

# TFG

---

## **STOP-MOTION LOWCOST: FABRICACIÓN DE UN ESQUELETO ANIMABLE**

**Presentado por Lucía Martínez Gómez**

**Tutora: María Isabel Pleguezuelos Rodríguez**

**Facultat de Belles Arts de Sant Carles**

**Grado en Bellas Artes**

**Curso 2020-2021**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES**

## RESUMEN

Mi trabajo de fin de grado consiste en el diseño, modelado, impresión y montaje de un esqueleto de animación, y la posterior demostración de su funcionalidad.

El objetivo es crearlo completamente mediante impresión 3D para abaratar los costes a los que se venden estos esqueletos, con la finalidad de que cualquier animador pueda permitirse obtener uno, incluso si está dando sus primeros pasos en el mundo de la animación *stop-motion*.

## PALABRAS CLAVE

Diseño, modelado 3D, impresión 3D, animación, *stop-motion*

## SUMMARY

My final project consists in designing, modelling, printing and assembling an animation skeleton, and the subsequent demonstration of its functionality.

The goal is to create it completely using 3D printing to make it cheaper than the price at which these skeletons are sold, so that any animator can afford to obtain one, even if they are taking their first steps in the world of stop-motion animation.

## KEY WORDS

Design, 3D modelling, 3D printing, animation, stop-motion

## AGRADECIMIENTOS

A mi padre y a mi abuela por brindarme el apoyo necesario, tanto psicológico como económico, con las dificultades que ello les ha supuesto, para poder estar ahora mismo escribiendo este trabajo después de haber cursado la carrera que quise hacer, Bellas Artes.

A mis amigos, que han estado ahí para animarme, para servirme de apoyo y de lugar seguro, para sacarme a flote cuando yo no podía y, en particular, a Andrea, que fue la primera persona que conocí al llegar a esta universidad y se ha quedado a mi lado desde entonces, ayudándome en todo, estando ahí para mí siempre y, concretamente durante este trabajo, ofreciéndome su ayuda en todo momento y escuchando con paciencia mis audios en los momentos de desesperación, pero también en los de alegría.

Quiero agradecer a Sergio que siempre haya estado ahí, que me haya calmado cuando yo ya no podía más, que lo haya dejado todo de lado siempre que he necesitado ayuda o apoyo, y que siga a mi lado aportándome su calidez y su paz.

Por último, quisiera agradecer también a mi tutora, Maribel, por tener tanta paciencia conmigo, mi salud mental y mi organización a pesar de no conocerme apenas, y por saber transmitirme tranquilidad, energía y ánimos.

Muchas gracias a todos.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>6</b>
<b>3. REFERENTES .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Esqueletos para stop-motion .....</b>	<b>8</b>
3.1.1. Esqueletos de alambre trenzado .....	9
3.1.2. Esqueletos <i>ball and socket</i> .....	10
3.1.3. StickyBones.....	11
<b>3.2. Impresión 3D en el mundo de la animación.....</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Referentes estéticos.....</b>	<b>13</b>
<b>4. PREPRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Idea.....</b>	<b>14</b>
4.1.1. Búsqueda de información.....	15
4.1.2. Elaboración de bocetos y dibujos .....	16
<b>5. PRODUCCIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1. Modelado del esqueleto.....</b>	<b>17</b>
5.1.1. Pasos seguidos durante el modelado .....	18
<b>5.2. Impresión del esqueleto .....</b>	<b>21</b>
5.2.1. Adaptación del modelado.....	21
5.2.2. Impresión.....	22
5.2.3. Puesta a punto de las piezas impresas .....	24
<b>5.3. Grabación de la secuencia en stop-motion .....</b>	<b>25</b>
<b>6. POSTPRODUCCIÓN .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1. Edición de imagen y vídeo .....</b>	<b>26</b>
<b>7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>27</b>
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>29</b>
<b>10. ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>32</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>35</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto tiene como finalidad la elaboración de un esqueleto animable creado mediante impresión 3D con filamento PLA, de forma que los costes de producción se reduzcan lo máximo posible y, así, obtener un producto económico que se pueda ajustar a los bolsillos de todos los animadores.

La idea para este trabajo nace en tercero de carrera, cuando descubro mi pasión por la animación *stop-motion*. Probé diversas formas de llevar a cabo este tipo de animación, ya que es muy versátil y puede realizarse con una gran variedad de materiales, desde recortes de papel hasta las propias personas. Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de recursos utilizables, me di cuenta de que es muy popular, e importante para el aprendizaje de la anatomía en la animación, la realización de ejercicios con personajes dotados de un esqueleto interno.

Como veremos en esta memoria, hay diversos tipos de esqueletos utilizados en animación, cada uno con sus pros y sus contras, pero, en definitiva, si lo que buscas es un esqueleto con una gran facilidad de movimiento, fiabilidad y, sobre todo, durabilidad, te acabarás moviendo en un rango de precios que, al menos yo como estudiante y principiante en el mundo de la animación, no podía asumir.

Por ello, quise llevar este impedimento personal, al que se enfrentan otros muchos artistas con deseos de practicar y aprender, más allá. Decidí que iba a utilizar algunos de los conocimientos obtenidos durante la carrera para crear por mi misma un personaje que se pudiera animar, y, sobre todo, que se pudiera replicar, e incluso llegar a distribuir algún día, al mínimo coste posible.

Como resultado, he trabajado con las técnicas de modelado e impresión 3D para conseguir mi objetivo, y he animado un pequeño vídeo en el que se puede apreciar la capacidad de movimiento del personaje obtenido. Podéis verlo en el siguiente enlace: <https://vimeo.com/574834552>

## 2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Objetivos durante la elaboración de este proyecto:

- Documentarme sobre los tipos de esqueletos animables existentes, su proceso de creación y su durabilidad.
- Aplicar los conocimientos obtenidos durante la asignatura de Modelado 3D y Videojuegos sobre el modelado digital y profundizar por mi misma para mejorarlos.
- Utilizar lo aprendido en la asignatura de MediaLab e Impresión 3D para montar, poner a punto y utilizar por mi cuenta mi propia impresora 3D.
- Realizar el esqueleto únicamente con filamento PLA, al ser el más económico.
- Aprovechar lo aprendido sobre animación *stop-motion* durante la carrera y durante el *workshop* de Juan Pablo Zaramella en nuestra facultad para animar con el personaje resultante.
- Obtener un prototipo lo suficientemente bueno como para animar con él.
- Redactar un trabajo académico en el que comunique de forma efectiva el proceso del apartado práctico del proyecto.

Para la realización de este trabajo de fin de grado, de tipología práctica, dividí el trabajo en diferentes fases. Comencé replanteándome la idea con la que partía, ya que fue concebida obviamente sin tener en cuenta que íbamos a sufrir una pandemia, en la que además estoy dentro del grupo de riesgo. Por lo tanto, adapté el proyecto para poder realizar la mayor parte sin tener que recurrir a las instalaciones de la universidad.

Me informé sobre impresoras 3D y aproveché el dinero sobrante de mi última beca para encargar la más barata y mejor respecto a calidad y precio, a continuación, hice lo mismo con el filamento para la impresora. De esta forma, podría imprimir en casa todo el modelo, ya que de lo contrario hubiera supuesto muchas horas en la universidad, ya que imprimir con estos aparatos requiere de tiempo y vigilancia.

El siguiente paso en la adaptación del proyecto fue un cambio del punto de vista desde el que lo había concebido. Inicialmente quería dotar de mayor importancia al cortometraje final que al propio protagonista de la animación, pero decidí que animar sí que era algo para lo que me eran completamente necesarias las instalaciones y medios de la facultad de Bellas Artes, por lo que tomé la decisión de centrarme en la creación del esqueleto y dejar la animación como un vídeo corto para mostrar las posibilidades del personaje creado.

Una vez el concepto estuvo claro, marqué diferentes fases de trabajo. Empecé reuniendo la información que ya tenía acerca de los esqueletos para animación, o *animation armatures*, como es más sencillo encontrarlos en internet, y buscando nueva, tanto acerca de ellos, como de su proceso de fabricación. Una vez acabada la fase de documentación acerca de lo que quería crear, pasé a realizar bocetos y pensar en la forma que quería darle al personaje y los problemas que podría darme el diseño en las siguientes partes del proyecto.

A continuación, venía el modelado digital. Para ello valoré los diferentes programas con los que había trabajado y, como no tenía demasiada experiencia con ninguno, me decanté por Autodesk Maya, ya que tanto mi tutora como una buena amiga han trabajado con él y podrían ayudarme en caso de necesitarlo. Busqué varios tutoriales en internet, porque a pesar de poder contar con ayuda he querido hacer este proyecto de la forma más autónoma posible, y empecé con la realización del modelado.

Con el modelado listo, comenzó la fase de impresión y puesta a punto de las piezas. Para ello, monté la impresora 3D que había comprado, hice pruebas, adapté los modelos realizados y la puse a trabajar. Después de solucionar varios inconvenientes, conseguí las piezas deseadas y les di los acabados con una pequeña amoladora.

Cuando el esqueleto estuvo montado, acudí a la facultad para la grabación de un pequeño cortometraje en el que se le viera en acción y, posteriormente, edité las imágenes con Adobe Photoshop y creé el vídeo final mediante Premiere Pro y After Effects.

Por último, agrupé las imágenes del proceso de todo el proyecto y los recursos utilizados, subí el vídeo a la plataforma Vimeo, revisé el manual de estilo y me dispuse a redactar esta memoria.

### 3. REFERENTES

A continuación contextualizaré el trabajo hablando de los tipos de esqueletos utilizados en la animación *stop-motion*, del papel que tiene actualmente la impresión 3D en el mundo de la animación y, por último, de los referentes estéticos que he tomado para mi trabajo.

#### 3.1. ESQUELETOS PARA *STOP-MOTION*

A la hora de animar con una marioneta es necesario que tenga la consistencia adecuada, sea estable y sus movimientos puedan ser perfectamente controlados. Para ello suele ser necesario dotar a la marioneta de un esqueleto interno.

Podemos animar sin un esqueleto cuando se trate de una marioneta pequeña, de algún material lo suficientemente consistente, como plastilina o Super Sculpey<sup>1</sup>, y el movimiento a realizar no sea complicado ni especialmente fluido. También, es posible animar sin un esqueleto con figuras como los Lego, pero incluso en este caso es conveniente pasar alambres por el interior del muñeco para unir las piezas más firmemente y conseguir una mayor precisión de movimiento, así como posturas de otra forma inalcanzables.

