



GRADO EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DESARROLLO DEL PRODUCTO

PROYECTO DE FIN DE GRADO

ESCANEADO DE OBJETOS FÍSICOS BASADO EN FOTOGRAFÍAS  
CON IMPRESIÓN 3D

AUTOR: LOBO RUEDA, FEDERICO

TUTOR: ESCUDERO MANCEBO, DAVID

MARZO 2016



*Quiero agradecer el apoyo a todo el que alguna vez estuvo o aún está a mi lado,  
sin vosotros todo esto no podría haber sido posible.*



# ÍNDICE

1. Introducción.....	1
2. Estado del arte.....	6
2.1 Escaneado en 3d.....	6
2.1.1 Escaneado con y sin contacto.....	7
2.1.2 Introducción a los sistemas de escaneado basados en la luz.....	10
2.1.3 Fotogrametría.....	14
2.2 Impresión tridimensional.....	17
2.2.1 Qué es una impresora 3d.....	17
2.2.2 Reseña histórica.....	18
2.2.3 Prototipado rápido.....	20
2.2.4 Técnicas de prototipado rápido.....	22
2.2.5 Tipos de materiales usados.....	25
2.2.6 Tipos de prototipado rápido.....	26
3. Funcionamiento de la fotogrametría.....	36
3.1 Cámara estenopeica.....	36
3.2 Esquema de posición.....	39
3.3 Paralaje.....	40
3.4 Evaluación de la distancia del objetivo a la cámara.....	41
3.5 Evaluación de X.....	42
3.6 Evaluación de Y.....	43
3.7 Resumen final.....	44



4. Software Agisoft Photoscan.....	48
4.1 Conocimientos previos.....	48
4.2 Elegir bien el modelo y conocer limitaciones.....	49
4.3 Preparar objeto en ambiente óptimo.....	50
4.4 Calibración y toma de fotos.....	51
4.5 Preprocesado y preparación de fotos.....	53
4.6 Alineado de fotos.....	55
4.7 Creación de nube de puntos densa.....	57
4.8 Creación de la maya.....	59
4.9 Optimización de la maya.....	61
4.10 Aplicación de textura.....	62
4.11 Exportación de modelo.....	63
5. Escaneado de piezas arqueológicas.....	66
5.1 Selección de piezas para escaneado.....	67
5.2 Aplicación de la metodología.....	68
5.3 Exportación para el visionado.....	73
5.4 Comparación de modelos obtenidos y conclusión.....	74
6. Escaneado 3D e impresión de juguetes.....	80
6.1 Selección de modelo.....	81
6.2 Digitalización del modelo.....	90
6.3 Exportación del modelo.....	98



6.4 Impresión tridimensional.....	101
6.4.1 Zprinter 310 plus y software de impresión.....	101
6.4.2 Metodología para la impresión.....	103
6.4.3 Resultado final.....	106
6.4.4 Conclusión.....	107
7. Manipulación y animación de modelos en 3ds Max.....	110
7.1 Importación de modelo.....	110
7.2 Optimizar maya y unir partes.....	112
7.3 Aplicar textura y mapa.....	113
7.4 Creación del Biped.....	114
7.5 Comando Skin.....	116
7.6 Animación.....	118
7.7 Creación de la escena.....	120
8. Modelo de negocio.....	124
8.1 Actividades a realizar.....	125
8.1.1 Primera fase. Introducción y nociones básicas.....	125
8.1.2 Segunda fase. Selección de modelo.....	126
8.1.3 Tercera fase. Creación de ambiente idóneo.....	127
8.1.4 Cuarta fase. Toma de fotografías.....	128
8.1.5 Quinta fase. Procesado y escaneado.....	129
8.1.6 Sexta fase. Exportación e impresión en 3d.....	130



8.1.7 Séptima fase. Animación del modelo.....	131
8.1.8 Octava fase. Resultado final.....	132
8.1.9 Novena fase. Conclusiones.....	133
8.2 Secuenciamiento de actividades en taller.....	134
8.3 Agentes necesarios para la elaboración.....	136
8.3.1 Material necesario.....	136
8.3.2 Preparación del curso.....	138
8.4 Recursos necesarios.....	141
8.4.1 Material didáctico.....	141
8.4.2 Gastos salariales.....	142
9. Conclusiones.....	146
10. Bibliografía.....	150
11. Apéndice.....	154

# INTRODUCCIÓN

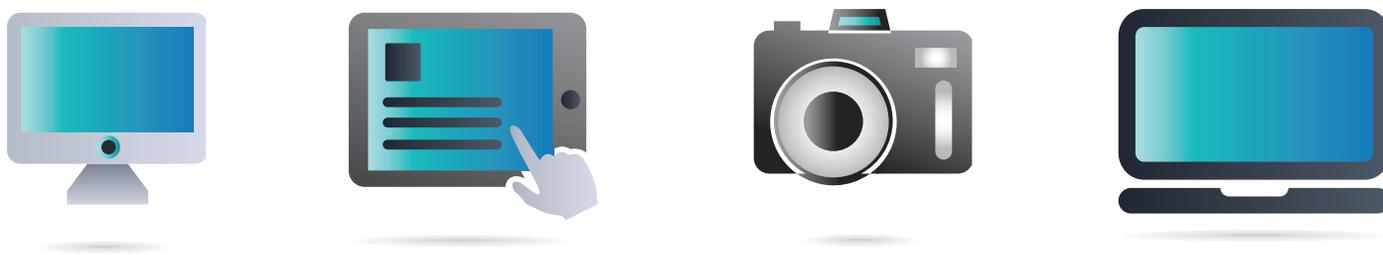


# 1. INTRODUCCIÓN

Cada día es más común encontrarse noticias que hablan de nuevas tecnologías relacionadas con todo lo representado, gráfica o físicamente en 3d.

El modelado inverso y la impresión en 3d son técnicas muy presentes actualmente en ingeniería. Con ellas ahorramos tiempo y dinero en acciones como generar modelos en 3d a partir solamente de fotografías, crear representaciones de la realidad rápida y fiablemente, recolectar datos espaciales tales como distancias, puntos o volúmenes, usos topográficos de estudios de terreno... En este proyecto se va a realizar una vista diferente de todo este proceso.

Hoy en día y cada vez más los niños están familiarizados con la tecnología y con sus usos. En el proyecto se hará un estudio de un sistema de escaneado en 3d, renderizado fotorealista de los diferentes cuerpos y posterior impresión en 3d. Una vez hecho esto se creará un producto con todos estos pasos, se ha hecho un curso para niños de temprana edad intentando abstraer al máximo todos los datos técnicos y procesos para reproducir la realidad que tenemos ante nuestros ojos.



Para comenzar el estudio con el que se realizará el curso hemos escaneado una serie de objetos arqueológicos del yacimiento de Pintia (Padilla de Duero, Valladolid). A partir de estos escaneados deducimos una serie de aspectos a considerar en el futuro. Además de que estos objetos en 3d serán usados para reproducciones idénticas a las reales que se incorporarán a la página web oficial mediante un visor web. Esto recreará para el visitante la realidad en tres dimensiones cada una de las piezas de hace mil años.

Después de este estudio preliminar lo que se quiere es que cada niño lleve su juguete preferido o uno hecho con cualquier material maleable como plastilina, arcilla etc... Y con ayuda de alguien mayor, hacerle las fotos necesarias al objeto. De ahí pasamos al programa que se encargará de todo detalle, es el programa ruso Agisoft photoscan pro, con esta aplicación creamos modelos con mucho realismo que posteriormente se exportarán en diferentes formatos a otros programas. Los programas con los que realizaremos los render fotorealistas son Keyshot (renderizado estático) y 3ds Max para hacer el renderizado de cuerpos con movimiento. Con el programa de escaneado en 3d exportaremos en el formato adecuado para poder tratarlo con el software de la impresora en 3d y lo imprimiremos realizando una copia idéntica o a escala del cuerpo o juguete inicial.

Esta serie de procesos son muy técnicos y muchas veces muy difíciles de realizar por lo que siempre se necesitará la ayuda de un especialista para ayudar a los niños. Se elaborará un curso abstrayendo todo el proceso descrito y se enseñará a los niños como hacerlo.

Se va a realizar un primer repaso general a las partes de las que estará formado nuestro proyecto:

- 2. Estado del arte:** Pequeña introducción al modelado reverso y a la impresión en 3d para poder entender lo que viene a continuación.
- 3. Casos de estudio:** Como ya se ha comentado anteriormente comenzaré a estudiar piezas arqueológicas para luego pasar a hacer un ejemplo con un juguete con la correspondiente tratado en 3d e impresión (Agisoft photoscan, Keyshot, 3ds Studio, programa de impresión en 3d).
- 4. Modelo de negocio:** En este caso es un curso o sistema de aprendizaje. Se explicará todo el proceso detallado cuantificando costes y margen de beneficios.
- 5. Conclusión** sacada con todo este proceso y aspectos aprendidos. Así como intenciones generales y objetivos.

ESTADO

DEL

ARTE



## 2. ESTADO DEL ARTE

Antes de nada procederé a una definición etimológica de los dos conceptos más importantes de los que se hablará:

- **Escaneado en 3d:** Un escáner 3D es un dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su color. La información obtenida se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Desarrollados inicialmente en aplicaciones industriales (metrología, automóvil), han encontrado un vasto campo de aplicación en actividades como la arqueología, arquitectura, ingeniería, y entretenimiento (en la producción de películas y videojuegos).
- **Impresora en 3d:** Es una máquina o dispositivo mecánico capaz de, mediante diversos procesos utilizados, sintetizar un objeto tridimensional. En la impresión en 3D, las sucesivas capas de material se forman bajo control por ordenador. Estos objetos pueden ser de casi cualquier forma o geometría, y se producen a partir de un modelo 3D u otra fuente de datos electrónicos.

Ambos procesos tienen en común el aspecto de que dependen directamente de un programa que haga el papel de herramienta y un usuario capaz de manejarlo correctamente.

Para conocer y comprender mejor estos dos aspectos principales de mi proyecto se procederá a hacer un pequeño estudio tanto del escaneado tridimensional como de la impresión en 3d y los niveles que alcanzan actualmente.

### 2.1 ESCANEADO TRIDIMENSIONAL

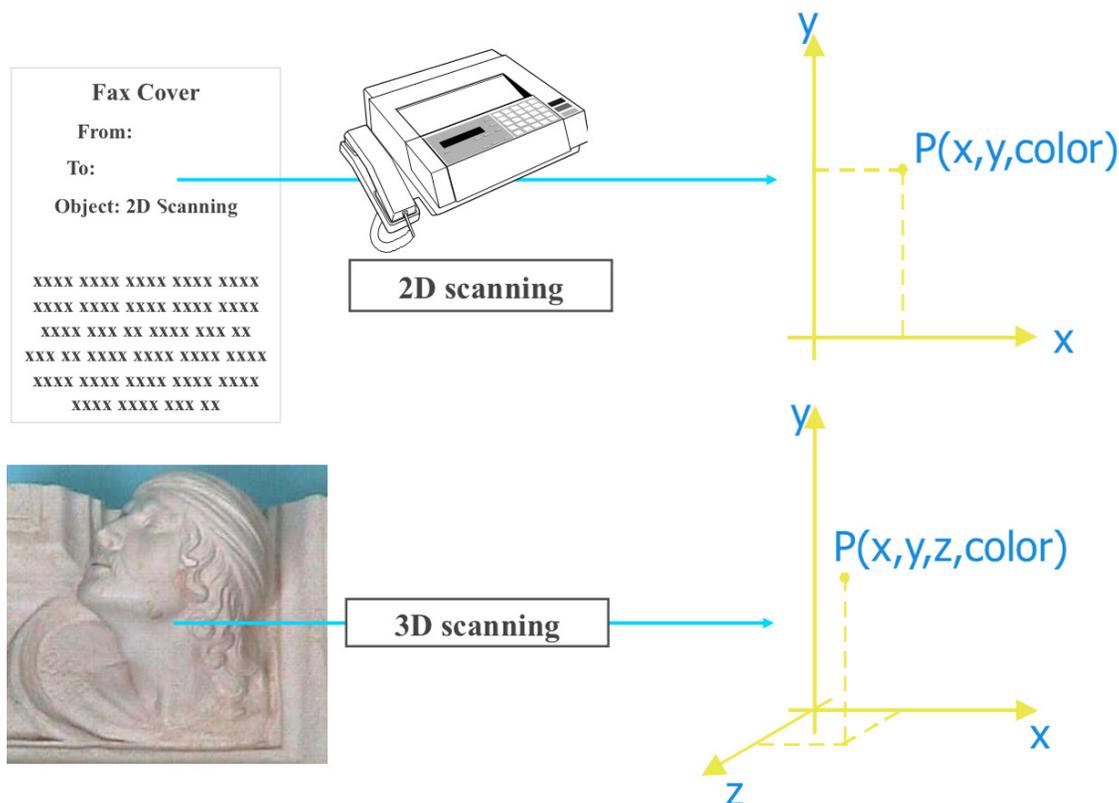
El objetivo principal del escaneado en 3d es usar la tecnología más puntera para crear recreaciones físicas usando imágenes reales de la escena.

