

TFM LA ESCULTURA DIGITAL EN EL SECTOR DEL JUGUETE. UN ESTUDIO COMPARATIVO.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería del Diseño 2018-2019

Autora:

Marta Rojas Gutiérrez-Ravé

Director:

Jorge Alcaide Marzal



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

RESUMEN

El sector del juguete vuelve a estar en contacto con sus inicios, ya que se han conseguido introducir avances tecnológicos que se asemejan mucho al oficio artesanal de origen, la escultura digital. La innovación tanto en el ámbito del diseño de modelos 3D como en el de la fabricación, permite desarrollar productos de geometría cada vez más orgánica y de mayor calidad. Con el uso de programas tipo CAD en consonancia del modelado poligonal o de la escultura digital, surge una combinación con un potencial que poco a poco se está empezando a establecer. En este trabajo se aborda un estudio comparativo entre dichos programas por medio del modelado de juguetes de diferentes geometrías para cada uno de ellos. Como resultado se muestra qué escenarios son más adecuados para la escultura digital y bajo qué parámetros es beneficioso usarla.

Palabras clave: escultura digital, modelado 3D, juguete, diseño industrial.

ABSTRACT

The toy sector is introducing technological advances that closely resemble the craftwork of its origin, thanks to digital sculpting. Innovation, both in the field of 3D model design and manufacturing, allows the digital development of products with increasingly organic geometry and higher quality. The combined use of CAD software together with polygonal modelling one or digital sculpting provides a potential that little by little is beginning to be exploited. In this work a comparative study between these types of software is approached through the modelling of toys of different geometry. The objective is to determine the suitability of each type of work based on the characteristics of the product and to establish action guidelines in each case.

Keywords: digital sculpting, 3D modeling, toy, industrial design.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	6
2.	ESTADO DEL ARTE	7
2.1.	SOFTWARE	7
2.1.1.	TIPOS DE SOFTWARE Y SU USO MÁS FRECUENTE.....	7
2.1.2.	LA ESCULTURA DIGITAL Y LA DEFORMACIÓN LIBRE.....	8
2.1.3.	CONCEPTOS CLAVE EN EL ESTUDIO.....	9
2.1.4.	REFERENTES EN EL MERCADO: COMPARACIÓN DE PRESTACIONES.....	11
2.2.	SECTOR DEL JUGUETE Y LA ESCULTURA DIGITAL	13
2.2.1.	ANTECEDENTES.....	13
2.2.2.	REFERENTES EN EL SECTOR DEL JUGUETE.....	15
2.2.3.	ACTUALIDAD EN EL SECTOR DEL JUGUETE.....	19
2.2.4.	CONEXIÓN CON OTROS SECTORES.....	21
3.	OBJETIVOS	23
4.	METODOLOGÍA.....	24
5.	DESARROLLO Y RESULTADOS	25
5.1.	BLOQUE I – SOFTWARE	26
5.1.1.	SOLIDWORKS	27
5.1.2.	3DS MAX	32
5.1.3.	ZBRUSH	37
5.2.	BLOQUE II – MODELOS	42
5.2.1.	GEOMÉTRICO PURO: LEGO MINIFIGURE.....	43
5.2.2.	GEOMÉTRICO MIXTO: WALL-E	47
5.2.3.	ORGÁNICO MIXTO: PINYPON	51
5.2.4.	ORGÁNICO PURO: SHELLY	55
5.3.	FIDELIDAD DEL MODELO: ENCUESTA VISUAL.....	59
6.	DISCUSIÓN.....	62
7.	CONCLUSIONES	64
8.	REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Lego Creator Volkswagen 10252.	15
Figura 2: Barbie Made to Move.....	16
Figura 3: Transformers.	17
Figura 4: Littlest Pet Shop.....	17
Figura 5: Pinypon Ciudad de las Mascotas.	18
Figura 6: Tipologías de modelado 3D.	25
Figura 7: Tipos de geometrías en los juguetes seleccionados.....	25
Figura 8: Capturas de pantalla en SolidWorks.	27
Figura 9: Modelos 3D generados en SolidWorks. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.....	27
Figura 10: Capturas de pantalla en 3ds Max.	32
Figura 11: Modelos 3D generados en 3ds Max. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.	32
Figura 12: Capturas de pantalla en ZBrush.....	37
Figura 13: Modelos 3D generados en ZBrush. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.	37
Figura 14: Foto de los modelos seleccionados para el estudio. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.	42
Figura 15: Modelos 3D de Lego Minifigure.	43
Figura 16: Comparativa del número de polígonos en la malla para Lego Minifigure. ...	46
Figura 17: Modelos 3D de Wall-e.	47
Figura 18: Comparativa del número de polígonos en la malla para Wall-e.....	50
Figura 19: Modelos 3D de Pinypon.	51
Figura 20: Comparativa del número de polígonos en la malla para Pinypon.	54
Figura 21: Modelos 3D de Shelly.	55
Figura 22: Comparativa del número de polígonos en la malla para Shelly.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativa de herramientas en programas 3D.	12
Tabla 2: Número de operaciones en SolidWorks.	28
Tabla 3: Tiempo de modelado en SolidWorks. Unidades en minutos.	29
Tabla 4: Control de dimensiones en SolidWorks. Nota sobre 10.....	30
Tabla 5: Corrección de errores en SolidWorks. Nota sobre 10.	31
Tabla 6: Número de operaciones en 3ds Max.....	33
Tabla 7: Tiempo de modelado en 3ds Max. Unidades en minutos.	34
Tabla 8: Control de dimensiones en 3ds Max. Nota sobre 10.	35
Tabla 9: Corrección errores en 3ds Max. Nota sobre 10.....	36
Tabla 10: Número de operaciones en ZBrush.	38
Tabla 11: Tiempo de modelado en ZBrush. Unidades en minutos.	39
Tabla 12: Control de dimensiones en ZBrush. Nota sobre 10.	40
Tabla 13: Corrección de errores en ZBrush. Nota sobre 10.	41

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Número de operaciones en SolidWorks.	28
Gráfica 2: Tiempo de modelado en SolidWorks. Unidades en minutos.	29
Gráfica 3: Número de operaciones en 3ds Max.	33
Gráfica 4: Número de operaciones en 3ds Max. Unidades en minutos.....	34
Gráfica 5: Número de operaciones en ZBrush.	38
Gráfica 6: Tiempo de modelado en ZBrush. Unidades en minutos.....	39
Gráfica 7: Tiempo de modelado para Lego Minifigure.....	44
Gráfica 8: Control de dimensiones para Lego Minifigure.....	44
Gráfica 9: Corrección de errores para Lego Minifigure.	44
Gráfica 10: Comparativa del número de polígonos en la malla para Lego Minifigure. .	45
Gráfica 11: Tiempo de modelado para Wall-e.	48
Gráfica 12: Control de dimensiones para Wall-e.	48
Gráfica 13: Corrección de errores para Wall-e.....	48
Gráfica 14: Comparativa del número de polígonos en la malla para Wall-e.	49
Gráfica 15: Tiempo de modelado para Pinypon.....	52
Gráfica 16: Control de dimensiones para Pinypon.....	52
Gráfica 17: Corrección de errores para Pinypon.	52
Gráfica 18: Comparativa del número de polígonos en la malla para Pinypon.....	53
Gráfica 19: Tiempo de modelado para Shelly.	56
Gráfica 20: Control de dimensiones para Shelly.	56
Gráfica 21: Corrección de errores para Shelly.....	56
Gráfica 22: Comparativa del número de polígonos en la malla para Shelly.	57
Gráfica 23: Edad de los encuestados.....	59
Gráfica 24: Género de los encuestados.....	59
Gráfica 25: Software que mejor representa al modelo Lego Minifigure.	60
Gráfica 26: Motivos para la elección de SolidWorks.	60
Gráfica 27: Motivos para la elección de ZBrush.	60
Gráfica 28: Software que mejor representa al modelo Wall-e.	60
Gráfica 29: Motivos para la elección de ZBrush.	61
Gráfica 30: Software que mejor representa al modelo Pinypon.	61
Gráfica 32: Motivos para la elección de ZBrush.	61
Gráfica 31: Software que mejor representa al modelo Shelly.	61

1. INTRODUCCIÓN

El sector del juguete está cada día más involucrado en el cambio que ha supuesto desarrollar nuevas tecnologías tanto en el ámbito del modelado 3D como en el prototipado o los procesos de fabricación actuales. De esta forma, las empresas jugueteras vuelven a estar en contacto con sus inicios ya que se ha conseguido introducir cambios que se asemejan mucho al oficio artesanal de origen.

La escultura digital, es el método que tiene mayor conexión con los procesos tradicionales que se han estado utilizando durante años en este sector. Se trata de un tipo de modelado 3D que utiliza herramientas o pinceles que simulan añadir o quitar material, de ahí a que aparezcan nuevos términos como “arcilla digital”.

Volver a redescubrir un sistema que aporte la calidad de detalles que se perdió por el camino o simplemente abrir de nuevo una ventana a la creatividad, ha hecho posible que ahora se obtengan tan buenos resultados.

A su vez, se están creando entornos más versátiles y multidisciplinarios ya que, con el uso de programas tipo CAD en consonancia de otros de modelado poligonal o escultura digital, surge una combinación con mucho potencial que poco a poco se está empezando a establecer.

Así pues, en esta tesina se pretende conocer los beneficios que aporta la escultura digital y hasta qué punto es adecuado su uso en el diseño de juguetes en comparación con otros programas que ya están presentes en el sector.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. SOFTWARE

Los programas de modelado 3D son herramientas que permiten la representación de objetos en un espacio tridimensional. En el mercado hay una amplia gama de programas que satisfacen las necesidades que se precisen en cada proyecto. Por lo que, en función de la finalidad de este y el sector en el que se esté desarrollando, se cuenta con plataformas que generan modelos bajo características y metodologías muy diferentes.

Para este estudio se valorarán los conceptos y las diferencias que existen entre los programas tipo CAD (Diseño Asistido por Ordenador) y los de modelado poligonal.

2.1.1. TIPOS DE SOFTWARE Y SU USO MÁS FRECUENTE

CAD (DISEÑO ASISTIDO POR ORDENADOR)

Los programas informáticos tipo CAD están extendidos principalmente en el sector industrial, arquitectura y cualquier otro que busque precisión en la generación de modelos 3D. Es decir, el trabajo que se lleva a cabo se caracteriza por satisfacer las exigencias que precisa cualquier proceso productivo. Por lo tanto, la generación de los modelos se basa en complejos cálculos matemáticos utilizando parámetros y otras estrategias que permiten definir el objeto fielmente.

El flujo de trabajo que tienen es similar, aunque, dependiendo de la morfología y/o complejidad del modelo, se recomienda escoger una metodología de trabajo que se ajuste a la geometría que se desee conseguir. Esto ha dado lugar a la existencia de multitud de programas, cada uno de ellos especializados en uno o más tipos de generación de geometría: el modelado de sólidos, superficies o el uso de NURBS entre otros.

Como el fin es producir industrialmente, algunos programas tienen conexión directa con módulos tipo CAM (Fabricación Asistida por Ordenador), CAE (Ingeniería Asistida por Ordenador) y otras aplicaciones relacionadas con el sector de la producción.

Además, cuentan con herramientas de diseño 2D que permiten representar los modelos, acotarlos y detallar todas las características que sean necesarias para después incluirlas en un plano técnico.

MODELADO POLIGONAL

En otros sectores como en el de la animación o el de los videojuegos no es necesario tener en cuenta los parámetros que definen matemáticamente la geometría de los modelos 3D. El fin no es representar objetos que puedan ser fruto de la realidad si no justamente lo contrario. Son programas que se caracterizan por su flexibilidad a la hora de generar formas complejas que, si se hicieran de otra forma, resultaría ser una tarea difícil de llevar a cabo.

Así pues, el fin es obtener modelos para poder ser animados o bien imágenes o representaciones 2D a partir de estos objetos 3D. Además de modelar incluyen rigging, animación o el renderizado entre otras funciones.

Por norma general estos programas utilizan mallas poligonales, lo cual permite generar formas complejas en poco tiempo y de manera sencilla. Esto se debe a que el flujo de trabajo es más libre; con menos restricciones que en un entorno que se rige por parámetros. No obstante, algunos han incorporado también la capacidad de generar superficies complejas a partir de NURBS, las cuales se definen por curvas descritas por funciones matemáticas. Esto les otorga esa flexibilidad que los define y cierta compatibilidad con otros programas de tipo CAD.

En los últimos años se han desarrollado otras herramientas que permiten deformar mallas poligonales de una manera mucho más intuitiva, es la escultura digital. En estos programas se pueden obtener modelos de alta densidad poligonal en los cuales la calidad de los detalles que se representa es notable. Por lo tanto, es una opción considerable en el modelado de objetos orgánicos. El proceso consiste en esculpir mediante el uso de herramientas o pinceles que simulan añadir o quitar material como si se tratara de arcilla, de ahí a que aparezcan términos tales como “arcilla digital” o “escultura digital”.

2.1.2. LA ESCULTURA DIGITAL Y LA DEFORMACIÓN LIBRE

Hoy en día, la escultura digital no solo es utilizada en el sector de la animación o videojuegos, sino que también se está abriendo hueco en otros sectores que tradicionalmente se han visto involucrados en un proceso meramente artesanal pero que, con la producción industrial, se han visto obligados a optimizar su metodología de trabajo.

Es el caso del sector de la joyería o el de implantes dentales. En ellos se ha trabajado tradicionalmente con arcilla para la elaboración de los modelos y moldes que posteriormente utilizan para producir sus diseños. Es esa la razón por la que la escultura digital ha tenido tan buena acogida ya que el tratamiento combina la flexibilidad de la arcilla y la optimización del proceso técnico.

Además, los diseñadores industriales están tomando esta herramienta como medio para poder crear diferentes alternativas en el proceso de diseño conceptual. Esto es así porque modelar y alterar formas generarles es muy dinámico; lo que se asemeja a bosquejar sobre un papel.

No obstante, la idea de poder diseñar de forma rápida y sencilla o simplemente generar formas orgánicas sin la necesidad de una compleja función matemática, ha sido una solución muy atractiva para los programas tipo CAD. Es por esto que, poco a poco, se están adentrando en el concepto de “deformación libre”, con el fin de poder ser más flexibles en la generación de estos modelos. Esto supone un gran avance y una ventaja para sectores como el del juguete ya que, generar geometrías únicamente a partir de superficies parametrizadas, coarta la creatividad a la hora de diseñar.

Esta deformación libre es también llamada forma libre o FreeForm por otros programas. Se trata de una malla con un número concreto de puntos de ancla que se pueden modificar con bastante soltura, dando así la capacidad de deformarla sin apenas restricciones. De una manera muy intuitiva se puede obtener como resultado objetos con formas muy sinuosas.

Aunque los conceptos de escultura digital y deformación libre aparentemente puedan resultar equivalentes, no es así. Aquí entra en valor la diferenciación entre ciertos conceptos que se desarrollarán en el siguiente punto.

2.1.3. CONCEPTOS CLAVE EN EL ESTUDIO

Para llevar a cabo esta tesis y poder comparar las prestaciones que tienen los softwares que serán objeto de estudio posteriormente, se deben tener en cuenta los siguientes conceptos:

- **Modelado de sólidos:**

Un sólido es aquella geometría cuyas caras están delimitadas. Éstos están compuestos por superficies cerradas que encierran un volumen, un espacio acotado.

En función del sector en el que se esté trabajando, este concepto puede adquirir diferentes significados. En este caso se hará uso de la definición que es utilizada en el sector industrial.

En un entorno CAD, a estos objetos se le puede aplicar propiedades como material, peso, densidad, etc. Así pues, es posible hacer simulaciones computadorizadas con el fin de obtener información muy detallada sobre la respuesta que existe cuando intervienen diferentes agentes sobre dicho objeto (fuerzas, deformaciones, temperatura, etc.). Esto no quiere decir que en su interior haya masa, si no que el software puede interpretar el objeto como si este la tuviera.

Aquí radica la diferencia con otros programas. Por ejemplo, en Maya, se pueden crear objetos totalmente cerrados y aparentemente “sólidos” (al igual que en los softwares tipo CAD), pero en ningún caso se pueden aplicar características para obtener información útil para su posterior fabricación y/o testeo. Simplemente son superficies que encierran un volumen, un objeto cuyas caras están delimitadas.

- **Modelado de superficies:**

Las superficies se pueden crear bajo dos métodos diferentes. El primero es utilizando curvas como guía de construcción a partir de las cuales se genere la superficie, splines. O bien, el segundo método, a partir de la creación directa de la superficie e ir modificando su forma a partir de polos o puntos de control que la definen, NURBS. (Eismann, 2017)

- **NURBS (b-splines racionales no uniformes):**

“Modelo matemático usado para generar y representar curvas y superficies. La forma de la superficie es determinada por puntos de control.” (Wikipedia, 2009)

Las curvas y superficies generadas por NURBS están presentes en mayor o menor medida en la mayoría de los programas que hay en el mercado. Se utilizan principalmente para crear objetos que requieran de una representación matemática precisa y exacta.

- **Modelado poligonal:**

Los polígonos son caras independientes que se unen entre si compartiendo sus vértices y formando una malla poligonal.

Los programas que utilizan este método permiten generar formas complejas mucho más rápido que en un entorno CAD ya que no están limitados por parámetros ni funciones matemáticas que ralenticen el proceso.

En un modelado poligonal se pueden modificar las caras, aristas y/o vértices. Esto aporta flexibilidad, precisión visual y velocidad de trabajo.

- **Modelado Sub-D (modelado de superficies por subdivisión):**

Los modelados de superficies por subdivisión están compuestos por mallas poligonales. Hoy en día los programas de tipo poligonal incorporan esta metodología, la cual facilita el suavizado de las aristas.

El flujo de trabajo consiste en crear elementos base con muy pocos polígonos e ir subdividiendo la malla conforme se quiera ir detallando más el modelo. Por cada subdivisión se incrementa x4 el número de vértices, haciendo las curvas más redondeadas. Se utiliza para modelados de alta resolución o “high-poly” (Policount, 2017).

La escultura digital se basa en este tipo de característica y por eso proporciona tanta flexibilidad y tiene una componente orgánica tan potente. Esto se debe a que se pueden incorporar detalles en la malla a un nivel de subdivisión muy alto de tal forma que el resultado final, si es el fin, será todo lo realista que se desee.

- **T-splines y freeform:**

El sistema de T-Splines es una adaptación del modelado de superficies por subdivisión hacia el ámbito del CAD. Es decir, es una combinación entre las NURBS y el Sub-D.

Las T-Splines no añaden complejidad matemática y gracias a ellas se ha generado el concepto de “FreeForm”, que es la deformación libre utilizada por los programas tipo CAD. Se basa en la generación de superficies por subdivisión, pero no bajo un entorno poligonal.

El trabajo se realiza con puntos de ancla que permiten modificar libremente las superficies del modelo. Además, a mayor subdivisión (más curvas T-Splines), mayor control en los detalles.

Esto aporta flexibilidad a la hora de generar formas orgánicas y es por eso por lo que cada vez más programas lo están incorporando. En ocasiones también se utiliza el concepto de “escultura” por el hecho de que ahora se pueden generar formas mucho más orgánicas de lo que el entorno industrial estaba acostumbrado.

▪ **Escultura digital:**

Por lo tanto, la escultura digital es un tipo de modelado poligonal que se basa en el modelado de superficies por subdivisión y permite generar objetos con un alto contenido de detalles.

A diferencia de la deformación libre, mencionada en el punto anterior, este tipo de modelado se caracteriza por otorgar aún más flexibilidad.

Esto se debe a que el nivel de subdivisiones soportado es mayor y las herramientas existentes en este tipo de programas son mucho más completas.

Hoy en día la compatibilidad entre los diferentes programas se ha incrementado y es por eso que la escultura digital está llamando tanto la atención en sectores que tradicionalmente no se han podido adaptar por completo al flujo de trabajo de los programas paramétricos. Es el caso del sector del juguete, objeto de estudio en esta tesina.

2.1.4. REFERENTES EN EL MERCADO: COMPARACIÓN DE PRESTACIONES

Haciendo referencia a las definiciones descritas en el punto anterior, se pretende comparar las prestaciones de cada uno de los programas más representativos del mercado.

El fin es organizar la información más relevante para poder comprender cuáles son las limitaciones y hasta qué medida se puede establecer puntos de compatibilidad entre los diferentes tratamientos.

Siguiendo la clasificación general que se había aportado hasta ahora, programas tipo CAD y programas de modelado poligonal, se hizo una selección de aquellos más representativos con el fin de interrelacionar conceptos clave que tienen que ver con cómo trabaja cada uno de ellos.

Se ha marcado con tonalidades azules las operaciones utilizadas, oscuro para lo más destacable y claro para el resto. Aquellos conceptos que se denominan igual a los utilizados en entornos tipo CAD pero que no funcionan de igual manera, se resaltó con amarillo. En tonalidades de naranja los programas que tienen la capacidad de importar y/o convertir archivos que proceden de entornos diferentes. Y, por último, se hizo referencia con el color verde a aquellos módulos que son complementos del software y trabajan un tema en específico dentro del mismo.

A priori el resultado es evidente, cada uno de los grupos predomina en su campo. Pero, es de interés comprobar el esfuerzo que existe entre ambos para estar comunicados y de esa forma poder coexistir el uno con el otro.

En el caso de los programas tipo CAD, se está incorporando el concepto de FreeForm, que como ya se ha mencionado anteriormente, hace referencia a un tipo de modelado mucho más orgánico y flexible. No obstante, también se está desarrollando el intercambio entre archivos. Actualmente existen entornos tipo CAD que son capaces de gestionar modelos construidos con mallas poligonales para trabajar con ellas como base o bien para convertirlas en sólidos, pudiendo operar y simular el comportamiento de estos objetos bajo ciertas condiciones.

Esta compatibilidad es de suma importancia ya que es el punto de unión que existe entre dos vertientes que hoy en día son complementarias. Como resultado, han aparecido aplicaciones de interés dentro de industrias como la de odontología o el calzado. En ellas utilizan el escáner 3D para importar modelos a partir de objetos reales y que posteriormente necesitan ser tratados. Estos modelos tienen geometrías muy orgánicas por lo que gracias a la suma de estas dos metodologías se puede reconstruir la malla, importarla a otro entorno, y procesarla bajo las condiciones necesarias para su posterior fabricación.

Desde el punto de vista de los programas de modelado poligonal, se abre una ventana hacia el diseño de producto. Muchos de los usuarios que acostumbran estos entornos están principalmente relacionados con el sector de la animación y los videojuegos. Actualmente empiezan a formar parte de departamentos multidisciplinares en los que se precisa este tipo de conocimiento. Eso ya ocurre en el sector juguetero ya que parte de su plantilla está compuesta por artistas 3D que se encargan de generar algunos de sus modelos.

		HERRAMIENTAS SOFTWARE 3D						PRINCIPAL USO	LEYENDA
SOFTWARE		SOLIDOS	SUPERFICIES	NURBS	FREEFORM (T-Splines)	POLÍGONOS	ESCULTURA		
MODELADO CAD	1 Alias							Diseño Industrial, Styling	Lo más destacable
	2 AutoCAD							Arquitectura	Otras prestaciones
	3 CATIA				FreeStyle			Industrial	Concepto diferente a CAD
	4 Form-Z							Arquitectura	Importa
	5 Fusion 360							Diseño Industrial	Importa y/o convierte
	6 Inventor							Industrial	Módulos específicos
	7 OnShape							Industrial	
	8 PTC Creo				FreeStyle			Industrial	
	9 Rhinoceros 3D							Diseño Industrial	
	10 Siemens NX				Realize Shape			Industrial	
	11 Solid Edge							Industrial	
	12 SolidWorks				Industrial Designer			Industrial	
MODELADO POLIGONAL	13 3D Coat							Animación, videojuegos	
	14 3ds Max							Animación, videojuegos	
	15 Blender							Animación, videojuegos	
	16 Cinema 4D							Animación, rendering	
	17 Geomagic Freeform							Diseño Industrial	
	18 Geomagic Sculpt							Diseño Industrial	
	19 Hexagon							Animación, videojuegos	
	20 Houdini							Animación, videojuegos	
	21 Lightwave 3D							Cine, Animación	
	22 Maya							Animación, videojuegos	
	23 Meshmixer							Animación, videojuegos	
	24 Modo							Animación, videojuegos	
	25 Mudbox							Animación, videojuegos	Workflow
	26 Strata Design 3D							Diseño Industrial	Sculpt 3D
	27 Sculpttris							Animación, videojuegos	Workflow
	28 SelfCAD							Impresión 3D	
	29 Silo							Animación, videojuegos	
	30 ZBrush							Animación, videojuegos	

Tabla 1: Comparativa de herramientas en programas 3D.