En cuanto a los diferentes tipos de esqueletos para animación que podemos encontrar, los principales han sido siempre los de alambre trenzado y los mayormente denominados *ball and socket*, que podríamos traducir como de bolas y juntas, ya que están articulados de esta forma. A estos esqueletos se han sumado recientemente los StickyBones<sup>2</sup>, unos personajes de apariencia humanoide que pueden ser animados.

Por último, como en este trabajo he querido destacar el tema monetario, se puede observar en las imágenes que aparecen en la siguiente página una comparativa de precios entre los diferentes tipos de esqueletos. Son de la misma marca para poder compararlos mejor, salvo el StickyBones, que sólo se puede encontrar bajo la marca de su propio nombre. A estos precios habría que añadir el *rig* y el equipo necesario para grabar la animación, por lo que al final resulta todo demasiado caro para un estudiante.



Figura 1: Fotograma del *Puppet workshop* del animador conocido como Animation Ben (2020).

<sup>1</sup> Pasta para modelar con consistencia una dura y firme pero maleable. Puede utilizarse en animación o en el modelado de figuras, ya que se vuelve completamente rígida al calentarla en un horno.

<sup>2</sup> Véase la página web de estas marionetas, StickyBones <https://www.stickybones.com/> [Disponible a 20 de julio de 2021]



Figura 2: Anibild One Basic Armature. Precio 23,38€

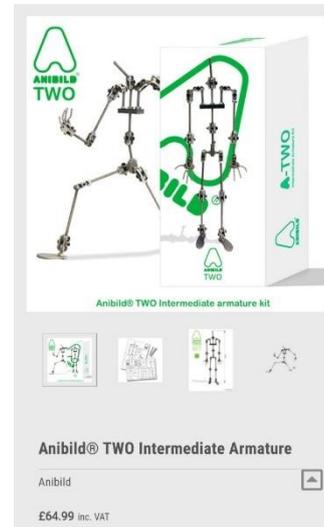


Figura 3: Anibild Two Intermediate Armature. Precio 76,02€

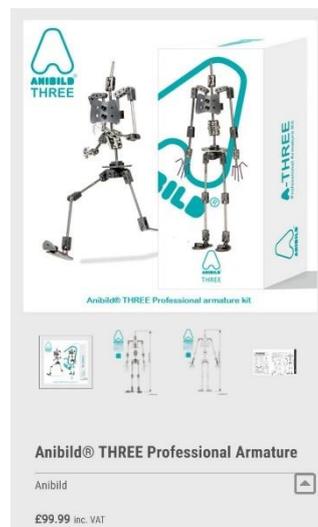


Figura 4: Anibild Three Professional Armature. Precio 116,97€

### Precision Art & Animation Figure (Dark Storm)

\$99.00 ~~€129.00~~



Figura 5: Marioneta StickyBones. Precio 84,72€

### 3.1.1. Esqueletos de alambre trenzado

Los esqueletos de alambre trenzado son los más comunes fuera de la animación profesional, ya que son sencillos de crear y económicos y los realizas por ti mismo. Tienen una gran flexibilidad y movilidad, pero también tienen grandes problemas que no los convierten en aptos para animar demasiado con ellos.



Figura 6: Esqueleto elaborado a partir de alambre trenzado.



Figura 7: Esqueleto elaborado a partir de alambre trenzado y Fimo.



Figura 8: Esqueleto *ball and socket*.

El mayor problema es que, por muchos alambres que trences, cuando doblas unas cuantas veces una articulación, el alambre se va deteriorando y acaba por partirse, por lo que es imposible animar con este tipo de esqueletos cualquier cosa que implique muchos movimientos o que tenga una duración media/larga.

El otro inconveniente que presentan es que no dotan a la marioneta de una gran precisión a la hora de animar, no hay unas articulaciones claras que siempre se vayan a doblar por el mismo punto y de la misma manera, y tampoco oponen una resistencia óptima para realizar los movimientos, ya que, si unes pocos alambres, a parte de deteriorarse rápidamente, se doblará con demasiada facilidad, incluso puede que sola. Pero, si construyes el esqueleto trenzando una mayor cantidad de alambres, te encontrarás que es muy difícil doblarlos con precisión y crear una animación fluida en la que el movimiento no vaya a golpes.

Dentro de esta categoría de esqueletos nos encontramos también con una variante que, aún a pesar de presentar los mismos problemas, facilita un poco más la animación. Son esqueletos de alambre trenzado a los que se les han endurecen con la aplicación de calor, como podrían ser Fimo<sup>3</sup> o Super Sculpey, o directamente con piezas de metal o incluso impresas en 3D.

Estos añadidos ayudan a que el movimiento sea algo más controlado, ya que, en muchos casos, acotan la articulación. También son útiles porque crean un punto rígido del que sujetar la marioneta para moverla, e incluso facilitan la colocación de *rigs*<sup>4</sup> cuando son necesarios.

### 3.1.2. Esqueletos *ball and socket*

Este tipo de esqueletos es el utilizado profesionalmente para la animación por su gran precisión, resistencia y durabilidad. Al igual que los esqueletos de alambre trenzado, que pueden elaborarse adaptándose al tamaño de la marioneta que va a llevarlos, los *ball and socket* también son altamente personalizables, aunque en este caso para ello necesitarías encargar las piezas a medida o contar con la maquinaria adecuada, ya que el proceso de adaptación pasa por acortar las barras metálicas que componen el modelo, e incluso por la creación de piezas diseñadas únicamente para la marioneta que quieras crear.

<sup>3</sup> Pasta con una consistencia similar a la plastilina pero que, al igual que el Super Sculpey, se endurece al hornearla.

<sup>4</sup> Sistema de sujeción para la marioneta que consta de una base con suficiente peso para que no venza y de un brazo móvil que se engancha al personaje. De esta forma puedes animar saltos o escenas en las que la marioneta por si misma no tiene la suficiente estabilidad.

Estos esqueletos están compuestos de diversas piezas de metal: barras, bolas y juntas. Las barras llevan bolas enroscadas en sus extremos, y estas bolas van encajadas en las juntas, de manera que no pueden salirse ni están demasiado sueltas, creando articulaciones que dotan al esqueleto de movimiento con la precisión necesaria para realizar una buena animación.

Los contras de los esqueletos *ball and socket* son principalmente su precio, ya que están especialmente diseñados y construidos para animar profesionalmente, por lo que tienen la consistencia, la resistencia y la movilidad adecuadas y cuentan con una gran durabilidad, así como facilidad para la sustitución de las piezas que puedan romperse con el uso.

### 3.1.3. StickyBones

Los personajes StickyBones son una evolución de las marionetas usadas para crear poses y servir de guía en el dibujo. Han ideado un sistema de articulaciones lo suficientemente móvil y resistente para que pueda utilizarse no sólo para posar, si no también para animar con ellas.

Este esqueleto para animación con una apariencia y un volumen que no requieren necesariamente que se envuelva con una marioneta, es bastante similar a lo que yo buscaba con mi proyecto, ya que al no contar con elementos más allá del plástico, como tornillos, se ha de usar un sistema de juntas en el que encajar una pieza con la siguiente.

La principal diferencia con mi esqueleto son los materiales y los procesos con los que está elaborado, ya que los StickyBones están fabricados con polímeros personalizados por la marca para conseguir esa superficie pulida que les permite un movimiento fluido en las animaciones. Como podemos observar en la fotografía de la izquierda, hay líneas en la superficie de las piezas que nos indican que estas marionetas han sido realizadas vertiendo el mencionado polímero en moldes para así darle la forma deseada.

Actualmente estos muñecos están siendo utilizados en grandes empresas, como por ejemplo Pixar, para servir de referencia a los animadores tanto posando, como utilizando secuencias grabadas con ellos para usarlas posteriormente animando con la técnica de la rotoscopia.



Figura 9: Marioneta StickyBones.

### 3.2. IMPRESIÓN 3D EN EL MUNDO DE LA ANIMACIÓN

La impresión 3D no se usa demasiado ahora mismo en el mundo de la animación para crear esqueletos animables como el presentado en este proyecto, al menos no profesionalmente y mucho menos con el tipo de impresora y filamento que yo he utilizado, ya que las piezas se imprimen con un resultado demasiado basto y hay que invertir mucho tiempo en los acabados, sin ninguna garantía de que no lijes de más y te queden exactamente como deseas. Pero, aún así, sí que podemos ver como cada vez se va utilizando más.

En la actualidad el uso más importante que se le está dando a la impresión 3D en el mundo de la animación es la creación de caras intercambiables con diferentes expresiones para poder animar más rápidamente y con muchísima más precisión y expresividad de la que se había podido obtener nunca. Estas impresiones se llevan a cabo con impresoras altamente especializadas que consiguen un nivel de detalle altísimo y unos acabados espectaculares, ya que también son capaces de mezclar colores y facilitarte la pieza tal cual se había concebido digitalmente.

Uno de los estudios que utilizan este tipo de modelos es Laika, estudio responsable de grandes películas animadas en *stop-motion* como *Pesadilla antes de navidad*, *Los mundos de Coraline*, *Paranorman*, *Kubo* y *las dos cuerdas mágicas*, etc. En *Pesadilla antes de Navidad* no llegó a utilizarse para crear las expresiones faciales, aunque sí que usaron la impresión 3D para dar algo de volumen a las barras que componen los huesos de Jack Skellington<sup>5</sup>. En siguientes películas sí que se ha utilizado, incrementando cada vez más el número de piezas realizadas y por tanto el detalle de la animación obtenida.

Estas piezas han sido elaboradas para las películas *Los mundos de Coraline* imprimiendo 20.000 caras, *Paranorman* con 40.000 caras, *Los Boxtrolls* con 56.000, *Kubo* y *las dos cuerdas mágicas* con 64.000, y planean imprimir entre 85.000 y 90.000 caras con diferentes expresiones faciales para su siguiente película.

Por último en relación con el estudio Laika, el constructor de los esqueletos para sus marionetas, Merrick Cheney, está haciendo pruebas con impresoras de resina para añadir volumen a sus esqueletos, creando por ejemplo torsos que montar encima, y así facilitar el proceso de dar forma a la marioneta situando el esqueleto dentro de moldes y vertiendo resina. Esta técnica se está empleando también en algunas marcas de esqueletos animables, creando híbridos entre los clásicos *ball and socket* y las marionetas creadas mediante impresoras 3D, un ejemplo de ello es el *Chimera* de la marca Anibild.



Figura 10: Máscaras de expresiones faciales intercambiables realizadas para la película *Paranorman* del estudio Laika.



