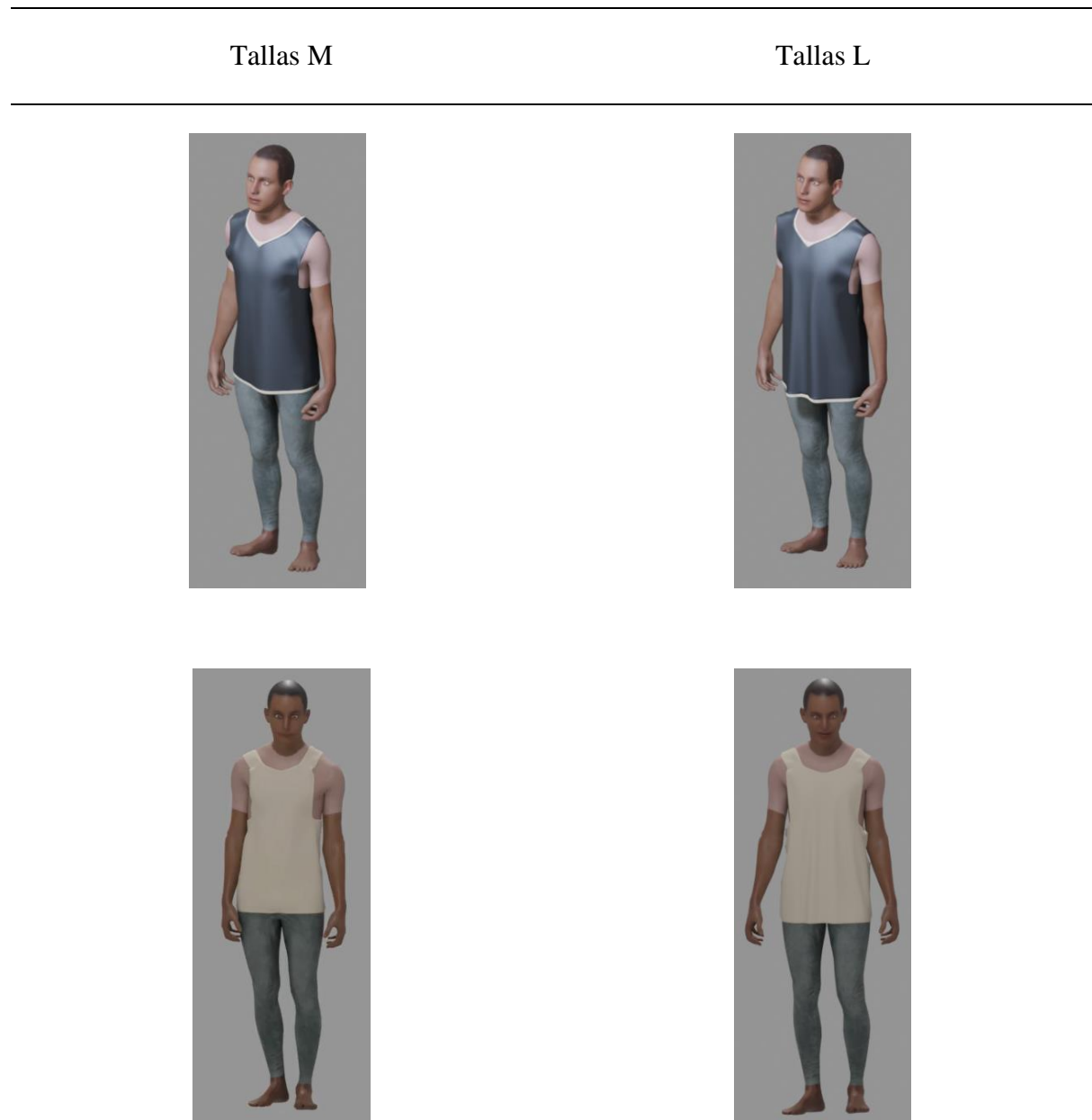
Esta función permitirá a los diseñadores tomar decisiones más fundamentadas en la elección de los materiales acorde a la apariencia y efecto estilístico que desean lograr en una prenda o incluso, al poder jugar, explorar y comprender distintos tejidos a través de simples “clicks”, les puede servir de fuente de innovación para descubrir combinaciones únicas y creativas.

### **12.3 ANÁLISIS DE DIFERENTES DISEÑOS EN MISMO TIPO DE CUERPO**

En último lugar, y para probar la experiencia de usuario que obtendría un cliente con este probador virtual, se han probado los dos diseños construidos a un mismo avatar y en las dos posibles tallas que le quedarían bien a su complexión física, de la misma forma que una persona entraría a una tienda, cogería las prendas que le llamasen la atención en las tallas que suele vestir y se las llevaría al probador para tomar una decisión final de compra.