Esta tecnología tiene la capacidad de ser usada en muchos campos y aplicaciones de diseño como:

- Estudio de alta calidad para crear un nuevo diseño en un pre existente espacio.
- Digitalización de modelos físicos, representando diseños conceptuales hechos a mano, como prototipos.
- Obtención de objetos en 3d para reproducción multimedia, como el renderizado, y aplicarlos a ambientes sintéticos o viceversa.
- Comprobación de modelos generados por un proceso basado en el control numérico.
- Modelado inverso para una mejora de productos industriales viejos para su renovación.

## 2.1.1 NOCIONES BÁSICAS

Una vez que sabemos los usos principales que podemos dar al escaneado tridimensional se va a explicar el funcionamiento teórico del escaneado y también unas pequeñas nociones para poder llegar a entender el mismo.



Para entender el funcionamiento del sistema de posicionamiento de puntos se va a comparar con el funcionamiento de un escáner en dos dimensiones normal de escritorio. Imaginemos que vamos a escanear una carta, deberemos dar una coordenada con tres componentes principales (dos para la posición y uno para el color) de esta forma vamos digitalizando punto por punto toda la superficie.

El sistema se puede abstraer al escaneado tridimensional de igual forma, en este caso necesitaremos tres coordenadas de posición al estar situado en el espacio y una para el color, así digitalizaremos la superficie que queremos.

El proceso es muy similar, sólo depende de la dificultad del objeto a tratar.

Centrándonos en el escaneado en 3 dimensiones todo el proceso se basa en medidas, hay diferentes tipos de formas para tomar medidas de cualquier modelo:

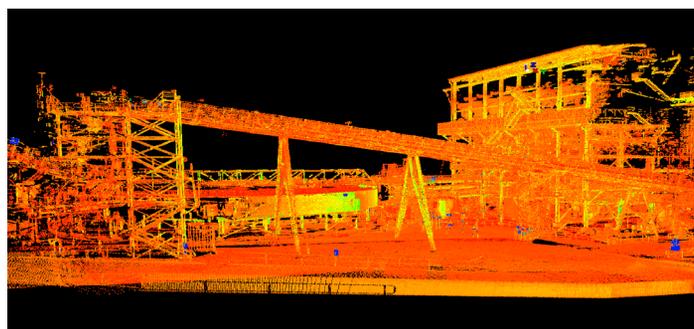
### a. Con contacto:

- Destructiva: Cortando la pieza en secciones y midiendo cada una para después juntarlas.

- No destructiva: Haciendo mediciones con un calibre pieza a pieza y representando en el dibujo o con máquinas CMM (Coordinates Measuring Machines). Estas maquinas de medición funcionan con un palpador o puntero que va tocando físicamente el modelo y transmitiendo la información a un ordenador que interpreta y proyecta en el fichero de dibujo. El puntero puede ir unido al sistema de registro de coordenadas mediante un brazo o codificador, o puede ser localizado y “trazado” por un sistema óptico (hay sistemas que utilizan video aunque los más comunes y eficientes son los rastreadores basados en láser llamados “laser-trackers”). Puede ser controlado tanto por un robot como por un usuario.

#### b. Sin contacto:

- Ondas de gran amplitud: Un buen ejemplo serían los rayos X (Hi-energy waves). El funcionamiento se basa en la radiación electromagnética, este tipo de radiación es totalmente invisible al ojo humano y suele ser usada para fines médicos o relacionados con la seguridad.



- Rayos de luz: Por el medio de proyección de un haz laser o mediante la medida de la propagación de una luz blanca. Es el método que usaremos para nuestro estudio. Más adelante profundizaremos más en este sistema.

- Microondas: Mediante ondas SAR (Synthetic Aperture Radar), es el sistema utilizado por los satélites espaciales para obtención de imágenes espectrales. La imagen se genera emitiendo por lo general más de tres pulsos, se repite el proceso y los datos de las dos medidas con sus respectivas coordenadas con dígitos complejos se unen para crear la imagen.



- Ultrasonidos: Como podrían ser el Sónar (Sound Navigation and Ranging) o la ecografía. El primero funciona creando imágenes a través de los datos obtenidos captando información de la propagación de ondas sonoras principalmente en el agua. Mientras que el segundo usa ondas ultrasónicas y se suele usar para aplicaciones medicas.

Las diferencias principales entre las mediciones con contacto y sin contacto son obvias, la primera puede ocasionar desperfectos en el modelo y a veces resulta imposible de realizar así como la telemétrica puede resultar muy costosa y complicada de realizar. Las circunstancias, el tipo de medida que queremos realizar, el presupuesto y otros factores serán los que decidirán el método a utilizar.

## 2.1.2 INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE ESCANEADO EN 3D BASADOS EN LA LUZ.

### la luz

Como hemos dicho nuestro sistema de escaneo se basará en la luz. Para llegar a asimilar mejor los conceptos de los que hablaremos voy a hacer una pequeña introducción:

¿Qué es la luz?

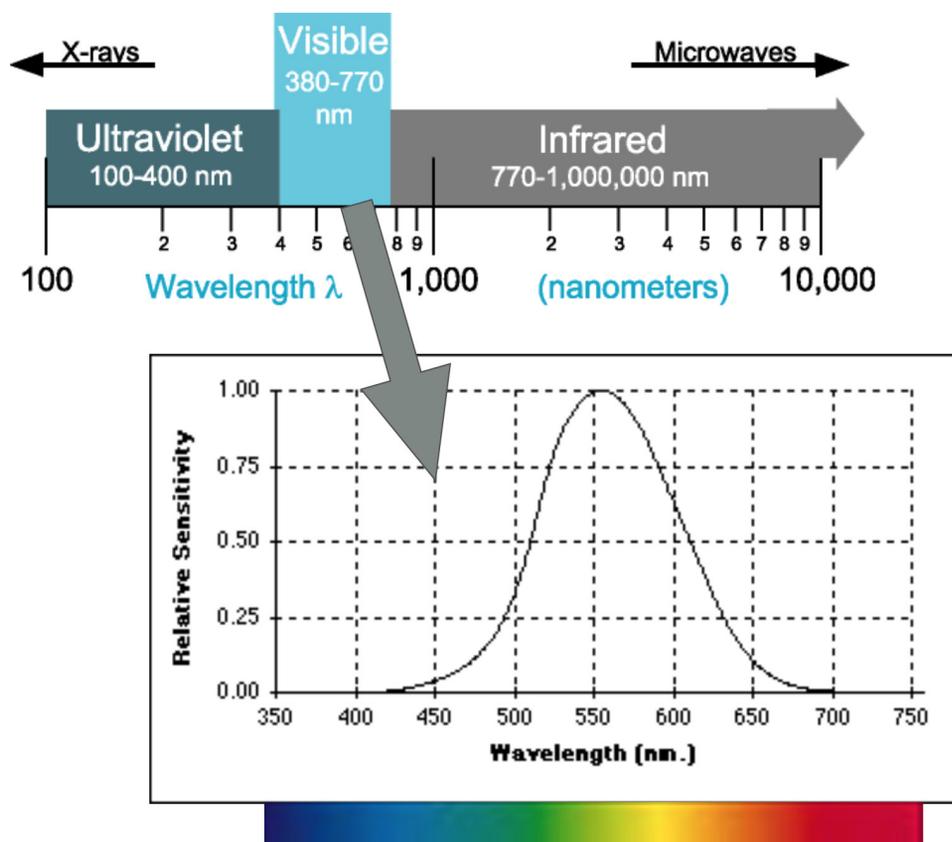
Etimológicamente se define como: Agente físico que hace visibles los objetos.

La luz, basándose en teorías de los últimos 400 años, y apoyándose en la teoría cuántica se podría definir como un haz formado por una secuencia de fotones.

La velocidad de esta es 299792458 metros por segundo. Para cálculos usamos 300 000 metros por segundo redondeando. Dependiendo por el medio en el que viaje la velocidad de la luz es mayor o menor, estando relacionado con un índice denominado “n” que caracteriza cada medio.

Otro aspecto relevante en la luz es la longitud de onda, se define como la distancia real que recorre una perturbación en un determinado intervalo de tiempo. Ese intervalo de tiempo es el transcurrido entre dos máximos consecutivos de alguna propiedad física de la onda.

Teniendo claro este concepto podemos comenzar a explicar la relación del espectro electromagnético con la longitud de onda y su frecuencia, el espectro electromagnético se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. Nuestros ojos son sólo capaces de captar ondas cuya longitud varía entre 380 y 770 nm y su variación determinará el color de la luz que estamos viendo.



Técnicas ópticas basadas en la luz:

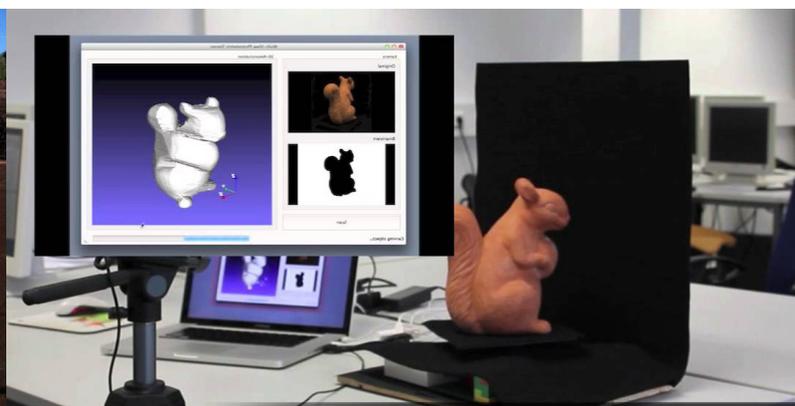
### 1. PASIVAS:

Los escáneres pasivos no emiten ninguna clase de radiación por sí mismos, pero en lugar se basa en detectar la radiación reflejada del ambiente. La mayoría de los escáneres de este tipo detectan la luz visible porque es una radiación ya disponible en el ambiente. Los métodos pasivos pueden ser muy baratos, porque en la mayoría de los casos estos no necesitan hardware particular.

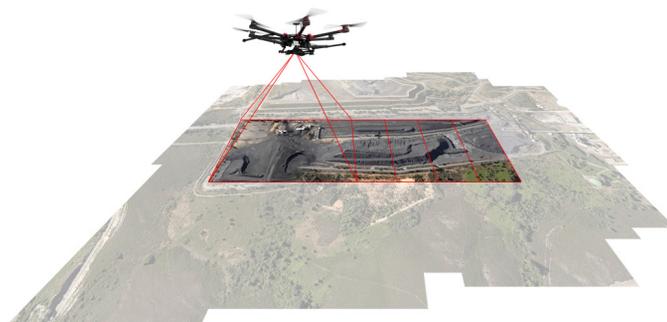


**1.1 Topografía**, captación de imagen por medio de fotografías para su posterior estudio o documenta-

**1.2 Técnicas de interpretación desde siluetas**, la imagen en 3d se crea con un algoritmo que relaciona un volumen con la silueta que este genera.