Figura 11: Merrick Cheney con la marioneta original de Jack Skellington.



Figura 12: Fotografía de una de las artistas de Laika, Victoria Rose, en la que aparece un esqueleto con piezas impresas, obra de Merrick Cheney.

<sup>5</sup> Personaje protagonista de la película *Pesadilla antes de navidad*.



Figura 13: Fotograma del cortometraje *Bears on Stairs* (DBLG, 2014).

Otro uso que se le está dando a la impresión 3D en el mundo de la animación, esta vez con impresoras y filamentos similares a los utilizados en este trabajo final de grado, es el realizado por estudios como Zihua y DBLG, con sus cortometrajes *Out of the box*, *be yourself* y *Bears on stairs*, respectivamente.

Estos trabajos están realizados modelando y animando por ordenador y, a continuación, imprimiendo todo *frame* por *frame*. Una vez impresas todas las piezas, se anima por reemplazo y se obtiene un resultado bastante curioso, fluido y efectivo.

### 3.3. REFERENTES ESTÉTICOS

Los referentes estéticos utilizados para la creación de mi prototipo han sido algunos de los tipos de esqueletos que he explicado en el apartado 3.1., figuras utilizadas para la asistencia en el dibujo de anatomía y la estética de modelado 3D *Low Poly*.

Me he inspirado bastante en las figuras *StickyBones* ya que, en definitiva, buscaba crear algo muy similar pero mediante materiales con un coste inferior. También he utilizado como base para el modelado las figuras de uso libre *Modibot*<sup>6</sup>, como desarrollaré en apartados posteriores.

A parte de estas figuras para animación y poses, me han servido de referencia también los clásicos maniqués de madera que se han utilizado siempre en dibujo, y una versión mucho más actual de ellos, figuras de plástico con una anatomía más definida, a las que se les da un gran uso en el dibujo manga.

Por último, he tomado para el modelado de mi esqueleto la estética *Low Poly*, que es una tendencia que nace en el mundo de los videojuegos por la cual se realiza el modelado tanto de personajes, como de objetos y fondos con un recuento de polígonos muy bajo, de manera que, cuando las consolas y los programas para crear videojuegos no eran demasiado potentes, esta baja poligonización contribuía a la fluidez del juego. Actualmente es una tendencia estética que, aunque ya no es necesaria para el correcto funcionamiento del juego, sigue usándose porque tiene cierto encanto visual ligado a la nostalgia de la infancia. En mi caso, esta estética ha sido aprovechada para reducir el tiempo de modelado, de impresión, de pulido posterior a la impresión y los metros de filamento utilizados.



Figura 14: Maniqués *Body-Chan* y *Body-Kun*.



Figura 15: Fotografía del *Modibot*.

<sup>6</sup> Véase la página web del *Modibot*, <https://modibot.com/>. [Disponible a 20 de julio de 2021]

## 4. PREPRODUCCIÓN

A continuación, trataré los pasos previos a la elaboración del esqueleto que he creado. Cómo nació y evolucionó la idea para este proyecto hasta quedar en lo que finalmente es y, en apartados posteriores a la preproducción, el proceso que ha seguido para materializarse.

### 4.1. IDEA

Como ya he mencionado, la idea para este trabajo nació con el descubrimiento de mi pasión por el *stop-motion* durante el tercer año de carrera, entonces decidí que quería unir lo aprendido en la asignatura Animación Bajo Cámara y Stop-Motion con otra que estaba cursando en aquel momento y que también me resultaba muy interesante, MediaLab e Impresión 3D. De ahí surgió la ocurrencia de crear mi propio personaje con el que se pudiera animar, ya que no podía permitirme comprar el esqueleto interno que necesitaría una marioneta, ni las siliconas y moldes necesarios para darle forma, y, los esqueletos de alambre trenzado que yo podía elaborar no tenían prácticamente ninguna durabilidad ni precisión a la hora de realizar una animación.

Por tanto, estaba decidido, iba a crear un personaje e iba a realizar un cortometraje con él. Lo tenía claro, así que busqué a algún docente con los conocimientos necesarios para tutorizar un trabajo de fin de grado tan multidisciplinar, y así di con María Isabel Pleguezuelos.

Pero, finalmente, la idea tuvo que sufrir modificaciones, porque nadie contaba con la pandemia que estamos sufriendo y, puesto que soy asmática, me preocupaba mucho tener que coger el transporte público y acudir a la universidad tanto como lo requería el proyecto que había ideado, por lo que le di bastantes vueltas para dar con una solución que me permitiera no salir demasiado de mi casa y, aún así, sacar adelante lo que yo tenía en mente.

El mayor cambio en el planteamiento del proyecto fue decidir que la animación que quería realizar con el personaje obtenido iba a quedar relegada al plano de pequeña demostración, en lugar del de cortometraje, y que esa importancia se la iba a dar al diseño y producción del esqueleto. Así, ganaba mucho tiempo en el que de otra forma no me hubiese quedado más remedio que acudir a la universidad a grabar, y podía reducirlo a unos pocos días hacia final de curso, esperando que la situación de crisis sanitaria derivada de la COVID-19 hubiese mejorado.

Por otra parte, y como he contado en el apartado de metodología, el otro cambio que tuve que hacer fue en el proceso de impresión, ya que las impresoras 3D no son un aparato que saque el modelo instantáneamente, pueden tardar muchas horas en imprimir cada pieza y es conveniente estar pendiente de ellas mientras tanto, ya que podría haber algún error en el modelo, atascarse el extrusor<sup>7</sup>, partirse el filamento que entra a la impresora, enredarse la bobina de filamento e incluso enmarañarse o despegarse de la base de impresión el hilo plástico y enredarse en el extrusor, que está a 200°C. Por todo esto, la impresión se convertía también en un proceso que hubiera requerido de mi permanencia en la universidad durante mucho tiempo, así que decidí que iba a invertir el dinero sobrante de una beca anterior en comprarme mi propia impresora. Sería muy útil para el trabajo de fin de grado, pero también me permitiría conocer mejor su funcionamiento, experimentar e imprimir todo aquello que se me ocurriera.

Con los nuevos inconvenientes sorteados y la idea más clara que nunca, había llegado el momento de empezar a trabajar.

#### **4.1.1. Búsqueda de información**

La búsqueda de información ha sido necesaria en todas las partes de este proyecto, tanto de teoría, sobre todo para la elaboración de la memoria, de fotografías y modelos, como de tutoriales y vídeos para conseguir realizar el modelado y sacar adelante la impresión. En concreto para este punto, han sido necesarias muchas horas de documentación y de búsqueda de ejemplos para poder diseñar un prototipo funcional.

Lo primero que hice fue buscar explicaciones y fotografías sobre los tipos de esqueletos animables existentes, tanto para asegurarme de no plagiar nada, aunque fuera inintencionadamente, como para conocer bien los puntos fuertes y débiles de cada diseño, puesto que tenía que entender perfectamente cómo y por qué funcionaba cada pieza y sus limitaciones para poder hacer un buen diseño.

Durante este proceso me di cuenta de que, para mi nivel de modelado y el tiempo con el que contaba, me iba a ser prácticamente imposible realizar el modelado de las articulaciones completamente desde cero, ya que requerían de mucha precisión para hacer que encajen perfectamente las piezas que las componen y, posteriormente, poder imprimirlas de manera que su superficie no tenga errores para que la animación pueda ser suave y fluida.

---

<sup>7</sup> Pieza de una impresora 3D por la que sale el filamento con el que se elaboran las impresiones. El extrusor se calienta, funde el plástico y lo va colocando con precisión capa por capa.

Por tanto, busqué opciones hasta dar con el Modibot, un muñeco pensado para realizar poses, cuyos creadores venden, pero también facilitan las piezas gratuitamente para aquellos que contemos con una impresora 3D, e incluso nos animan a modificarlas y crear nuestras propias versiones del personaje. Viendo que esto era así, se me ocurrió utilizar este robot como base para mi proyecto, con los cambios y los añadidos que explicaré más adelante en el punto de modelado del esqueleto.

Durante este proceso también busqué referentes estéticos para hacerme una mejor idea de qué apariencia quería darle al personaje, y di con los ya mencionados en el apartado de referentes: la marioneta StickyBones, los maniqués para dibujo tradicionales y los maniqués modernos para el manga, y el movimiento *Low Poly*.

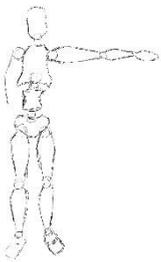


Figura 16: Boceto de la apariencia del esqueleto.

#### 4.1.2. Elaboración de bocetos y dibujos

Después de haber realizado la búsqueda de información, la idea que tenía para mi esqueleto era cada vez más clara, pero necesitaba realizar algunos dibujos para materializarla y no dejar ningún punto del modelado al azar, ya que era necesario que todo encajara y estuviera perfectamente proporcionado.

Para ello, realicé algunos bocetos de cómo iba a ser la apariencia del personaje. Aquí no me centré demasiado en cómo deberían ser las articulaciones, era un dibujo más general, para definir el proyecto estéticamente.

Después, realicé algunos estudios de las piezas utilizadas por diferentes tipos de esqueletos de animación, sobre todo de las piezas que componen las articulaciones, con la finalidad de entenderlas mejor. Después, con esta misma finalidad, dibujé una versión simplificada de la marioneta StickyBones, y así fue como realmente llegué a comprender la complejidad de lo que pretendía crear y me planteé si estaba tomando el camino correcto para el proyecto.

Por último, una vez tomada la decisión de utilizar el Modibot como base para mi personaje, lo boceté y dibujé por encima del modelo las piezas que yo quería tanto modificar como crear.

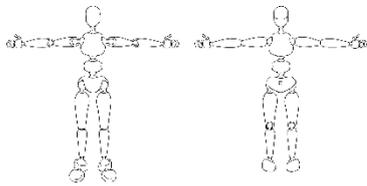


Figura 17: Estudio simplificado del StickyBones.

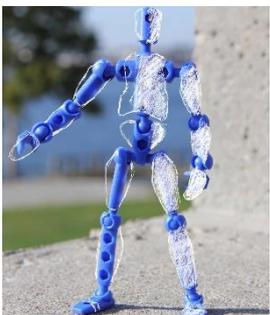


Figura 18: Boceto de las piezas a modelar por encima del Modibot.