En concreto, se le probó las tallas M y L de ambas camisetas al mismo sujeto como se puede observar en la tabla inferior. El usuario podría determinar que la talla M es la que mejor se acopla a su complexión, pero también tendría la libertad de elegir una talla distinta acorde al ajuste que quiera conseguir (*oversize, slim...*). También le ayudaría a decantarse entre dos

modelos muy parecidos de ropa o incluso convencerle a adquirir ambos, pero no para probárselo y acto seguido devolverlo, si no que sería una decisión de compra fundamentada que satisfaría al cliente y ayudaría al comercio electrónico.



*Figure 40 Comparación de distintos modelos y tallas en un mismo avatar*

Este análisis valida la capacidad de la herramienta como vestidor virtual en la que los clientes obtengan una experiencia personalizada de compra. Ya sea para poder decidirse entre una talla u otra, el cual es el mayor problema de la compra online; como para visualizar distintos modelos, ya que a pesar de que las mismas tallas tengan las mismas medidas, el corte y propiedad de la tela hace que esta se comporte de forma diferente sobre el mismo cuerpo, la solución permite al usuario ver una representación fiel de la prenda sobre su cuerpo, llevándole a tomar una buena decisión y evitando devoluciones al estar seguro y satisfecho con su compra.



## 13 CONCLUSIONES

---

Tras las pertinentes pruebas, el trabajo podría servir como solución de herramienta orientada a aquellos diseñadores que están dispuestos a transformarse a un proceso totalmente digital y contribuir a un cambio positivo por el medio ambiente, además de aventajarse con todas las posibilidades que brinda la tecnología para alcanzar una mayor eficiencia y una reducción de tiempo y costos.

Además, cumple adecuadamente la función de crear una experiencia de usuario de compra más inmersiva y más personalizada, no sólo ayudando a los comercios electrónicos a perder menos dinero causado por las devoluciones, si no que invitaría al cliente a realizar una compra correcta y más responsable con el planeta, evitando que estas devoluciones además acaben en el vertedero.

En resumen, poniendo de lado que es una solución que podría ofrecer mejoras, esta contribuye a respuestas a los problemas identificados en la industria de la moda y mejoras como estas suponen transformar la forma en que las personas interactúan con la moda.

### 13.1 LOGROS PRINCIPALES ALCANZADOS

Entre los logros principales alcanzados en este proyecto, se encuentra la integración exitosa de SMPL-X y AMASS para la creación realista de avatares personalizados y animados, simplificando el uso de la herramienta al poder trabajar desde un mismo panel.

También se encuentra el modelado de una prenda en 3D realista a partir de piezas simples bidimensionales las cuales funcionan de la misma forma de la que harían las piezas sacadas de patrones de papel en la realidad, formando una prenda compleja tras la fase de confección. A

la vez de ofrecer la posibilidad de trabajar con tejidos cuyo comportamiento se basa en sus propiedades físicas.

Por último, el poder ofrecer estas posibilidades de forma unificada en un mismo entorno intuitivo y fácil de usar por usuarios o trabajadores de la industria de la moda, el cual tiene el alcance que desde un principio se propuso.

## **13.2 LIMITACIONES Y DESAFÍOS ENCONTRADOS**

La principal limitación encontrada en el desarrollo del vestuario virtual, ha sido la falta de conocimiento de patronaje, y es que, a pesar de realizar una prenda relativamente simple en cuanto a forma y costuras, el replicar la camiseta de tirantes de forma bidimensional ha resultado bastante complejo y ha sido necesario recurrir a varios ejemplos de patrones y medidas que han supuesto tiempo adicional en la consecución de una prenda fiel a la realidad.

Un desafío sin duda ha sido la complejidad técnica que ha supuesto lograr una simulación de físicas realistas, debido a que se trata de un problema bastante actual lo que deriva en una falta de conocimiento y documentación del tema, y, por lo tanto, un proceso de prueba/error para comprender los parámetros del simulador y ajustarlos de forma correcta.

Por último y lo que supondría el mayor problema de cara a trabajar con la herramienta son los recursos computacionales necesarios y los problemas de rendimiento para realizar un cálculo de físicas en tiempo real. Y aunque requiera cierto tiempo y *hardware*, de cara a los diseñadores seguiría suponiendo una mejora de costes y tiempo, además de un diseño más responsable. Pero de cara al usuario, limitaría los dispositivos en los que se puede usar este recurso y requeriría otras soluciones.