**1.3 Fotogrametría**, Este es el proceso usado en nuestro estudio y que se profundizará más posteriormente.



## 2. ACTIVAS:

Los escáneres activos emiten alguna clase de señal y analizan su retorno para capturar la geometría de un objeto o una escena. Necesitan software y hardware especial y su precio es muy grande. También la precisión es mucho mejor.

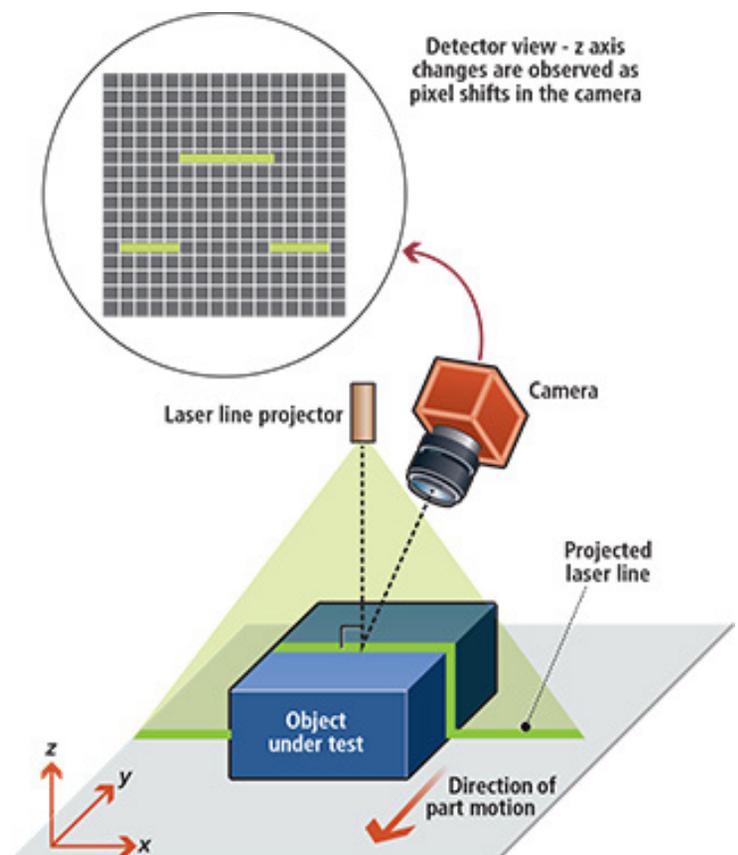


### 2.1 Basadas en la triangulación:

Es también un escáner activo que usa la luz del láser para examinar el entorno. El haz de luz láser incide en el objeto y se usa una cámara para buscar la ubicación del punto del láser. Dependiendo de la distancia a la que el láser golpee una superficie, el punto del láser aparece en lugares diferentes en el sensor de la cámara.

Esta técnica se llama triangulación porque el punto de láser, la cámara y el emisor del láser forman un triángulo. La longitud de un lado del triángulo definido por la cámara y el emisor del láser es conocida. El ángulo del vértice del emisor de láser se sabe también. El ángulo del vértice de la cámara (paralaje) puede ser determinado mirando la ubicación del punto del láser en la cámara. Estos tres valores permiten determinar el resto de las dimensiones del triángulo, y por tanto, la posición de cada punto en el espacio.

Dentro de los sistemas basados en triangulación nos encontramos con diferentes tipos:



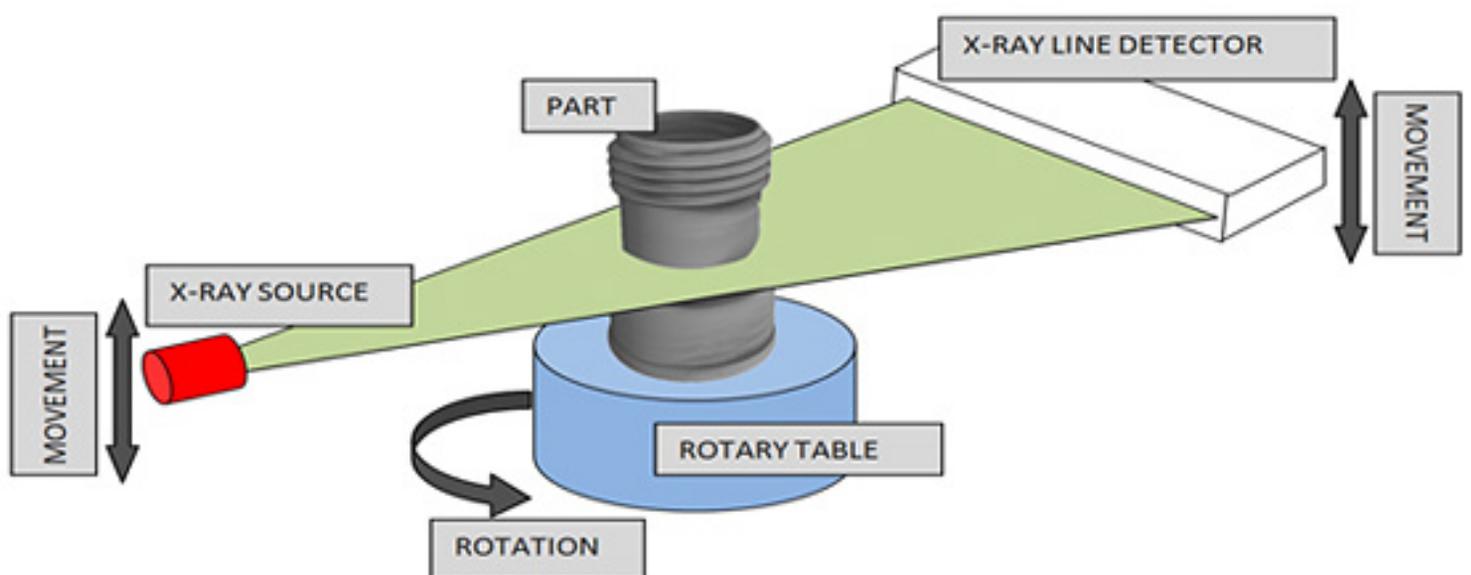
### a. Único rayo proyectado.

Este tipo de medición se usa para distancias relativamente pequeñas, particularmente de 0,5 a 2 metros. Para rangos de entre dos metros y diez existen pocos que se comercialicen actualmente. Consiste en la proyección de un haz láser que viaja hasta el objeto y ilumina un punto, este punto es captado por el sensor y, por medio



### b. Uno o varios planos de luz.

Este sistema se usa para evitar el tener que tener que depender de dispositivos mecánicos, se pueden usar varios rayos láser y diseñar un algoritmo para la extracción del diseño. El láser es proyectado y un sensor mide



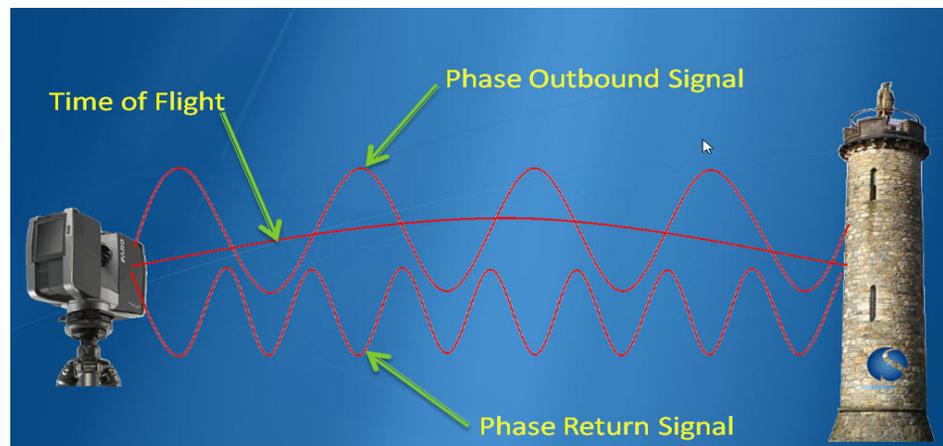
## 2. 2 Basadas en la distancia:

Esta técnica de medida se basa en calcular la distancia a la que está el objeto, captando además su color y textura. Para ello usamos diferentes tecnologías:

### a. Tiempo de vuelo (TOF, time of flight)

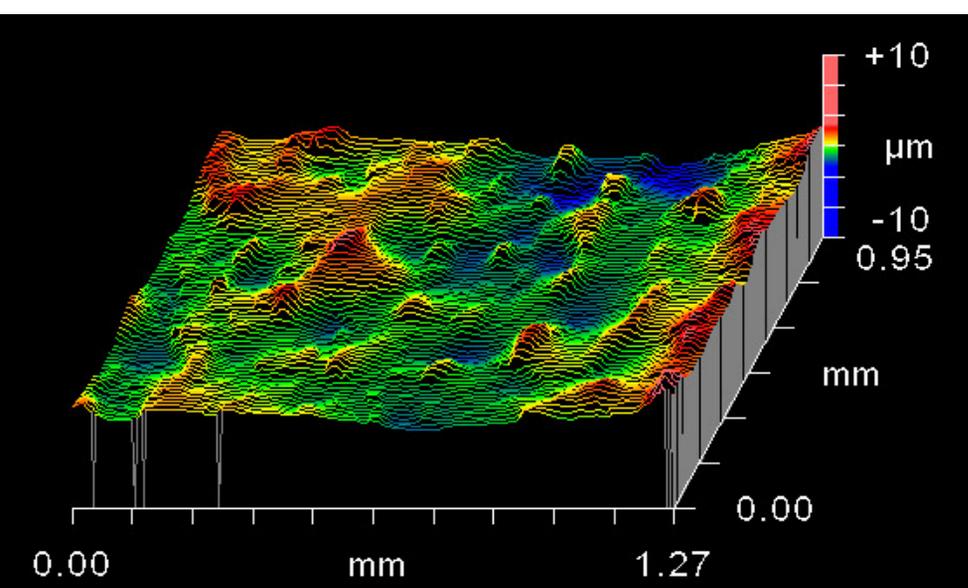
Los sensores de rango bajo que miden distancias mayores a 10 metros suelen estar equipados con esta tecnología (también conocida como laser radar o Lidar de corta distancia). Su uso es principalmente para recrear modelos de grandes estructuras y sistemas de sensores aéreos como los de airborne mapping systems.

La medición se crea enviando un impulso relativamente corto de luz hasta una superficie reflectante y midiendo el vuelo de vuelta hasta el sensor. Un algoritmo relaciona el tiempo de vuelo y la distancia para localizar el punto.



### b. Interferométricas

La alta eficacia en la toma de medidas de la luz láser se debe en gran parte a la concentración de su energía que está directamente relacionado con las interferencias que puede sufrir. Si un rayo de luz lo dividimos en dos partes (De referencia y de medida) cada una de ellas recorrerá un camino diferente y cuando son combinadas se crean interferencias de Fringe. Los dispositivos que miden esas variaciones se llaman interferómetros láser. Muy pequeños desplazamientos (en orden de una fracción de longitudes de onda) pueden ser detectados y



detectados y distancias mayores pueden ser medidas con algoritmos de cálculo mediante incertidumbre estadística relacionada con las longitudes de onda. Muchos sistemas han usado este principio en holografía y interferometría Speckle, se puede encontrar un estudio detallado de esta técnica en el libro Handbook of Computer Vision and Applications.

### 2.1.3 Fotogrametría

Photo- Imagen, Gram- Dibujo, Metría- Medida.