2.2. SECTOR DEL JUGUETE Y LA ESCULTURA DIGITAL

2.2.1. ANTECEDENTES

Los juguetes han estado presentes en multitud de culturas durante siglos. Siempre han jugado un papel importante en el desarrollo de los niños no solo para madurar y convertirse en adultos sino también para crecer como seres humanos. Así pues, los juguetes pueden documentar detalles importantes de la historia porque son un fiel reflejo de la sociedad y el estilo de vida seguido por todos.

Ya se tenía constancia de su existencia en la India hace 5000 años, en el Imperio Romano, China y en muchas otras civilizaciones. Comenzaron siendo piezas únicas y artesanales que los niños creaban por si mismos o bien sus padres conseguían si pertenecían a una clase social que se lo permitiera.

Los primeros juguetes que se comenzaron a fabricar con fin comercial estaban hechos de materiales tales como madera, papel, tela, cuerda, arcilla o porcelana. Los artistas jugueteros eran especialistas en el tratamiento de estas materias y trabajaban con sus propias manos como principal herramienta. La costura, el modelado o la talla son ejemplo de algunos de los procesos más habituales.

Poco a poco, con la llegada de la Revolución Industrial y sus pertinentes avances, el sector del juguete empezó a ser el negocio que años después se convertiría en uno de los que más dinero recauda anualmente en el mundo. No obstante, los juguetes seguían estando muy vinculados a la artesanía pues, los diseños aún se esculpían en arcilla para crear los moldes que posteriormente serían llevados a un sistema productivo en serie.

Aún en la década de los años 80 se seguía utilizando esta metodología ya que no existía forma de poder modelar objetos orgánicos y de alto contenido en detalles. Un ejemplo son las figuritas que se lanzaron con el estreno de la saga de Star Wars en el año 1977, modeladas a mano por el equipo de diseño de la compañía Kenner. O también las reconocidas figuritas de Mattel en 1981, The Masters of the Universe. (The Toys That Made Us, 2017)

En las siguientes décadas se introdujeron los primeros programas de modelado tridimensional y se fue relegando el uso de la arcilla únicamente a las fases más conceptuales de diseño de producto. A pesar de ello, algunos detalles de los diseños no se podían ejecutar ya que se requería de herramientas informáticas que permitieran crear formas orgánicas y que posteriormente estas fueran manufacturables.

Actualmente existe confusión sobre qué tipo de programa es el más adecuado para diseñar un juguete. Esto se debe a que no cualquier programa permite toda la flexibilidad que requiere un producto que nace con el fin de motivar y estimular la imaginación de un niño. Es decir, es difícil encontrar el equilibrio entre algo asombroso y extravagante y algo que se pueda modelar en un programa paramétrico y en consecuencia mandar a producción.

Por esto y por otras razones que se aportarán en los siguientes puntos, el sector del juguete es uno de los más versátiles y multidisciplinarios que existe ya que, con el uso de programas tipo CAD en consonancia de otros de modelado poligonal o de escultura digital, surge una combinación con mucho potencial que poco a poco se está empezando a establecer.

En los últimos años, algunas compañías buscan activamente profesionales que cubran las competencias necesarias para desarrollar juguetes de todo tipo de características geométricas. Incluyen en sus ofertas de trabajo perfiles que dominen softwares que generen superficies “Freeform”; como Rhinoceros, poligonales; como 3ds Max, o bien, y cada vez con más influencia, escultura digital; como ZBrush.

Además, también se valora positivamente el conocimiento de las formas por medio de la escultura tradicional, así como el uso de la impresión 3D para llevar a cabo prototipos en la etapa más conceptual de los proyectos.

Como ejemplo de lo anteriormente descrito, una oferta para el perfil de “Product Designer” que la publicó Lego System A/S en la red social LinkedIn en febrero de 2019:

“Habilidades requeridas:

- *Crear conceptos en 2D y reproducir prototipos en 3D.*
- *Tener capacidad de esculpir en plastilina y materiales similares con referencias 2D.*
- *Se necesitan buenas habilidades en el 3D, 3D Freeform y ser competente en ZBrush, Rhinoceros 3D o software 3D similar.*
- *Entender los procesos de manufacturación (moldes).*
- *Trabajar con ingenieros para desarrollar piezas 3D CAD preparadas para la producción. [...]*”

Las empresas jugueteras vuelven a estar en contacto con sus inicios ya que se ha conseguido introducir avances tecnológicos que se asemejan mucho al oficio artesanal de origen. Y es que, gracias a la innovación y desarrollo tanto en el ámbito del diseño 3D como en el productivo, la calidad del resultado es cada vez mayor.

Y es que, la escultura digital, es el método que hoy en día tiene mayor conexión con los procesos tradicionales que se han estado utilizando durante años en el sector juguetero. Volver a redescubrir un sistema que aporte la calidad de detalles que se perdió por el camino o simplemente abrir de nuevo la ventana de la creatividad, ha hecho posible que ahora se obtengan tan buenos resultados.

2.2.2. REFERENTES EN EL SECTOR DEL JUGUETE

Según Brand Finance, reputada consultora de valoración de negocios de marca, actualmente las empresas cuya marca tienen mayor valor en el mercado son: Lego, Mattel y Hasbro, líderes en la inclusión de licencias. (Brand Finance, 2017)

A continuación, se enumerarán dichas compañías y se destacarán algunas de sus líneas de productos con el fin de poder apreciar qué tipo de modelos se pueden obtener actualmente y el potencial que esto ha supuesto.



LEGO

Lego System A/S es una empresa de juguetes de origen danés nacida el año 1932 en Billund, donde actualmente sigue manteniendo su sede social.

En el año 1958 patentaron un sistema de enganche nuevo que permitía ensamblar los ladrillos de una forma mucho más estable. Esto supuso un boom dentro del sector y permitió que siguieran creciendo hasta el día de hoy.

Con la expiración de la patente, otras marcas imitaron sus modelos obteniendo en ocasiones resultados más económicos. La incipiente competencia hizo que LEGO invirtiera en investigación y desarrollo de nuevas líneas de productos tales como Lego Mindstorms o Lego Technic, versiones mucho más maduras y con aplicaciones relacionadas con la mecánica o robótica.

Pero, el éxito no llegaría hasta la inclusión de las licencias comerciales como Batman, Harry Potter, Star Wars, o Los Simpsons entre otras. Con ellas hicieron videojuegos, largometrajes e incluso series animadas. En 2014 se estrenó la primera película de animación de LEGO, The Lego Movie.

Es destacable que desde 1958 no se ha cambiado el sistema de montaje, pero sí se han incluido nuevas piezas con detalles que antes era difícil conseguir por la complejidad del propio modelo.

Un claro ejemplo de esto es la línea de producto Lego Creator, ya que muchas de sus piezas tienen que ser especialmente adaptadas a un único diseño de construcción. Curvas, esquinas, redondeos de aristas u objetos especiales que de otra forma no se podrían obtener con los ladrillos clásicos.

Aun así, cada pieza, por muy diferente que sea al resto, siempre debe funcionar dentro del sistema establecido por LEGO. Es decir, todo debe encajar a la perfección independientemente de su forma.



Figura 1: Lego Creator Volkswagen 10252.



MATTEL

Mattel es una empresa californiana fundada en 1945. Entre sus marcas más populares se encuentran Barbie, Hot Wheels, Master of The Universe, Enchantimals, Uno y Fisher Price.

El producto con más recorrido y a la vez más estable de la compañía es Barbie. Esta muñeca fue diseñada en 1959 que, hasta aquellos entonces, todas las de su misma clase estaban orientadas a un público mucho más infantil. Su principal innovación fue crear a un personaje adulto con el que las niñas pudieran verse identificadas como mujer. Hoy en día es la muñeca más vendida de la historia y se ha comercializado en más de 150 países. (Wikipedia, 2016)

Barbie ha cambiado mucho y ha sufrido a lo largo de los años muchas modificaciones. Gracias a los nuevos avances tecnológicos, ahora puede incorporar piezas de geometría más orgánica que se asemejan más a la realidad. Por eso, en los últimos años han podido lanzar al mercado diferentes formatos de cuerpo, altura, color de piel o cortes de pelo además de una larga lista de accesorios.

Además, con la línea Barbie Made to Move, la muñeca ha experimentado un cambio integral en su estructura de tal forma que actualmente tiene 21 puntos de articulación con los que puede adoptar multitud de posiciones.

Las muñecas son ejemplo de lo orgánico que puede llegar a ser un modelo utilizado en la industria del juguete. Llegar a tal nivel de detalle y conseguir buenos resultados, viene marcado por un avance tanto en el diseño 3D como en el sector productivo. No es fácil obtener estos modelos con un software de CAD, a diferencia de otros juguetes como es el caso de LEGO; elementos más geométricos, aquí se han tenido que implementar metodologías de trabajo diferentes en las que se incluyen procesos que permiten generar formas orgánicas.



Figura 2: Barbie Made to Move.



HASBRO

Hasbro es una empresa fundada en 1923 en Estados Unidos. Inicialmente se dedicaba al sector textil pero más tarde, en 1940, se expandió al mercado de los juguetes.

Uno de los primeros éxitos de la marca fue Mr. Potato, diseñado en 1952. Consistía en un kit de piezas con partes del cuerpo que se le colocaban a una patata de verdad. Con el paso del tiempo este producto se rediseñó para que cada una de sus partes fueran de plástico y se convirtiera en el Mr. Potato que se comercializa hoy en día.

Hasbro también hizo todo lo posible por hacer que sus productos tomaran cierto protagonismo. En este caso, la patata es fácilmente reconocible por su papel protagonista en la trilogía de Toy Story, películas de Disney Pixar. Las ventas se disparan cada vez que se lanza una nueva parte de la saga.

Entre sus éxitos también se encuentran las figuritas de Star Wars, G.I. Joe, My Little Pony, Littlest Pet Shop, Transformers, juegos de mesa como Monopoly y Twister o juguetes más creativos como Play-Doh.

En comparación con Mr. Potato, primer juguete que sacaron a la venta, las diferencias son sobresalientes. Los nuevos modelos tienen una geometría mucho más compleja y la calidad de los detalles es importante.

Transformers y Littlest Pet Shop son ejemplo del tipo de modelos a los que tiene que hacer frente la industria del juguete ya que se busca tanto precisión en el funcionamiento de mecanismos, así como también la belleza y estética de los elementos que lo componen.

Por ese motivo, para crear productos tan exigentes, se requiere de la combinación de la ingeniería y de cierta sensibilidad ante el diseño para cada uno de los detalles que se precisen.



Figura 3: Transformers.



Figura 4: Littlest Pet Shop.



FAMOSA

Fábricas Agrupadas de Muñecas de Onil Sociedad Anónima, o más conocida por Famosa, es una empresa juguetera de origen alicantino.

“La población de Onil, desde finales del siglo XIX, ha sido tradicionalmente una localidad productora de muñecas. Desde que Ramón Mira Vidal y su ímpetu innovador se decidiesen a fabricar muñecas con barro, gracias a la idea que tomó de franceses, ingleses y alemanes, muchas pequeñas empresas y talleres de la localidad se dedicaron a este oficio.” (Famosa, 2019)

Con la aparición del plástico, material más barato y proceso más efectivo que los que se estaban utilizando hasta entonces, muchas pequeñas empresas tuvieron problemas por no poder adaptarse al nuevo sistema de fabricación. Las muñecas tradicionales empezaron a pasar de moda y cada vez era más complicado venderlas por su alto coste. Para evitar la desaparición de muchas empresas de la población, se unieron con el fin de crear una única marca capaz de hacer frente a la compra de la nueva maquinaria y por tanto ser más competentes en el mercado. Así pues, en 1957 nació Famosa.

Entre sus marcas más conocidas se encuentra Nenuco, Barriguitas, Pinypon y Nancy. El cambio de imagen y la renovación constante de las líneas de producto más simbólicas ha dado buen resultado ya que, una vez más, supieron adaptarse y hacerse con lo que el mercado demanda.



Figura 5: Pinypon Cuidados de Mascotas.

2.2.3. ACTUALIDAD EN EL SECTOR DEL JUGUETE

El marketing siempre ha sido muy importante dentro de este sector ya que excepcionalmente genera productos que no van a ser comprados por sus consumidores directos, los niños, sino que también hay que tener en cuenta a los padres.

Al igual que en otros sectores, las tendencias son muy importantes para ayudar a conocer qué sucede en el mercado y saber cómo actuar consecuentemente. Por ello, considerar los factores que determinan el rumbo del mercado es un deber obligatorio que atañe no solo en primera instancia al departamento de marketing, sino que también a todos aquellos departamentos que tienen que ver con el diseño y desarrollo completo del producto, así como la relación de este con los usuarios a los que va dirigido.

Las tendencias y comportamientos de compra que están teniendo cabida durante el año 2019 apuntan indirectamente a la escultura digital en medida que, el desarrollo que permite llevarlo a cabo implica el uso de esta herramienta. Los escenarios son los siguientes:

- **Muñecas:**

Como ya se ha mencionado en el punto anterior, las muñecas describen una geometría muy orgánica y representan a aquellos juguetes que técnicamente son más complejos tanto de diseñar como de fabricar dado el alto nivel de detalles y exigencia que requirieren.

Esta categoría de producto está actualmente en su mejor momento. Según datos de NPD en 2017, en España las muñecas alcanzan una cuota del 16% total del mercado de juguetes y en el acumulado del año 2018, las ventas en Muñecas supusieron 204.759.032 millones de euros, un 9% más respecto al año anterior. (Juguetes b2b, 2019)

“Con una demanda fuerte y constante, la oferta ha crecido en todas las categorías. En concreto, las Muñecas Bebé y las Mini Muñecas son las que están aumentando a mayor ritmo, en parte gracias a la moda por los coleccionables”. (Pérez, 2019)

El crecimiento de esta categoría repercute directamente en la búsqueda de perfiles multidisciplinares dentro del departamento de diseño y desarrollo de productos:

Oferta de Melissa&Doug para el perfil de “Product Designer” publicada en LinkedIn en febrero de 2019: *“Experto en el conocimiento de SolidWorks y habilidad para renderizar formas orgánicas”.*

- **Coleccionables:**

Según la revista Juguetes b2b, *“Entendemos por juguete coleccionable aquellos juguetes de tamaño reducido, que suelen formar parte de amplias colecciones sobre una misma temática y que se venden principalmente por unidades y a precios más reducidos, [...] como las muñecas, las figuras de acción o los peluches [...]”.* (Juguetes b2b, 2019)

Este tipo de juguetes suele estar caracterizado por ser de temáticas como animales, naturaleza o ciencia y reúnen un conjunto de personajes que el niño/a debe coleccionar para completarlo. Las Minifiguras; de tamaño muy reducido, son las que forman colecciones más amplias. Aquí se incluyen también las Mini Muñecas, mencionadas anteriormente.

El éxito de este tipo de producto viene dado por el efecto sorpresa, llamado también “WOW effect”, una de las tendencias en la Spielwarenmesse 2019. Esto se debe a que el packaging en el que suelen ser comercializados estos productos mantienen la expectativa, la sorpresa de qué puede haber en el interior.

“Desenvolver el juguete ya forma parte del mismo juego y la emoción alcanza su nivel más álgido cuando el resultado se desvela y pueden ver qué hay dentro” (Juguetes b2b, 2019)

Una de las colecciones que más ha destacado en el último año son las Hairdorables, muñecas que entran dentro de la categoría coleccionable y utilizan el factor sorpresa. Destacan por su formas fluidas y orgánicas además de su característica más fuerte, multitud de accesorios por coleccionar.

▪ **Kidults, el nuevo tipo de usuario:**

Según la revista Juguetes b2b, *“Los Kidults (Kid + Adults) son adultos que tienen entre 20 y 40 años y muestran tendencias de consumo similares a las que podría tener un niño de 6 años, con la diferencia obvia de que el poder adquisitivo y la libertad de compra son mayores en el caso de un adulto”*. (Juguetes b2b, 2019)

Este mismo concepto hace referencia a otra de las tendencias propuestas en la Spielwarenmesse 2019, “Toys for Kidults”. Esta categoría comprende desde juegos y juguetes de construcción, vehículos radiocontrol, figuras licenciadas y juegos de mesa. No solo significa que los adultos quieran pasar tiempo jugando con sus hijos con juguetes que rememoran a los de su infancia, un Kidult es también un coleccionista empedernido y tiene ganas de volver a sentirse como un niño.

En concreto son *“consumidores caprichosos que buscan calidad”* (Juguetes b2b, 2019). Por ello, una de las categorías que más recorrido están teniendo en el sector son las figuritas de acción.

Por ejemplo, los Funko POP, una marca que busca satisfacer las exigencias tanto de los más pequeños como de los más grandes. Diseñan multitud de personajes coleccionables que hacen uso de licencias comerciales¹. Todos ellos parten de una

¹ **Licencias comerciales.** Las empresas de juguetes establecen un contrato con otras marcas para poder hacer uso de su imagen e incorporarla en un producto. La empresa se asegura de que los consumidores conocen y confían en la licencia contratada y de este modo obtiene mayor número de ventas. No obstante, el cumplimiento de los contratos debe ser de estricto rigor ya que en todo caso se incluyen guías de estilo que deben ser seguidas estrictamente con el fin de no alterar elementos corporativos de la marca. Por ejemplo: El coche de carreras de Mickey Mouse. El producto es el coche y la imagen vinculada a la licencia Mickey Mouse.

estética similar y han tomado características reconocibles de los personajes que pretenden representar con el fin de crear una línea que sea atractiva para los usuarios que sean seguidores de la licencia.

Las figuritas coleccionables también han incorporado la escultura digital ya que la mayoría de los modelos se generan a partir de estos programas para posteriormente ser fabricados. Es el caso de la marca otras marcas que también fabrican figuritas como Amiibo, de Nintendo o Disney Infinity.

▪ **Licencias de personajes:**

La principal desventaja a la que se enfrenta el departamento de marketing es dar a conocer un nuevo producto. Es por eso que hoy en día las grandes marcas alcanzan el éxito haciendo uso de licencias comerciales que los niños conocen; ya sean películas, series de televisión o cualquier otro referente dentro del mundo infantil.

Las marcas que centran sus esfuerzos en este tipo de productos son denominadas comerciales en contraposición a aquellas que enfocan sus esfuerzos en crear juguetes educativos que estimulan otras facetas en el desarrollo de los niños; son las preferidas por los padres y las que menos uso hacen de licencias comerciales.

No obstante, las licencias están jugando un papel importante en el sector. Si bien es cierto que anteriormente las empresas se limitaban a contratar licencias con el fin de asegurarse de que los usuarios van a reconocer el producto, actualmente la tendencia es crear marcas más fuertes con el fin de ser reconocibles por sí mismas.

Y una vez más, los productos licenciados con buen recorrido son las figuritas y los juguetes coleccionables, cada vez con mayor influencia en la escultura digital debido a su geometría.

2.2.4. CONEXIÓN CON OTROS SECTORES

Como cada año, hay muchos factores que intervienen en las decisiones de las empresas en el ámbito del juguete, ya sean tendencias, nuevas actitudes por parte del usuario o los avances tecnológicos que se llevan a cabo. Es decir, es un entorno muy cambiante en el que estar atento de lo que ocurre en el mercado es de vital importancia.

▪ **Videojuegos:**

En la última década, con el avance que ha surgido en sectores no tan tradicionales como el de los videojuegos, las empresas jugueteras han tenido que hacer frente y unirse a esta nueva corriente que es casi necesaria para encabezar los primeros puestos de ventas.

La escultura digital es muy común en este sector, normalmente utilizada para crear personajes con alto contenido en detalles, así como también modelos muy orgánicos. Es por eso que muchos de los profesionales que actualmente se dedican a diseñar juguetes con escultura digital proceden del gremio de los videojuegos. De tal modo que, el perfil que actualmente más se está demandando es aquel que

domine este campo, además del ámbito de la ingeniería; pues es la combinación entre ambos mundos lo que permite obtener hoy en día los mejores resultados.

El sector de los videojuegos cada año es más grande y se pronostica que vincularse a él suele ser un acierto. Como resultado han surgido nuevas marcas que apuestan por los Smart Toys, la Realidad Aumentada o la Realidad Virtual, cuyo principal objetivo es llevar al siguiente nivel la experiencia de juego.

Un ejemplo de ello es Play-Doh Touch, una marca que tradicionalmente se ha dedicado exclusivamente a la plastilina moldeable y ahora comercializa productos que se conectan al “mundo virtual” por medio de una tablet.

Otro ejemplo es el de los Amiibos de Nintendo o los Disney Infinity, figuras que pueden ser utilizadas en los videojuegos y que aportan ventajas; herramientas y otros efectos personalizables. No son simples accesorios que forman parte del videojuego, son figuritas coleccionables que compiten en valor añadido con otros juguetes de apariencia similar.

▪ **Vinyl toys:**

Existen otro tipo de figuras que tienen un carácter muy especial, los vinyl toys. Son productos de carácter coleccionable que fuera de estar producidas en serie, son auténticas piezas de arte.

En este caso, sigue existiendo arraigo hacia el uso de la arcilla tradicional. Esto se debe a que suelen ser productos hechos generalmente por artistas de forma artesanal en series muy cortas. Ellos mismos generan el modelo, el molde y posteriormente se encargan de pintar uno a uno como se hacía antaño.

Para muchos es casi un objeto de culto ya que existen tan pocas reproducciones que ninguna colección es igual. No obstante, existen líneas que se están empezando a producir en series mucho más largas y de ellas están surgiendo marcas de interés ya que muchas de ellas comienzan a utilizar la escultura digital como herramienta para modelar.

▪ **Industria audiovisual:**

Según Juguetes B2B, *“el consumo de contenido es la segunda actividad más importante en tiempo dedicado de los niños después de actividades al aire libre”*.

El sector del juguete tiene que dar importancia a cuáles serán los próximos estrenos de películas y videojuegos ya que crear juguetes o merchandising de estas marcas siempre ha sido muy atractivo.

Además, los influencers, la publicidad y las miniseries en Youtube también pisan fuerte por hacerse con la atención de los más pequeños. Muchas compañías apuestan por los “unboxings” y otras estrategias para dar a conocer a sus marcas a través de este canal.

3. OBJETIVOS

Tomando como punto de partida el sector del juguete, se observa que la geometría que se persigue es dual, de lo más geométrico a lo más orgánico pasando por una combinación de ambas. En esta tesis se aborda un estudio comparativo entre programas de tipo CAD, poligonal y de escultura digital con el objetivo de:

- Conocer hasta qué punto es adecuada la escultura digital en el sector del juguete y bajo qué parámetros vale la pena usarla.
- Comparar técnicas que persiguen los dos tipos de geometría.
- Qué beneficios aporta la combinación de dichos programas.

De este modo se pretende justificar la premisa de que el uso de la escultura digital es una herramienta versátil que puede llegar a tener cabida en muchos sectores, entre ellos el del juguete y, además, hoy en día proporciona herramientas que permiten tratar los objetos a un nivel de detalle importante. Pudiendo ser utilizada tanto para conceptualizar diseños en sus fases más iniciales, hasta alcanzar resultados que puedan ser directamente importados a un entorno de fabricación.