### 13.3 TRABAJOS FUTUROS Y MEJORAS POSIBLES

El proyecto es muy escalable, dando pie a muchas mejoras. Una de ellas sería la creación de una UI más interactiva para el diseñador que le permitiese tocar ciertos aspectos del patrón sin tener que pelearse con la tecnología y el modelado, como poder modificar la prenda en su estado bidimensional y que automáticamente esta se confeccione sobre el avatar pudiendo automatizar el proceso.

También se podría llevar a cabo un estudio más exhaustivo de las propiedades físicas de distintos tejidos como algodón, seda, lana, etc. E introducir *presets* de estos, cargando sus valores en los campos de entrada del simulador.

Además, sería muy satisfactorio para usuario y diseñadores seguir trabajando sobre la creación de avatares realistas y personalizables, y que las medidas de este vayan más allá de altura y peso, sino que puedan ser más específicas como contorno de pecho, contorno de cintura, largo de pierna, etc. Proporcionando una experiencia muchísimo más inmersiva y fiel a la realidad.

Por último, trabajar en mejorar el rendimiento de las simulaciones y renderizado de cara al usuario. Algunas posibles soluciones sería la optimización de mallas, el preprocesamiento de datos para evitar la carga computacional en tiempo real (almacenar y reutilizar información pertinente a cada usuario como sus características físicas o interacciones cargadas previamente) o utilizar servicios de procesamiento en la nube para realizar cálculos intensivos y luego enviar estos resultados al usuario.

## 14 Bibliografía

---

- (I) James Parkes |28 October 2022 “Roblox Is Used ‘as an Extension of Physical Self’ Says Roblox Vice President of Global Brand Partnerships Christina Wootton.” *Dezeen*, 1 Nov. 2022, [www.dezeen.com/2022/10/28/roblox-christina-wootton-digital-fashion-design-technology-interviews/](http://www.dezeen.com/2022/10/28/roblox-christina-wootton-digital-fashion-design-technology-interviews/)
- (II) Admin. “Diseño Cero Desperdicios.” *Slowfashionnext*, 8 Sept. 2022, <https://slowfashionnext.com/blog/disen0-cero-desperdicios/>
- (III) Charro, Elena. “La Industria Textil Es La Segunda Más Contaminante Del Planeta.” *Sostenible o Sustentable*, 15 May 2023, <https://sostenibleosustentable.com/es/moda-sostenible/contaminacion-industria-textil/>
- (IV) Greenpeace México. “Fast Fashion: De Tu Armario Al Vertedero.” *Greenpeace México*, [www.greenpeace.org/mexico/blog/9514/fast-fashion/](http://www.greenpeace.org/mexico/blog/9514/fast-fashion/)
- (V) Fariña, Noelia. “¿Qué Hacemos Con La ROPA USADA? La Industria de La Moda Comienza a Dar Respuestas.” *El País*, 7 Feb. 2023, <https://elpais.com/sociedad/moda-futuro-y-accion/2023-02-07/que-hacemos-con-la-ropa-usada-la-industria-de-la-moda-comienza-a-dar-respuestas.html>
- (VI) “Confección Textil: El Proceso de Preproducción.” *Textil Balsareny*, 7 June 2021, <https://textilbalsareny.com/blog/proceso-de-preproduccion-textil/#:~:text=Las%20fases%20que%20corresponden%20a,aprobaci%C3%B3n%20dependen%20todas%20estas%20etapas>
- (VII) El Corte Inglés. “El Corte Inglés Diseña Su Primera Colección de Moda En 3d Para Ser Más Eficiente y Sostenible.” *El Corte Inglés: Comprar Moda, electrónica, informática, Libros Online*, 8 Mar. 2022,