La fotogrametría es la ciencia que nos permite obtener datos certeros de medidas geométricas como forma tamaño o volumen, todo gracias a una serie de fotografías del modelo tomadas desde diferentes ángulos. La salida de estos datos suelen ser en un conjunto de datos en forma de medidas que crean un mapa, dibujo



Dentro de la fotogrametría usamos el criterio principal de la localización de la cámara o cámaras para diferenciar entre diferentes tipos y usos, por lo tanto distinguimos:

- **Fotogrametría aérea**, cuando la cámara está montada en un avión o algún aparato volador como podría ser un dron, usualmente la cámara apunta verticalmente hacia el suelo. Múltiples imágenes del suelo son tomadas conforme avanza el vuelo de nuestro cuerpo sobre el modelo a fidelizar. Estas imágenes son procesadas por un stereo-plotter (es un instrumento que nos permite ver dos fotos a la vez mediante una vista stereo). Este tipo de imágenes son usadas también en procesos automatizados para crear modelos con elevaciones digitales (Digital Elevation Model, DEM).



- **Fotogrametría de rango cerrado**, cuando una cámara esta cerca del sujeto y está la mayoría de las veces está sujeta por una persona o trípode (también puede estar montada en algún tipo de vehículo). Este tipo de fotogrametría no se suele usar para estudios topográficos o modelos de terreno aunque se podría hacer obteniendo una fiabilidad menor, sin embargo su uso es principalmente para obtener sketches, modelos en 3d, medidas y nubes de puntos. Todos los días se usan cámaras para modelar edificios, estructuras de ingeniería, escenas forenses y de accidentes, minas, piezas arqueológicas, prototipos y películas. Este tipo de fotogrametría se suele denominar basada en imágenes (Imaged-Based modeling).

Ahora vamos a mirar un poco más atrás, puesto que para entender el funcionamiento de la fotogrametría es básico conocer como fue creada y cuales fueron sus antecedentes ordenados por fecha desde 1839 al comienzo de la era digital en la que nos encontramos:



**1839** Niepce y Daguerre inventan la fotografía como el concepto que conocemos.

**1849** Frenchman Laussedat tuvo la idea de crear un mapa de Paris basándose en la fotografía aérea de los tejados de la ciudad. Se crea el concepto de la fotogrametría aérea.

**1858-62** El primer estudio de fotogrametría aérea fue probado por Lussedat usando cometas y globos aerostáticos.

**1893** Meydenbauer fue la primera persona que tuvo la idea de definir arquitectura con imágenes fotográficas terrestres, y por primera vez se define como "fotogrametría".

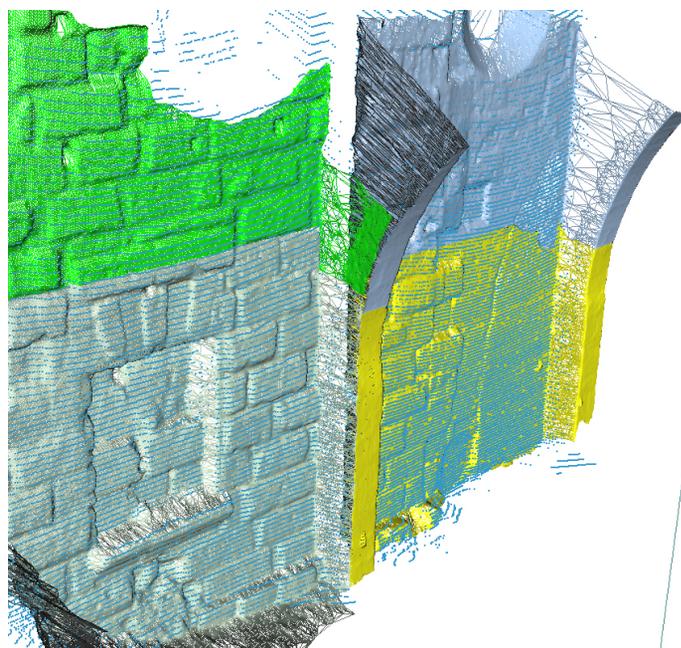
**1899** German Finsterwalder describe la metodología de la orientación absoluta o relativa.

**1901** El físico alemán Pulfrich diseña el primer instrumento de uso fotogramétrico.

**1908** El primer set de fotografía aérea capturada desde un avión con intenciones de recreación de suelo fue hecho por el capitán Italiano Cesare Tardivo.

**1914** los hermanos Brook americanos desarrollan un sistema para llevar la cámara fija en el avión en vez de tener que hacerlo separadamente por alguna rendija o ventana.

**1915-1946** como está demostrado, en las grandes guerras el desarrollo científico y tecnológico es enorme, entre estas fechas sucedieron las dos guerras mundiales donde las técnicas fotogramétricas fueron intensamente usadas por todos los bandos para analizar el territorio enemigo.



**1950** Schmid y Brown llevan a cabo nuevos sistemas para calibración de cámaras y ajuste de lotes de fotos.

**1957** Helava desarrolló el primer plotter analítico. Él jugó un papel crítico en la evolución de las estaciones de procesamiento de datos digitales.

**1967** Hobrough desarrolla un sistema automatizado de ortofotografía utilizando la correlación de imágenes stereo.

**1970** con la expansión y desarrollo de los ordenadores personales el procesamiento de imágenes digitales comienza.

**1990** comienza la fotogrametría digital como la conocemos. Un sensor fijado rígidamente en el cuerpo de una cámara genera una matriz de píxeles relacionado ópticamente con las lentes, le da una nueva imagen al procedimiento ampliando sus capacidades.

Desde 1990 el avance en la fotogrametría ha sido enorme, se han abierto investigaciones por parte de empresas privadas y públicas así como creación de sociedades de investigación y diferentes tipos de software de procesamiento de imágenes, estos son algunos ejemplos:

Asociaciones:

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (<http://www.asprs.org/>)  
International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (<http://www.isprs.org/>)  
CIPA - Committee for Documentation of Cultural Heritage  
(<http://cipa.icomos.org/>)  
UK photogrammetry association (<http://www.rspso.org.uk/>)

Algunos de los principales softwares y sus usos:

Software de rango cerrado de alta capacidad: Eos Systems Photo Modeler (<http://www.photomodeler.com/index.html>)

Software de toma de medidas industriales por fotogrametría: GSI v-stars (<http://www.geodetic.com/>)

Escaneado de texturas y extracción de modelo en 3d: Autodesk 123d Catch (<http://www.123dapp.com/catch>), PhotoModeler scanner (<http://www.photomodeler.com/products/scanner/default.html>), Acute 3d (<http://www.acute3d.com/>), Agisoft Photoscan (<http://www.agisoft.com/>), 3dsom (<http://www.3dsom.com/>).

Fotogrametría aérea: BAE Systems SOCETSET ([www.socetgxp.com](http://www.socetgxp.com)), DAT/EM International Summit evolution (<http://www.datem.com/>), Intergraph Z/Y Imaging (<http://www.hexagongeospatial.com/home>), PCI Geomatics (<http://www.pcigeomatics.com/>).

Con este tipo de software y con ayuda del hardware adecuado se pueden obtener prestaciones como la obtención de datos en 3d de un cuerpo y su posterior reconstrucción, escaneado aéreo, visión artificial, Geofoto, videogrametría, topografía, cálculo de dimensiones y volúmenes, representación de modelos, etc...



## 2.2 IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL



En este proyecto otra técnica novedosa con la que vamos a tratar es la de la impresión en 3d. Cada día salen noticias que anuncian avances en este campo ([http://tecnologia.elpais.com/tecnologia/2015/10/29/actualidad/1446142038\\_181765.html](http://tecnologia.elpais.com/tecnologia/2015/10/29/actualidad/1446142038_181765.html)) y que a su vez relacionan a la juventud con el aprendizaje tecnológico. Así pues comenzaré explicando qué son, una pequeña reseña histórica y acabaré explicando que tipos de impresión nos podemos encontrar en el mercado:

### 2.2.1 Qué es una impresora en 3d

La impresión 3D es un grupo de tecnologías de fabricación por adición donde un objeto tridimensional es creado mediante la superposición de capas sucesivas de material. Las impresoras 3D son por lo general más rápidas, más baratas y más fáciles de usar que otras tecnologías de fabricación por adición, aunque como cualquier proceso industrial, estarán sometidas a un compromiso entre su precio de adquisición y la tolerancia en las medidas de los objetos producidos. Las impresoras 3D ofrecen a los desarrolladores de producto, la capacidad para imprimir partes y montajes hechas de diferentes materiales con diferentes propiedades físicas y mecánicas, a menudo con un simple proceso de montaje. Las tecnologías avanzadas de impresión 3D, pueden incluso ofrecer modelos que pueden servir como prototipos de producto.

Desde 2003 ha habido un gran crecimiento en la venta de impresoras 3D. De manera inversa, el coste de las mismas se ha reducido. Esta tecnología también encuentra uso en los campos tales como joyería, calzado, diseño industrial, arquitectura, ingeniería y construcción, automoción y sector aeroespacial, industrias médicas, educación, sistemas de información geográfica, ingeniería civil y muchos otros.



### 2.2.2 Reseña histórica

Se van a introducir los hechos más relevantes de esta tecnología desde su creación en el siglo XX hasta nuestros días:

**1983** Chuck Hull un inventor destacado en el campo de la óptica iónica idea el primer método de impresión en 3d, la estereolitografía.

**1988** la compañía 3dSystems fundada por el mismo Chuck Hull comercializa las primeras máquinas de impresión estereolitograficas.

**1988-1990** se desarrollan nuevos métodos de impresión como son la impresión por deposición de material fundido (fuel deposition modelling o FDM) o la impresión por láser (selective laser sintering o SLS).

**1990** Acott Crum que había concebido el método de impresión FDM, establece la empresa Stratasys para la comercialización de su invento.

**1993** un grupo de estudiantes del MIT concibe la impresión en 3d por inyección. Dos años más tarde se inicia la venta de los primeros equipos basados en esta tecnología a través de la compañía 3D systems, creada en 1988 por Chuck Hull.



**2002** el instituto de Wake Forest de medicina imprime en 3d el primer órgano en funcionamiento, un riñón. Avance clave en la medicina regenerativa.

**2005** El doctor Bowyer, de la universidad de Bath, Reino Unido, desarrolla la primera maquina 3d autoreplicante: La *RepRap* que supone un salto adelante en la normalización y acceso a impresoras tridimensionales. Una iniciativa de código abierto para construir una impresora 3D que puede imprimir la mayoría de sus propios componentes. La visión de este proyecto es el de democratizar la fabricación de unidades de distribución de bajo coste RepRap a las personas de todo el mundo, lo que les permite crear productos a diario por su cuenta.

**2006** Este año se construye la primera máquina del tipo SLS (Sintetización de laser selectivo) viable. Básicamente, este tipo de máquina utiliza un láser para fundir materiales en el proceso de impresión 3D. Este descubrimiento abre las puertas a la personalización masiva y a la demanda de fabricación de piezas industriales, y más tarde, prótesis.

Ese mismo año, *Object*, un proveedor de materiales e impresoras 3D, crea una máquina con la capacidad de imprimir en multiples materiales, incluyendo polímeros y elastómeros. La máquina permite que una parte sea fabricada con una gran variedad de densidades y propiedades de material.

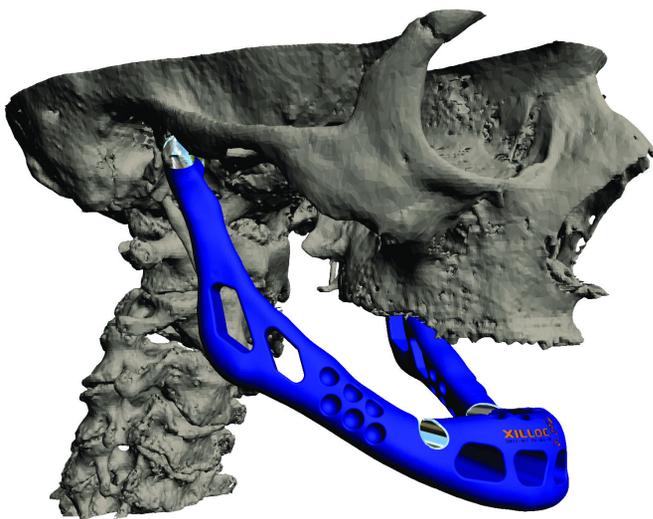


**2008** Shapeways lanza una página web beta privada para ofrecer un nuevo servicio de co-creación entre la comunidad permitiendo que artistas, arquitectos y diseñadores presenten sus diseños en 3D como objetos físicos baratos.