4. METODOLOGÍA

Este estudio comparativo se basará en la elección de tres programas de diferente tipología; modelado paramétrico o CAD, modelado poligonal y escultura digital, así como también de cuatro modelos de diferentes geometrías.

Una vez realizada la selección, se modelarán en 3D los cuatro tipos de modelos en cada uno de los tres programas. Esta tarea la desempeñará un único sujeto que controle los programas mencionados anteriormente. Para una mayor precisión en la toma de datos, todo será grabado en video.

Extraídos los datos, se compararán los resultados bajo los siguientes parámetros:

NÚMERO DE OPERACIONES. Operaciones necesarias para realizar los modelos 3D. Como el concepto de operación no es el mismo en los tres entornos seleccionados, este parámetro solo podrá ser fruto de comparación entre los modelos 3D que se realicen en un mismo programa y no entre programas distintos.

TIEMPO DE MODELADO. Tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final del desarrollo de los modelos 3D para cada uno de los programas seleccionados.

CONTROL DE DIMENSIONES. Determina cómo se controlan las dimensiones para cada uno de los programas. Se valorará de forma ponderada la utilización de los siguientes métodos para todos los modelos, así como para todas las piezas que componen: medición del objeto real, proporciones de referencia y la aproximación visual.

CORRECCIÓN DE ERRORES. Capacidad de cambiar o alterar características puntuales por otras o bien volver a un estado anterior en el proceso de modelado. Se valorarán las funciones que aportan los diferentes programas: árbol de operaciones, corrección proporcional y el historial o control + z. Este proceso no será ponderado ya que se considera que cualquiera de las funciones es igual de válida debido a que cada software potencia características diferentes. Por ejemplo, aunque SolidWorks y ZBrush utilizan control + z, el primero no permite ir hacia delante, mientras que el segundo además de hacerlo permite navegar de forma fluida entre el primer y último estado de modificación del modelo desde que el archivo es abierto.

NIVEL DE DETALLE ALCANZADO. Para determinar el nivel de detalle alcanzado por cada programa, se transformarán todos los modelos a mallas poligonales. Posteriormente se reducirá al mínimo el número de polígonos hasta el punto en el que las mallas no pierdan detalles superficiales importantes. Por tanto, las mallas que tras esta reducción contengan un mayor número de polígonos, albergarán mayor cantidad de detalles. Para llevar a cabo este proceso se utilizará la función de “Decimate Master” en ZBrush.

FIDELIDAD DEL MODELO: ENCUESTA VISUAL. Como el sujeto que modelará en 3D es el mismo que tomará y analizará todos los datos, en este punto se valorará el resultado obtenido por dicho sujeto mediante una encuesta con una muestra de 30 personas. El fin es analizar la percepción de cuál de los cuatro modelos para cada uno de los tres programas se asemeja más al modelo real tomado como referencia.

5. DESARROLLO Y RESULTADOS

Para elaborar este estudio comparativo se hizo selección de tres programas cuyo flujo de trabajo es muy distinto. Cada uno de ellos cumple con características representativas del grupo de programas al que pertenecen: modelado paramétrico o CAD, modelado poligonal y escultura digital.



Figura 6: Tipos de modelado 3D.

La selección fue tomada por la disponibilidad de licencia, así como también por la destreza del sujeto que elabora el estudio. Cualquier otro programa de naturaleza similar a las descritas anteriormente es adecuado. Véase punto 2.1.4 Referentes en el mercado: comparación de prestaciones.

Así mismo, se escogieron cuatro modelos de diferentes tipos de geometrías dentro del sector del juguete:



Figura 7: Tipos de geometrías en los juguetes seleccionados.

LEGO MINIFIGURE. Aspecto *geométrico puro* generado a partir de formas simples. Todas sus piezas se ensamblan por medio del encaje.

WALL-E. De tipo *geométrico mixto*. Tiene pocas piezas y tan solo una de ellas tiene grados de libertad. Contiene muchos detalles, en su mayoría geométricos y alguno orgánico.

PINYPON. Se caracteriza por tener una geometría *orgánica mixta*. Contiene piezas de todo tipo, desde aquellas que están hechas a partir de formas simples a aquellas que son de naturaleza orgánica pura. Todas sus partes se ensamblan, generalmente son las más geométricas. El pelo es su pieza más característica ya que es la que contiene más detalles del modelo.

SHELLY. Geometría de tipo *orgánica pura*. Todas sus piezas son antropomorfas y se ensamblan con el cuerpo por medio de formas simples y geométricas; única parte imprescindible para su montaje.

La selección se hizo acorde con la información recogida en el estado del arte a cerca de las tendencias y comportamientos de compra actuales en el sector: juguetes coleccionables, muñecas, Kidults y licencing. Referencias descritas en el punto 2.2.3 Actualidad en el sector del juguete.

El contenido que se tratará en este apartado estará dividido en dos bloques, la clasificación por software; donde se describirá el proceso desde una perspectiva global para cada uno de los programas, y la clasificación por modelos; donde la información se agrupará según los cuatro modelos seleccionados para este estudio.

5.1. BLOQUE I – SOFTWARE

Una vez seleccionados los modelos, se procedió a generar la geometría 3D en cada uno de los programas. Para poder controlar el desarrollo al completo, se grabó en video el proceso con el fin de poder observar todos los estímulos que intervinieron en el entorno y poder así reflejarlo en los datos que posteriormente serán analizados.

El sujeto que ha realizado las pruebas es siempre el mismo. El dominio del individuo sobre los programas seleccionados es homogéneo. Para todas las piezas que componen los modelos se intentó ocupar el menor espacio de tiempo, así como optimizar el número de operaciones.

Como cada programa tiene un flujo de trabajo distinto, cada uno tiene un procedimiento diferente para llevar a cabo la misma pieza. Así pues, los resultados se dieron como válidos siempre y cuando fueran óptimos, independientemente de su procedimiento.

De igual forma ocurre con las referencias que se tomaron para generar dichos modelos 3D. En este caso fueron por toma directa de medidas en el modelo físico, por fotos de referencia como plantilla o bien por aproximación visual.

El proceso de modelado terminaba cuando se consideraba que la pieza cumplía con las especificaciones o referencias aportadas. En caso de que alguna parte del modelo no pudiese ser representada fielmente, se intentó llegar al máximo nivel de detalle que el entorno en el que se estuviera modelando permitiera.

En caso de error en alguna pieza, se ejecutó de nuevo y no se tuvo en cuenta los datos que se referían a dicho error en el cómputo total.

A continuación, se dividirá la información por programas y se aportará tanto los procedimientos particulares de cada uno de ellos como los resultados y conclusiones de estos desde una perspectiva global.

Los parámetros que serán comparados son: número de operaciones, tiempo de modelado, control de dimensiones y corrección de errores.

5.1.1. SOLIDWORKS

SolidWorks es un programa de tipo CAD y su flujo de trabajo es paramétrico, por tanto, las dimensiones del modelo son parte imprescindible para obtener un resultado óptimo.

En el proceso de elaboración de las piezas 3D, se utilizó un calibre o pie de rey para tomar todas las medidas necesarias. También se contaba con planos técnicos de algunas piezas en el caso del modelo Lego Minifigure.

Sin embargo, no siempre fue posible medir con exactitud las dimensiones por su complejidad geométrica. Es el caso del modelo Pinypon y Shelly, los dos más orgánicos. En este caso se utilizaron fotos de referencia y la aproximación visual para controlar en todo momento la proporción de los modelos.

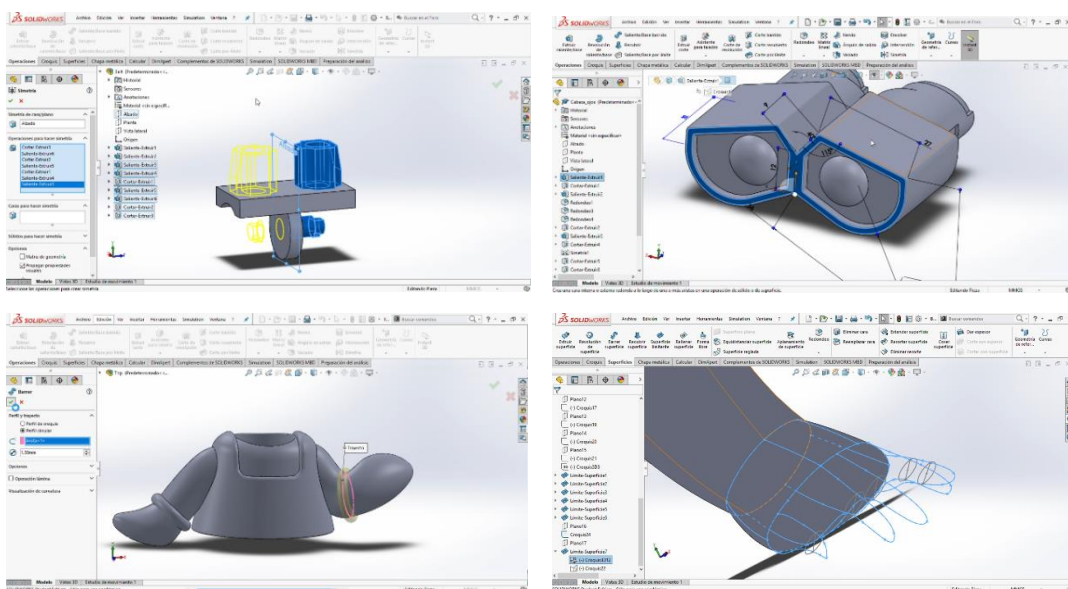


Figura 8: Capturas de pantalla en SolidWorks.

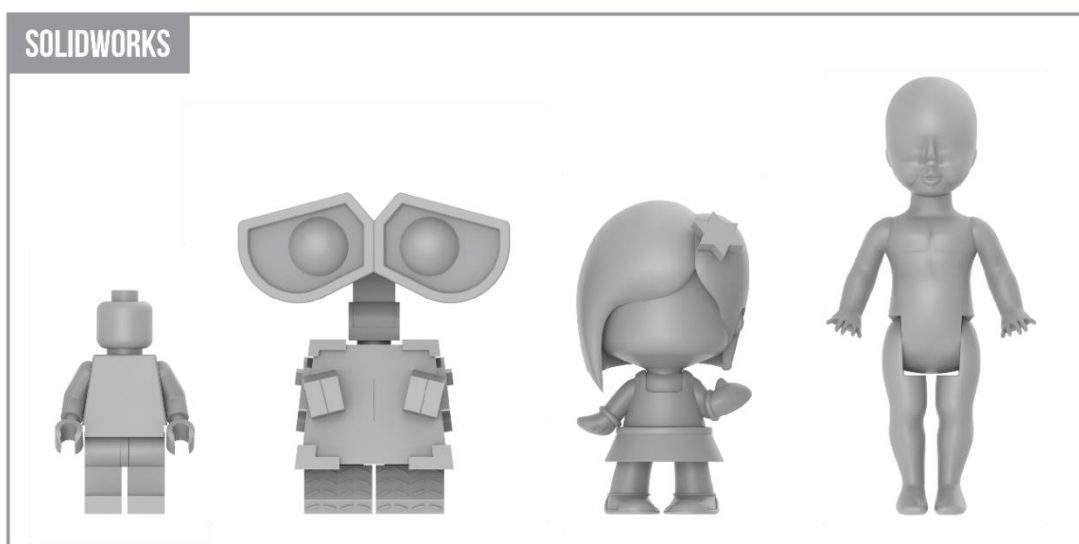


Figura 9: Modelos 3D generados en SolidWorks. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.

*Detalles de los modelos y comparación entre ellos en Bloque II.

NÚMERO DE OPERACIONES

El modelo con más operaciones fue Shelly con 218 en total. Las piezas que contienen más operaciones son los brazos, el tronco y las piernas respectivamente. Cabe destacar la cabeza que, al tener una superficie con un alto contenido en detalles, en el proceso de modelado, el programa únicamente permitía representarla de forma simplificada y por tanto utilizó menos operaciones de las que debería.

El modelo Pinypon es el segundo con más operaciones, 162. Destaca el pelo, cuya superficie está simplificada al igual que ocurre con la cabeza de Shelly.

Por otro lado, Lego Minifigure es el modelo con menor operaciones. Esto se debe a que el tipo de geometría de sus piezas se adecúa al flujo de trabajo utilizado en SolidWorks y por tanto el proceso está optimizado.

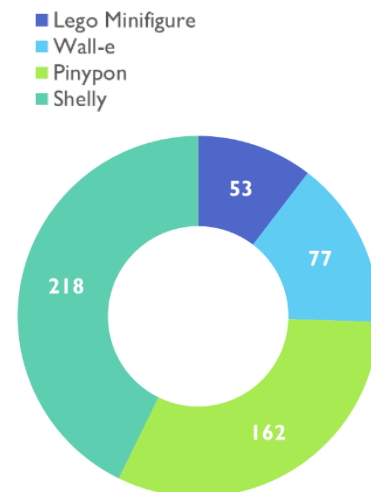
Así mismo, Wall-e ocupa la segunda posición con 77 operaciones. Como es de carácter geométrico mixto y sus piezas contienen muchos detalles, obtiene más operaciones que Lego Minifigure, también de carácter geométrico.

Por consiguiente, se encuentra relación entre el número de operaciones y el método de referencia a la hora de modelar en 3D con SolidWorks. Aquellas piezas que sean susceptibles de ser medidas y por consiguiente obtener información sobre sus dimensiones reales, optimiza el proceso en contraposición de aquellas piezas en las que la única referencia es una foto o la aproximación visual; siempre requerirán más pasos y por consiguiente más operaciones.

No obstante, si la pieza es muy compleja, la simplificación puede acarrear un menor número de operaciones.

		MODELO	PARTES	OPERACIONES	TOTAL
SOLIDWORKS	Lego Minifigure	M1	Cabeza SM110	3	53
			Tronco SM120	13	
			Brazo1 SM131	11	
			Brazo2 SM132	1	
			Mano1 SM141	6	
			Mano2 SM142	1	
			Cintura SM150	10	
			Pierna1 SM161	7	
	Pierna2 SM162	1			
	Wall-e	M2	Cabeza SM210	32	77
			Tronco SM220	26	
			Pierna1 SM231	18	
			Pierna2 SM232	1	
	Pinypon	M3	Pelo SM310	58	162
			Cabeza SM320	8	
			Tronco SM330	48	
Piernas SM340			35		
Falda SM350			9		
Estrella SM360			4		
Shelly	M4	Cabeza SM410	45	218	
		Tronco SM420	56		
		Brazo1 SM431	64		
		Brazo2 SM432	1		
		Pierna1 SM441	51		
		Pierna2 SM442	1		

Tabla 2: Número de operaciones en SolidWorks.



Gráfica 1: Número de operaciones en SolidWorks.

TIEMPO DE MODELADO

Teniendo en cuenta que los datos recogidos para el tiempo de modelado han sido ajustados para que únicamente se refieran a las acciones que repercuten en el resultado final y no en aquellas que indujeron algún error o por consiguiente alguna repetición, los resultados fueron los siguientes:

Shelly es el modelo que más espacio de tiempo ha ocupado con 1360,30 minutos. Siendo la cabeza la pieza con el mayor valor tanto para este modelo como para el resto. Esto se debe a que su geometría es orgánica y difícil de medir o tomar referencia. El método de trabajo utilizado en SolidWorks no se adapta a este tipo de modelo y por consiguiente obtener resultados satisfactorios conlleva dedicar más tiempo de lo normal en la ejecución de sus operaciones.

Por otro lado, Pinypon, es el segundo modelo que más tiempo ocupa, con 566,50 minutos. Cabe destacar el pelo y el tronco ya que el contraste de los datos frente al resto de sus piezas es notable. Esto coincide con el hecho de que son las piezas más geométricas las que obtienen un valor más reducido.

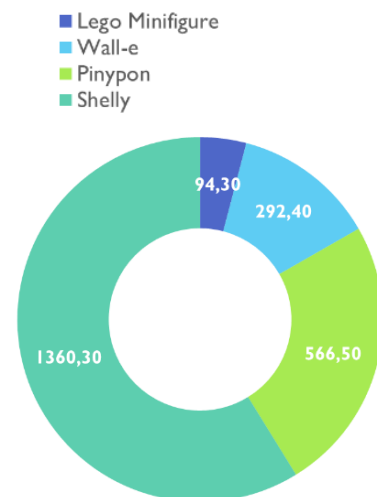
Lego Minifigure, con 94,30 minutos, es el que menor tiempo ha necesitado para llevarlo a cabo. Esto se debe a que, al igual que pasaba con el número de operaciones, el proceso está optimizado por tratarse de un modelo con piezas muy geométricas y fáciles de representar obteniendo sus dimensiones.

Wall-e obtiene un valor adecuado para el nivel de detalles que presenta frente a Lego Minifigure.

Así pues, aquellas piezas que no representen una complejidad geométrica son las que menos tiempo necesitan para ser modeladas.

MODELO		PARTES		TIEMPO	TOTAL	
SOLIDWORKS	Lego Minifigure	M1	Cabeza	SM110	7,30	94,30
			Tronco	SM120	25,10	
			Brazo1	SM131	17,90	
			Brazo2	SM132	0,50	
			Mano1	SM141	15,30	
			Mano2	SM142	0,50	
			Cintura	SM150	16,80	
			Pierna1	SM161	10,40	
	Pierna2	SM162	0,50			
	Wall-e	M2	Cabeza	SM210	103,80	292,40
			Tronco	SM220	97,60	
			Pierna1	SM231	90,50	
			Pierna2	SM232	0,50	
	Pinypon	M3	Pelo	SM310	158,20	566,50
			Cabeza	SM320	15,10	
			Tronco	SM330	237,40	
Piernas			SM340	142,10		
Falda			SM350	8,70		
Estrella			SM360	5,00		
Shelly	M4	Cabeza	SM410	397,50	1360,30	
		Tronco	SM420	355,80		
		Brazo1	SM431	320,90		
		Brazo2	SM432	0,50		
		Pierna1	SM441	285,10		
		Pierna2	SM442	0,50		

Tabla 3: Tiempo de modelado en SolidWorks. Unidades en minutos.



Gráfica 2: Tiempo de modelado en SolidWorks. Unidades en minutos.

CONTROL DE DIMENSIONES

Para llevar a cabo este apartado se definieron las tres metodologías utilizadas comúnmente para determinar las dimensiones: medición del objeto real; con un calibre, proporciones de referencia; haciendo uso de plantillas o fotos, y aproximación visual.

A cada uno de estos métodos se les asignó una nota ya que se considera que los resultados que se obtienen no cumplen el mismo nivel de exactitud. Posteriormente se indicó el porcentaje que fue utilizado para cada método. Finalmente se realizó una suma ponderada y se obtuvo los valores que se indican en la tabla 4.

Como se puede observar, Lego Minifigure es el que mayor nota obtiene. Esto se debe a que la mayoría de sus piezas fueron dimensionadas correctamente por medio de la medición del objeto real.

De igual forma, Wall-e obtiene un buen resultado. Destacan las piernas con la nota más baja, esto es debido a que es la parte con mayor contenido en detalles y el control de sus dimensiones era más complejo.

Pinypon obtiene buena nota en aquellas piezas que son más geométricas y menor en aquellas en las que se utilizaron proporciones de referencia y aproximación visual.

En el caso de Shelly, modelo con menor nota, un gran porcentaje fue por aproximación visual, esto repercute en la nota final ya que es el método con menor nivel de exactitud.

LEYENDA DE VALORES		
Medición del objeto real	Proporciones de referencia	Aproximación visual
9,50	6,50	0,50

SOLIDWORKS	MODELO		PARTES		CONTROL DIMENSIONES			TOTAL	
	Lego Minifigure	M1	Cabeza	SM110	100%	0%	0%	9,50	9,28
			Tronco	SM120	100%	0%	0%	9,50	
			Brazo1	SM131	85%	0%	15%	8,15	
			Brazo2	SM132	-	-	-	-	
			Mano1	SM141	100%	0%	0%	9,50	
			Mano2	SM142	-	-	-	-	
			Cintura	SM150	100%	0%	0%	9,50	
			Pierna1	SM161	100%	0%	0%	9,50	
			Pierna2	SM162	-	-	-	-	
	Wall-e	M2	Cabeza	SM210	80%	15%	5%	8,60	8,15
			Tronco	SM220	95%	0%	5%	9,05	
			Pierna1	SM231	50%	30%	20%	6,80	
			Pierna2	SM232	-	-	-	-	
	Pinypon	M3	Pelo	SM310	5%	55%	40%	4,25	6,74
			Cabeza	SM320	100%	0%	0%	9,50	
			Tronco	SM330	10%	45%	50%	4,13	
			Piernas	SM340	8%	42%	50%	3,74	
			Falda	SM350	95%	5%	0%	9,35	
			Estrella	SM360	100%	0%	0%	9,50	
	Shelly	M4	Cabeza	SM410	5%	60%	35%	4,55	3,50
			Tronco	SM420	5%	45%	50%	3,65	
			Brazo1	SM431	5%	35%	60%	3,05	
			Brazo2	SM432	-	-	-	-	
			Pierna1	SM441	5%	30%	65%	2,75	
			Pierna2	SM442	-	-	-	-	

Tabla 4: Control de dimensiones en SolidWorks. Nota sobre 10.

CORRECCIÓN DE ERRORES

Al igual que con el control de dimensiones, para cuantificar el nivel de corrección de errores se tendrán en cuenta los tres métodos más comunes: el árbol de operaciones, la corrección proporcional y el historial. Como no en todos los entornos estos procedimientos funcionan de la misma forma, no se ponderó la nota y en su lugar se hizo una media aritmética.

Desde una perspectiva global, en SolidWorks lo que más se utiliza es la edición de las operaciones mediante el uso del árbol de operaciones y su consiguiente corrección proporcional al resto del modelo. Estas metodologías obtienen un buen rendimiento ya que parametrizan todas las operaciones y a priori se puede modificar cualquier aspecto teniendo la seguridad de que afectará positivamente en el modelo.

No obstante, en los modelos más orgánicos como Pinypon y Shelly, el árbol de operaciones baja considerablemente la nota y la corrección proporcional en algunos casos es incluso nula. Esto se debe a que el programa controla tantos parámetros a la vez en superficies tan complicadas que, por pequeña que sea la modificación, puede causar un conflicto en la resolución de dicha modificación. Sin embargo, en Lego Minifigure y Wall-e, modelos con mayor nota y los de carácter más geométrico, estas metodologías resultan más eficientes.

Por otro lado, el historial no es común utilizarlo y solo es útil para ir hacia atrás en condiciones muy específicas. Es por eso que la nota máxima para esta categoría es 8.

LEYENDA DE VALORES		
Arbol de operaciones	Corrección proporcional	Historial / cntrl+z

		MODELO	PARTES	CORRECCIÓN ERRORES			TOTAL	
SOLIDWORKS	Lego Minifigure	M1	Cabeza SM110	10,00	10,00	8,00	9,33	9,33
			Tronco SM120	10,00	10,00	8,00	9,33	
			Brazo1 SM131	10,00	10,00	8,00	9,33	
			Brazo2 SM132	-	-	-	-	
			Mano1 SM141	10,00	10,00	8,00	9,33	
			Mano2 SM142	-	-	-	-	
			Cintura SM150	10,00	10,00	8,00	9,33	
			Pierna1 SM161	10,00	10,00	8,00	9,33	
	Pierna2 SM162	-	-	-	-			
	Wall-e	M2	Cabeza SM210	10,00	7,75	8,00	8,58	8,42
			Tronco SM220	10,00	8,00	8,00	8,67	
			Pierna1 SM231	10,00	6,00	8,00	8,00	
			Pierna2 SM232	-	-	-	-	
	Pinypon	M3	Pelo SM310	6,50	0,00	8,00	4,83	7,44
			Cabeza SM320	10,00	10,00	8,00	9,33	
			Tronco SM330	7,50	3,50	8,00	6,33	
			Piernas SM340	6,50	2,00	8,00	5,50	
			Falda SM350	10,00	10,00	8,00	9,33	
			Estrella SM360	10,00	10,00	8,00	9,33	
	Shelly	M4	Cabeza SM410	4,50	0,00	8,00	4,17	4,92
Tronco SM420			7,50	0,00	8,00	5,17		
Brazo1 SM431			7,50	0,00	8,00	5,17		
Brazo2 SM432			-	-	-	-		
Pierna1 SM441			7,50	0,00	8,00	5,17		
Pierna2 SM442			-	-	-	-		

Tabla 5: Corrección de errores en SolidWorks. Nota sobre 10.