## 5. PRODUCCIÓN

En este apartado explicaré paso por paso el trabajo realizado para obtener el esqueleto animable planteado y la grabación del vídeo en el que se muestran sus posibilidades de movimiento. Primero, hablaré del proceso de modelado digital con el que he creado las diferentes piezas que componen el personaje, después, contaré los pasos necesarios tanto para imprimir el prototipo, como para darle unos buenos acabados a la impresión obtenida y, por último, explicaré la grabación de la secuencia de animación *stop-motion*.

### 5.1. MODELADO DEL ESQUELETO

Después de realizar la búsqueda de información, de referentes y elaborar los dibujos necesarios para clarificar cómo iba a ser el esqueleto que tendría que modelar, me puse a investigar más acerca del Modibot, el modelo que había optado por utilizar como base para mi personaje. Esta investigación hizo que me diera cuenta de que el Modibot original estaba inteligentemente diseñado para su propósito, el de posar, pero para animar con él iban a ser necesarias bastantes modificaciones. Por ello, sabiendo que era una marioneta que los creadores animaban a modificar, pensé que tal vez ya existieran algunas variantes que me pudieran facilitar el trabajo.

Y así fue, existían muchas versiones del Modibot realizadas por personas que las compartían libremente en la web, tanto con pequeñas modificaciones que solamente suponían unos mejores soportes para facilitar la impresión, como con piezas completamente diferentes. Entonces, valoré lo que cada modificación podría aportar a mi personaje y seleccioné piezas de diferentes creadores para poder componer mi propio Modibot y utilizarlo como base para modelar encima.

Una vez tuve todas las piezas necesarias guardadas, abrí Maya, que es el programa de modelado digital que he escogido para realizar este proyecto, y me dispuse a montar el Modibot. Coloqué las piezas unas al lado de las otras formando la estructura humanoide del robot y posicionándolas en la denominada T-Pose, una de las posiciones para el modelado de personajes más utilizadas, ya que al situar al personaje de frente con los brazos estirados formando la letra T permite acceder y visualizar con facilidad todas las partes del modelo, y, puesto que las piezas provenían de diferentes fuentes, en muchos casos tuve que rotarlas o escalarlas para que se adaptaran correctamente al resto de partes del modelo.

Cuando todo estuvo colocado y escalado lo primero en lo que reparé fue en que los brazos y, sobre todo, las manos del modelo eran excesivamente

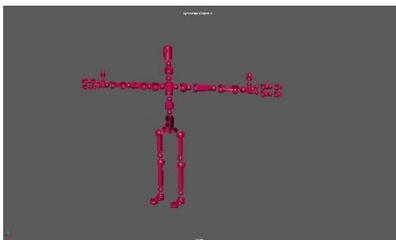


Figura 19: Modibot modificado en T-Pose con espaciado entre las piezas.

grandes en comparación con el resto del cuerpo, pero no podía simplemente escalarlas y hacerlas más pequeñas porque con mi tipo de impresora y filamento sería imposible sacar el suficiente nivel de detalle en un tamaño menor. Decidí que tendría que crear las manos prácticamente desde cero, pero por el momento no me veía capaz.

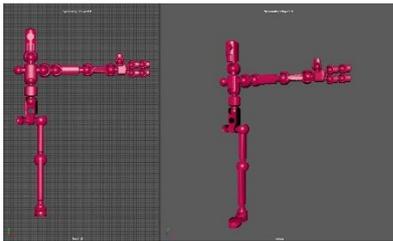


Figura 20: Modibot con las extremidades izquierdas eliminadas y sin espaciado entre las piezas.

Antes de comenzar a modelar, busqué diversos vídeos sobre el funcionamiento del programa y las herramientas disponibles, ya que no había trabajado en profundidad con él y había olvidado mucho de lo que aprendí en su día. Durante el visionado de los diferentes tutoriales tomé los apuntes necesarios de todo aquello que consideraba que me podría ser de utilidad durante este proyecto, y, con esos apuntes y los recuerdos de cómo funcionaba el programa muchísimo más frescos, di comienzo por fin al modelado de mi esqueleto, no sin antes borrar las extremidades izquierdas del cuerpo, para trabajar sólo en la derechas y después generarlas con la herramienta de simetría.

### 5.1.1. Pasos seguidos durante el modelado

Comencé con la pieza que me pareció más sencilla de realizar, el añadido al torso del esqueleto, para dotarlo de mayor volumen y parecido con un personaje humano. Para ello, creé un cubo, le apliqué varias subdivisiones en cada cara para poder modelarlo con precisión y empecé a darle la forma deseada variando la escala y la posición de sus vértices, caras y aristas. Una vez que la forma del torso tenía el tamaño correcto y se asemejaba a una caja torácica humana, seleccioné la cara inferior de la base para extruirla hacia dentro del propio modelo, ya que debía crear un espacio para la articulación que permite que el esqueleto pueda doblarse por la cintura.

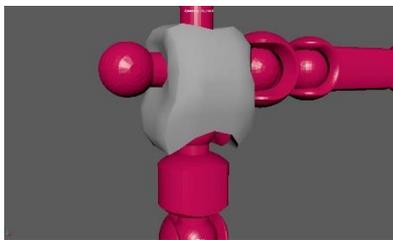


Figura 21: Modelado del torso.

Satisfecha con el torso y sintiéndome ya más cómoda con el programa de modelado, me dispuse a realizar la cara del personaje. Cogí como base la cabeza del Modibot y eliminé toda la parte frontal, para así no estar tan limitada por sus proporciones y poder modelar la cara más libremente.

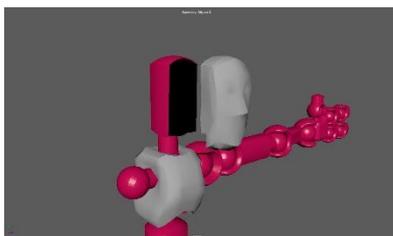


Figura 22: Modelado de la cara.

A continuación, partiendo de un cubo como en la pieza anterior, lo moldeé para que encajara bien con la media cabeza a la que iba a ir adherido y borré toda la parte trasera para unir la pieza que estaba modelando a la que ya existía. Después, creé en el modelo los vértices necesarios para poder desplazarlos y dotar de rasgos humanos a la figura en la que estaba trabajando. Una vez acabada la cara, me aseguré de que no había ningún espacio entre mi modelado y la cabeza sobre la iba situado, redimensionando y moviendo algunos vértices más para conseguirlo.

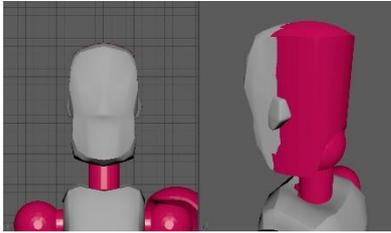


Figura 23: Modelado de la cara adherido a la cabeza, con las orejas ya realizadas.

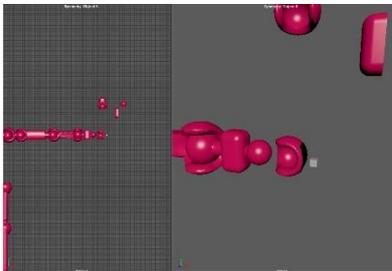


Figura 24: Proceso de la elaboración de la mano. Vemos la palma ya finalizada, los dedos comenzando a ser modelados y algunas piezas sobrantes.

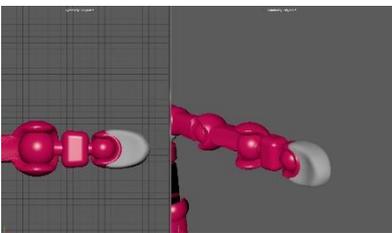


Figura 25: Palma de la mano y dedos ya modelados.

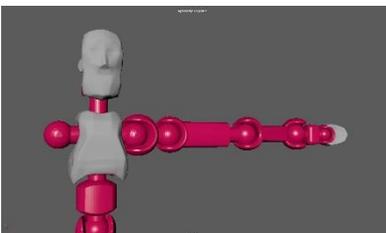


Figura 26: Fotografía en la que se aprecian todas las piezas realizadas hasta el momento, modificación del torso incluida.

Por último respecto a la elaboración de la cabeza, deformé un cubo hasta conseguir una forma similar a la de una oreja y lo situé en la posición correcta en uno de los lados de la cabeza, aplicándole después simetría para que se creara otra oreja exactamente igual al otro lado de la cabeza.

Habiendo realizado con éxito el modelado de dos piezas, consideré que tenía la suficiente soltura como para modificar por completo la mano del personaje y crear una totalmente nueva. Empecé quedándome con la pieza que componía la palma de la mano que había descargado de internet y uno de los dedos, y a partir de ellos realicé todo lo demás. Primero, borré la mitad derecha de la palma de la mano, dejando sólo la bola que se encaja en la pieza del antebrazo, media palma y la bola del dedo pulgar. Después, separé la bola del dedo pulgar y la reservé. Duplicué lo que quedaba de la pieza que componía la palma de la mano, borré la bola que conectaba con el antebrazo del modelo duplicado y roté el medio rectángulo resultante 180°, para así conseguir una pieza que consistía en la bola para unir la mano al antebrazo conectada con una pequeña pieza rectangular. Por último, roté 90° la bola del dedo pulgar que había reservado y la uní a la parte derecha de la pieza obtenida.

Con la pieza que constituía la palma de la mano creada, utilicé la media esfera en la que encajaba la bola del dedo pulgar para modelar sobre él la pieza que constituiría los dedos. Mi idea era generar una forma similar a la de una manopla, pero sin el dedo pulgar. Para ello creé un cubo y lo redimensioné para darle una forma más rectangular, redondeé uno de los extremos más cortos del rectángulo y le di a toda la pieza una curvatura cóncava. Para terminar, me aseguré de fundir bien la pieza con la que se unía, para que no quedase una superficie irregular.

Después de acabar con el modelado de la mano, me dediqué a modificar, agrandar y exagerar la forma del torso, puesto que, habiendo adquirido más conocimientos acerca del programa, ya no estaba tan satisfecha con esta pieza como al principio.

El siguiente paso fue el modelado de la parte superior del brazo, la comprendida entre el hombro y el codo, y de la pieza del antebrazo. La creación de ambas partes fue muy similar, por lo que la explicación del siguiente párrafo es aplicable en los dos casos.