**2009** Kits de impresoras DIY entran en el mercado. Industrias MakerBot, una compañía de hardware de código abierto para las impresoras 3D, comienza la venta de kits de montaje que permiten a los compradores fabricar sus propias impresoras 3D y productos.

**2009** De células a vasos sanguíneos. Llega la bio-impresión, con la tecnología del Dr. Gabor Forgacs, que utiliza una bio-impresora 3D para imprimir el primer vaso sanguíneo.

**2011** Primer avión impreso en 3d. Los ingenieros de la Universidad de Southampton diseñaron y planearon el primer avión impreso en 3D. Este avión no tripulado se construye en siete días, con un presupuesto de 7.000€. La impresión 3D permite que sus alas tengan forma elíptica, una característica normalmente cara que ayuda a mejorar la eficiencia aerodinámica y reduce al mínimo la resistencia inducida.



**2012** primer implante de prótesis de mandíbula impresa en 3d. Doctores e ingenieros holandeses trabajan con una impresora 3D especialmente diseñada por la empresa LayerWise, la cual permite imprimir prótesis de mandíbulas personalizadas. Este grupo ha podido implantar una mandíbula a una mujer de 83 años de edad que sufría una infección de hueso crónica. Esta tecnología se está estudiando más profundamente con el objetivo de poder promover el crecimiento de nuevo tejido óseo.

**Desde 2012 a nuestros días** la impresión en 3d ha crecido de manera exponencial, ya no se podría hablar de descubrimientos clave aislados ya que la impresión en 3d ha sido implementada en diferentes campos muy relevantes como la ingeniería, la medicina, arquitectura o mundo del arte. Es un hecho que la impresión tridimensional tiene un gran futuro.

### 2.2.3 Prototipado rápido

En cuanto a nuestro estudio nos vamos a centrar en las técnicas de impresión tridimensional para prototipado rápido que son con las que trabajaremos en el proyecto, dejaremos de lado el resto de tecnologías por no tener relevancia en el caso.

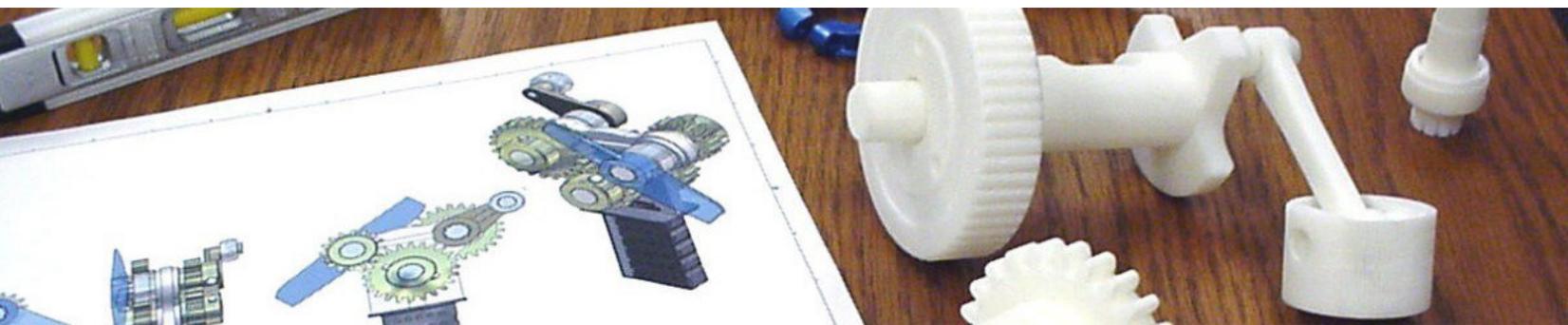
Prototipo: cualquier modelo físico de una pieza, componente, mecanismo o producto, que se realiza previamente a su industrialización, al objeto de validar todas o algunas de las características y funciones con las que fue diseñado, incluso emplearse para pruebas de homologación.

Tipos de prototipos o modelos:

- **Modelo de concepción en 3D:** Prototipo con altas cualidades estéticas (formas, colores, texturas) utilizado para visualización del diseño, ensayos ergonómicos y estudios de mercado.



- **Modelo geométrico:** Ejemplar con alta fiabilidad en las medidas, utilizado para ensayos de ensamblaje (aplicaciones de análisis). Además puede utilizarse como modelo de moldes y utillajes.



- **Modelo funcional:** Ejemplar original con altas cualidades mecánicas, utilizado para ensayos funcionales, optimización de ensamblajes y concepción de utillajes. También se utilizan como modelo de moldes y utillajes.



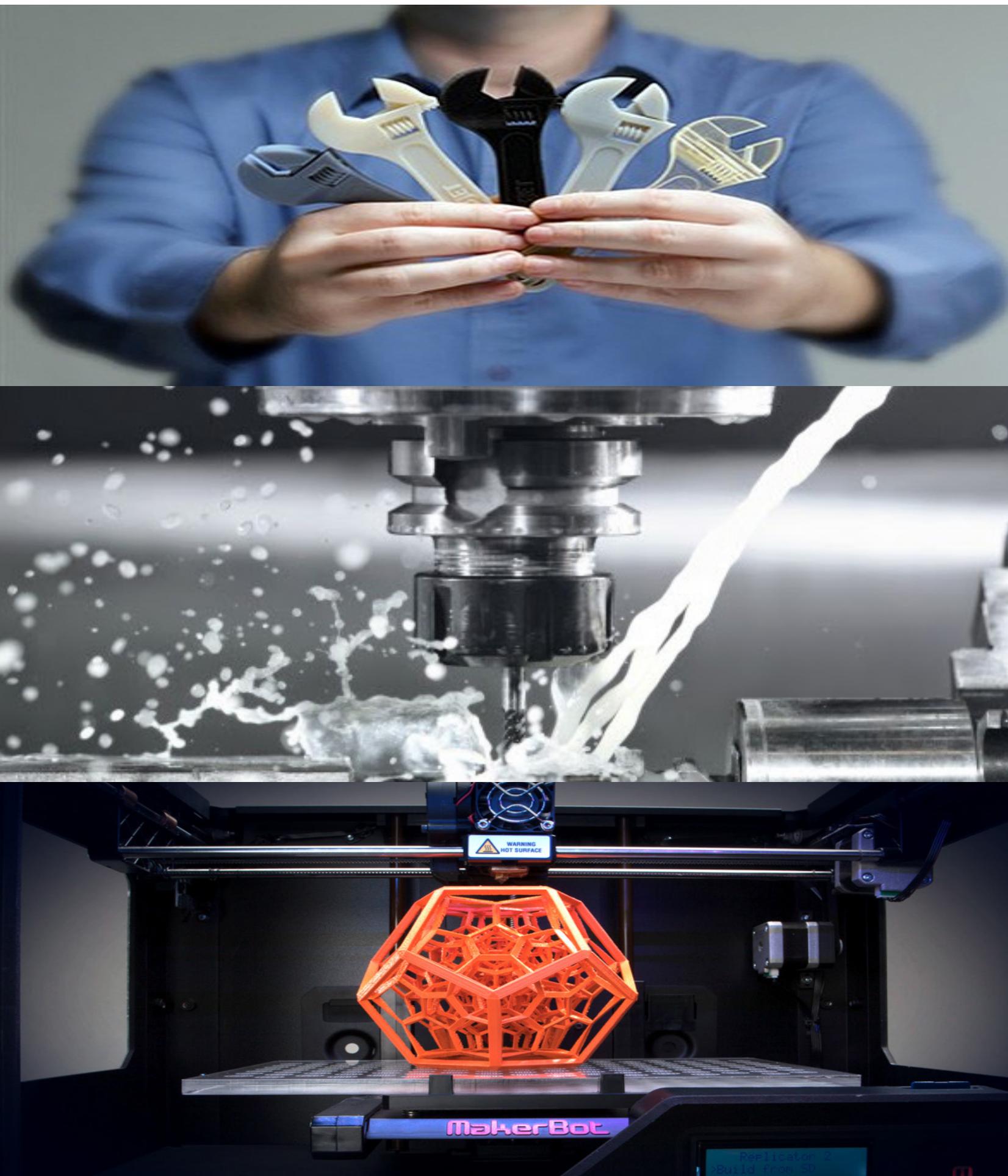
- **Modelo tecnológico:** Ejemplar original con material final, con excelentes propiedades, utilizado para validación de operaciones de fabricación.

Todo diseñador debe pasar por estas fases antes de tener el prototipo final

- 1.- El diseñador define su idea dibujando bocetos en 2D (Sistema CAD)
  
- 2.- Construcción del modelo en 3D (Sistema CAD) . El diseñador industrial puede crear múltiples versiones a partir de un simple modelo y después utilizar texturas para acabar el modelo. Este modelo 3D permitirá hacer simulaciones, análisis de Elementos Finitos o comprobar zonas de curvatura crítica, y realizar correcciones desde esta misma fase del proyecto (Sistemas CAE).
  
- 3.- Renderización para aprobación y comprobación del montaje del conjunto. El renderizado (fotorealística del producto, dimensiones, volumen, textura) que puede ser estático o dinámico y utilizado para acciones de marketing y comercialización, por ejemplo para encuestas, paneles de testeo, impresión de catálogos, CDs, páginas web, antes de disponer de prototipo o producto físico.
  
- 4.- Confección del prototipo: Verificación, modificación, aprobación...
  
- 5.- Confección del molde, herramientas, ... Aprobado el diseño y el correcto funcionamiento, los datos 3D se utilizan para la definición del proceso de producción y utillaje.
  
- 6.- Obtención y verificación de la pieza Una vez terminado el molde se realiza una producción limitada de piezas y se realiza un control dimensional de la pieza producida, mediante máquinas tridimensionales en las que se realiza la comparación de la geometría de la pieza real con la de CAD de la pieza diseñada.

Una vez claro el proceso a seguir antes de imprimir cualquier pieza que haga la función de prototipo pasamos a un estudio más detallado de como podemos conseguir un prototipo de manera rápida y de qué maneras.

### 2.2.4 Técnicas de prototipado rápido



## COPIADO

Procedimiento de creación de modelos idénticos basados en la copia de un modelo inicial.

## MÉTODOS SUSTRATIVOS

Procedimiento basado en el arranque de viruta de un bloque virgen (Torneado, Fresado, Corte...).

## MÉTODOS ADITIVOS

Generación capa a capa o impresión en 3d (Rapid Prototyping).

Los métodos aditivos o basados en la impresión en 3d nos permiten ciertas ventajas con respecto al resto de tipos de prototipado rápido:

- La posibilidad de obtener prototipos de geometrías complejas sin que sea necesario diseñar ni fabricar los útiles supone un evidente ahorro de tiempo y un ahorro de costes importante.
- Es posible aplicar mejoras del producto en la fase de desarrollo, optimizando los aspectos estéticos, ergonómicos, de fabricabilidad y compatibilidad con otras piezas del mismo conjunto antes del lanzamiento de la pre-serie.
- Es posible compatibilizar la obtención de prototipos con otras técnicas (fundición en series cortas) evitando emplear técnicas de arranque de viruta y así conseguir rentabilidad en piezas de gran precisión.
- Fabricación de piezas a medida y de alto valor añadido (carcasa de audífonos, prótesis, implantes,...) y pequeñas en pequeñas series: Additive Manufacturing/ Rapid Manufacturing.