5.1.2. 3DS MAX

En el proceso de modelado con 3ds Max se utilizó siempre que fue posible la introducción numérica de las dimensiones tomadas con el calibre. Como no se podía acotar con exactitud todos los modelos, incluidos los más geométricos, se utilizaron fotos de referencia y aproximación visual para ser completados.

En el caso de Pinypon y Shelly, únicamente se pudo establecer la dimensión total de los modelos y no el de sus piezas de manera individualizada.

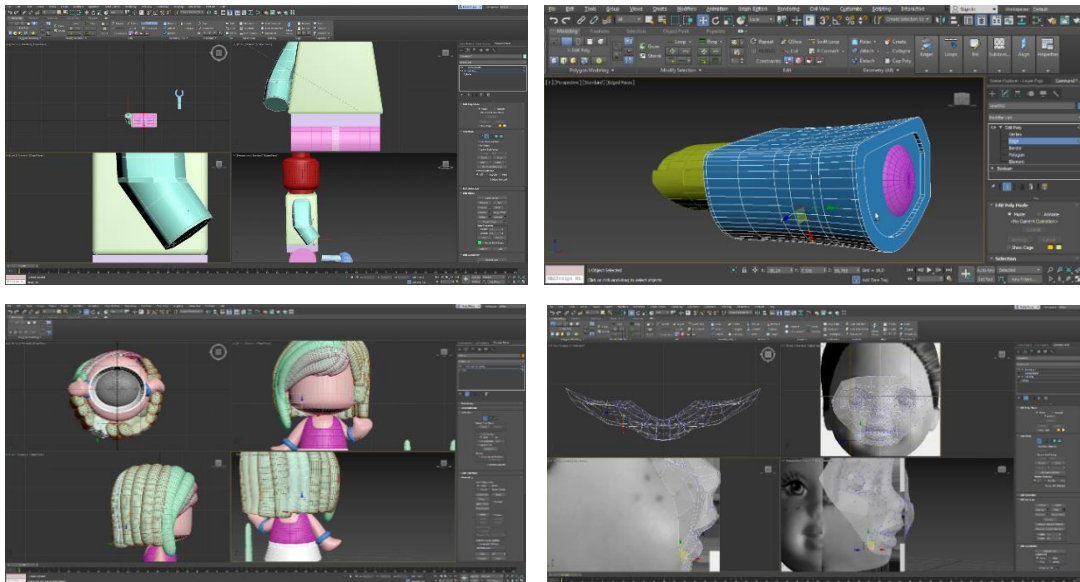


Figura 10: Capturas de pantalla en 3ds Max.

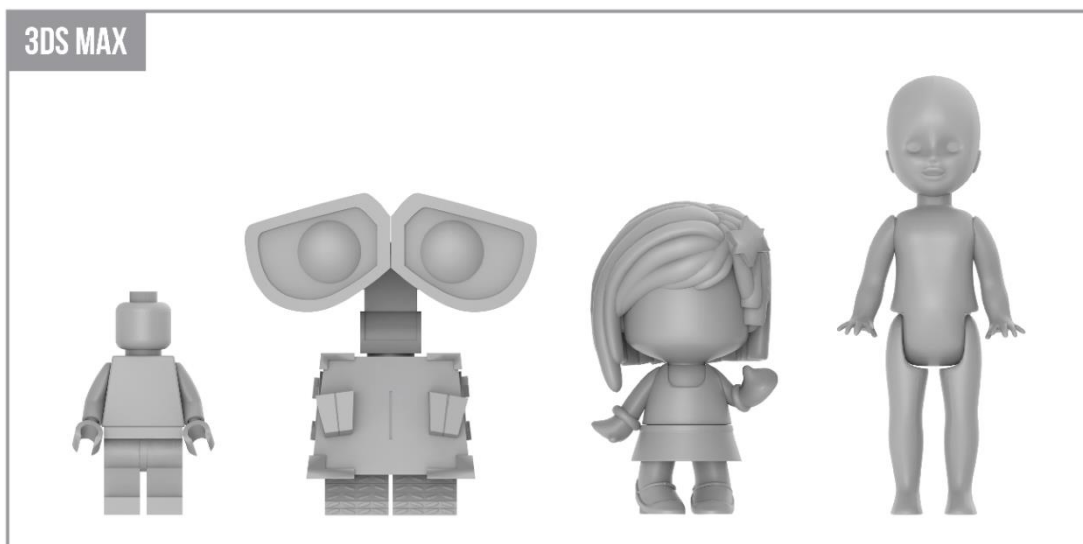


Figura 11: Modelos 3D generados en 3ds Max. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.

*Detalles de los modelos y comparación entre ellos en Bloque II.

NÚMERO DE OPERACIONES

El modelo con más operaciones es Pinypon, en concreto la pieza del pelo. Esto se debe a que, en este programa, para generar pelo hay que llevar a cabo un conjunto de operaciones previas que sirven como base para la ejecución final. El resto de las piezas siguen la media.

Otro caso llamativo es el de Wall-e. En proporción es el modelo cuyas piezas contienen un mayor número de operaciones. Esto se debe a que pese a estar compuesto por formas simples, el conjunto cuenta con multitud de dichas formas y eso hace que el volumen de operaciones sea mayor.

En el caso de Lego Minifigure y Shelly, el resultado es más o menos similar. Pese a ser modelos con geometría muy dispar, el número de operaciones para llevarlos a cabo es menor que con los otros dos modelos.

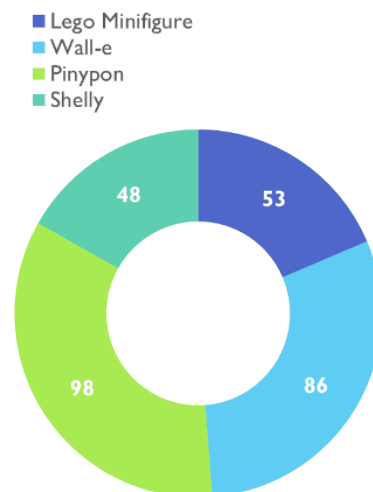
En el caso de Lego Minifigure se debe a que las formas simples a penas se descomponen en otras más simples, se pueden trazar de una sola vez y con pocos parámetros.

No ocurre igual con Shelly, a priori parece que el número de detalles es determinante en el número de operaciones, pero en este programa no está directamente relacionado. Al ser una forma antropomorfa, pese a ser el modelo más orgánico, el programa permite modelar cada pieza de forma general prácticamente en una sola operación.

Por consiguiente, en 3ds Max, el número de operaciones varía en función de la cantidad de formas simples o primitivas que componen el conjunto. Cuantas más y más descompuestas estén, más operaciones. Por el contrario, cuantas más deformaciones libres necesite la malla, como en el caso de los modelos orgánicos, menos operaciones serán necesarias ya que la forma parte de un número menor de primitivas.

		MODELO	PARTES	OPERACIONES	TOTAL
3DSMAX	Lego Minifigure	M1	Cabeza XM110	7	53
			Tronco XM120	7	
			Brazo1 XM131	6	
			Brazo2 XM132	1	
			Mano1 XM141	8	
			Mano2 XM142	1	
			Cintura XM150	13	
			Pierna1 XM161	9	
	Pierna2 XM162	1			
	Wall-e	M2	Cabeza XM210	32	86
			Tronco XM220	29	
			Pierna1 XM231	24	
			Pierna2 XM232	1	
	Pinypon	M3	Pelo XM310	42	98
			Cabeza XM320	11	
			Tronco XM330	18	
Piernas XM340			21		
Falda XM350			3		
Estrella XM360			3		
Shelly	M4	Cabeza XM410	12	48	
		Tronco XM420	10		
		Brazo1 XM431	11		
		Brazo2 XM432	1		
		Pierna1 XM441	13		
		Pierna2 XM442	1		

Tabla 6: Número de operaciones en 3ds Max.



Gráfica 3: Número de operaciones en 3ds Max.

TIEMPO DE MODELADO

Teniendo en cuenta que los datos recogidos para el tiempo de modelado han sido ajustados para que únicamente se refieran a las acciones que repercuten en el resultado final y no en aquellas que indujeron algún error o por consiguiente alguna repetición, los resultados fueron los siguientes:

Pinypon es el modelo que más tiempo tardó, en concreto 491,70 minutos. El pelo es la pieza que más tiempo ha ocupado, 203,50 minutos. Esto se debe a que es la que más operaciones requería y por tanto la que más elaboración necesitó. Es comprensible teniendo en cuenta que el resto de las piezas tienen formas mucho más simples.

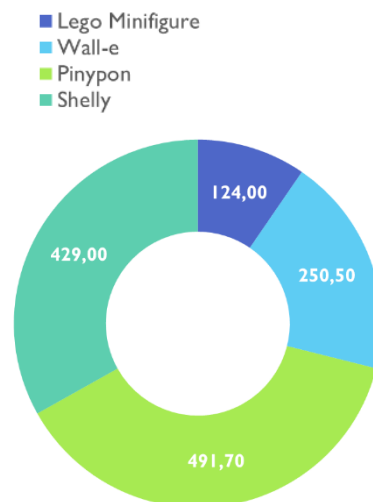
A su vez, Shelly se hizo en 429,00 minutos, siendo la cabeza la pieza que más se tardó en hacer. En este caso, pese a no ser una pieza que destacase por tener muchas operaciones, el tiempo de modelado fue mucho más lento ya que, como se ha dicho anteriormente, el contenido de detalles en la malla era mayor y requería de deformación libre.

Por otra parte, los modelos más geométricos, Wall-e y Lego Minifigure, obtienen valores mucho más bajos en comparación a los otros dos anteriormente descritos. Esto se debe a que al ser piezas derivadas de primitivas que requieren de una deformación o alteración menor, el tiempo de modelado es menor.

En definitiva, cuantos más parámetros se puedan controlar dentro del entorno de modelado, menor será el tiempo de ejecución. Aquellas piezas que requieran de deformación libre utilizando modificadores tales como “Edit Poly”, requerirán de más tiempo para alcanzar la forma objetivo.

MODELO		PARTES		TIEMPO	TOTAL
3DSMAX	Lego Minifigure	M1	Cabeza XM110	20,30	124,00
			Tronco XM120	24,20	
			Brazo1 XM131	32,1	
			Brazo2 XM132	0,50	
			Mano1 XM141	18,40	
			Mano2 XM142	0,50	
			Cintura XM150	27,50	
			Pierna1 XM161	32,10	
	Pierna2 XM162	0,50			
	Wall-e	M2	Cabeza XM210	98,70	250,50
			Tronco XM220	85,60	
			Pierna1 XM231	65,70	
			Pierna2 XM232	0,50	
	Pinypon	M3	Pelo XM310	203,50	491,70
			Cabeza XM320	28,40	
			Tronco XM330	128,50	
Piernas XM340			103,70		
Falda XM350			22,30		
Estrella XM360			5,30		
Shelly	M4	Cabeza XM410	228,60	429,00	
		Tronco XM420	96,30		
		Brazo1 XM431	54,80		
		Brazo2 XM432	0,50		
		Pierna1 XM441	48,30		
		Pierna2 XM442	0,50		

Tabla 7: Tiempo de modelado en 3ds Max. Unidades en minutos.



Gráfica 4: Número de operaciones en 3ds Max. Unidades en minutos.

CONTROL DE DIMENSIONES

Para llevar a cabo este apartado se definieron las tres metodologías utilizadas comúnmente para determinar las dimensiones: medición del objeto real; con un calibre, proporciones de referencia; haciendo uso de plantillas o fotos, y aproximación visual.

A cada uno de estos métodos se les asignó una nota ya que se considera que los resultados que se obtienen no cumplen el mismo nivel de exactitud. Posteriormente se indicó el porcentaje que fue utilizado para cada método. Finalmente se realizó una suma ponderada y se obtuvo los valores que se indican en la tabla 8.

El modelo de Lego Minifigure es el mejor valorado ya que es el que está compuesto por más formas simples y por tanto obtener sus dimensiones por el método de medición del objeto real es más sencillo.

Lo mismo ocurre con Wall-e y alguna de las piezas de Pinypon. No obstante, en estos modelos existe una presencia mucho más marcada del uso de fotos como referencia para obtener las proporciones. Esto se debe a que al contener demasiados elementos o formas con leves transformaciones, la medición con calibre no es posible o bien el programa no permite introducir variables tan complejas.

Por otro lado, Shelly es la que menor puntuación recibe al no utilizar el método de medición del objeto real. Este modelo únicamente fue posible escalarlo en altura total ya que ninguna de sus piezas, salvo los encajes que permiten ensamblar el conjunto, tienen forma geométrica de las que se puedan obtener dimensiones reales.

LEYENDA DE VALORES		
Medición del objeto real	Proporciones de referencia	Aproximación visual
9,50	6,50	0,50

		MODELO	PARTES	CONTROL DIMENSIONES			TOTAL	
3DSMAX	Lego Minifigure	M1	Cabeza XM110	100%	0%	0%	9,50	7,95
			Tronco XM120	95%	0%	5%	9,05	
			Brazo1 XM131	0%	75%	25%	5,00	
			Brazo2 XM132	-	-	-	-	
			Mano1 XM141	100%	0%	0%	9,50	
			Mano2 XM142	-	-	-	-	
			Cintura XM150	45%	25%	30%	6,05	
			Pierna1 XM161	90%	0%	10%	8,60	
	Pierna2 XM162	-	-	-	-			
	Wall-e	M2	Cabeza XM210	45%	40%	15%	6,95	6,05
			Tronco XM220	50%	30%	20%	6,80	
			Pierna1 XM231	20%	35%	45%	4,40	
			Pierna2 XM232	-	-	-	-	
	Pinypon	M3	Pelo XM310	0%	25%	75%	2,00	5,98
			Cabeza XM320	65%	30%	5%	8,15	
			Tronco XM330	5%	65%	30%	4,85	
			Piernas XM340	0%	70%	30%	4,70	
			Falda XM350	20%	75%	5%	6,80	
			Estrella XM360	95%	5%	0%	9,35	
	Shelly	M4	Cabeza XM410	0%	85%	15%	5,60	4,72
Tronco XM420			0%	82%	8%	5,37		
Brazo1 XM431			0%	55%	45%	3,80		
Brazo2 XM432			-	-	-	-		
Pierna1 XM441			0%	60%	40%	4,10		
Pierna2 XM442			-	-	-	-		

Tabla 8: Control de dimensiones en 3ds Max. Nota sobre 10.

CORRECCIÓN DE ERRORES

Al igual que con el control de dimensiones, para cuantificar el nivel de corrección de errores se tendrán en cuenta los tres métodos más comunes: el árbol de operaciones, la corrección proporcional y el historial. Como no en todos los entornos estos procedimientos funcionan de la misma forma, no se ponderó la nota y en su lugar se hizo una media aritmética.

Desde una perspectiva global, en 3ds Max se utiliza el concepto de árbol de operaciones, pero tan solo en pequeñas modificaciones de elementos no muy cercanos a la forma primitiva se puede ejecutar la corrección proporcional. Es decir, si se pretende modificar un parámetro desde la forma primitiva de una pieza que ha sufrido transformaciones importantes, la corrección proporcional no será efectiva.

Es por eso que en Pinypon y Shelly, la corrección proporcional en piezas orgánicas puede acarrear errores y en ningún caso se recomienda.

El árbol de operaciones permitirá grandes cambios siempre y cuando se produzcan en las últimas etapas del modelado y no afecten a la geometría base. Por ello, se recomienda corregir los errores cuando se esté creando la estructura, justo antes de aplicar modificadores o elementos que compliquen la geometría.

Por eso, Lego Minifigure es el que mayor nota obtiene ya que sus formas, al ser tan simples, no importa cuándo se modifiquen ya que la corrección proporcional funciona.

El historial ejecuta las acciones de ir hacia delante e ir hacia atrás pero no permite acceder al estado del modelo en fases puntuales. Por eso la máxima nota es 8.

LEYENDA DE VALORES		
Arbol de operaciones	Corrección proporcional	Historial / cntrl+z

		MODELO	PARTES	CORRECCIÓN ERRORES			TOTAL	
3DSMAX	Lego Minifigure	M1	Cabeza XM110	10,00	9,00	8,00	9,00	7,76
			Tronco XM120	10,00	8,50	8,00	8,83	
			Brazo1 XM131	10,00	0,00	8,00	6,00	
			Brazo2 XM132	-	-	-	-	
			Mano1 XM141	10,00	7,75	8,00	8,58	
			Mano2 XM142	-	-	-	-	
			Cintura XM150	10,00	5,00	8,00	7,67	
			Pierna1 XM161	10,00	1,50	8,00	6,50	
	Pierna2 XM162	-	-	-	-			
	Wall-e	M2	Cabeza XM210	10,00	8,50	8,00	8,83	8,00
			Tronco XM220	10,00	5,00	8,00	7,67	
			Pierna1 XM231	10,00	4,50	8,00	7,50	
			Pierna2 XM232	-	-	-	-	
	Pinypon	M3	Pelo XM310	10,00	7,00	8,00	8,33	7,72
			Cabeza XM320	10,00	5,50	8,00	7,83	
			Tronco XM330	10,00	1,00	8,00	6,33	
			Piernas XM340	10,00	0,00	8,00	6,00	
			Falda XM350	10,00	7,50	8,00	8,50	
			Estrella XM360	10,00	10,00	8,00	9,33	
	Shelly	M4	Cabeza XM410	10,00	0,00	8,00	6,00	6,00
Tronco XM420			10,00	0,00	8,00	6,00		
Brazo1 XM431			10,00	0,00	8,00	6,00		
Brazo2 XM432			-	-	-	-		
Pierna1 XM441			10,00	0,00	8,00	6,00		
Pierna2 XM442			-	-	-	-		

Tabla 9: Corrección errores en 3ds Max. Nota sobre 10.

5.1.3. ZBRUSH

A diferencia de los otros programas analizados anteriormente, ZBrush no permite introducir valores numéricos con el fin de poder dimensionar adecuadamente las piezas.

Por tanto, para llevar a cabo los modelos en ZBrush se hizo uso de referencias visuales desde diferentes perspectivas con el fin de seguir la proporción deseada. Aun así, la aproximación visual también fue determinante ya que no todos los detalles se aprecian en las referencias aportadas.

No obstante, los modelos se escalarán en la cota de altura total para que puedan ser comparados con el resto de los programas en las mismas condiciones.

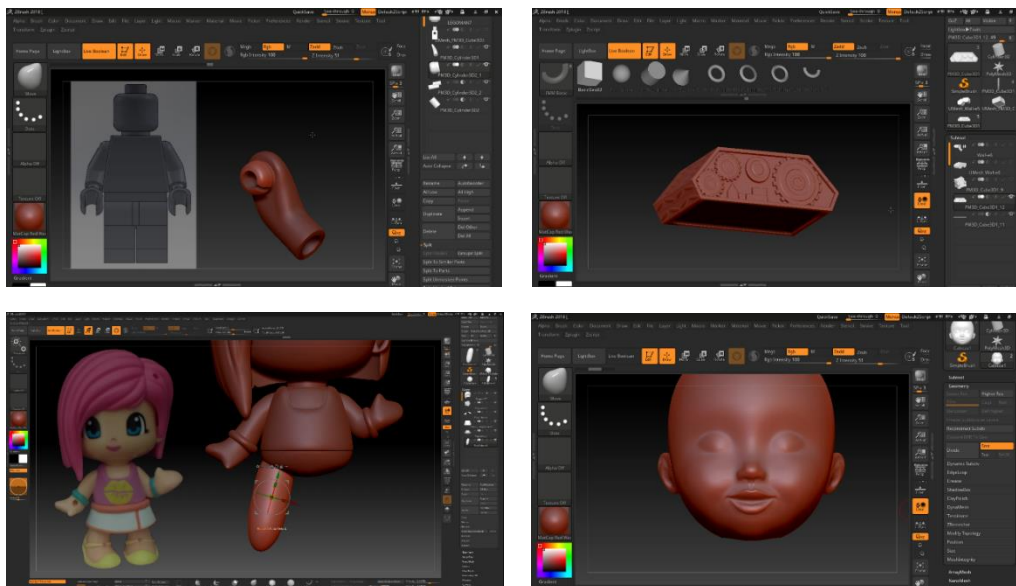


Figura 12: Capturas de pantalla en ZBrush.

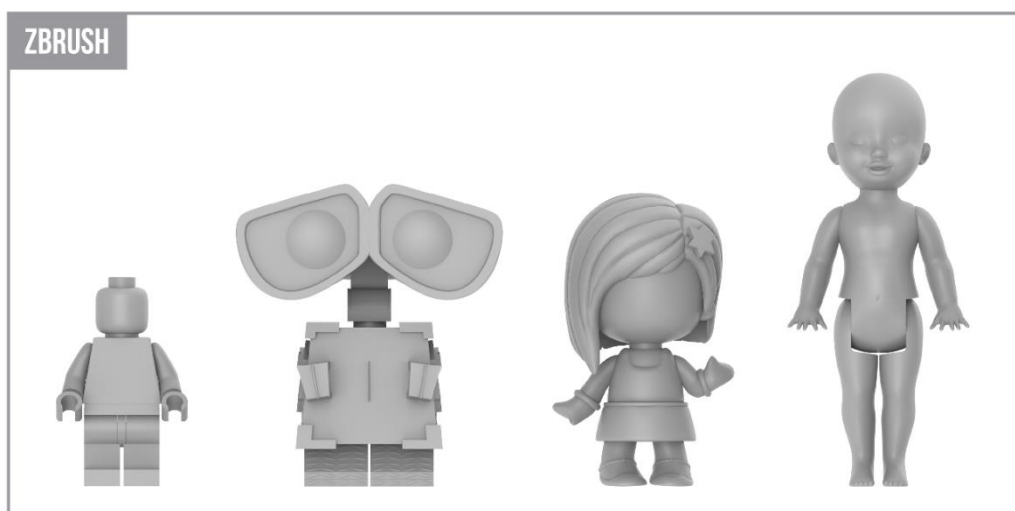


Figura 13: Modelos 3D generados en ZBrush. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.

*Detalles de los modelos y comparación entre ellos en Bloque II.

NÚMERO DE OPERACIONES

Como ZBrush no utiliza el concepto de “operación” como tal, en este apartado, definimos operaciones como cambios de herramienta u otros procesos como simetría, máscaras, selecciones, etc.

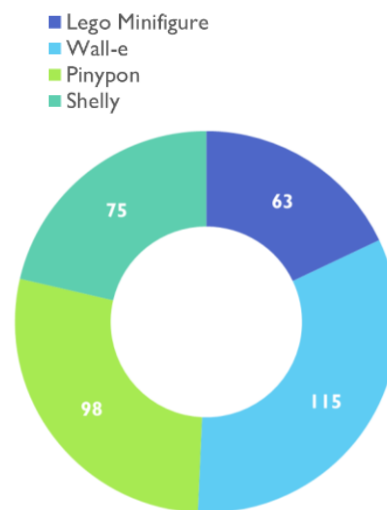
El modelo con más operaciones es Wall-e. Concretamente sus componentes son los que más operaciones contienen si los comparamos individualmente con el resto de las piezas que componen la muestra. Esto se debe a que, pese a ser de formas simples, el nivel de detalle o la cantidad de estas formas es muy alto. Por tanto, son pocas, pero necesitan muchas operaciones para ser llevadas a cabo.

Lego Minifigure es el que menos operaciones ha necesitado para ser ejecutado. Esto es debido a que sus formas son simples y por tanto requieren de pocas transformaciones.