Para su realización borré por completo el cilindro situado entre las partes que componían la articulación, ya que me limitaban demasiado en cuanto a forma y escala. A continuación, generé un cilindro, lo escalé para que en vez de tener una forma cilíndrica perfecta fuera más bien ovalado, y agrandé uno de sus extremos de manera que la forma general disminuyera progresivamente de un lado al otro. Modifiqué la longitud de la pieza para que llegara

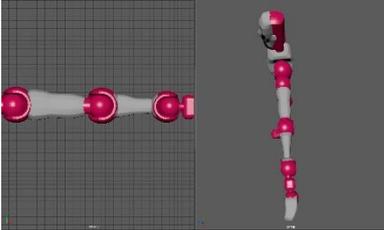


Figura 27: Modelado del brazo y el antebrazo.

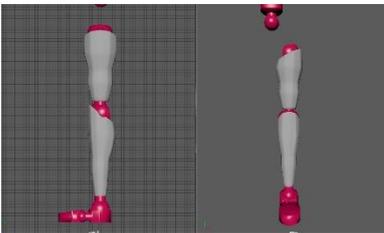


Figura 28: Modelado del muslo y la pierna.

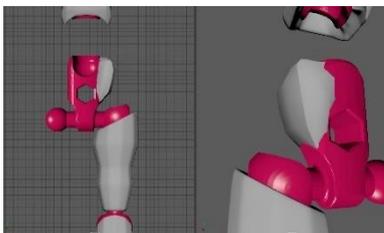


Figura 29: Modelado de la pelvis.

correctamente a las articulaciones correspondientes y la retoqué generando aristas por las que ensanchar o estrechar la pieza a conveniencia, pudiendo crear así una forma algo más orgánica y similar a las que tiene un brazo humano.

Cogiendo como ejemplo el método realizado en las dos piezas del brazo, me dispuse a hacer exactamente lo mismo para las piernas. Por tanto, borré el modelado que había entre la articulación que une el muslo a la cadera y la articulación que forma la rodilla, e hice lo mismo entre la rodilla y el tobillo. Después, creé cilindros y les di el mismo tratamiento que a los de los brazos, con la diferencia de que para estas dos piezas incliné la parte más grande del cilindro, dejando en la del muslo un ángulo con el que no roce en la cadera y, en la otra pieza, un saliente que cubra por delante la rodilla.

Por último, modelé una forma similar a la mitad de un corazón para colocarla al lado derecho de la pieza que formaba la cadera para que, cuando duplicara esa forma con simetría quedara una apariencia similar a la de la pelvis humana.

Una vez realizadas las piezas, modifiqué sustancialmente la escala de la pierna y la del brazo para que estuvieran bien proporcionadas en conjunto y, con el modelado de todas las partes acabado, seleccioné las extremidades y el añadido de la cadera y les apliqué la herramienta de simetría, para que quedaran exactamente igual pero invertidas en el lado izquierdo del modelo.

Para finalizar, utilicé la opción de biselado para crear unos bordes menos duros para las partes modeladas por mí, y terminé aplicando la herramienta *smooth*, que suaviza y redondea todo el objeto al que se aplica.

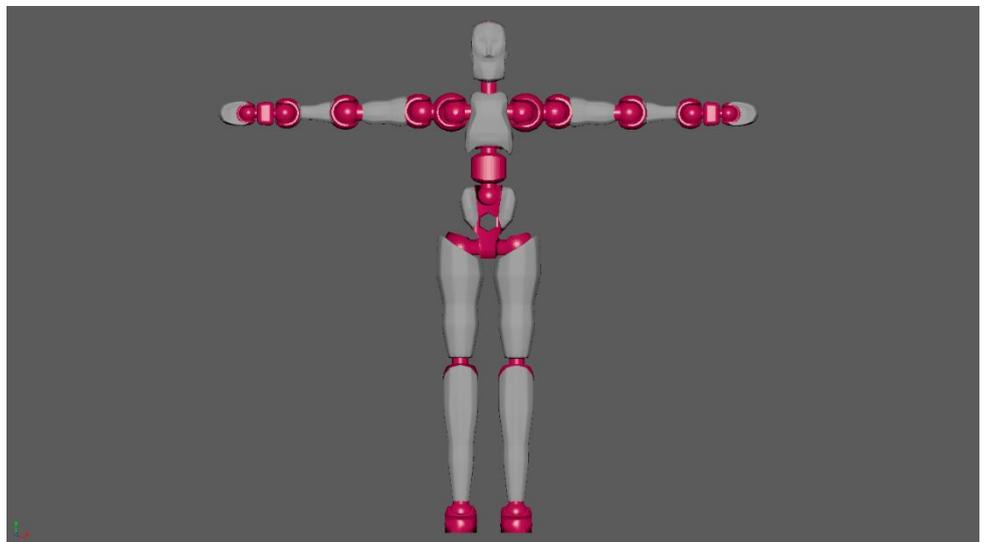


Figura 30: Modelado del esqueleto finalizado y simetría aplicada para crear las piezas de ambos lados.

## 5.2. IMPRESIÓN DEL ESQUELETO

En este apartado explicaré el proceso de preparación de un modelo para su impresión, la impresión, con los problemas y modificaciones que fueron surgiendo, y, por último, los pasos de la puesta a punto de las piezas una vez impresas.

Quiero puntualizar que este apartado ha supuesto muchos más obstáculos a superar de los que había podido prever, pero, a pesar de ello, ha sido de las partes del proyecto que más he disfrutado por lo mucho que he aprendido y por toda la experimentación que he realizado tanto durante la impresión como durante el acabado y montaje de las piezas.

### 5.2.1. Adaptación del modelado

El primer paso para poder comenzar la impresión era exportar cada pieza por separado en formato STL<sup>8</sup>, pero, por alguna razón que me ha sido imposible averiguar, cuando exportaba en este formato no se guardaba nada, se generaba un archivo vacío que ninguno de mis otros programas era capaz de leer. Por tanto, después de horas de buscar posibles causas o soluciones sin éxito, opté por exportar las piezas en formato OBJ<sup>9</sup>, pues en este sí se guardaban correctamente.

Como sólo había conseguido exportar las piezas en OBJ y el programa que las prepara para imprimir sólo reconoce archivos STL, se me ocurrió importar los archivos OBJ a otro programa de modelado al que podía acceder fácilmente, Blender, ya que es gratuito y tiene una instalación rápida y sencilla, para luego exportarlos desde ahí ya en el formato deseado. Por suerte mi idea funcionó, así que después del proceso de guardar las piezas una por una en formato OBJ desde Maya, importar cada archivo a Blender y volver a exportarlo pero esta vez en STL, ya tenía las piezas listas para pasar por Ultimaker Cura, el programa que utilicé para ajustar los parámetros de la impresión.

Importé a Ultimaker Cura las piezas agrupándolas por partes del cuerpo. Esta decisión fue tomada porque no era posible imprimirlas todas a la vez, tanto por la cantidad de horas seguidas que tendría que estar pendiente de la impresora, como por el tamaño de la cama de impresión de esta. Por tanto, cree un archivo para la cabeza, otro para la cintura, el torso y la cadera y, para

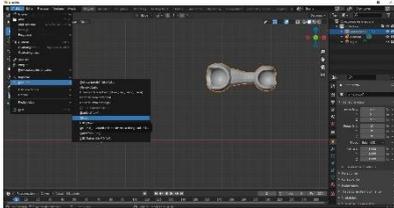


Figura 31: Captura del programa Blender durante el proceso de exportar una pieza en formato STL.

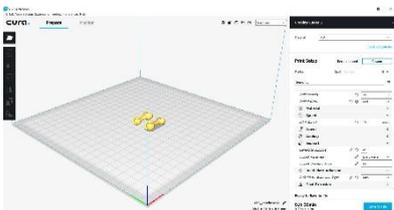


Figura 32: Antebrazos izquierdo y derecho agrupados en Ultimaker Cura y preparados para guardarlos y llevarlos a la impresora.

<sup>8</sup> El formato STL, del inglés StereoLithography, es uno de los formatos más utilizados en el mundo del modelado digital.

<sup>9</sup> Otro formato muy popular en el mundo del modelado, ya que lo reconocen todos los programas dedicados a los modelos 3D.

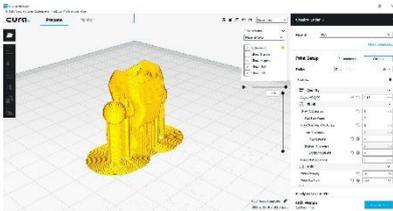


Figura 33: Torso rotado 180° en el que se puede ver como se generan diversos soportes de impresión, pero ninguno en la media esfera situada en la parte superior.

las piezas que tenían su versión y la simétrica, agrupé ambas piezas en un solo archivo, colocándolas lo suficientemente separadas para que no se produjeran fallos en la impresión y con la zona de la media esfera en la que encajan las bolas de las articulaciones hacia arriba, para evitar que se me generasen soportes de impresión<sup>10</sup> en una zona tan complicada de lijar.

Con este programa también ajustas la impresión a tu modelo concreto de impresora, en mi caso la Creality Ender 3 Pro, porque cada una tiene unas medidas diferentes para la superficie de impresión y unos posibilidades distintas, ya que debes elegir varios parámetros como la velocidad de impresión, la temperatura de la cama de impresión, que por ejemplo otras impresoras no tienen opción de calentar esta superficie, la anchura del filamento que se va a generar en la cama de impresión alrededor del modelo para asegurar su fijación o la densidad del relleno en el interior de las piezas y de los soportes de impresión generados.

Una vez los parámetros estuvieron ajustados y las piezas colocadas en la posición deseada dentro de la simulación de la impresora que genera Ultimaker Cura, procedí a guardar el archivo de cada grupo de piezas en formato GCODE, que es el que leen las impresoras 3D. Introduje estos archivos en la tarjeta microSD de la impresora y dio comienzo el proceso de impresión.

### 5.2.2. Impresión

Encendí la impresora, cargué el filamento de color gris, para que se apreciaran mejor los detalles que si lo hubiese fabricado en negro o blanco, nivelé la cama de impresión para asegurarme que se imprimiría con un grosor adecuado y uniforme, y cargué uno de los modelos desde la tarjeta microSD. Cuando tanto la cama como el extrusor estuvieron lo bastante calientes, 60°C y 200°C respectivamente, comenzó automáticamente la impresión.

Fabriqué algunas piezas antes de darme cuenta de que la escala escogida se quedaba pequeña, ya que las medias esferas huecas de las articulaciones no cedían absolutamente nada y era casi imposible encajar unas piezas que tenían tan poca superficie que se partían por la fuerza ejercida.