### 2.2.5 Tipos de materiales usados

Como toda creación material el cuerpo necesita un material con el que ser creado, en la creación de prototipos los materiales que más abundan son:

#### A. Líquidos.

Son resinas que son fraguadas con un láser o luz UV, o fundidas (solidificado por enfriamiento).

Tienen la característica de que es imposible conseguir curar o fraguar completamente en el tanque. Tiene un rango de viscosidad de trabajo limitado. El operador siempre está expuesto a la resina líquida y vapores asociados.



#### B. Polvos.

Son sinterizados por un Láser o aglutinados por un líquido los materiales en polvo para el sinterizado más comunes son: PVC, policarbonatos, PA (nylon), Elastómeros, compuestos de PA+Fibra de vidrio, y compuestos metal+plásticos.

#### C. Laminados.

Las láminas pueden generarse antes o durante el proceso. Láminas de material de papel, plásticos, sintéticos. Las constituidas por un filamento de PA, ABS, Cera, PC.

Cada día crece más el número de materiales capaces de ser usados en la impresión en 3d, más resistentes y más parecidos a otros tipos de materiales de fabricación por sustracción de viruta (como el lijado, tallado o el torneado entre otros).



### 2.2.6 Técnicas de prototipado rápido

Existen diversos métodos de creación de prototipos por adicción de capas.

Método	Técnica	Acrónimo
Fotocurado	Estereolitografía Fotopolarización por luz UV	SLA SCG
Unión	Deposición de hilo fundido Proyección aglutinante	FDM DSPC (3D printer)
Fusión	Sinterización selectiva por Láser	SLS
Pegado	Fabricación por corte y laminado	LOM

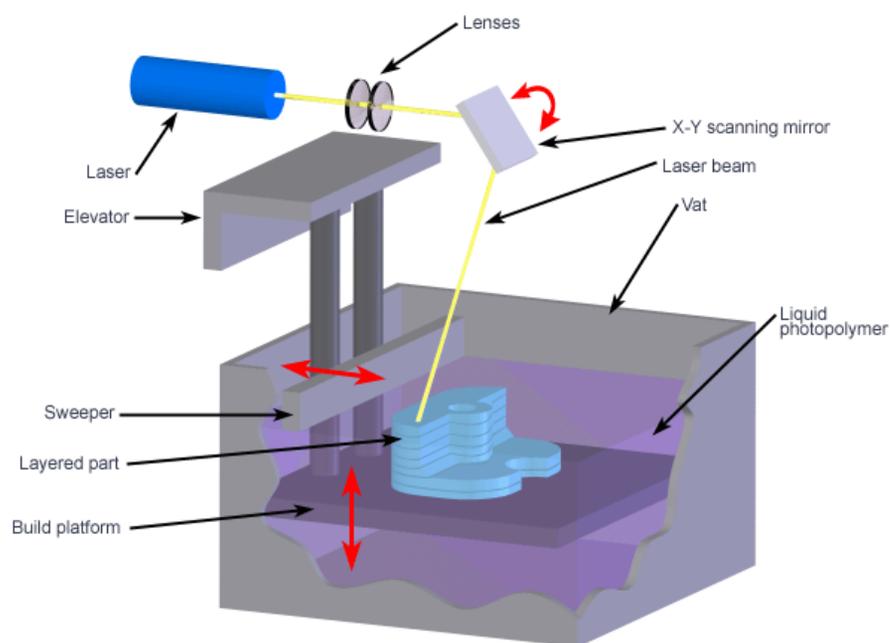
En general se reserva la fabricación de precisión a la estereolitografía y cuando se valoran más las prestaciones mecánicas del modelo (prototipos funcionales), se prefiere el sinterizado (que no procede de una fuente natural sino que se obtiene químicamente), ya que ofrece más variedad de materiales: Resinas fotosensibles, termoplásticos, metales, cerámica, papel plastificado.

# SLA (ESTEREOLITOGRAFÍA)

Emplea un láser UV que se proyecta sobre un baño de resina fotosensible líquida para polimerizarla según las secciones transversales. Una vez solidificada la sección, el elevador baja su posición para situarse a la altura de la siguiente lámina. Esta operación se repite hasta conseguir la pieza final.

Según la morfología de la pieza, puede ser necesario formar una serie de columnas que permitan soportar la pieza a medida que ésta se va generando, dado que la resina se encuentra inicialmente en estado líquido. Igualmente, no permite la fabricación simultánea de piezas a distintas alturas.

Esta técnica suele ser recomendable para piezas de dimensiones reducidas o con alto nivel de detalle.



## VENTAJAS:

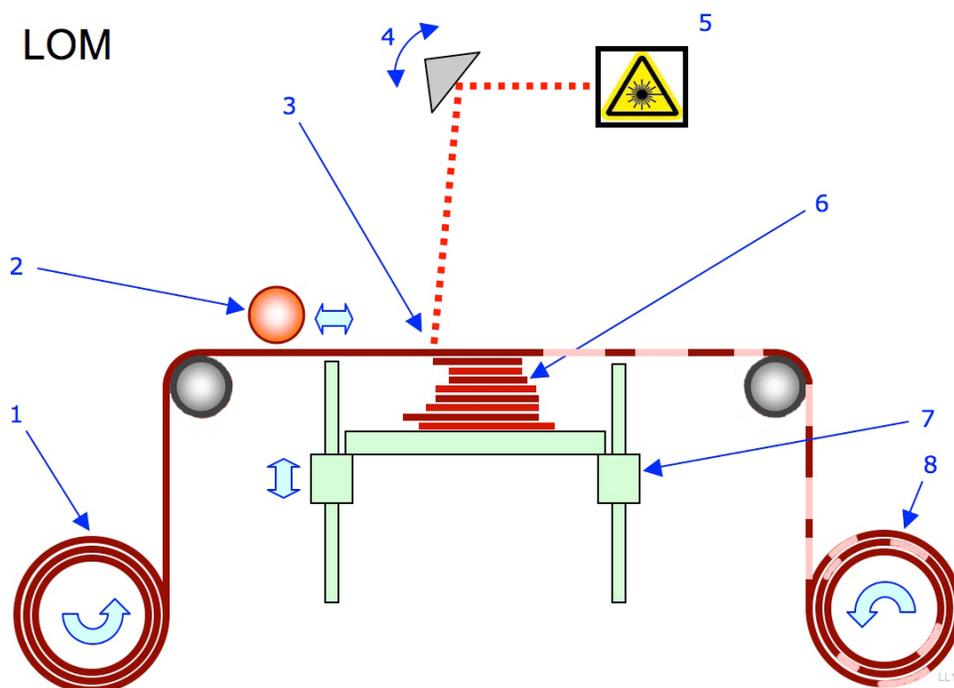
- Modelos muy rápidos (Velocidad del escáner 5 m/s) y precisos.
- Modelos precisos (espesor de capa de 0.025 a 0.5 mm, tolerancias 0.05 mm) y de buen acabado superficial.
- Permite la construcción de piezas huecas (Espesor de paredes hasta de 0,5 mm).
- Utilización de varios materiales. Inicialmente tenían que ser transparentes pero ahora también hay materiales translúcidos y opacos (blanco, negro, ...) que se pueden colorear.
- Material blando, debe ser pulido con lijas para acabado final.

## INCONVENIENTES:

- Modelos de una resistencia baja (frágiles)
- Las piezas no salen terminadas, necesitan un post-curado con luz UV. • Es habitual que se produzca la contracción del material (post-curado)
- Alto coste de operación: Necesidad de instalaciones (industriales): Horno giratorio, etc.
- Debe compensarse (calibración) el láser dependiendo de cada tipo de pieza y material.
- No existe la posibilidad de anidar piezas a diferentes alturas.

## LOM (FABRICACIÓN POR CORTE Y LAMINADO)

Consiste en la construcción de un prototipo a partir de una serie de láminas de papel, plástico o composite, con pegamento térmico en la cara posterior, que son adheridas unas a otras por la acción de un rodillo caliente que realiza la operación de prensado. Una vez adherida a la capa anterior, las láminas se cortan por la acción de un láser. El proceso se repite hasta conformar una estructura tridimensional y finalmente se retira el exceso de material manualmente.



### VENTAJAS:

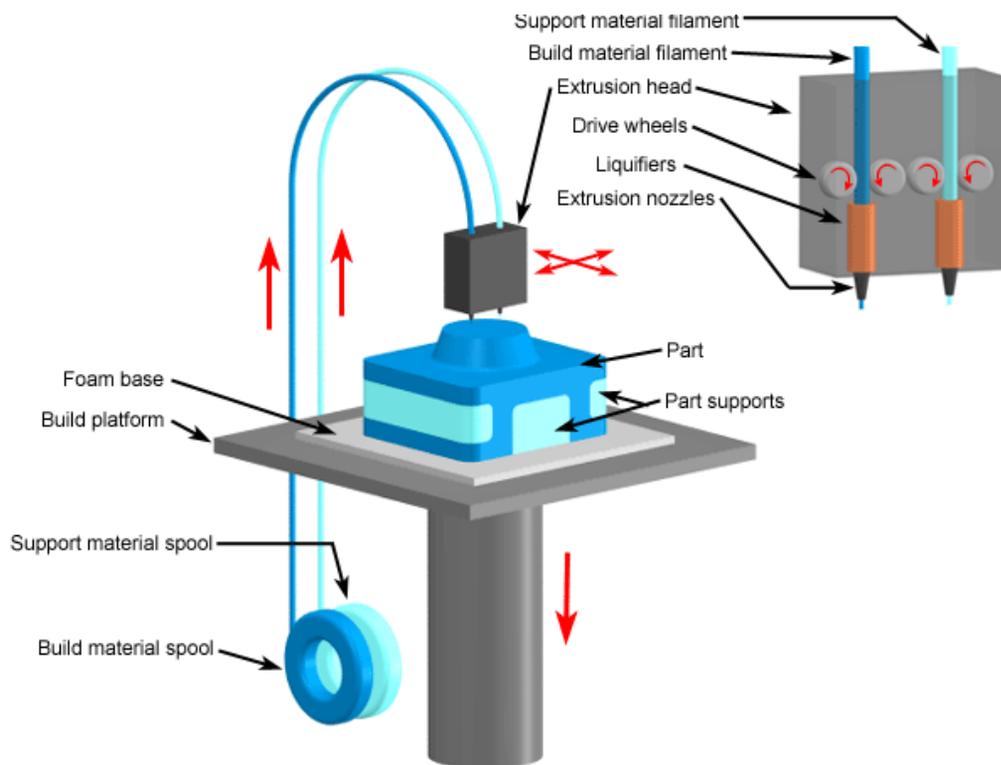
- Tecnología más económica, junto con 3D printer. (Máquinas de escritorio RP).
- Precisión 0,5 mm hasta 0,05mm (espesor de las láminas).
- De 3 a 5 veces más rápido que otros métodos, porque el Láser sólo tiene que trazar el contorno de las capas.
- Material más barato.
- “No huele” (ambiente no industrial).

### INCONVENIENTES:

- Piezas vulnerables a la humedad se pueden usar nuevos materiales: plástico, metal (polvo adherido en láminas que requiere sinterizado posterior).
- Posible deformación de las láminas por los esfuerzos que puede producir el calor del Láser.

## DEPOSICIÓN DE HILO FUNDIDO (FDM)

Consiste en la reproducción de estructuras a partir de la fusión y posterior solidificación de material termoplástico. Una boquilla se mueve en el plano XY horizontal y extruye un hilo de material termoplástico a una temperatura de 10 C por debajo de su punto de fusión. Este hilo solidifica inmediatamente sobre la capa precedente, y la plataforma desciende en Z para que se pueda depositar la capa siguiente.