- [www.elcorteingles.es/informacioncorporativa/es/comunicacion/notas-de-prensa/el-corte-ingles-disena-su-primera-coleccion-de-moda-en-3d-para-ser-mas-eficiente-y-sostenible.html](http://www.elcorteingles.es/informacioncorporativa/es/comunicacion/notas-de-prensa/el-corte-ingles-disena-su-primera-coleccion-de-moda-en-3d-para-ser-mas-eficiente-y-sostenible.html)
- (VIII) Ricard Murillo Gili. 6 de julio de 2023, “Mercado Laboral Y Demografía.” *CaixaBank Research*, <https://www.caixabankresearch.com/es/economia-y-mercados/mercado-laboral-y-demografia/transicion-e-commerce-durante-pandemia-todos>
- (IX) “El Ecommerce Mantiene Su Peso En El Sector de La Moda En 2021 Tras El ‘boom’ Por La Pandemia.” *Kantar. Understand People. Inspire Growth.*, [www.kantar.com/es/inspiracion/moda-belleza-y-lujo/el-ecommerce-mantiene-su-peso-en-el-sector-de-la-moda-en-2021](http://www.kantar.com/es/inspiracion/moda-belleza-y-lujo/el-ecommerce-mantiene-su-peso-en-el-sector-de-la-moda-en-2021)
- (X) Gestal, Iria P. “El Ecommerce de Moda Toca Techo En Europa y La Penetración Cae Por Primera Vez.” *Modaes*, 2 Mar. 2023, [www.modaes.com/entorno/el-ecommerce-de-moda-toca-techo-en-europa-y-la-penetracion-cae-por-primera-vez](http://www.modaes.com/entorno/el-ecommerce-de-moda-toca-techo-en-europa-y-la-penetracion-cae-por-primera-vez)
- (XI) C., I. “La Cuota Online de Moda En España Frena y Sólo Llegará al 19,7% En 2026.” *Modaes*, 3 Feb. 2023, [www.modaes.com/entorno/la-cuota-online-de-moda-en-espana-frena-y-solo-llegara-al-197-en-2027](http://www.modaes.com/entorno/la-cuota-online-de-moda-en-espana-frena-y-solo-llegara-al-197-en-2027)
- (XII) “Los Diez Mayores Grupos de Ecommerce Del Mundo.” *Modaes*, 11 July 2022, [www.modaes.com/empresa/los-diez-mayores-grupos-de-ecommerce-de-moda-del-mundo](http://www.modaes.com/empresa/los-diez-mayores-grupos-de-ecommerce-de-moda-del-mundo)
- (XIII) *High Digital Fashion Drops into Fortnite with Balenciaga*, [www.fortnite.com/news/high-digital-fashion-drops-into-fortnite-with-balenciaga?lang=en-US](http://www.fortnite.com/news/high-digital-fashion-drops-into-fortnite-with-balenciaga?lang=en-US)

- (XIV) Carrasco, Daniela. “Devoluciones En Ecommerce de Moda: Grandes Cifras de Una de Las Áreas Más Críticas de Un Negocio Online - Marketing 4 Ecommerce - Tu Revista de Marketing Online Para E.” *Commerce*, 20 Mar. 2023, <https://marketing4ecommerce.net/en-europa-las-marcas-pierden-hasta-el-66-del-valor-de-los-productos-que-son-devueltos-por-los-clientes/>
- (XV) *¿Cuál Es La Diferencia Entre Clo y Marvelous Designer?*, <https://support.clo3d.com/hc/es/articles/115012666547--Cu%C3%A1l-es-la-diferencia-entre-CLO-y-Marvelous-Designer>
- (XVI) Barrera, Thalia la creadora de The Tech Fashionista. “¿Cuál Es El Mejor Software de Diseño de Moda En 3d? 5 Opciones Increíbles.” *The Tech Fashionista*, <https://thetechfashionista.com/es/software-diseno-moda-en-3d/>
- (XVII) “CLO: 3D Fashion Design Software.” *CLO Official Site*, [www.clo3d.com/](http://www.clo3d.com/)
- (XVIII) Team, Browzwear Marketing, and Marketing Team. “Welcome: 3D Fashion Design Software.” *Browzwear*, 9 May 2023, <https://browzwear.com/>
- (XIX) *Pergamo: Personalized 3D Garments from Monocular Video - Mslab*, <https://mslab.es/projects/PERGAMO/>
- (XX) *Fully Convolutional Graph Neural Networks for Parametric ... - Mslab*, <https://mslab.es/projects/FullyConvolutionalGraphVirtualTryOn>
- (XXI) Williams, Jonathan. “SMPL-X.” *SMPL*, <https://smpl-x.is.tue.mpg.de/index.html>
- (XXII) “Cloth.” *Cloth - Blender Manual*, 11 July 2023, <https://docs.blender.org/manual/en/latest/physics/cloth/index.html>
- (XXIII) “Blender: Ecosystem and Plug-Ins.” *Adobe Help Center*, <https://helpx.adobe.com/substance-3d-integrations/3d-applications/blender.html>

- (XXIV) Williams, Jonathan. "Amass." *AMASS*, <https://amass.is.tue.mpg.de/>
- (XXV) "Dance DB." *Dancedb.Eu*, <http://dancedb.eu/>
- (XXVI) "Acerca Del Índice de Masa Corporal Para Adultos." *Centers for Disease Control and Prevention*, [www.cdc.gov/healthyweight/spanish/assessing/bmi/adult\\_bmi/index.html#IMC](http://www.cdc.gov/healthyweight/spanish/assessing/bmi/adult_bmi/index.html#IMC)

C