Para solucionarlo, cargué los archivos STL directamente en Blender, todos juntos para asegurarme de escalarlos por igual, los hice un 25% más grandes de lo que eran, los volví a exportar por separado y repetí el proceso de creación de los archivos GCODE para la impresora. Con este tamaño iba a

<sup>10</sup> Los soportes de impresión son superficies generadas automáticamente por el programa Ultimaker Cura para llegar a imprimir superficies que tengan un ángulo que de otra manera no permitiría que fueran impresas, ya que quedarían en el aire.

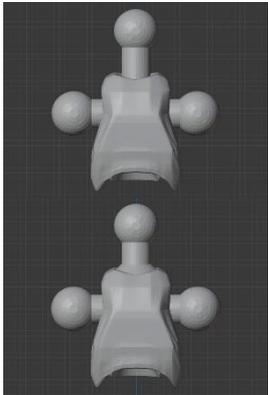


Figura 34: Comparación de las piezas del torso. Arriba sin modificar, abajo con un añadido para fortalecer el cuello.

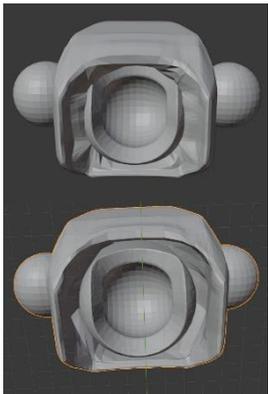


Figura 35: Comparación de las piezas del torso. Arriba sin modificar, abajo con más espacio entre la pieza de la articulación y el resto del torso.

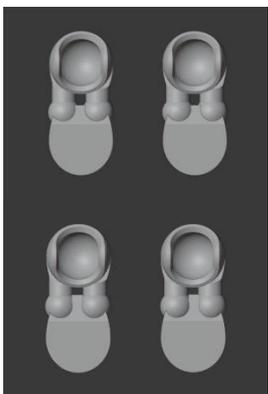


Figura 36: Comparación de las piezas del pie. Arriba sin modificar, abajo con la unión central alargada.

tardar considerablemente más en imprimir todas las piezas, pero si así quedaba mejor, era necesario.

Efectivamente, al tener mayor tamaño todo tenía más detalle, mejor aspecto, las articulaciones cedían un poco más e iba a ser mucho más sencillo animar con el personaje.

Al siguiente problema que me enfrenté fue que, a pesar de que el montaje de las articulaciones se había vuelto más sencillo, seguía siendo un quebradero de cabeza, puesto que el filamento PLA no tiene ninguna flexibilidad, y, en piezas con paredes tan finas como en las que había que encajar las bolas, tampoco tenía ninguna resistencia, por lo que al encajar por ejemplo la pierna en el talón, los laterales del talón se partían y salían despedidos. Para arreglar este problema, decidí que, como explicaré en el siguiente apartado, lo solucionaría lijando las bolas a encajar.

Pero los problemas no acabaron ahí, la sujeción situada debajo de las costillas tenía las paredes de estas demasiado pegadas para poder ceder un mínimo, el cuello se partía en la unión con el torso porque era demasiado fino en ese punto, y a los pies les hacía falta alargar la pieza que unía la punta con el talón. Así que volví al ordenador, abrí Maya y volví momentáneamente a la fase de modelado. Una vez realizadas las modificaciones, exporté y preparé esta versión mejorada de las piezas y las imprimí satisfactoriamente.

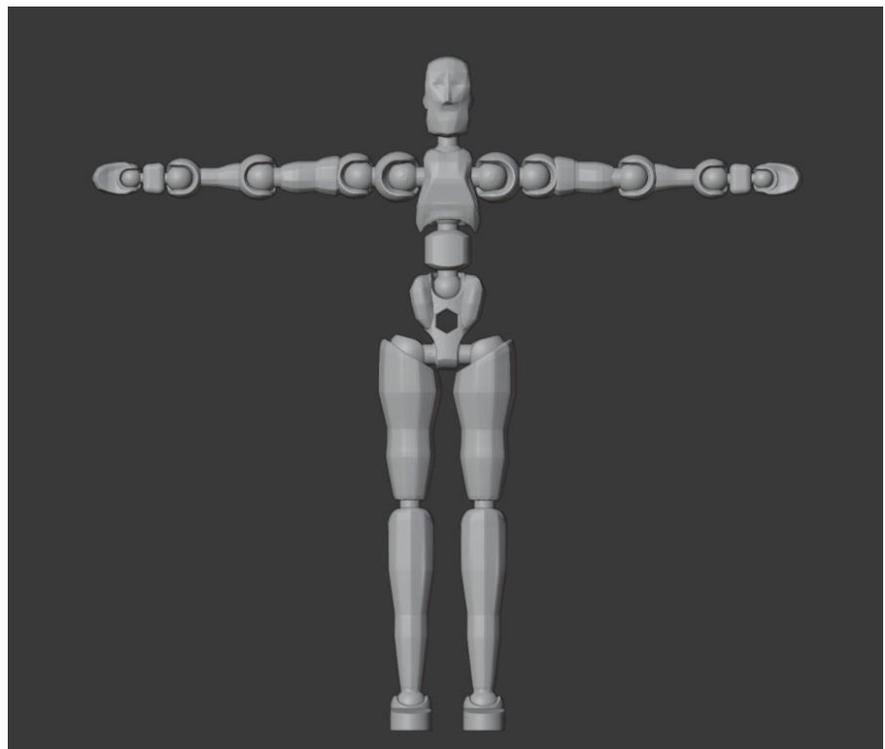


Figura 37: Captura de pantalla desde el programa Blender en el que se ve el modelo definitivo, con todas las modificaciones aplicadas.

### 5.2.3. Puesta a punto de las piezas impresas

Tal y como he mencionado en el punto anterior, tuve que lijar uniformemente las bolas que suponían una parte de la articulación para que entraran sin apenas esfuerzo en la otra parte y que así no se partiera. Para ello, utilicé una pequeña amoladora, estas máquinas con cabezales intercambiables que muchos conocemos por el nombre de la marca más popular, Dremel. Empecé tratando la parte deseada de la pieza con una lija lo suficientemente fina para que no se comiera rápido el plástico, pero con el grano lo bastante grueso para que desbastara poco a poco la pieza. A continuación, cambié el cabezal de la máquina por uno con una lija aún más fina y suavicé el resultado anterior, sin reducir aún más el modelo. Por último, me aseguré de dejar una superficie uniforme trabajando con una lija manual todavía más fina.

El proceso descrito tenía la complicación de tener que realizarlo quitando capas muy finas de material, probando a encajar la pieza y repitiendo el proceso alguna vez más si era necesario, pues las bolas debían oponer poca resistencia para entrar en la articulación, pero no podían quedar demasiado holgadas para poder animar correctamente con el personaje.

Durante esta parte del trabajo también fue necesario retirar los soportes de impresión generados, mediante el uso de alicates, tenacillas y tijeras, y el pulido de las superficies a las que iban adheridos con las ya mencionadas amoladora y lija manual.

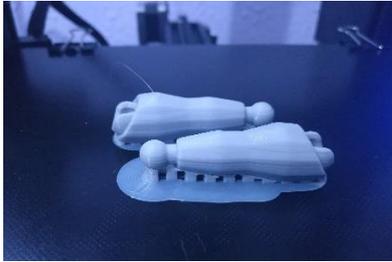


Figura 38: Fotografía de los muslos del personaje recién terminados de imprimir, con los soportes de impresión.



Figura 39: Fotografía de los muslos del personaje ya lijados y a punto.

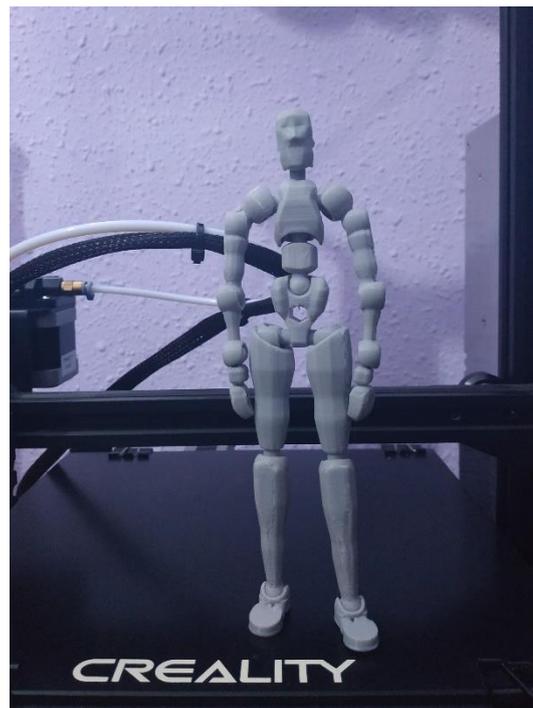


Figura 40: Personaje con todas las piezas terminadas y montadas. De pie sobre mi impresora 3D.

### 5.3. GRABACIÓN DE LA SECUENCIA EN *STOP-MOTION*

Teniendo finalmente el esqueleto impreso y montado, el siguiente paso era animar una secuencia corta con él en la que se le viera realizar algún movimiento.

Se realizó la reserva del aula IFAB, la E.O.26, ya que contaba con una zona para hacer fotografías sobre un fondo de papel continuo blanco, y también se pidió en el Laboratorio de Recursos Media<sup>11</sup> todo lo necesario para elaborar el vídeo: Un ordenador que contara con el programa Dragonframe<sup>12</sup>, focos, una cámara de fotos, un trípode y una impresora 3D desconectada para utilizarla como escenario.



Figura 41: Fotografía del set de grabación.

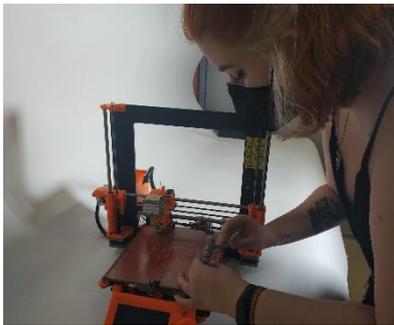


Figura 42: Fotografía de mi misma animando con el personaje.

Cuando llegó el día de grabación acudí a la universidad con todo ideado y preparado para no perder ni un minuto, aprovechar el tiempo al máximo, y, de ser posible, no tener que volver más veces para evitar el contacto con la gente todo lo que pudiera. Situé la impresora 3D que iba a hacer de escenario en el centro de la escena y coloqué a mi marioneta sentada encima. A continuación, coloqué los focos y ajusté su intensidad, encendí el ordenador, inicié el programa Dragonframe, aseguré la cámara en el trípode y la conecté al ordenador. Mediante el propio programa de animación ajusté el enfoque de la cámara y me dispuse a realizar lo que más ilusión me hacía de todo el proyecto, animar, y encima con un esqueleto creado por mí.