Pinypon y Shelly, los modelos orgánicos, obtienen significativamente más operaciones que Lego Minifigure. Destacan las piezas que contienen mayor cantidad de detalles y por tanto necesitan hacer más cambios de herramientas o cualquier otro proceso que sea necesario para obtener el resultado final.

		MODELO	PARTES	OPERACIONES	TOTAL
ZBRUSH	Lego Minifigure	M1	Cabeza ZM110	8	63
			Tronco ZM120	6	
			Brazo1 ZM131	13	
			Brazo2 ZM132	2	
			Mano1 ZM141	5	
			Mano2 ZM142	2	
			Cintura ZM150	12	
			Pierna1 ZM161	13	
	Pierna2 ZM162	2			
	Wall-e	M2	Cabeza ZM210	43	115
			Tronco ZM220	42	
			Pierna1 ZM231	28	
			Pierna2 ZM232	2	
	Pinypon	M3	Pelo ZM310	18	98
			Cabeza ZM320	10	
			Tronco ZM330	25	
			Piernas ZM340	28	
			Falda ZM350	11	
			Estrella ZM360	6	
	Shelly	M4	Cabeza ZM410	21	75
Tronco ZM420			24		
Brazo1 ZM431			15		
Brazo2 ZM432			2		
Pierna1 ZM441			11		
Pierna2 ZM442			2		

Tabla 10: Número de operaciones en ZBrush.



Gráfica 5: Número de operaciones en ZBrush.

TIEMPO DE MODELADO

Teniendo en cuenta que los datos recogidos para el tiempo de modelado han sido ajustados para que únicamente se refieran a las acciones que repercuten en el resultado final y no en aquellas que indujeron algún error o por consiguiente alguna repetición, los resultados fueron los siguientes:

Shelly es el modelo que más tiempo ha llevado, 482,10 minutos. Concretamente, la pieza con el valor más alto es la cabeza. Esto se debe a que es donde más detalles había además de ser de las partes que más aproximación visual precisa. Es decir, no solo interfiere el tiempo de la ejecución de las operaciones necesarias para obtener las piezas, sino que también el tiempo que conlleva observar y reproducir fielmente la referencia visual aportada.

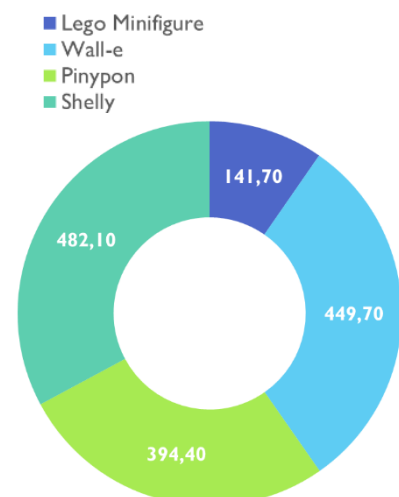
En contraste se produce con el modelo Lego Minifigure, siendo 141,70 minutos los necesarios en su desarrollo. Pese a ser el que más piezas contiene, estas son más sencillas que las del resto de modelos y por tanto la suma total sigue siendo menor.

En el caso de Pinypon ocurre que todas sus piezas, a excepción de una, han sido modeladas con relativa rapidez. Esta pieza es la del pelo, la que mayor cantidad de detalles tiene y la que por tanto mayor tiempo ha llevado para ser modelada.

Por lo general, cuanto más simples sean las formas, menor tiempo de modelado precisarán. En aquellos modelos en los que haya muchos detalles o en los que la forma sea más compleja, se invertirá mayor tiempo en su ejecución. Esto es independiente de si las piezas son geométricas u orgánicas. Se puede observar esta apreciación comparando el resultado de las piezas de Wall-e con las de Shelly, ambos modelos contienen formas muy diferentes, pero al ser de una mayor complejidad que las de Lego Minifigure, requieren de más tiempo para ser llevadas a cabo.

MODELO		PARTES		TIEMPO	TOTAL	
ZBRUSH	Lego Minifigure	M1	Cabeza	ZM110	22,40	141,70
			Tronco	ZM120	25,00	
			Brazo1	ZM131	38,10	
			Brazo2	ZM132	0,50	
			Mano1	ZM141	11,30	
			Mano2	ZM142	0,50	
			Cintura	ZM150	25,20	
			Pierna1	ZM161	18,20	
			Pierna2	ZM162	0,50	
	Wall-e	M2	Cabeza	ZM210	163,20	449,70
			Tronco	ZM220	164,60	
			Pierna1	ZM231	121,40	
			Pierna2	ZM232	0,50	
	Pinypon	M3	Pelo	ZM310	185,40	394,40
			Cabeza	ZM320	17,90	
			Tronco	ZM330	82,60	
Piernas			ZM340	82,30		
Falda			ZM350	18,40		
Estrella			ZM360	7,80		
Shelly	M4	Cabeza	ZM410	198,20	482,10	
		Tronco	ZM420	72,10		
		Brazo1	ZM431	113,30		
		Brazo2	ZM432	0,50		
		Pierna1	ZM441	97,50		
		Pierna2	ZM442	0,50		

Tabla 11: Tiempo de modelado en ZBrush. Unidades en minutos.



Gráfica 6: Tiempo de modelado en ZBrush. Unidades en minutos.

CONTROL DE DIMENSIONES

Para llevar a cabo este apartado se definieron las tres metodologías utilizadas comúnmente para determinar las dimensiones: medición del objeto real; con un calibre, proporciones de referencia; haciendo uso de plantillas o fotos, y aproximación visual.

A cada uno de estos métodos se les asignó una nota ya que se considera que los resultados que se obtienen no cumplen el mismo nivel de exactitud. Posteriormente se indicó el porcentaje que fue utilizado para cada método. Finalmente se realizó una suma ponderada y se obtuvo los valores que se indican en la tabla 12.

Como esencialmente ZBrush se utiliza en sectores no afines a la industria, no se pueden controlar las dimensiones de los modelos. La única forma existente de poder controlarlo es otorgándole el valor a la altura total y siguiendo las proporciones de una referencia fotográfica o por aproximación visual.

Es por eso que todos los modelos reciben 0 en el apartado de medición del objeto real. No obstante, las proporciones de referencia toman protagonismo siendo muy importantes en todos los modelos.

Por consiguiente, con los resultados obtenidos, se concluye que independientemente de la geometría del modelo, el control de la dimensión se mantiene homogéneo para toda la muestra prevaleciendo la metodología de proporciones de referencia.

LEYENDA DE VALORES		
Medición del objeto real	Proporciones de referencia	Aproximación visual
9,50	6,50	0,50

		MODELO	PARTES	CONTROL DIMENSIONES			TOTAL	
ZBRUSH	Lego Minifigure	M1	Cabeza ZM110	0%	90%	10%	5,90	5,85
			Tronco ZM120	0%	95%	5%	6,20	
			Brazo1 ZM131	0%	85%	15%	5,60	
			Brazo2 ZM132	-	-	-	-	
			Mano1 ZM141	0%	100%	0%	6,50	
			Mano2 ZM142	-	-	-	-	
			Cintura ZM150	0%	90%	10%	5,90	
			Pierna1 ZM161	0%	75%	25%	5,00	
			Pierna2 ZM162	-	-	-	-	
	Wall-e	M2	Cabeza ZM210	0%	90%	10%	5,90	5,60
			Tronco ZM220	0%	85%	15%	5,60	
			Pierna1 ZM231	0%	80%	20%	5,30	
			Pierna2 ZM232	-	-	-	-	
	Pinypon	M3	Pelo ZM310	0%	85%	15%	5,60	5,93
			Cabeza ZM320	0%	100%	0%	6,50	
			Tronco ZM330	0%	85%	15%	5,60	
			Piernas ZM340	0%	78%	22%	5,18	
			Falda ZM350	0%	95%	5%	6,20	
			Estrella ZM360	0%	100%	0%	6,50	
	Shelly	M4	Cabeza ZM410	0%	80%	20%	5,30	5,73
Tronco ZM420			0%	90%	10%	5,90		
Brazo1 ZM431			0%	88%	22%	5,83		
Brazo2 ZM432			-	-	-	-		
Pierna1 ZM441			0%	90%	10%	5,90		
Pierna2 ZM442			-	-	-	-		

Tabla 12: Control de dimensiones en ZBrush. Nota sobre 10.

CORRECCIÓN DE ERRORES

Al igual que con el control de dimensiones, para cuantificar el nivel de corrección de errores se tendrán en cuenta los tres métodos más comunes: el árbol de operaciones, la corrección proporcional y el historial. Como no en todos los entornos estos procedimientos funcionan de la misma forma, no se ponderó la nota y en su lugar se hizo una media aritmética.

ZBrush no es un programa paramétrico y por consiguiente no puede ajustar valores para corregir puntualmente errores en el proceso de modelado.

No obstante, pese a no tener árbol de operaciones o corrección proporcional, cuenta con una herramienta muy potente, el historial. Esta permite navegar a través de cada uno de los estados del modelo desde la última apertura del archivo. Es decir, no guarda los cambios realizados en aperturas pasadas.

De esta forma, siempre se puede volver al estado inicial o cualquier otro que se considere adecuado. Esto facilita el proceso de modelado ya que en todo momento se puede volver atrás. Aun así, si se volviese atrás, todos los cambios que se hayan producido después no se conservarán.

Aunque es una herramienta muy útil, normalmente se suele utilizar en caso de errores importantes ya que la escultura digital, al igual que en la escultura real, beneficia volver a intervenir en el modelo aplicando nuevas deformaciones para subsanar las pequeñas imperfecciones.

Como resultado, únicamente el historial pudo ser valorado en cada uno de los modelos.

LEYENDA DE VALORES		
Arbol de operaciones	Corrección proporcional	Historial / cntrl+z

		MODELO	PARTES	CORRECCIÓN ERRORES			TOTAL	
ZBRUSH	Lego Minifigure	M1	Cabeza ZM110	0,00	0,00	10,00	3,33	3,33
			Tronco ZM120	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Brazo1 ZM131	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Brazo2 ZM132	-	-	-	-	
			Mano1 ZM141	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Mano2 ZM142	-	-	-	-	
			Cintura ZM150	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Pierna1 ZM161	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Pierna2 ZM162	-	-	-	-	
	Wall-e	M2	Cabeza ZM210	0,00	0,00	10,00	3,33	3,33
			Tronco ZM220	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Pierna1 ZM231	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Pierna2 ZM232	-	-	-	-	
	Pinypon	M3	Pelo ZM310	0,00	0,00	10,00	3,33	3,33
			Cabeza ZM320	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Tronco ZM330	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Piernas ZM340	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Falda ZM350	0,00	0,00	10,00	3,33	
			Estrella ZM360	0,00	0,00	10,00	3,33	
	Shelly	M4	Cabeza ZM410	0,00	0,00	10,00	3,33	3,33
Tronco ZM420			0,00	0,00	10,00	3,33		
Brazo1 ZM431			0,00	0,00	10,00	3,33		
Brazo2 ZM432			-	-	-	-		
Pierna1 ZM441			0,00	0,00	10,00	3,33		
Pierna2 ZM442			-	-	-	-		

Tabla 13: Corrección de errores en ZBrush. Nota sobre 10.

5.2. BLOQUE II – MODELOS

En este bloque se analizarán los modelos desde un punto de vista más concreto. De esta forma se pretende analizar los datos, pero comparando el mismo modelo realizado en cada uno de los tres programas.

En esta ocasión los parámetros que serán utilizados para llevar a cabo la comparación son: tiempo de modelado, control de dimensiones, corrección de errores y nivel de detalle alcanzado. Se omite el número de operaciones ya que como el concepto de operación no es el mismo en los tres entornos seleccionados, este parámetro solo podrá ser fruto de comparación entre los modelos 3D que se realicen en un mismo programa y no entre programas distintos.

Para determinar el nivel de detalle alcanzado por cada programa, se transformarán todos los modelos a mallas poligonales. Posteriormente se reducirá al mínimo el número de polígonos hasta el punto en el que las mallas no pierdan detalles superficiales importantes. Por tanto, las mallas que tras esta reducción contengan un mayor número de polígonos, albergarán mayor cantidad de detalles. Para llevar a cabo este proceso se utilizará la función de “Decimate Master” en ZBrush.

La información se dividirá por modelos y se describirán tanto los resultados como sus conclusiones. Todos los datos hacen referencia a las tablas que se exponen en el Bloque I de esta memoria. A su vez se aportará una muestra visual en la que estén los modelos en diferentes vistas con el fin de compararlos con las fotografías reales utilizadas para modelarlos.

Finalmente se medirá la fidelidad de los modelos ya que, como el sujeto que modeló en 3D es el mismo que toma y analiza todos los datos, en este último punto se valorará el resultado obtenido por dicho sujeto mediante una encuesta visual con una muestra de 30 personas. El fin es analizar la percepción de cuál de los cuatro modelos para cada uno de los tres programas se asemeja más al modelo real tomado como referencia.



Figura 14: Foto de los modelos seleccionados para el estudio. De izquierda a derecha: Lego Minifigure, Wall-e, Pinypon y Shelly.

5.2.1. GEOMÉTRICO PURO: LEGO MINIFIGURE

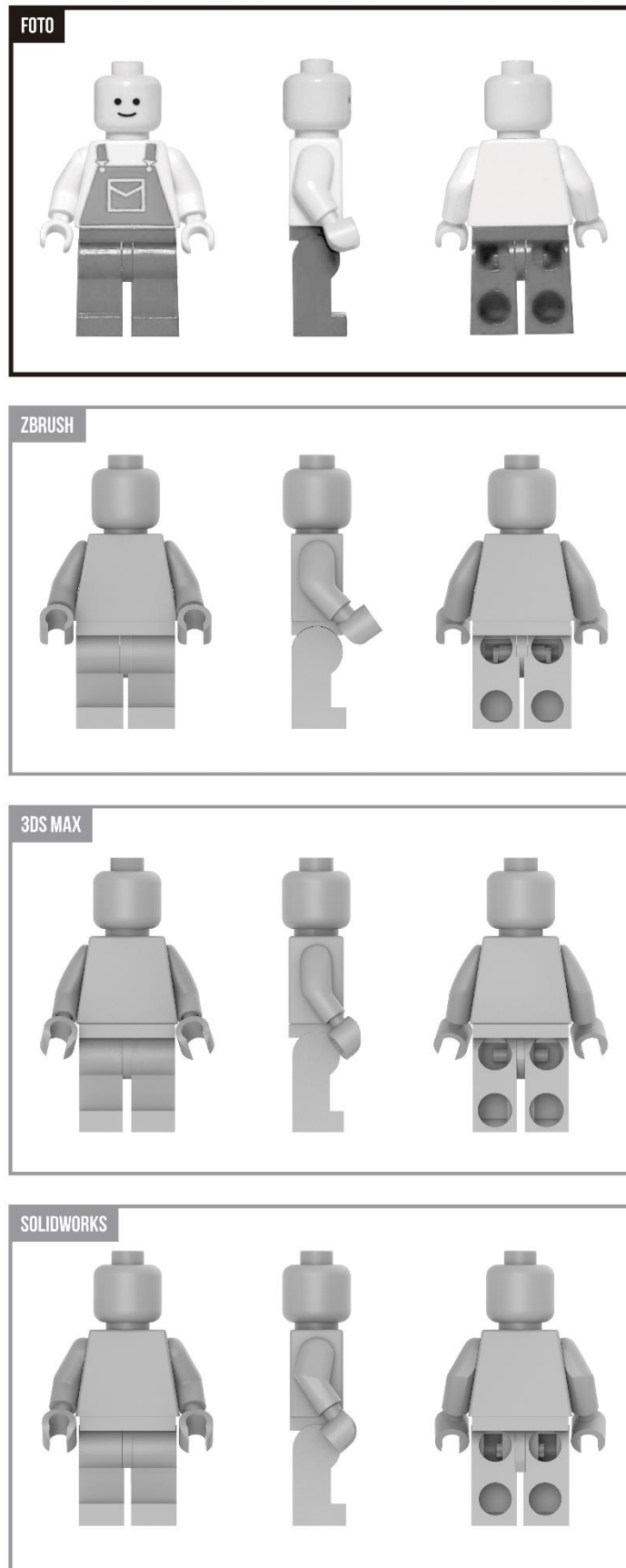
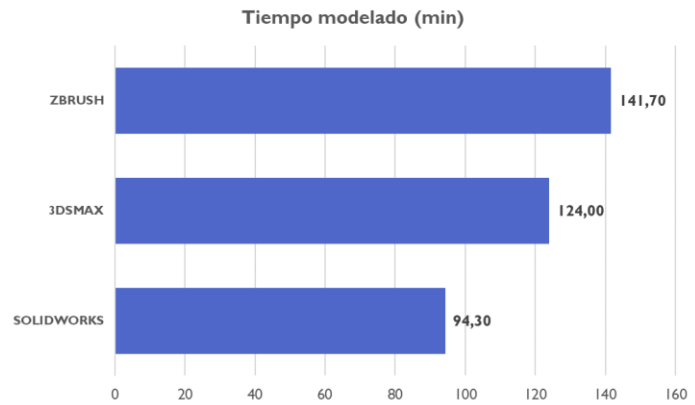


Figura 15: Modelos 3D de Lego Minifigure.

TIEMPO DE MODELADO

SolidWorks fue donde menos tiempo se tardó en modelar. Esto se debe a que Lego Minifigure es un modelo muy geométrico, especialidad de este programa, y se tenían todas las dimensiones necesarias para llevarlo a cabo.

Por otro lado, fue en ZBrush donde más se tardó.

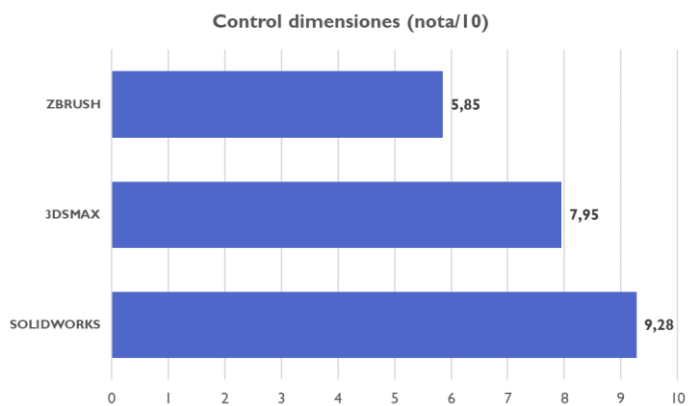


Gráfica 7: Tiempo de modelado para Lego Minifigure.

CONTROL DE DIMENSIONES

Como el objeto real ha sido medido con calibre y es la metodología más fiable dentro de las que se han establecido en este estudio, SolidWorks obtiene la puntuación más alta.

Sin embargo, en ZBrush se obtiene la menor nota ya que los métodos utilizados fueron la proporción de referencia y la aproximación visual.



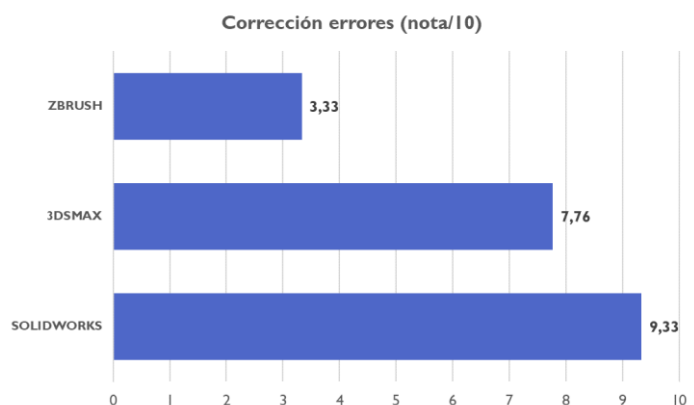
Gráfica 8: Control de dimensiones para Lego Minifigure.

CORRECCIÓN DE ERRORES

El árbol de operaciones y la corrección proporcional fueron determinantes en la medición de esta categoría.

SolidWorks fue el que más nota tiene. Le sigue 3ds Max que, pese a no ser un software de CAD, obtiene buena puntuación.

ZBrush tiene la peor nota ya que el único medio con el que cuenta es el historial de errores.



Gráfica 9: Corrección de errores para Lego Minifigure.

*Gráficas obtenidas a partir de los datos que se comentan en el Bloque I.

NIVEL DE DETALLE ALCANZADO

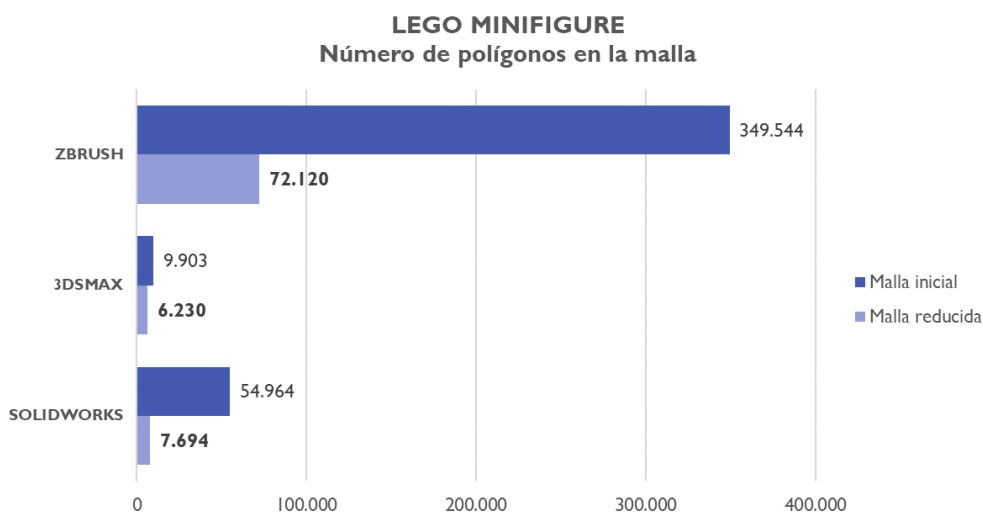
Para determinar el nivel de detalle alcanzado por cada programa, se transformarán todos los modelos a mallas poligonales. Posteriormente se reducirá al mínimo el número de polígonos hasta el punto en el que las mallas no pierdan detalles superficiales importantes. Por tanto, las mallas que tras esta reducción contengan un mayor número de polígonos, albergarán mayor cantidad de detalles. Para llevar a cabo este proceso se utilizará la función de “Decimate Master” en ZBrush.

Para el modelo Lego Minifigure, la cabeza y los brazos, partes menos geométricas, son donde la malla obtiene una densidad de polígonos mayor. Por tanto, una vez reducida la malla es donde más detalles se conservan.

Concretamente, ZBrush es el software donde el número de polígonos es más alto, tanto para la malla inicial como para la malla reducida. Esto se debe a que las piezas anteriormente nombradas, la cabeza y los brazos, fueron esculpidos y por tanto carecían de lados planos. No ocurre igual en la pieza del cuerpo o camiseta, únicamente son necesarios de dos a tres polígonos para describir dicha geometría.

Por otro lado, tanto en 3ds Max como en SolidWorks, obtienen un resultado parecido. Esto se debe a que todas las piezas fueron realizadas mediante herramientas que ayudan a generar formas geométricas. De esta forma, una vez reducida la malla, el número mínimo de polígonos necesarios para representar cada una de las piezas es similar.

Sin embargo, la principal diferencia existente entre 3ds Max y SolidWorks radica en la malla inicial. Esto se debe a que en SolidWorks no se trabaja con polígonos y para llevar a cabo este estudio se transformó la geometría tipo sólido a malla poligonal. Así pues, la transformación a malla reducida en el caso de SolidWorks sufre de un mayor contraste en comparación con 3ds Max que prácticamente ya está optimizada.



Gráfica 10: Comparativa del número de polígonos en la malla para Lego Minifigure.