### VENTAJAS:

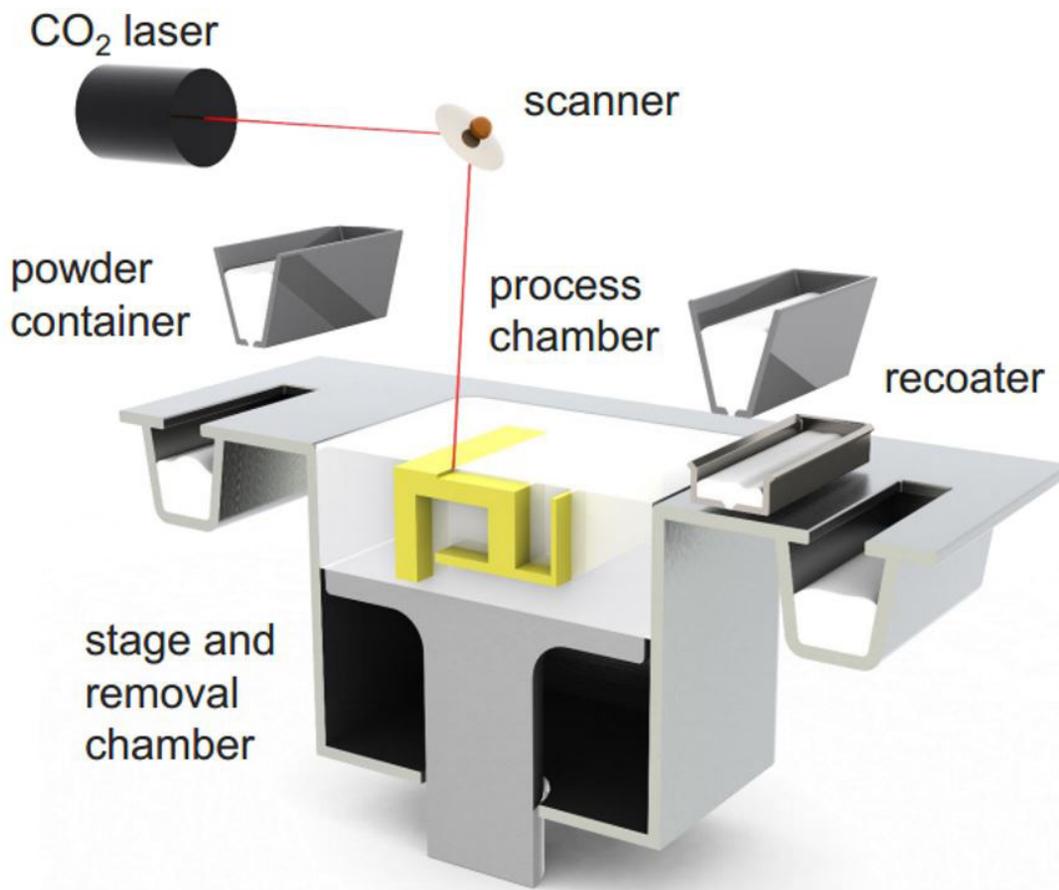
- Amplia gama de materiales de aplicación (ABS, Cera, PC, PA, PCL, PE ...).
- Modelos de una resistencia buena.
- Modelos rápidos y precisos (espesor de capas de 0,07mm.).
- Amplia gama de tamaño de máquinas: oficina e industrial.
- No se necesita calibrar la máquina.
- Bajo coste de operación (no necesita otras instalaciones).
- Sistema abierto (bajo Windows).
- Hay modelos de dos cabezales.

### INCONVENIENTES:

- Exige un control muy preciso de la temperatura y de la velocidad de deposición del material durante el proceso.
- Acabado superficial intermedio: superficies rugosas, pero según la dureza del material, que no se pueden pulir fácilmente, necesitando de un acabado superficial especial (herramienta caliente, recubrimiento con cera para pulir).
- Piezas no transparentes.

## SINTETIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER (SLS)

Proceso en el que se deposita una capa de polvo de una décimas de mm. de espesor a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO<sub>2</sub> de potencia media, sinteriza el polvo en los puntos seleccionados.



### VENTAJAS:

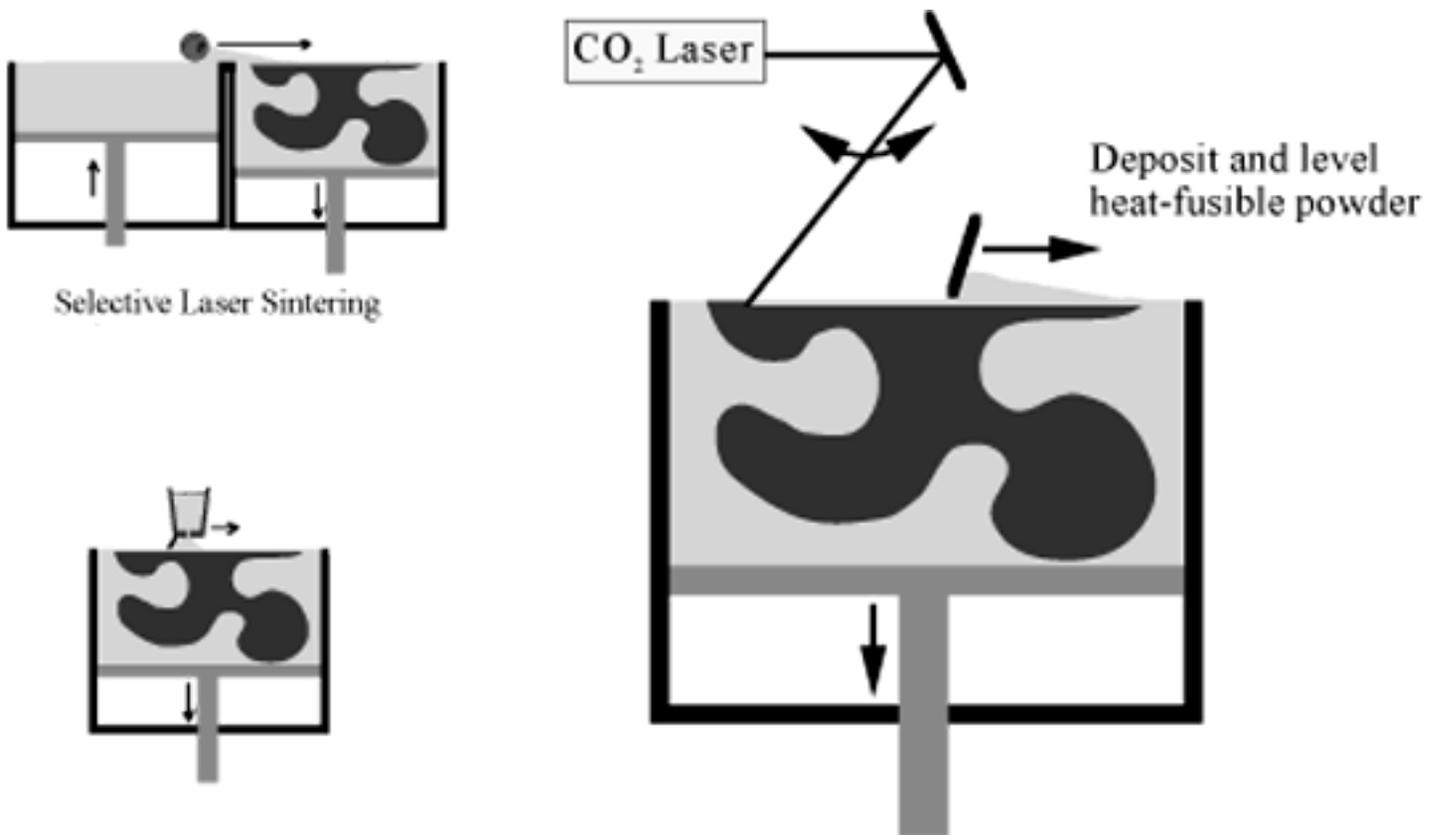
- Utilización de una gran cantidad de materiales: Nylon (PA), ABS, policarbonato, ... Posibilidad de añadir fibra de vidrio (hasta 30%) o de aluminio.
- Prototipos funcionales (permite ensamblado) y estéticos (buen acabado, inferior a SLA)
- Sistema de carga cúbico. Se pueden anidar pieza verticalmente. No utiliza soportes.
- No precisa post-procesado (ni curado UV ni eliminación de material sobrante)
- Muy rápido, velocidad del escaner 10 m/s.

### INCONVENIENTES:

- Material del prototipo duro por lo que el pulido con lija no se puede realizar, necesita un acabado especial.
- Contracciones del material debido a cambios de temperatura.
- Problema con espesores de pared menores a 1 mm, límite en 0,7 mm.
- Trabajo en el entorno industrial.
- Alto coste de operación (necesidad de gas nitrógeno para atmósfera inerte).
- Necesidad de calibrar el láser.
- Coste de la instalación muy alto de 357.000 a 408.000 €

## PROYECCIÓN DE AGLUTINANTE (DSPOC)

Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la ligazón selectiva del mismo mediante la impresión de “chorro de tinta” de un material aglutinante.



### VENTAJAS:

- Modelos de una resistencia buena, después del post-procesado.
- Permite el uso de colores
- Modelos rápidos.
- Trabajo en el entorno de la oficina (trabajo a temperatura ambiente y bajo nivel de ruido).
- No se necesita calibrar la máquina.
- Bajo coste de operación (no necesita otras instalaciones).
- Sistema abierto (bajo Windows).
- Máquina industrial más barata del mercado (54.000 €).

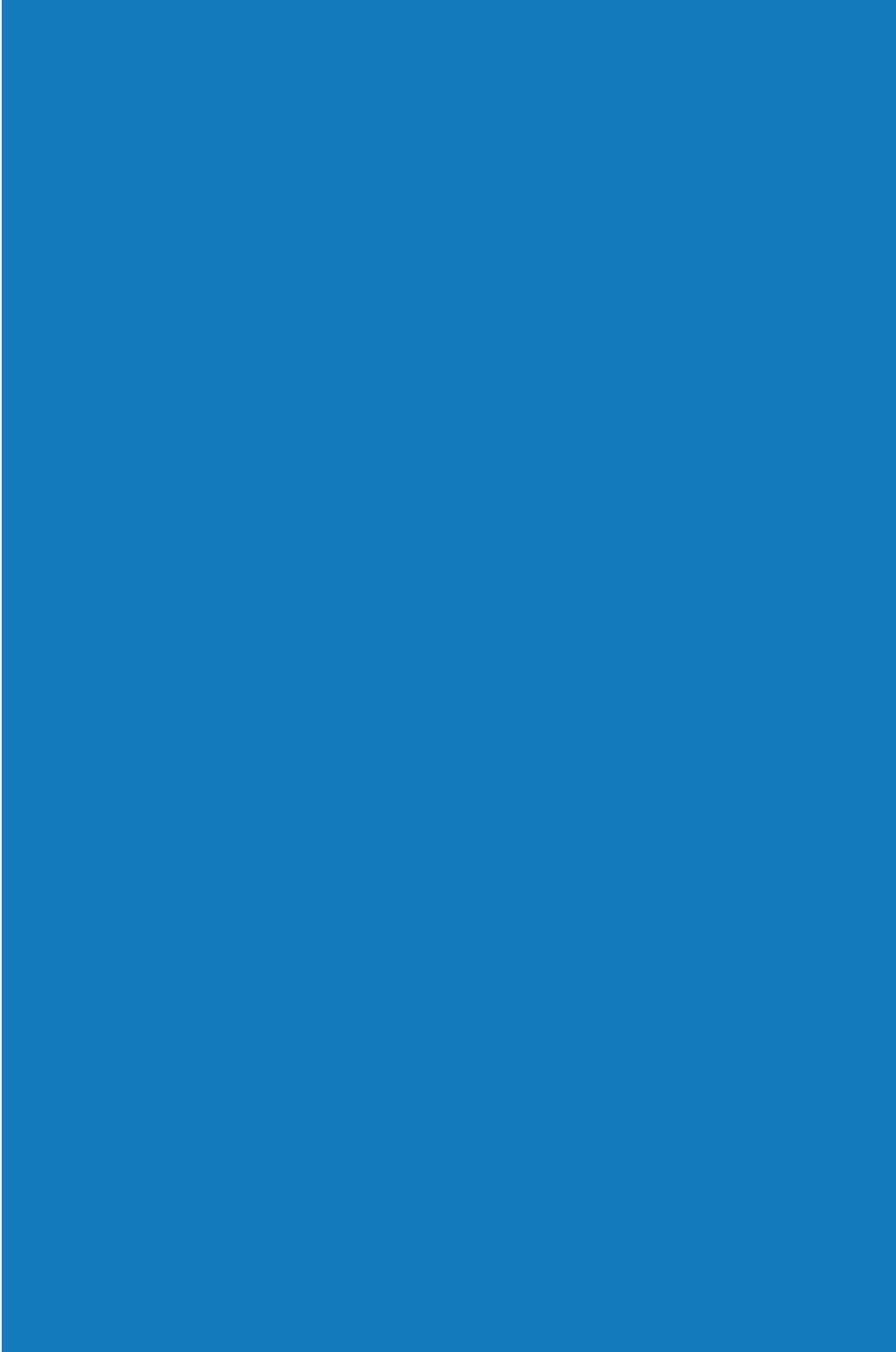
### INCONVENIENTES:

- Requiere post-procesado para mejorar la resistencia mecánica (ej. resina termoestable)
- Acabado superficial bajo (espesor de capas de 0,33 mm o superior), puede requerir lijado.
- Precisión muy baja.
- Piezas no transparentes.
- Utilización de un solo material (poliéster).
- Si la pieza se mueve o se levanta el error no se repara.