Tuve que reforzar algunas de las articulaciones con un poquito de plastilina del mismo color que el personaje, ya que, como mencioné anteriormente, era muy complicado lijar las piezas hasta el punto idóneo, y varias de ellas ofrecían menos resistencia de la que me hubiese gustado.

Fui creando poco a poco, foto a foto, una secuencia en la que mi esqueleto, sentado sobre la cama de impresión de una impresora 3D, se movía despreocupadamente observando su entorno, hasta que oye como una puerta se abre y vemos como el personaje gira la cabeza buscando a quien ha entrado en la sala, hasta que encuentra a la persona y hace la acción de saludar.

Por último, hice algunas fotografías del personaje posando de formas un tanto cómicas para que sirvieran de acompañamiento a los créditos finales del vídeo.

<sup>11</sup> Laboratorio de Recursos Media <https://dibujo.webs.upv.es/lrm/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

<sup>12</sup> Dragonframe es el programa para animación stop-motion más popular, incluso a nivel profesional, por la gran cantidad de opciones que ofrece.

## 6. POSTPRODUCCIÓN

En esta última parte de la descripción del proceso de trabajo, explicaré el tratamiento de las imágenes obtenidas durante la grabación de la secuencia animada hasta convertirlas en el vídeo final.

### 6.1. EDICIÓN DE IMAGEN Y VÍDEO

Para minimizar el movimiento entre fotograma y fotograma de elementos que no fueran el personaje, ya que entraba luz natural y algo de aire en el aula en la que estaba animando, realicé una foto del escenario sin nuestro protagonista antes de empezar a grabar. Así, la edición de imagen sólo era cuestión de colocar esta fotografía de referencia como base en Photoshop, ir colocando en una capa superior cada una de las fotos realizadas y borrando el fondo de estas, para así obtener exactamente la misma luz y sombra proyectada de la impresora en todos los fotogramas.

Con las fotografías preparadas, las importé al programa de edición de vídeo Premiere Pro, las coloqué ordenadamente, ajusté su escala, borré los *frames* sobrantes y modifiqué la duración de algunos fotogramas que formaban parte de acciones que consideraba que debían ocurrir a una velocidad distinta a la que habían quedado.

También añadí al principio del vídeo una escena de apertura con mi logo y nombre artístico, Lucía Marz, y, al final de la animación, la secuencia de créditos, elaborados con texto y logos blancos sobre fondo negro, acompañados de las imágenes del personaje en diferentes posturas. Las transiciones entre el cuerpo del vídeo y las secuencias añadidas están realizadas mediante los efectos de vídeo *transición de película*, que permite seguir viendo mi nombre y logo hasta casi el comienzo de la animación, y el efecto de *fundido a negro*, para pasar suavemente a los créditos finales.

Para finalizar, busqué efectos de sonido de uso libre en <https://www.zapsplat.com/> y los añadí al vídeo, creando así un ambiente de fondo similar al de un aula vacía en la que se oyen de fondo sonidos de personas y de impresoras 3D imprimiendo. También obtuve de esta forma el efecto de sonido de una puerta abriéndose que marca la acción final del protagonista de la animación.

Por último, exporté la secuencia creada en formato H264, resultando en un vídeo de 20 segundos de duración y 11,5 megabytes.

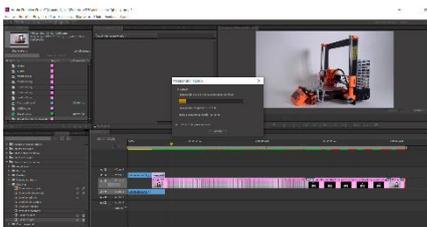


Figura 43: Captura del programa Premiere Pro durante la exportación de la secuencia creada.

## 7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El vídeo obtenido después de todo el proceso de trabajo puede verse en <https://vimeo.com/574834552>

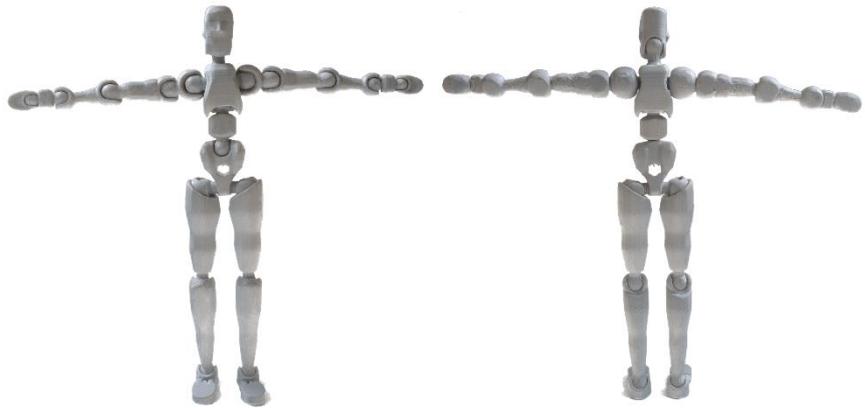


Figura 44: Fotografía del esqueleto terminado. Realizada sobre *chroma* verde y editada en After Effects.

La impresión de este esqueleto animable ha supuesto en total, teniendo en cuenta solamente la impresión de las piezas definitivas, sin pruebas ni repeticiones por piezas fallidas o rotas, 12 metros con 67 centímetros de filamento, o lo que es lo mismo, 38 gramos de este material plástico, y 18 horas de impresión, a las que habría que sumarle el tiempo empleado en recalibrar la impresora cada pocos usos o lo que tarda en calentar la cama de impresión y el extrusor antes de ponerse a imprimir.

A pesar de poder parecer unas cifras elevadas, teniendo en cuenta que pagué a 16€ por kilo el filamento, imprimir este personaje sólo ha costado 60 céntimos, si miramos únicamente el volumen de filamento utilizado y no tenemos en cuenta el coste de la electricidad o las horas de trabajo invertidas en todas las fases de creación del esqueleto.

Así que, valorando los objetivos que me había marcado, el resultado que pretendía conseguir y los problemas que han ido surgiendo, puedo decir que estoy muy satisfecha con el desenlace de este proyecto.

Si bien, hay muchas cosas que ahora haría de otra forma, no veo esto como un punto negativo, ya que me indica que he mejorado los conocimientos y habilidades con los que empecé este trabajo de fin de grado.

Y, para concluir, diría que vistos los problemas con el tipo de filamento y su flexibilidad, no consideraría este un método con el que se puedan conseguir los acabados casi profesionales que yo buscaba obtener. Por lo tanto, no descarto seguir con este proyecto, más allá de la finalización del trabajo de fin de grado, para encontrar tipos de filamento, ya sean PLA o de otro tipo, sin incluir impresoras de resina, que puedan conseguir el grado de flexibilidad y resistencia necesarios para crear un esqueleto animable aún más satisfactoriamente.

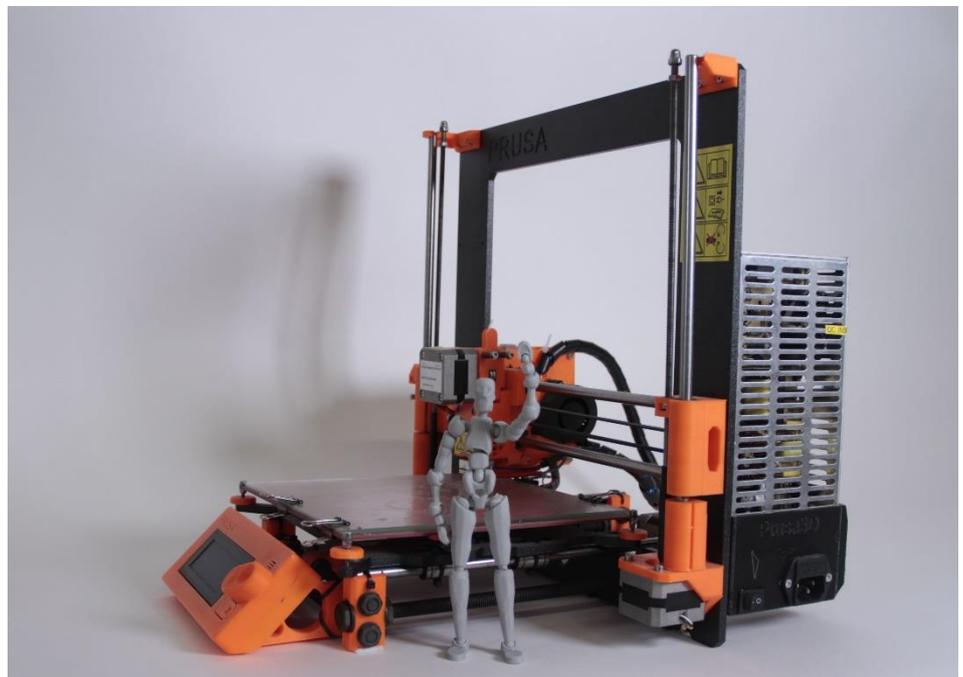


Figura 45: Fotografía de mi esqueleto animable saludando en el set de grabación.

## 9. REFERENCIAS

### BIBLIOGRAFÍA

BRIERTON, TOM. (2002). *Stop-motion armature machining. A construction manual*. Mcfarland publishers.

ENCINAS SALAMANCA, ADRIÁN (2017). *Animando lo imposible. Los orígenes de la animación stop-motion (1899-1945)*. Diábolo ediciones S.L.

GOLDBERG, ERIC (2008). *Character Animation Crash Course*. Silman-James Press.

HALAS, JOHN. (1981). *Timing for Animation*. Focal Press.

KELLY, SHAWN (2010). *Animation Tips & Tricks*. Animation Mentor.

MADRID VICENTE, ANTONIO. (2016). *Tecnología de la impresión 3D*. Editorial Cegal.

PRIEBE, KEN. (2010). *The advanced art of stop-motion animation*. Editorial Cegal.

SELBY, ANDREW. (2009). *Animación, nuevos proyectos y procesos creativos*. Editorial Parramón.

SHAW, SUSANNAH. (2004). *Stop Motion: Craft Skills for Model Animation*. Focal Press.

TEZUKA, O. (2003). *Tezuka. Escuela de animación 1. Nivel básico*. NORMA Editorial.

TEZUKA, O. (2003). *Tezuka. Escuela de animación 2. Animales en movimiento*. NORMA Editorial.

VON KOENIGSMARCK, ARNDT. (2008). *Creación y modelado de personajes 3D*. Anaya multimedia.