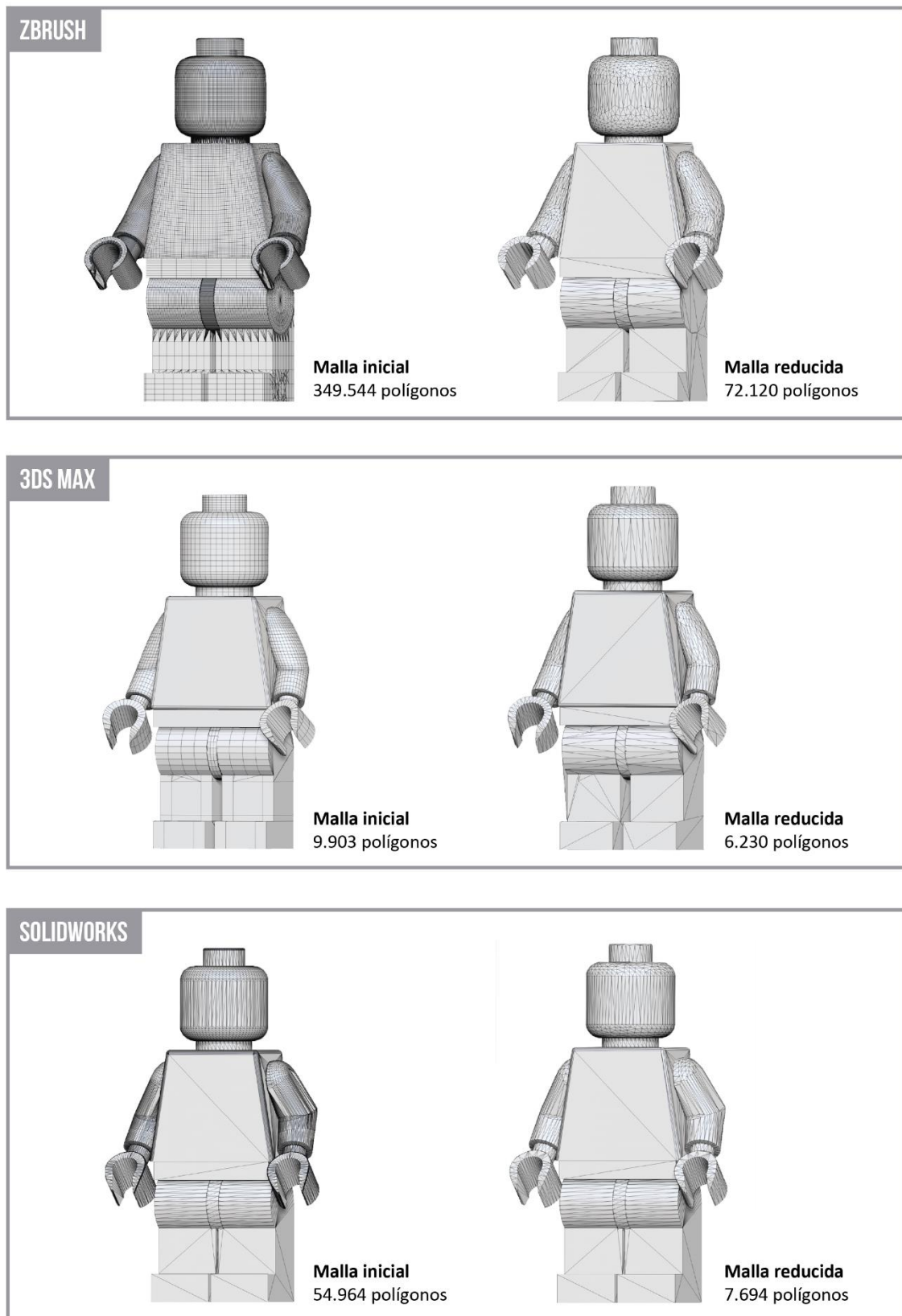


Figura 16: Comparativa del número de polígonos en la malla para Lego Minifigure.

5.2.2. GEOMÉTRICO MIXTO: WALL-E

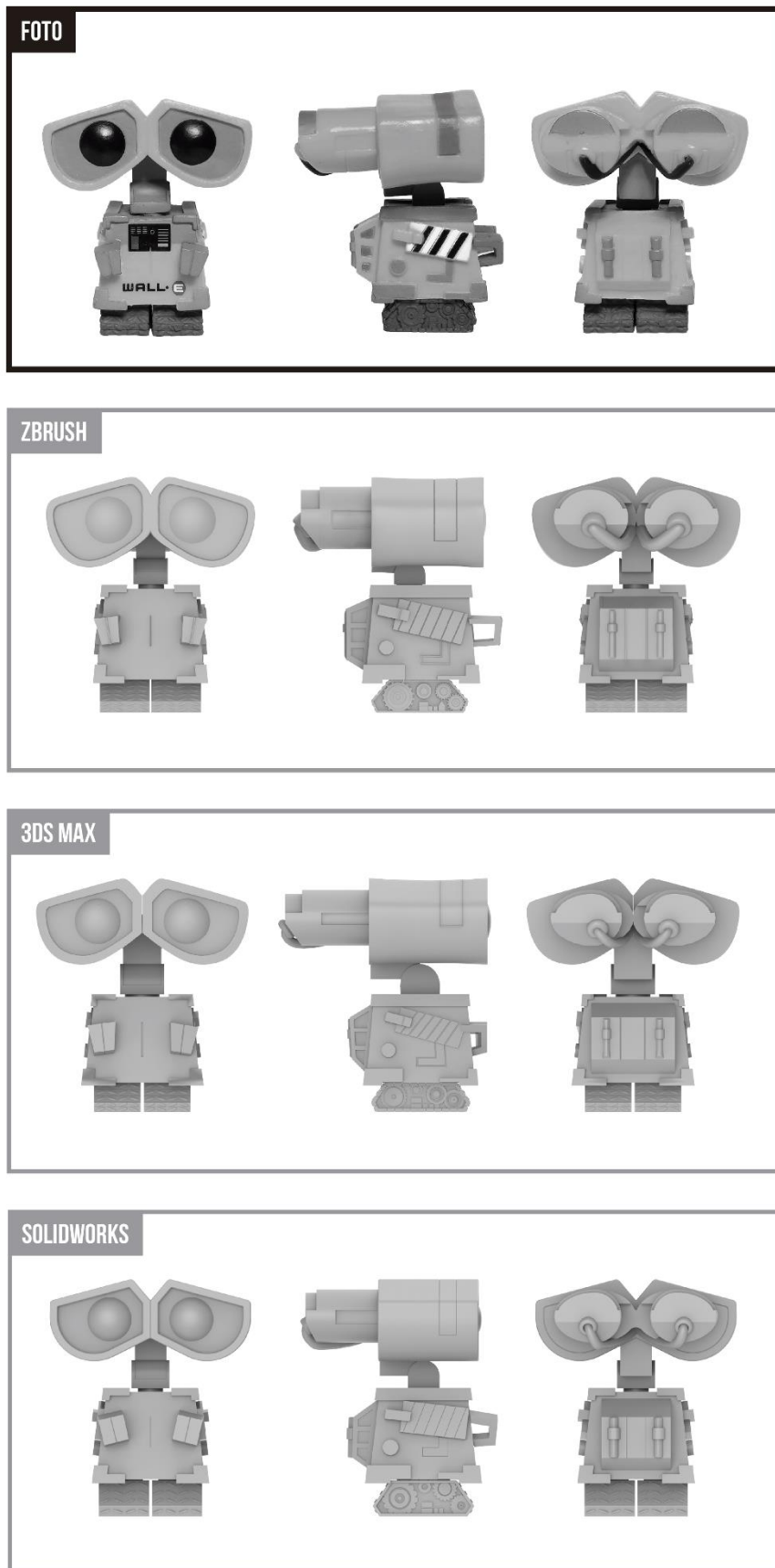


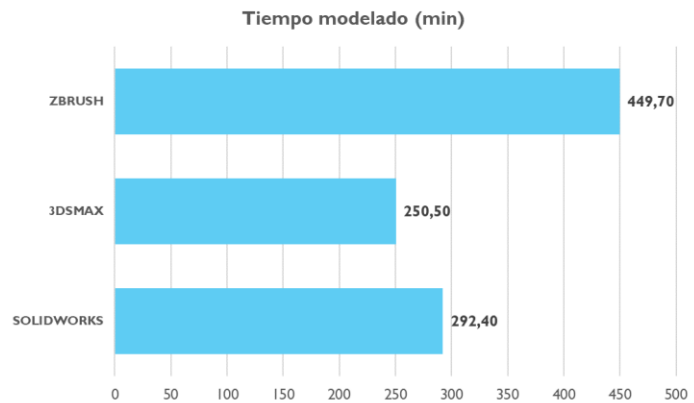
Figura 17: Modelos 3D de Wall-e.

TIEMPO DE MODELADO

En ZBrush es donde más tiempo se invierte ya que las herramientas disponibles para generar formas geométricas no están igual de depuradas que en los otros dos programas.

En 3ds Max se tarda menos tiempo debido a que muchas de las dimensiones se aproximan visualmente.

En cambio, SolidWorks, tarda un poco más que este último programa porque cada una de las dimensiones fueron tomadas con el calibre y parametrizadas en el proceso de modelado; proceso que requiere invertir un poco más de tiempo.

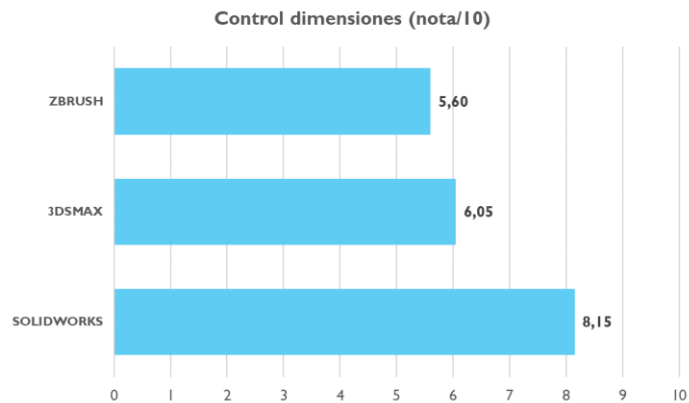


Gráfica 11: Tiempo de modelado para Wall-e.

CONTROL DE DIMENSIONES

Como se ha mencionado en el punto anterior, en SolidWorks se utilizó el calibre para obtener las dimensiones. Es por eso que es el que obtiene mayor nota.

Tanto ZBrush como 3ds Max utilizaron fotos de referencia y aproximación visual y por eso la nota es menor.

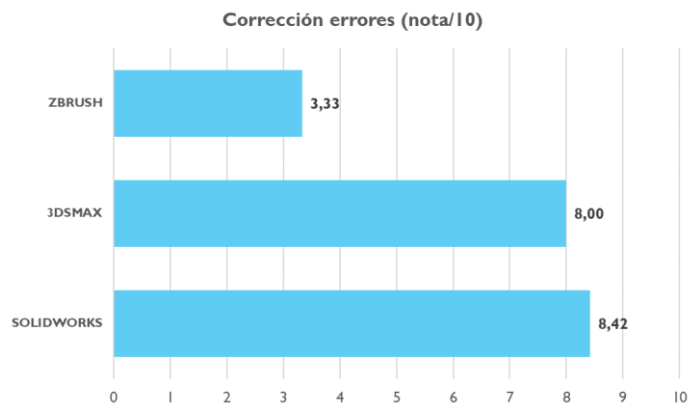


Gráfica 12: Control de dimensiones para Wall-e.

CORRECCIÓN DE ERRORES

SolidWorks fue el que más nota obtiene ya que el árbol de operaciones y la corrección proporcional son más eficientes en este programa. No obstante, 3ds Max obtiene una buena puntuación.

ZBrush tiene la peor nota porque el único medio con el que cuenta es el historial de errores.



Gráfica 13: Corrección de errores para Wall-e.

*Gráficas obtenidas a partir de los datos que se comentan en el Bloque I.

NIVEL DE DETALLE ALCANZADO

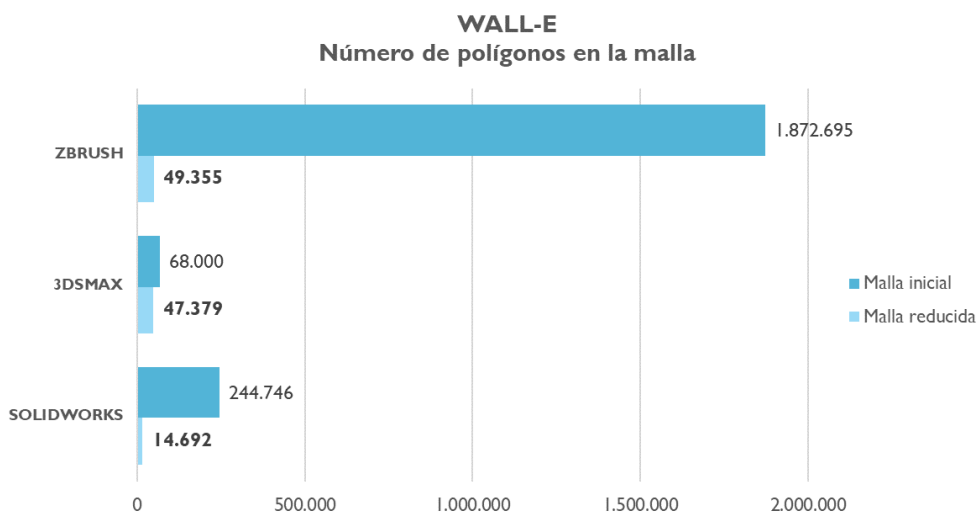
Para determinar el nivel de detalle alcanzado por cada programa, se transformarán todos los modelos a mallas poligonales. Posteriormente se reducirá al mínimo el número de polígonos hasta el punto en el que las mallas no pierdan detalles superficiales importantes. Por tanto, las mallas que tras esta reducción contengan un mayor número de polígonos, albergarán mayor cantidad de detalles. Para llevar a cabo este proceso se utilizará la función de “Decimate Master” en ZBrush.

Para el modelo de Wall-e, la pieza de los pies es la que mayor densidad de polígonos tiene. Esto se debe a que es donde mayor cantidad de detalles hay.

ZBrush es donde la malla reducida obtiene más polígonos. Sin embargo, le sigue de muy cerca 3ds Max. La principal diferencia entre ambos programas es la malla inicial. Como en ZBrush se trabaja con muchos más polígonos para las piezas que son de carácter orgánico, el contraste es notorio. En 3ds Max la resolución de la malla es menor porque la densidad está mucho más optimizada.

SolidWorks es el que menos polígonos obtiene en la malla reducida. Esto quiere decir que la cantidad de detalles que soporta la malla es menor en comparación con el resto de los programas. Donde esta diferencia de densidad se hace más evidente es en los pies.

Es de destacar el contraste que existe entre la malla inicial y la malla reducida, sobre todo en ZBrush y SolidWorks. En el primer software se debe a que en el flujo de trabajo utilizado se utilizaron más polígonos de los necesarios para llevar a cabo el modelo. Con SolidWorks ocurre que no se trabaja con polígonos y para llevar a cabo este estudio se transformó la geometría tipo sólido a malla poligonal. De este modo, la malla tampoco se ajusta al nivel de resolución óptimo.



Gráfica 14: Comparativa del número de polígonos en la malla para Wall-e.

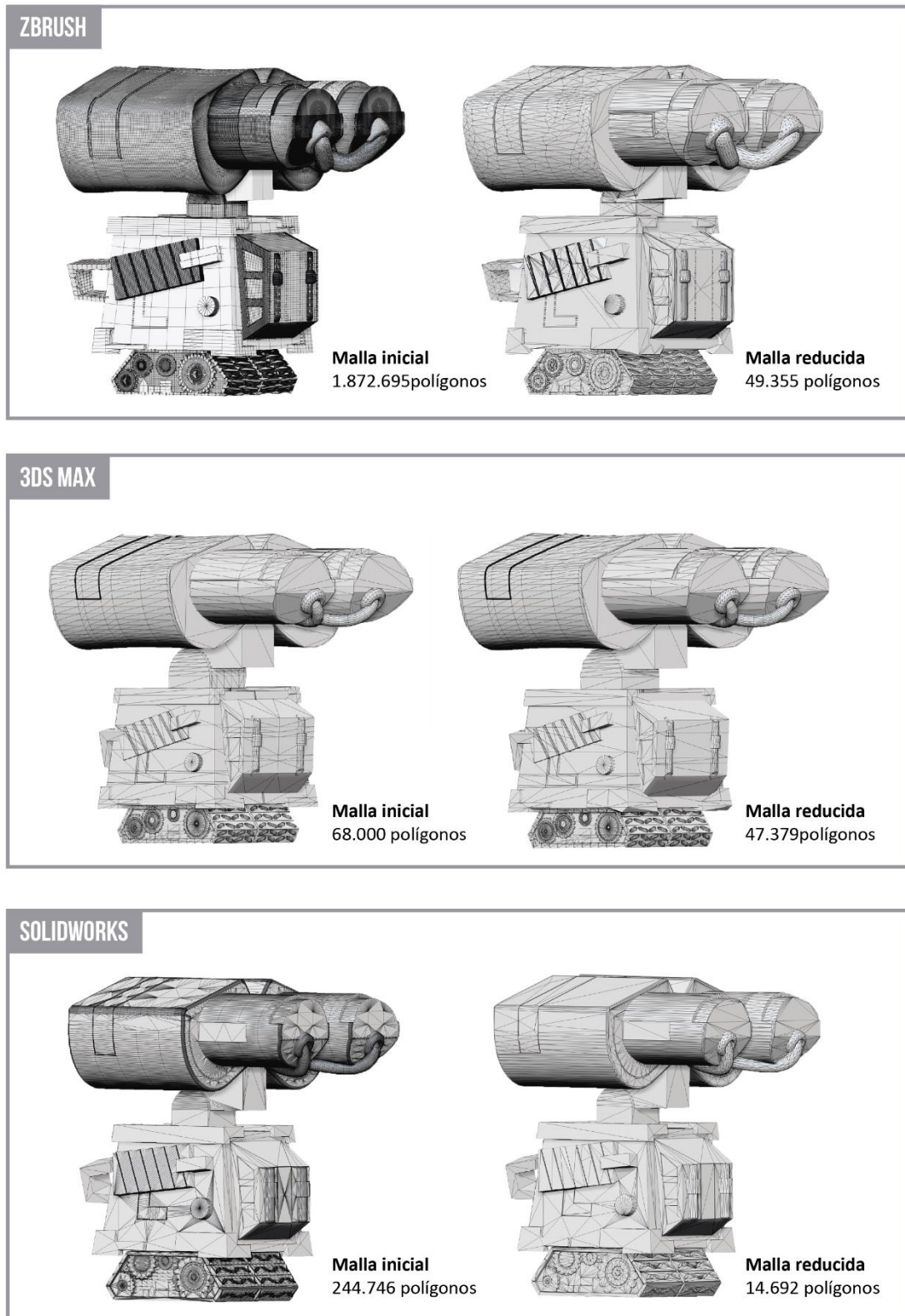


Figura 18: Comparativa del número de polígonos en la malla para Wall-e.

5.2.3. ORGÁNICO MIXTO: PINYPON

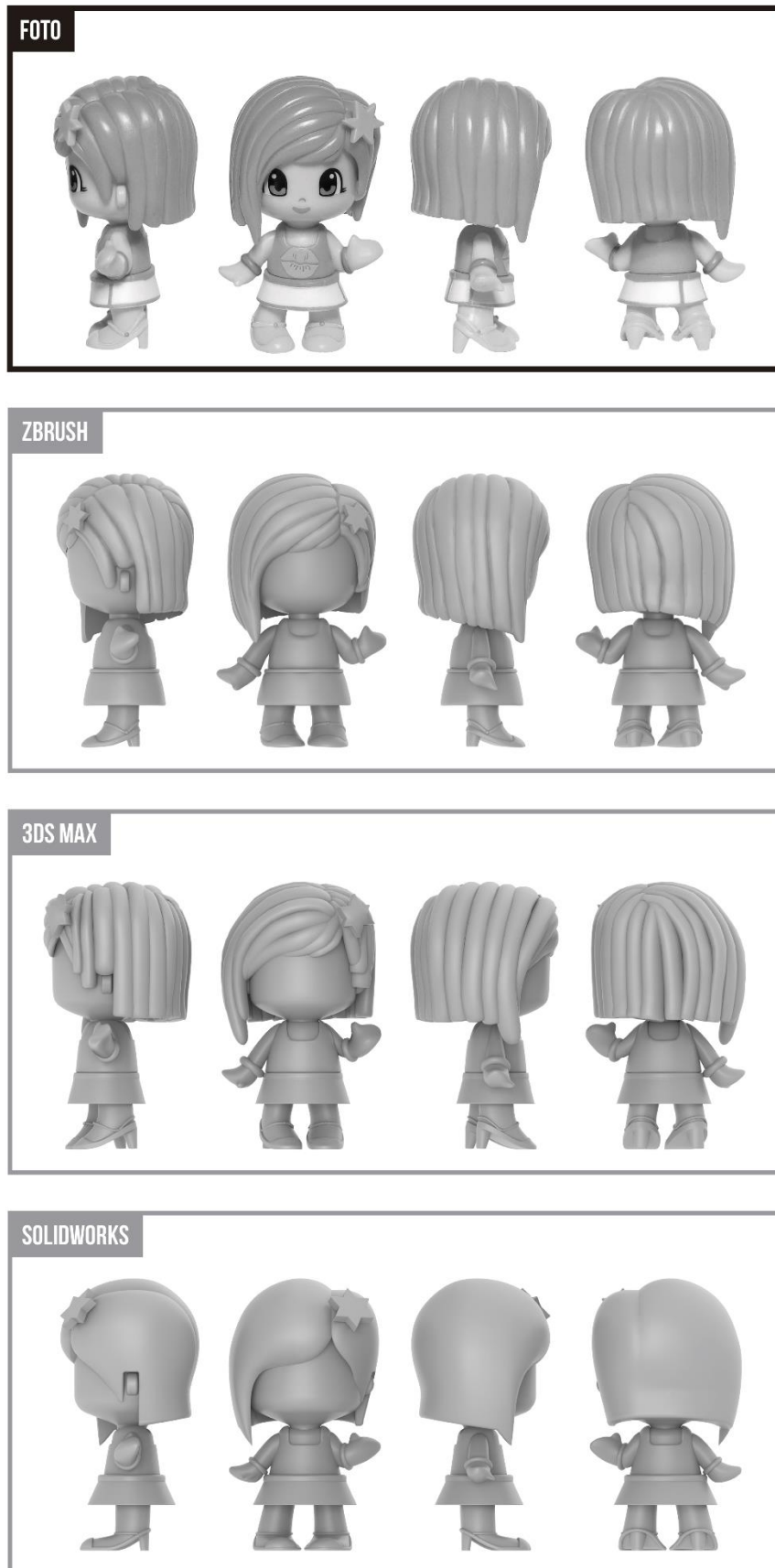
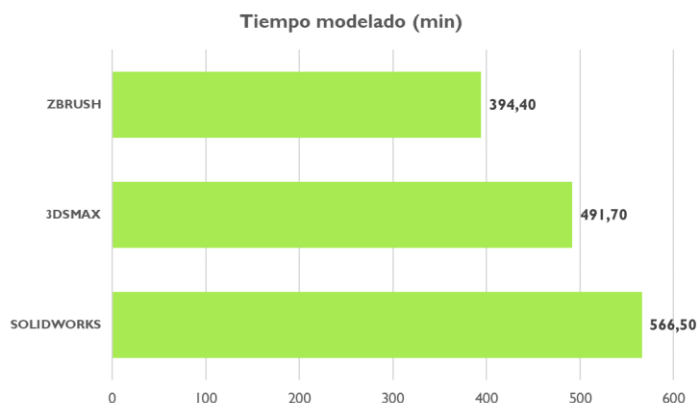


Figura 19: Modelos 3D de Pinypon.

TIEMPO DE MODELADO

ZBrush ha sido el programa en el que menos tiempo se ha tardado en efectuar el modelo 3D de Pinypon. Su geometría es de carácter orgánico, adecuada para el flujo de trabajo llevado a cabo en la escultura digital.

Por otro lado, SolidWorks es el que más tiempo tarda con diferencia. Está relacionado sobre todo con la ejecución de las piezas más orgánicas.

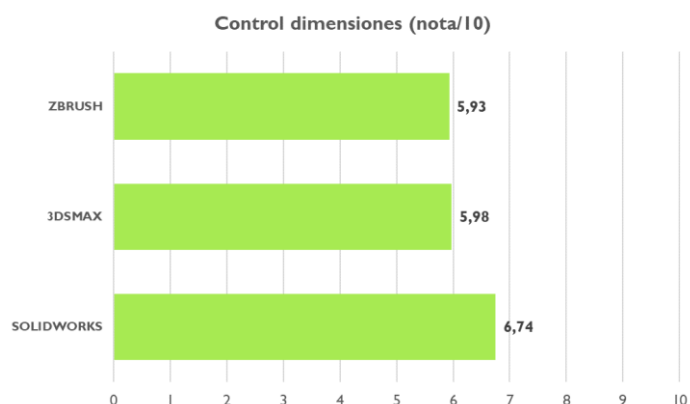


Gráfica 15: Tiempo de modelado para Pinypon.

CONTROL DE DIMENSIONES

El margen entre las notas de los tres programas es pequeño, aun así, SolidWorks los precede.

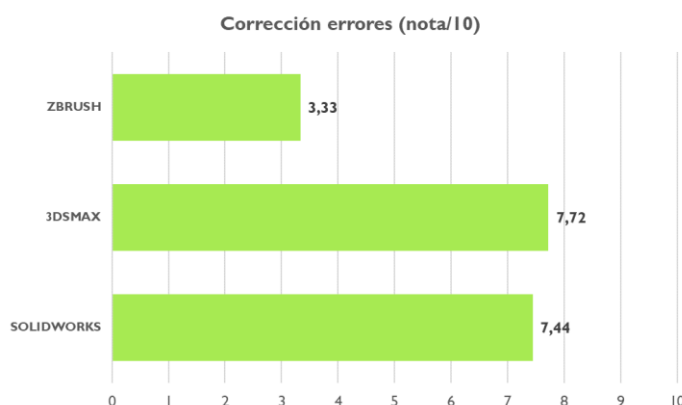
Cabe destacar que esta nota es mucho más baja que la obtenida para el resto de los modelos. La diferencia respecto a ZBrush y 3ds Max, es que en SolidWorks no se pudo dimensionar igual a las piezas orgánicas que a las geométricas y eso hizo que la media bajara considerablemente.



Gráfica 16: Control de dimensiones para Pinypon.

CORRECCIÓN DE ERRORES

3ds Max y SolidWorks obtienen las mejores notas. Destaca este último ya que pese a tener un árbol de operaciones y una corrección automática, al tratarse de un modelo orgánico, no surge efecto modificar los parámetros porque se producen errores que el programa no es capaz de gestionar.



Gráfica 17: Corrección de errores para Pinypon.

*Gráficas obtenidas a partir de los datos que se comentan en el Bloque I.

NIVEL DE DETALLE ALCANZADO

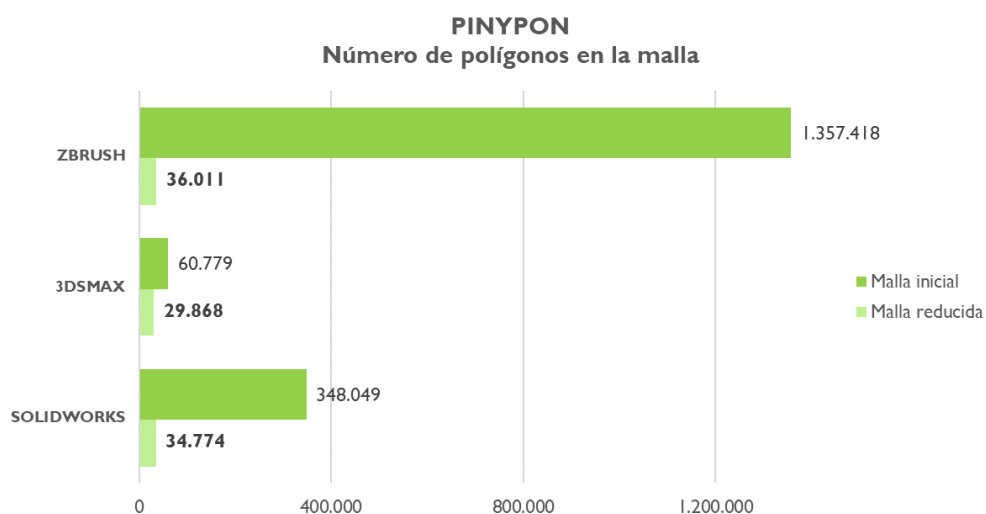
Para determinar el nivel de detalle alcanzado por cada programa, se transformarán todos los modelos a mallas poligonales. Posteriormente se reducirá al mínimo el número de polígonos hasta el punto en el que las mallas no pierdan detalles superficiales importantes. Por tanto, las mallas que tras esta reducción contengan un mayor número de polígonos, albergarán mayor cantidad de detalles. Para llevar a cabo este proceso se utilizará la función de “Decimate Master” en ZBrush.

En el modelo de Pinypon, la pieza que alberga la mayor cantidad de detalles es la del pelo. Esto se debe a que es donde mayor densidad de polígonos hay una vez reducida la malla, independientemente del programa.

ZBrush es donde más polígonos se obtiene. La totalidad de las piezas fueron esculpidas en 3D, esto quiere decir que la presencia de elementos geométricos es prácticamente nula a excepción de la pieza estrella. Es por eso que la ordenación de los polígonos es aquí más homogénea en comparación con Lego Minifigure y Wall-e.

No ocurre igual en SolidWorks. La mayoría de las piezas fueron hechas a partir de elementos geométricos que tras la transformación a malla poligonal y posteriormente a malla reducida, el número de polígonos es menor ya que la ordenación de estos permite que así lo sea. No obstante, el valor obtenido para este modelo no es vinculante ya que la pieza del pelo está incompleta. Aun así, se percibe que la malla de esta pieza recibe una densidad similar a la de los otros dos programas y esto se debe a que su geometría es orgánica.

Por otro lado, en 3ds Max, la malla es la más optimizada y a su vez la que menor densidad de polígonos obtiene. Por consiguiente, es el modelo que menos detalles tiene.



Gráfica 18: Comparativa del número de polígonos en la malla para Pinypon.

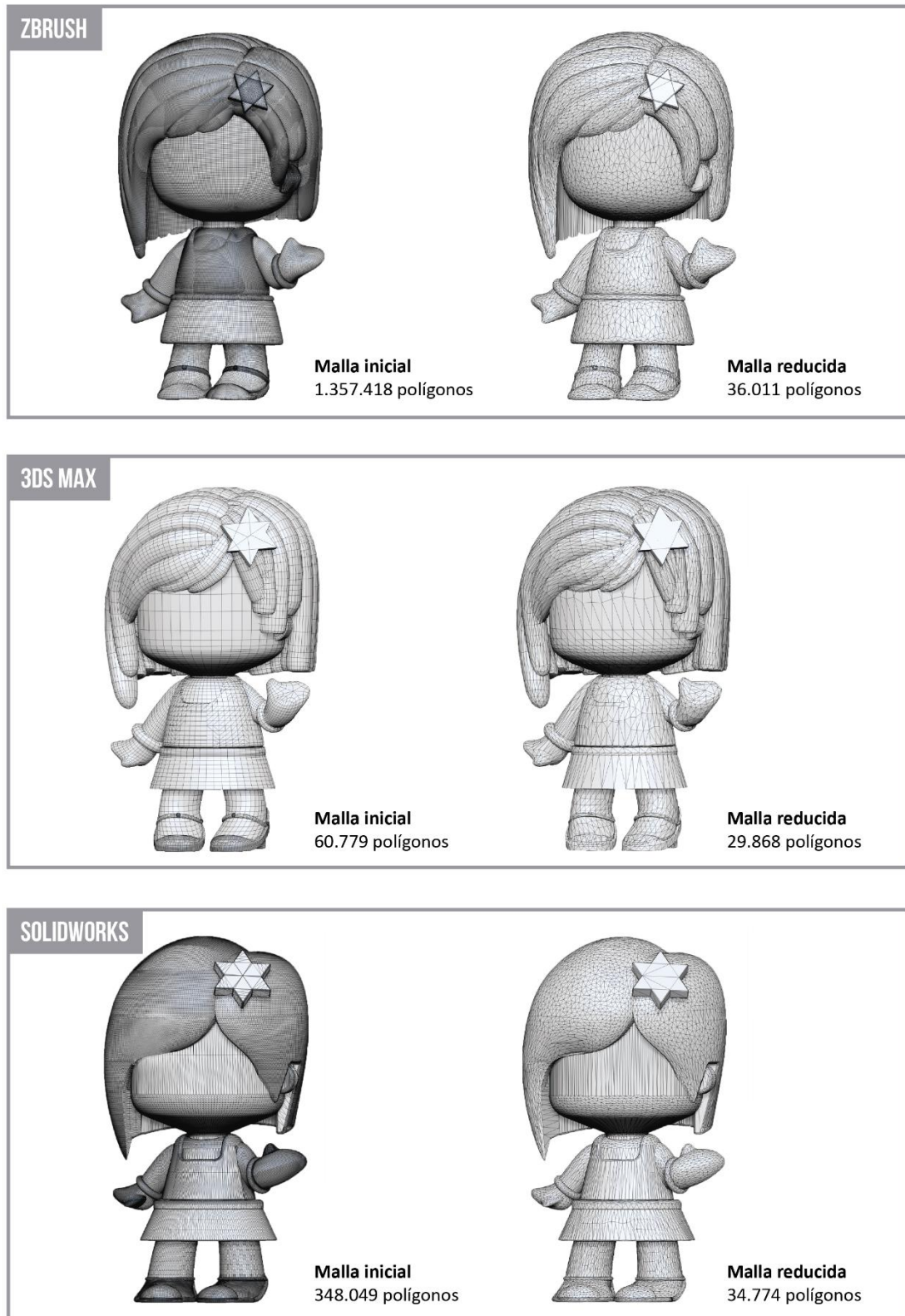


Figura 20: Comparativa del número de polígonos en la malla para Pinypon.

5.2.4. ORGÁNICO PURO: SHELLY

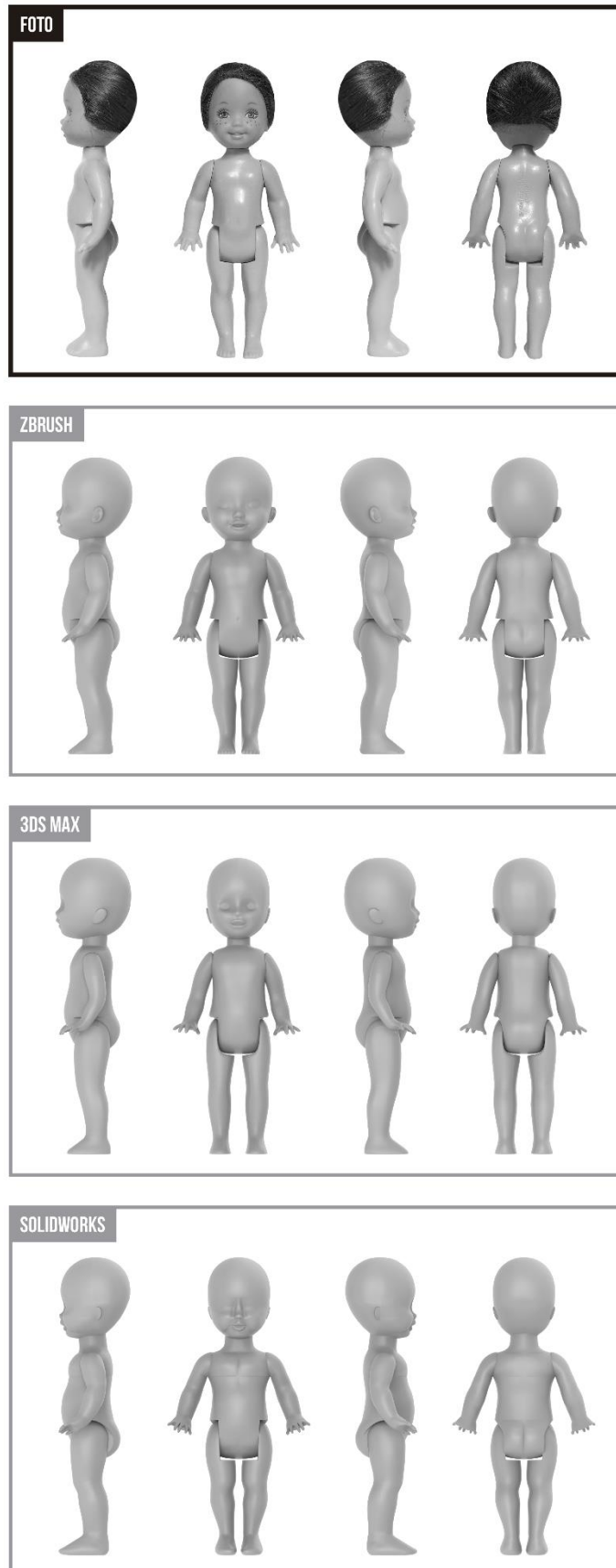
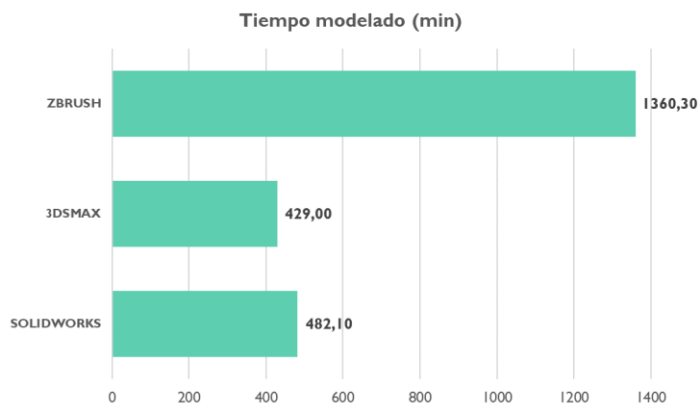


Figura 21: Modelos 3D de Shelly.

TIEMPO DE MODELADO

SolidWorks y 3ds Max han obtenido tiempos muy similares. Sin embargo, ZBrush despunta con 1360,30 minutos.

La razón por la que el margen es tan grande se debe a que únicamente en ZBrush se pudo modelar ciertos detalles del modelo que en el resto de los programas no era posible.

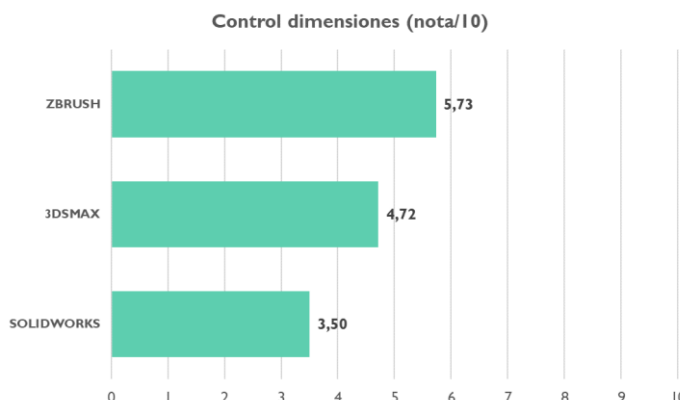


Gráfica 19: Tiempo de modelado para Shelly.

CONTROL DE DIMENSIONES

A excepción de otros modelos, esta es la única vez que ZBrush obtiene la mejor puntuación, pese a no ser muy alta. Esto se debe a que, en los otros dos programas, especialmente en SolidWorks, el control de las dimensiones en modelos tan orgánicos no es trivial.

Por eso mismo, ZBrush controla las dimensiones en esta ocasión mejor que el resto. Las proporciones de referencia pese a ser inexactas, obtienen mayor parecido a las que resultan en programas paramétricos.

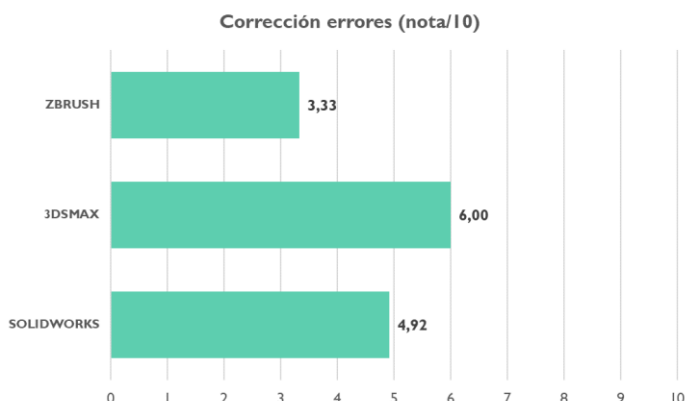


Gráfica 20: Control de dimensiones para Shelly.

CORRECCIÓN DE ERRORES

Al igual que en el punto anterior, Solidworks vuelve a obtener una nota más baja de lo normal para esta categoría. Pese a tener control sobre el árbol de operaciones, la corrección proporcional no se puede ejecutar correctamente.

Por eso mismo 3ds Max destaca, al contar con una geometría que no depende de parámetros que restrinjan, el margen de nota es superior.



Gráfica 21: Corrección de errores para Shelly.

*Gráficas obtenidas a partir de los datos que se comentan en el Bloque I.

NIVEL DE DETALLE ALCANZADO

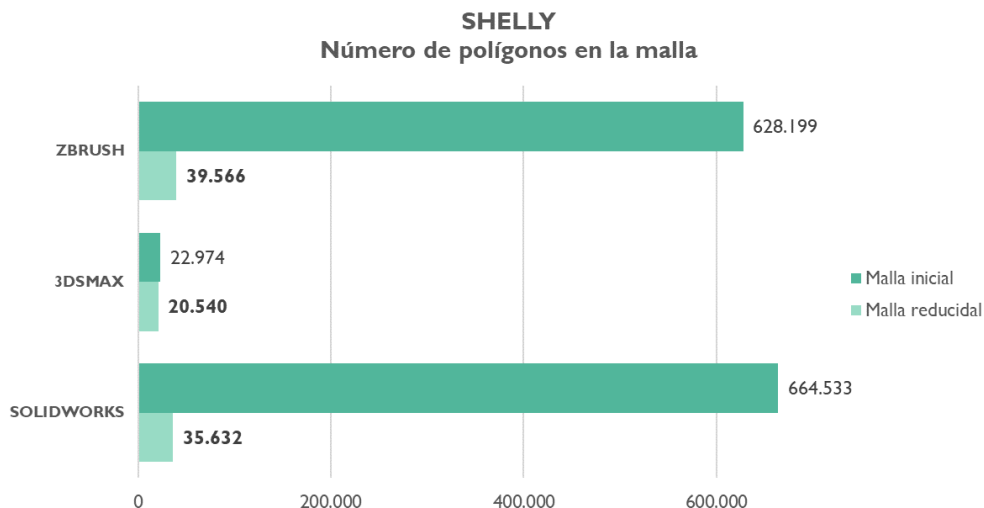
Para determinar el nivel de detalle alcanzado por cada programa, se transformarán todos los modelos a mallas poligonales. Posteriormente se reducirá al mínimo el número de polígonos hasta el punto en el que las mallas no pierdan detalles superficiales importantes. Por tanto, las mallas que tras esta reducción contengan un mayor número de polígonos, albergarán mayor cantidad de detalles. Para llevar a cabo este proceso se utilizará la función de “Decimate Master” en ZBrush.

Para el modelo de Shelly, las piezas que mayor cantidad de polígonos obtienen, independientemente del programa utilizado, son la cabeza y el brazo, concretamente la mano y los dedos.

ZBrush y SolidWorks obtienen un valor similar, no obstante, ZBrush es el que más polígonos tiene. Esto quiere decir que es la malla que más detalles contiene.

Por otro lado, al igual que con el resto de los modelos, 3ds Max es el programa cuya malla está más optimizada. El nivel de detalles se ajusta a la densidad de polígonos en todo momento y es por eso que el contraste entre la malla inicial y la malla reducida varía en menor proporción en comparación al resto de programas.

No ocurre igual con ZBrush y SolidWorks, el contraste es mucho mayor. En el caso de SolidWorks está relacionado con la transformación que sufre al ser pasado a malla poligonal. En ZBrush ocurre debido a que en el proceso llevado a cabo para esculpir en 3D este modelo, se tuvo que subdividir la malla para obtener la cantidad de detalles necesarios en las zonas que se precisaban.



Gráfica 22: Comparativa del número de polígonos en la malla para Shelly.

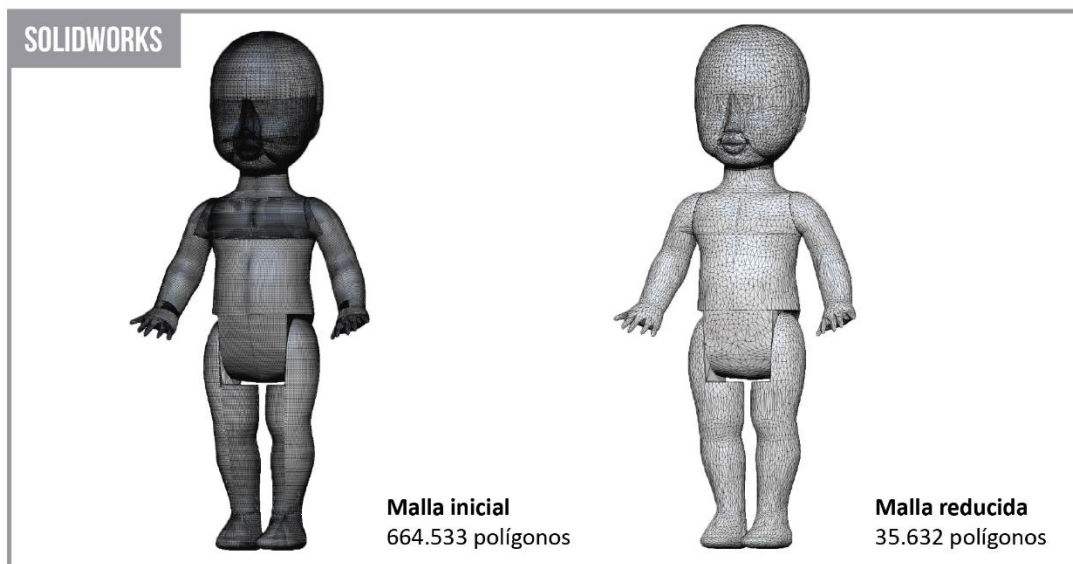
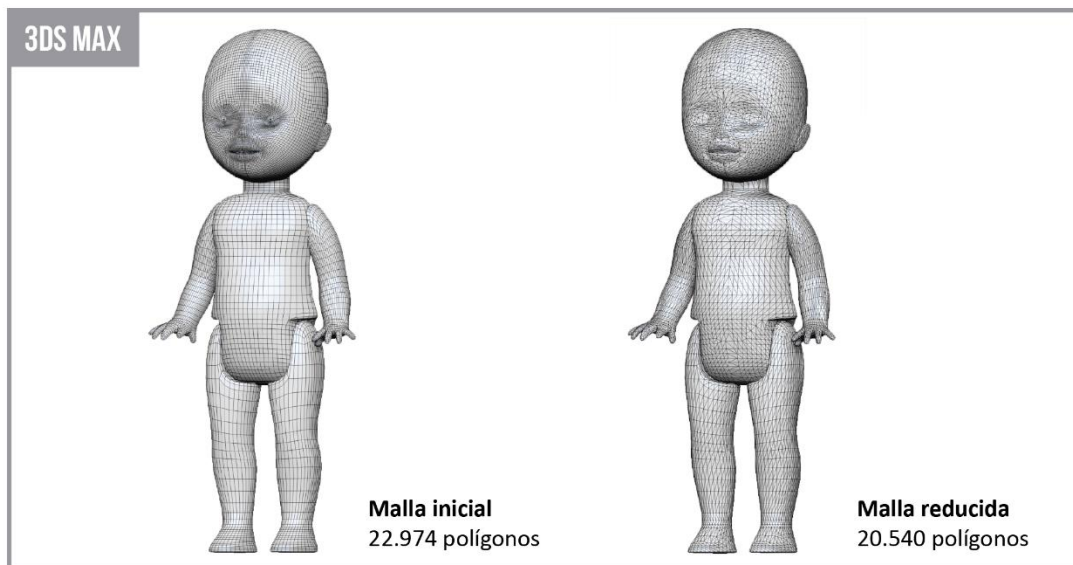
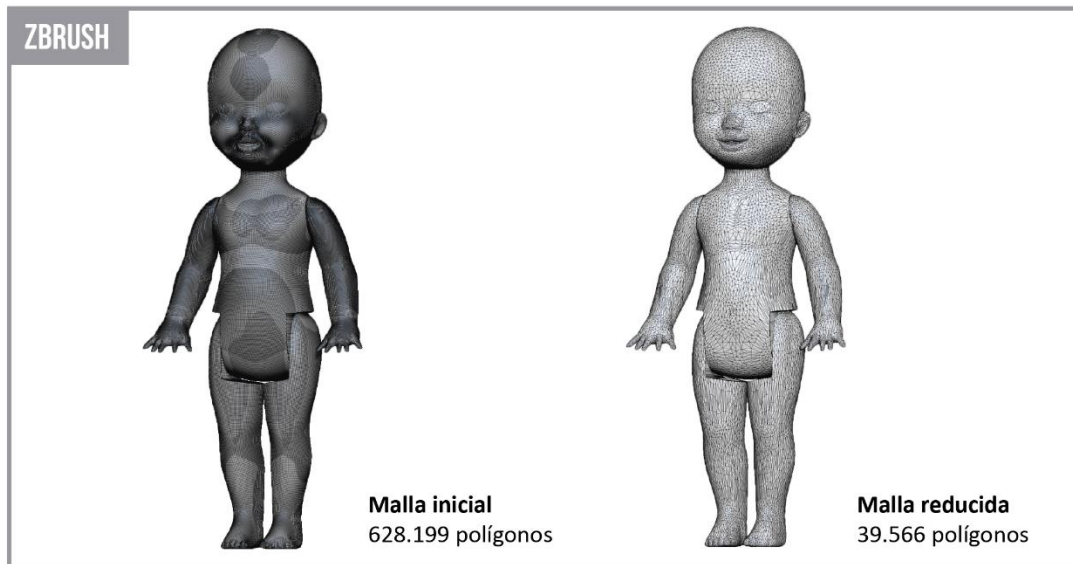


Figura 22: Comparativa del número de polígonos en la malla para Shelly.