WILLIAMS, R. (2001). *Animator's Survival Kit*. Faber and Faber.

WILLIAMS, RICHARD. (2019). *Dibujos animados, animación 3D y videojuegos*. Anaya Multimedia.

## ARTÍCULOS

GAI, MENG y WANG, GUOPING. (2016). Artistic Low Poly rendering for images. *The Visual Computer*, vol. 32, no. 4, pp. 491-500. ISSN 0178-2789. DOI 10.1007/s00371-015-1082-2.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s00371-015-1082-2> [Disponible a 20 de julio de 2021]

MASELLI, VINCENZO. (2018). The Evolution of Stop-motion Animation Technique Through 120 Years of Technological Innovations. *International Journal of Literature and Arts*. 6. DOI 10.11648/j.ijla.20180603.12.

[https://www.researchgate.net/publication/330318221\\_The\\_Evolution\\_of\\_Stop-motion\\_Animation\\_Technique\\_Through\\_120\\_Years\\_of\\_Technological\\_Innovations](https://www.researchgate.net/publication/330318221_The_Evolution_of_Stop-motion_Animation_Technique_Through_120_Years_of_Technological_Innovations) [Disponible a 20 de julio de 2021]

SCHNEIDER, T. (2015). A comprehensive history of low-poly art, Pt. 1. En Kill Screen. <https://killscreen.com/previously/articles/poly-generational/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

SCHNEIDER, T. (2015). A comprehensive history of low-poly art, Pt. 2. En Kill Screen. <https://killscreen.com/previously/articles/poly-generational-2/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

SCHNEIDER, T. (2015). A Comprehensive History of Low-Poly Art, Pt. 3. En Kill Screen. <https://killscreen.com/previously/articles/low-poly-3/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

## TRABAJOS DE FIN DE GRADO

MARCO CABALLERO, ANDREA. (2020). Modelado 3D de personajes y elementos escenográficos para un videojuego de crítica social con mecánicas del género supervivencia. [TFG] Universidad Politécnica de Valencia.

VELÁZQUEZ PASTOR, JAVIER. (2020). Pequeños genios. [TFG] Universidad Politécnica de Valencia.

## VÍDEOS

HERNÁNDEZ LORENZO, MARÍA CARMEN. (2019). *La animación por reemplazo*. <https://vimeo.com/353149093> [Disponible a 20 de julio de 2021]

HERNÁNDEZ LORENZO, MARÍA CARMEN. (2019). *Ladislaw Starewicz, domador de marionetas*. <https://vimeo.com/345316398> [Disponible a 20 de julio de 2021]

HERNÁNDEZ LORENZO, MARÍA CARMEN. (2019). *Lotte Reiniger, maestra de las sombras*. <https://vimeo.com/341242700> [Disponible a 20 de julio de 2021]

HERNÁNDEZ LORENZO, MARÍA CARMEN. (fecha). *Maestros de los efectos visuales*. <https://vimeo.com/359403222> [Disponible a 20 de julio de 2021]

HERNÁNDEZ LORENZO, MARÍA CARMEN. (2019). *Segundo de Chomón. Trucajes de cine*. <https://vimeo.com/353207797> [Disponible a 20 de julio de 2021]

JUST A TINY AMOUNT. (2018). The 3 main types of armature. <https://www.youtube.com/watch?v=H6b3lRadcwE> [Disponible a 20 de julio de 2021]

## WEBGRAFÍA

3D WIRE. <https://3dwire.es/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

ARTE Y ANIMACIÓN. <http://www.arteyanimacion.es/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

CON A DE ANIMACIÓN. <https://conadeanimacion.upv.es/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

STOP MOTION ANIMATION. <https://stopmotionanimation.com/page/armatures-ball-socket-or-wire> [Disponible a 20 de julio de 2021]

STRATASYS. <https://www.stratasys.com/explore/case-study/laika> [Disponible a 20 de julio de 2021]

THINGIVERSE. <https://www.thingiverse.com/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

## OTROS

ZARAMELLA, JUAN PABLO. (2019). Workshop. Stop-motion y síntesis: menos es más. Universidad Politécnica de Valencia. Facultad de Bellas artes.

## 10. ÍNDICE DE FIGURAS

### IMÁGENES APROPIADAS

Figura 1: Fotograma del *Puppet workshop* del animador conocido como Animation Ben (2020). Procedencia de la imagen: [https://www.patreon.com/Animation\\_Ben](https://www.patreon.com/Animation_Ben) [Disponible a 20 de julio de 2021, sólo pagando suscripción]

Figura 2: Anibild One Basic Armature. Precio 23,38€ Procedencia de la imagen: <https://www.animationtoolkit.co.uk/anibild-one-basic-armature/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 3: Anibild Two Intermediate Armature. Precio 76,02€ Procedencia de la imagen: <https://www.animationtoolkit.co.uk/anibild-two-intermediate-armature/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 4: Anibild Three Professional Armature. Precio 116,97€ Procedencia de la imagen: <https://www.animationtoolkit.co.uk/anibild-three-professional-armature/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 5: Marioneta StickyBones. Precio 84,72€ Procedencia de la imagen: <https://www.stickybones.com/collections/featured-products/products/stickybones-the-insanely-poseable-magnetic-human-figure> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 6: Esqueleto elaborado a partir de alambre trenzado. Procedencia de la imagen: <http://stopmocionate.blogspot.com/2012/11/esqueleto-articulado.html> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 7: Esqueleto elaborado a partir de alambre trenzado y Fimo. Procedencia de la imagen: <https://kineticarmatures.com/product/wire/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 8: Esqueleto *ball and socket*. Procedencia de la imagen: <https://kineticarmatures.com/product/k3/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 9: Marioneta StickyBones. Procedencia de la imagen: <https://www.stickybones.com/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 10: Máscaras de expresiones faciales intercambiadas realizadas para la película *Paranorman* del estudio Laika. Procedencia de la imagen: <https://www.solidsmack.com/fabrication/3d-printed-stop-motion-animation-in-new-film-paranorman/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 11: Merrick Cheney con la marioneta original de Jack Skellington. Procedencia de la imagen: <https://www.instagram.com/p/COV8ONknosR/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 12: Fotografía de una de las artistas de Laika, Victoria Rose, en la que aparece un esqueleto con piezas impresas, obra de Merrick Cheney. Procedencia de la imagen: <https://www.instagram.com/p/CGq413BnbJN/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 13: Fotograma del cortometraje *Bears on Stairs* (DBLG, 2014). Procedencia de la imagen: <https://www.thisiscolossal.com/2014/04/bears-on-stairs-dblg/> [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 14: Maniqués *Body-Chan* y *Body-Kun*. Procedencia de la imagen: [https://bodykun.store/?gclid=Cj0KCQjwxdSHBhCdARIsAG6zhIWZ-RfjvMTeQnDcWm1\\_KmDI5vRSOeqX4-ASOILjPkQ098UJCv6l2agaAjt1EALw\\_wcB](https://bodykun.store/?gclid=Cj0KCQjwxdSHBhCdARIsAG6zhIWZ-RfjvMTeQnDcWm1_KmDI5vRSOeqX4-ASOILjPkQ098UJCv6l2agaAjt1EALw_wcB) [Disponible a 20 de julio de 2021]

Figura 15: Fotografía del Modibot. Procedencia de la imagen: <https://modibot.com/products/mo-5-diy-figure-kit> [Disponible a 20 de julio de 2021]

## IMÁGENES PROPIAS

Figura 16: Boceto de la apariencia del esqueleto.

Figura 17: Estudio simplificado del StickyBones.

Figura 18: Boceto de las piezas a modelar por encima del Modibot.

Figura 19: Modibot modificado en T-Pose con espaciado entre las piezas.

Figura 20: Modibot con las extremidades izquierdas eliminadas y sin espaciado entre las piezas.

Figura 21: Modelado del torso.

Figura 22: Modelado de la cara.

Figura 23: Modelado de la cara adherido a la cabeza, con las orejas ya realizadas.

Figura 24: Proceso de la elaboración de la mano. Vemos la palma ya finalizada, los dedos comenzando a ser modelados y algunas piezas sobrantes.

Figura 25: Palma de la mano y dedos ya modelados.

Figura 26: Fotografía en la que se aprecian todas las piezas realizadas hasta el momento, modificación del torso incluida.

Figura 27: Modelado del brazo y el antebrazo.

Figura 28: Modelado del muslo y la pierna.

Figura 29: Modelado de la pelvis.

Figura 30: Modelado del esqueleto finalizado y simetría aplicada para crear las piezas de ambos lados.

Figura 31: Captura del programa Blender durante el proceso de exportar una pieza en formato STL.

Figura 32: Antebrazos izquierdo y derecho agrupados en Ultimaker Cura y preparados para guardarlos y llevarlos a la impresora.

Figura 33: Torso rotado 180° en el que se puede ver como se generan diversos soportes de impresión, pero ninguno en la media esfera situada en la parte superior.

Figura 34: Comparación de las piezas del torso. Arriba sin modificar, abajo con un añadido para fortalecer el cuello.

Figura 35: Comparación de las piezas del torso. Arriba sin modificar, abajo con más espacio entre la pieza de la articulación y el resto del torso.

Figura 36: Comparación de las piezas del pie. Arriba sin modificar, abajo con la unión central alargada.

Figura 37: Captura de pantalla desde el programa Blender en el que se ve el modelo definitivo, con todas las modificaciones aplicadas.

Figura 38: Fotografía de los muslos del personaje recién terminados de imprimir, son los soportes de impresión.

Figura 39: Fotografía de los muslos del personaje ya lijados y a punto.

Figura 40: Personaje con todas las piezas terminadas y montadas. De pie sobre mi impresora 3D.

Figura 41: Fotografía del set de grabación.

Figura 42: Fotografía de mi misma animando con el personaje.

Figura 43: Captura del programa Premiere Pro durante la exportación de la secuencia creada.

Figura 44: Fotografía del esqueleto terminado. Realizada sobre *chroma* verde y editada en After Effects.

Figura 45: Fotografía de mi esqueleto animable saludando en el set de grabación.

## 11. ANEXOS

Anexo I: PDF con las imágenes tomadas durante el proyecto.

Anexo II: Archivo STL con el modelo.

Anexo III: Vídeo del modelo rotando.

Anexo IV: Cortometraje previo a la edición de imagen y vídeo.

Anexo V: Cortometraje acabado. Este anexo también puede visualizarse en <https://vimeo.com/574834552> [Disponible a 20 de julio de 2021]