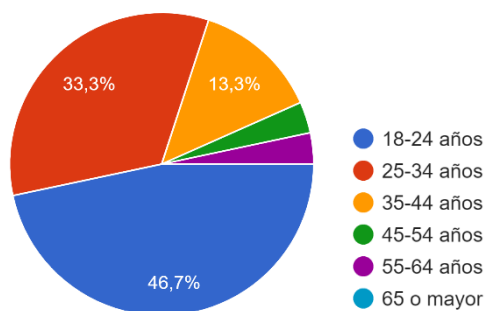
5.3. FIDELIDAD DEL MODELO: ENCUESTA VISUAL

En este punto se analizará la fidelidad de los modelos. Es decir, se evaluará si el resultado final para cada programa se corresponde con la referencia del objeto que se utilizó para modelar en 3D.

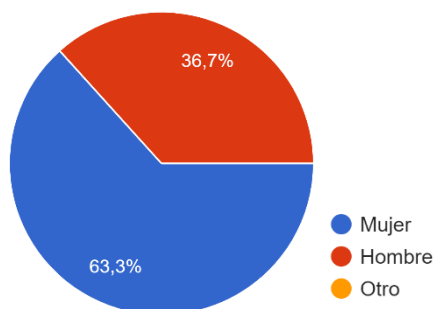
Como el sujeto que llevó a cabo el proceso es el mismo que toma y analiza todos los datos, en este último punto se valorará el resultado obtenido por dicho sujeto mediante una encuesta visual.

La muestra fue de 30 personas y en un 20% de los casos se hizo en un entorno controlado bajo la supervisión de un experto que pudiera resolver las posibles dudas.

La prueba consta de cinco partes. En la primera se tomaron datos sobre la muestra; edad, género y medio de visualización. Las franjas de edad más representativas fueron las comprendidas entre los 18-24 y 25-34 años, en su mayoría mujeres. Los medios de visualización más utilizados fueron el móvil con un 64 % y el ordenador con un 36%



Gráfica 23: Edad de los encuestados.



Gráfica 24: Género de los encuestados.

Las partes restantes, cuatro, consistían en una comparación visual para cada modelo en función del resultado obtenido en los tres programas. Para ello, se aportó una fotografía de la referencia real junto a tres renders.

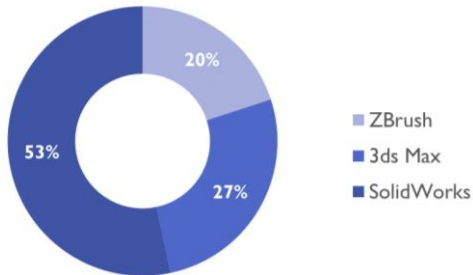
Las preguntas fueron las siguientes:

- Selecciona la opción que más se parece a la foto:
 - A
 - B
 - C
- Bajo qué criterio has respondido la pregunta anterior:
 - La forma general era la más parecida.
 - El nivel de detalle era mayor.
 - Ambas opciones son correctas.
- Argumenta qué característica del modelo te ayudó a tomar la decisión:
(escribir aquí)
.....

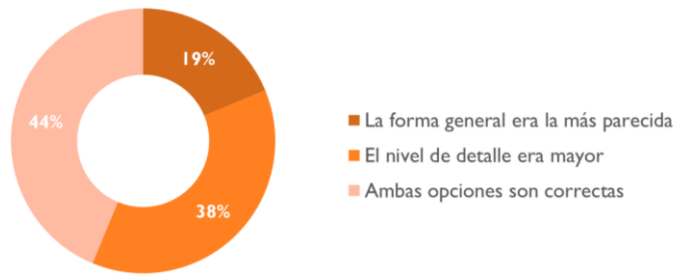
A continuación, se mostrarán los datos obtenidos en la encuesta. Se seguirá la misma clasificación que en la prueba.

GEOMÉTRICO PURO: LEGO MINIFIGURE

Según los encuestados, el modelo que más se parece a la foto de referencia es el realizado en SolidWorks. La principal de las razones fue porque el nivel de detalle era mayor, aunque también afirman que la forma general era la más parecida.



Gráfica 25: Software que mejor representa al modelo Lego Minifigure.



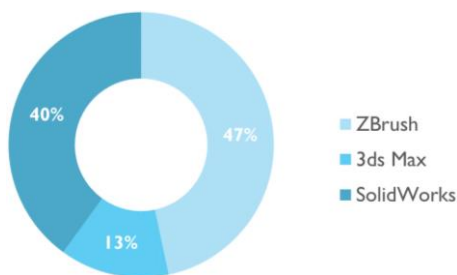
Gráfica 26: Motivos para la elección de SolidWorks.

Los principales argumentos son:

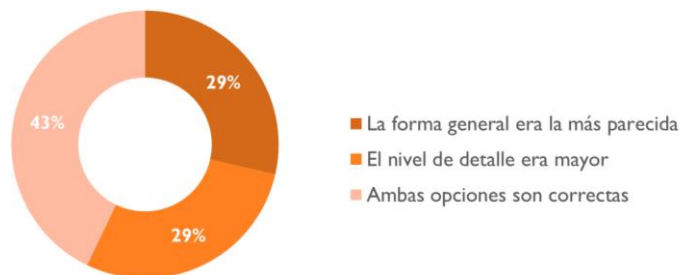
- El pasador de las piernas es el más parecido. Además, la mano creo que es igual.
- Brazos y cabeza son más parecidos.
- Las piernas y los agujeros.
- La fijación de las piernas a través de los orificios de las piernas

GEOMÉTRICO MIXTO: WALL-E

En este caso, ZBrush es el programa que mejor puntuación recibe. Le sigue de muy cerca SolidWorks. Los criterios de selección han obtenido un resultado homogéneo por lo que se deduce que ambas opciones predominan: la forma general era la más parecida y el nivel de detalle era mayor.



Gráfica 28: Software que mejor representa al modelo Wall-e.



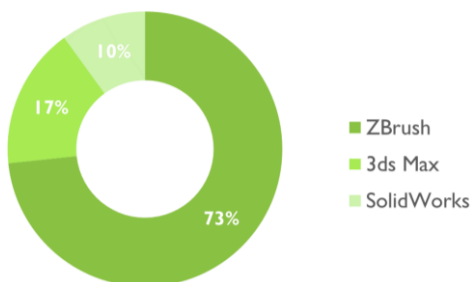
Gráfica 27: Motivos para la elección de ZBrush.

Los principales argumentos son:

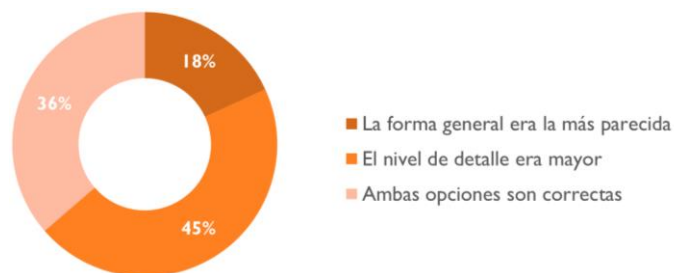
- El contorno de los ojos y las tuercas de las ruedas son más realistas.
- Los cables en la parte trasera de la cabeza, la señal del costado y los engranajes de las ruedas parecen ser más similares.
- El cuerpo es más proporcionado.
- Por la vista trasera de la cabeza.

ORGÁNICO MIXTO: PINYPON

El modelo de Pinypon más parecido a la foto según los encuestados es el realizado con ZBrush. Señalan con un 45% de coincidencias que el nivel de detalle era mayor en este programa.



Gráfica 30: Software que mejor representa al modelo Pinypon.



Gráfica 29: Motivos para la elección de ZBrush.

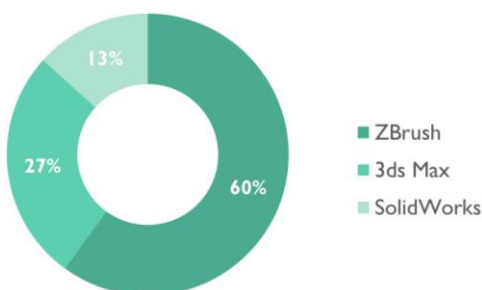
Los principales argumentos son:

- La forma del pelo es más parecida.
- El pelo, tanto en tamaño como en detalle.
- Tiene más detalles que le hacen parecido como los pliegues en el pelo.
- Silueta y detalles, cabeza más parecida.

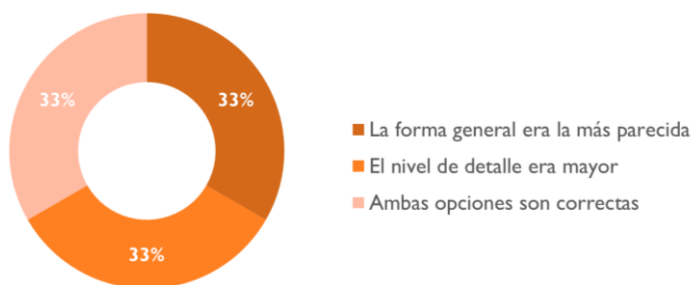
Por otro lado, SolidWorks fue el que menos puntuación recibió, sin embargo, los que eligieron esta opción alegaron a que, pese a que el pelo no tiene tantos detalles, la forma general del modelo es más parecida.

ORGÁNICO PURO: SHELLY

ZBrush es el que más puntuación recibe para el modelo de Shelly. Los criterios de selección han obtenido un resultado homogéneo por lo que se deduce que ambas opciones predominan: la forma general era la más parecida y el nivel de detalle era mayor.



Gráfica 32: Software que mejor representa al modelo Shelly.



Gráfica 31: Motivos para la elección de ZBrush.

Los principales argumentos son:

- La forma de las manos y los pies es más realista.
- El nivel de detalle, en pequeños elementos como ombligo y orejas, o la superficie y la curva en las caderas.
- Las formas y detalles son los más parecidos.
- Los rasgos faciales.

6. DISCUSIÓN

A la vista de los resultados obtenidos y los objetivos marcados:

- 1) En comparación con programas de tipo CAD u otros de modelado poligonal utilizados en este estudio, la escultura digital ha demostrado ser una herramienta competente y capaz en los siguientes aspectos:
 - Para los modelos orgánicos realizados con ZBrush, escultura digital, el nivel de detalle ha sido mucho mayor que con el resto de los programas, SolidWorks y 3ds Max. Se pudo comprobar con el número de polígonos que obtuvieron las mallas reducidas para cada uno de los modelos.
 - Según los encuestados, el parecido de los modelos 3D fue superior en tres de los cuatro casos expuestos. Concretamente con Wall-e, Pinypon y Shelly, los que más detalles contienen o los que representan formas más complejas.
 - En el caso del control de las dimensiones, los modelos con muchos detalles o geometría orgánica presentan mejores proporciones haciendo uso de fotos de referencia o aproximación visual en vez de la toma directa de dimensiones. Esto se debe a que, en programas de tipo CAD como en SolidWorks, no es fácil obtener los valores necesarios para generar estas superficies. Por lo tanto, se acaban aproximando los valores y esto repercute en las proporciones finales del modelo.
 - En la escultura digital es más sencillo corregir errores en los modelos más orgánicos ya que, no depende de ningún parámetro que restrinja las modificaciones. No ocurre igual en SolidWorks o en 3ds Max, al depender de un árbol de operaciones y en su defecto una corrección proporcional al cambio, el programa no es capaz de recalcular los valores que hacen que dicha superficie se adapte.

- 2) Por otro lado, las posibles deficiencias que se han podido detectar en el uso de la escultura digital fueron las siguientes:
 - El tiempo de modelado siempre ha sido mayor en comparación con el resto de los programas; a excepción del modelo de Pinypon. Esto se debe a que cuando se trata de elementos geométricos, en este caso ZBrush, no existen herramientas tan optimizadas para ejecutar este tipo de formas. Por tanto, para llegar al mismo resultado se tuvo que utilizar un gran número de fotos de referencia además de aproximación visual, lo cual requiere una mayor dedicación de tiempo. A su vez, en el caso de las piezas más orgánicas, como se pueden representar más detalles que en el resto de los programas, el tiempo ha seguido siendo mayor aunque a cambio se obtuvieron mejores resultados.
 - El control de dimensiones para las piezas más geométricas fue inexistente. Únicamente se pudo realizar comprobaciones de proporcionalidad. Esto hace que, en caso de que se requieran piezas con un nivel de tolerancia importante, no sea posible satisfacer estas exigencias.

- Por otro lado, en la corrección de errores ocurre algo similar que en el control de dimensiones. Al no contar con un árbol de operaciones o corrección proporcional al cambio, no es posible aplicar ningún tipo de automatismo que corrija de forma global la pieza o el modelo en cuestión. El historial fue el único aliado en este punto y, por tanto, para piezas geométricas, la única solución fue repetir las formas de cero o aplicar pequeñas modificaciones sobre los errores detectados con las propias herramientas de modelado 3D.
- 3) Según estas reflexiones, el uso exclusivo de la escultura digital en el sector del juguete es adecuado teniendo en cuenta las siguientes restricciones:
- Es posible llevar a cabo proyectos tanto geométricos como orgánicos, aun así, cuenta con más herramientas que facilitan el modelado de formas orgánicas y detalles superficiales.
 - Si las dimensiones son determinantes, no se recomienda su uso.
 - No se aconseja para piezas o modelos que requieran de algún tipo de tolerancia geométrica.
 - Si las piezas son de material plástico y por tanto no requieren de tolerancias con márgenes muy estrechos, la escultura digital es adecuada ya que la idoneidad de este material cumple ante estas especificaciones (utilizado para juguetes).
- 4) Cuando la escultura digital es utilizada junto a otros programas, los resultados son los más satisfactorios. Teniendo en cuenta que la compatibilidad entre ellos es posible, realizando las piezas que requieran de unas dimensiones concretas en programas tipo CAD, se salvaría el mayor inconveniente en este caso, el control de las dimensiones del modelo en ZBrush.

Por consiguiente, la combinación de uno o más programas siempre que sea posible, enriquece el resultado final obteniendo lo bueno de ambos mundos: precisión y modelos de alta complejidad superficial.

Así pues, la escultura digital es una nueva metodología para generar modelos en 3D que, hasta hace poco, no había tenido cabida en el sector del juguete. Su uso permite a los diseñadores de juguetes redescubrir el origen de este sector tomando contacto con materias que ya se habían dejado de utilizar por su arcaísmo en la industria. La “arcilla digital” posibilita generar modelos de alto contenido en detalle con las competencias que aporta un soporte digital y la plasticidad propia de los procesos artesanales que cayeron en desuso.

La combinación entre diferentes tipos de flujo de trabajo brinda la posibilidad de generar productos con una estética más atractiva a la par de funcional. Las empresas deberán concretar qué características se adaptan más a sus necesidades para, de este modo, conocer bajo qué combinatoria sería accesible la introducción total de la escultura digital en los departamentos de diseño de juguetes.

7. CONCLUSIONES

La escultura digital comienza a ser utilizada en el sector del juguete y para conocer de qué se trata y cómo se puede sacar partido de ella se hizo un estudio comparativo entre diferentes programas del mercado; cada uno de ellos con un tipo de flujo de trabajo diferente: paramétrico, modelado poligonal y escultura digital.

Una vez marcados los objetivos y la metodología de trabajo a seguir, se prosiguió seleccionando los tres programas y los cuatro modelos que se llevarían a cabo en ellos. Concretamente fueron juguetes de diferente geometría, de más geométrico a más orgánico.

Tras llevar a cabo los cuatro modelos en cada uno de los tres programas seleccionados, se analizó la toma de datos obtenida a lo largo del proceso de modelado 3D. Así mismo, se realizaron pruebas referidas al nivel de detalle alcanzado y una encuesta visual sobre la fidelidad de los modelos obtenidos respecto a la muestra inicial.

Llevado a cabo un análisis exhaustivo de los datos y su consiguiente reflexión en el apartado de discusión, se concluye que:

- La escultura digital es el método más adecuado para generar formas orgánicas y es competente en la generación de formas geométricas.
- El nivel de detalle en comparación con el resto de los programas utilizados es mayor.
- La opinión de los encuestados se declina a favor de la escultura digital otorgándole los atributos de “forma general más parecida” y “nivel de detalle mayor”.
- Es adecuada para piezas de material plástico cuya tolerancia geométrica no tenga márgenes muy estrechos.
- Existe la compatibilidad de la escultura digital junto a programas de tipo CAD lo cual permite combinar ambos flujos de trabajo y otorgar al resultado final precisión y modelos de alta complejidad superficial.

Líneas futuras de estudio:

- Bajo qué circunstancias es adecuado invertir e implementar la escultura digital en caso de no existir o no ser conocida por las empresas objeto de estudio.
- Qué combinación de softwares es adecuada en consonancia con la escultura digital. Bajo qué proporción es más eficiente utilizarla.
- Qué competencias transversales debe cumplir un diseñador de juguetes para formarse profesionalmente haciendo uso de la escultura digital dentro del sector industrial.

8. REFERENCIAS

▪ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brand Finance. (2017). *Toys 25 2017*.

Eismann, M. M. (15 de abril de 2017). *Freeform surface modelling*. Obtenido de HP.: <https://www.hpl.hp.com/hpjournal/95oct/oct95a6.pdf> [Consulta: 8 de octubre de 2019]

Famosa. (2019). *Nuestra historia*. Obtenido de Famosa: <http://www.famosa.es/es/informacion-corporativa/> [Consulta: 23 de octubre de 2019]

Juguetes b2b. (2019). Juguetes coleccionables, una tendencia al alza en el sector. *Juguetes b2b*, 94. [Consulta: 11 de mayo de 2019]

Juguetes b2b. (2019). Kidults, una nueva oportunidad para el sector juguetero. *Juguetes b2b*, 112-113. [Consulta: 11 de mayo de 2019]

Juguetes b2b. (2019). Las grandes ferias del sector presentan las tendencias del juguete en 2019. *Juguetes b2b*, 39. [Consulta: 11 de mayo de 2019]

Juguetes b2b. (2019). Muñecas, el auge de una categoría clásica. *Juguetes b2b*, 56. [Consulta: 11 de mayo de 2019]

Pérez, F. (2019). Muñecas, el auge de una categoría clásica. *Juguetes b2b*, 57. [Consulta: 11 de mayo de 2019]

Policount. (2017). *Subdivision Surface Modeling*. Obtenido de Policount: http://wiki.polycount.com/wiki/Subdivision_Surface_Modeling [Consulta: 11 de mayo de 2019]

The Toys That Made Us (2017). [Documental]. [Consulta: 11 de mayo de 2019]

Wikipedia. (2009). *NURBS*. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/NURBS> [Consulta: 11 de mayo de 2019]

Wikipedia. (2016). *Barbie*. Obtenido de Wikipedia: <https://es.wikipedia.org/wiki/Barbie> [Consulta: 11 de mayo de 2019]

▪ REFERENCIAS DE FIGURAS

Lego System (2019) A/S. *Logo*. Obtenido de Lego: <https://www.lego.com/es-es> [Consulta: 9 de abril de 2019]

Mattel Inc. (2019) *Logo*. Obtenido de Mattel: <https://www.mattel.com/en-us> [Consulta: 9 de abril de 2019]

Hasbro. (2019) *Logo and Usage Guidelines*. Obtenido de Hasbro:

<https://newsroom.hasbro.com/media-library/brand-assets> [Consulta: 9 de abril de 2019]

Famosa. (2019) *Logo*. Obtenido de Famosa:

<http://www.famosa.es/es/> [Consulta: 9 de abril de 2019]

CezaR. *LEGO Creator Volkswagen Beetle 10252*. Obtenido de Automotiveblogz:

<https://automotiveblogz.blogspot.com/2016/06/lego-creator-volkswagen-beetle-10252.html> [Consulta: 21 de abril de 2019]

Barbie Made to Move. Obtenido de Miscelandia:

https://miscelandia.vteximg.com.br/arquivos/ids/198655-1000-1000/MATTEL_MUNECA-BARBIE-MADE-TO-MOVE-FTG84-FTG80_FTG84__887961643770_03.jpg?v=636722058536170000 [Consulta: 21 de abril de 2019]

My Littlest Pet Shop. Obtenido de Rsautosales:

http://www.rsautosales.org/images/category_26/Littlest%20Pet%20Shop%20Viola%20AngoraBijou%20Angora%20-%20B01NAXCIS0.jpg [Consulta: 21 de abril de 2019]

Transformers. Obtenido de Static-ca:

<https://static-ca.ebgames.ca/images/products/743143/3max.jpg> [Consulta: 21 de abril de 2019]

Pinypon Cuidados de Mascotas. Obtenido de Infanity:

<https://infanity.es/wp-content/uploads/2017/03/700012737-Pinypon-Cuidados-de-Mascotas-00-500x500.jpg> [Consulta: 21 de abril de 2019]

▪ PROGRAMAS UTILIZADOS

SolidWorks 2017-2018

Autodesk 3ds Max 2019

ZBrush 2019

Adobe Photoshop CC 2018

Adobe Illustrator CC 2018

Office 365