Cuadro comparativo de los diferentes tipos de prototipado rápido:

Proceso	DEPOSICION DE HILO FUNDIDO	SINTETIZACION SELECTIVA POR LÁSER	FABRICACION POR CORTE Y LAMINADO	ESTEREOLITOGRAFÍA	FOTOPOLIMERIZACION POR LUZ U.V.
<b>Nombre</b>	FDM	SLS	LOM	STL/SLA	SGC
<b>Método de</b>	Unión	Fusión	Pegado	Fotocurado	Otros
<b>Láser</b>	No	Si	Si	Si	No
<b>Tamaño de las piezas en mm</b>	300x300x300	300x400x400	250x350x400	500x500x600	500x500x600
<b>Materiales</b>	Ceras, ABS,Plástico nylon.	Polycarbonato, PVC, Nylon y resinas.	Papel, poliéster, Nylon-celulosa.	Fotopolímeros.	Fotopolímeros.
<b>Ventajas</b>	Material barato, no produce olor, no precisa soportes, más rápido que stl.	Material barato, gran variedad de materiales, no precisa soportes	Precisión del 0,1%, 5 a 10 veces más rápido que otros. Material barato.	Tecnología madura, proceso rápido, precisión del 2%.	Mayor precisión, mejores propiedades mecánicas, no precisa soportes.
<b>Desventajas</b>	Apariencia granulada.	Tolerancias de 5%, es el más nuevo, las piezas tienen un aspecto laminado.	Deformación en las láminas.	Modelos traslúcidos, modelos quebradizos, algunas partes requieren soportes.	Equipo caro, complejidad por el tamaño del equipo.







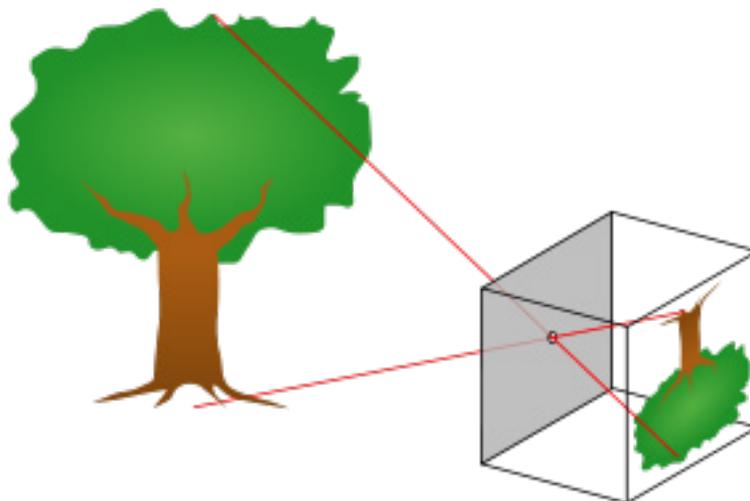
## 3. FUNCIONAMIENTO DE LA FOTOGRAMETRÍA

En el proyecto se van a analizar y a tratar diferentes casos, para poder llegar a entender el funcionamiento en el que se basan los cálculos del programa y el funcionamiento de la fotogrametría vamos a abstraer al máximo cada elemento y a analizarlos por separado.

En el anterior punto hemos tratado los antecedentes de la fotogrametría esto nos dará paso a analizar el funcionamiento en cuanto a cálculos que usan este tipo de programas para conocer a la distancia a la que se encuentran los puntos del modelo. Para comprenderlo se explicará usando el concepto de cámara más simple que existe, la cámara estenopeica o cámara Pin-hole.

### 3.1 CÁMARA ESTENOPEICA

Una cámara estenopeica (del griego στένω/steno estrecho, ὀπή/ope abertura, agujero) es la que está formada simplemente por una caja oscura un agujero y una película de material sensible a la luz.



La imagen captada por la cámara es proyectada en el plano de proyección de manera inversa como se explica en la imagen, escondiendo la luz de la escena a excepción de la imagen elegida.

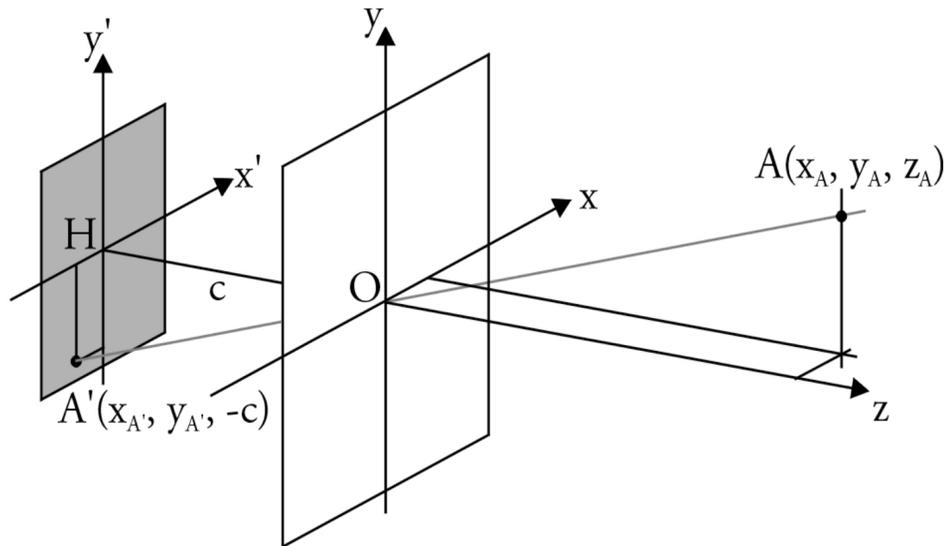
Es importante que el agujero tenga el tamaño correcto, si no la imagen proyectada saldría desenfocada. El radio del agujero tiene que cumplir la siguiente relación:

$$r \approx \sqrt{\lambda d}$$

r es la medida del radio  
 $\lambda$  la longitud de onda de la luz  
 d es la distancia al plano en el que está la imagen.

Cumpliendo esta regla básica el cuerpo aparecerá en el plano de proyección enfocado.

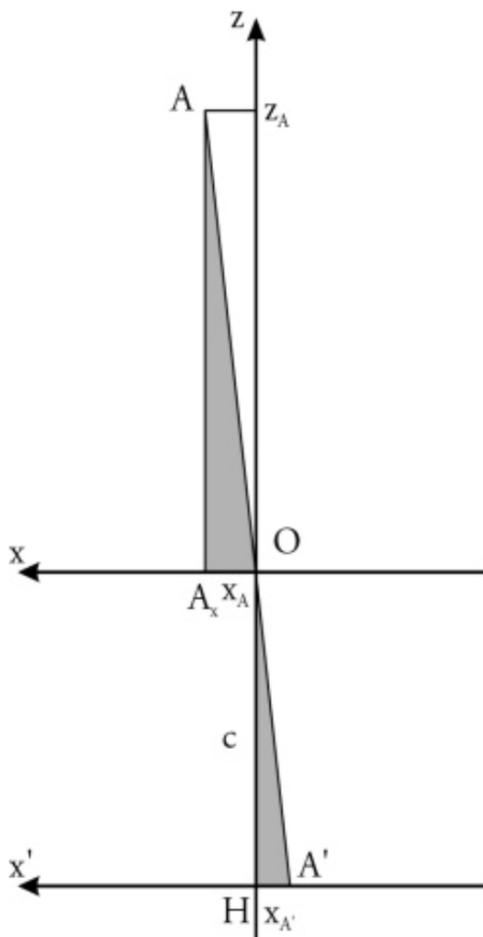
Para capturar una imagen la cámara estenopeica sigue el siguiente esquema:



O representa el centro de proyección, en el diagrama se representan dos sistemas de coordenadas, el global  $(x,y,z)$  y el relativo  $(x',y',z')$ .

El punto A es el que vamos a capturar con la cámara y A' es su proyección en el plano. Ambos puntos son homólogos. El eje óptico lo hemos llamado Z. X e Y forman un plano paralelo al plano de imagen (Y' y X') conteniendo al centro de coordenadas (O).

Como hemos dicho los puntos A y A' son homólogos, guardan una relación entre ellos, los podemos relacionar mediante el plano XZ.

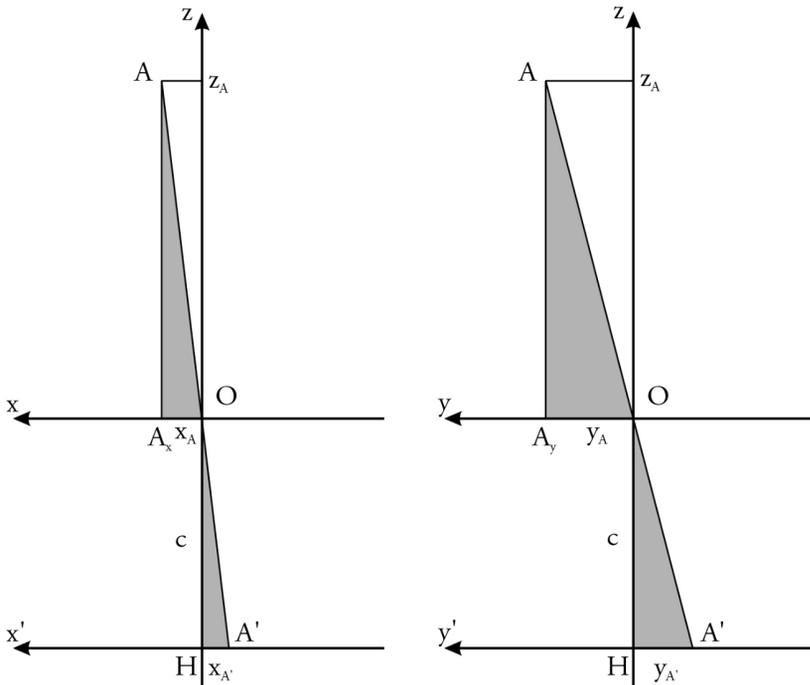


Considerando las proyecciones de los puntos podemos ver a simple vista que los triángulos son similares. Al ser similares la relación entre base y altura de ambos es constante por lo que consideraremos solamente los módulos:

$$\frac{x'_{A'}}{c} = \frac{x_A}{z_A}$$

Por lo tanto:

$$x'_{A'} = c \frac{x_A}{z_A}$$



Considerando esta relación entre los puntos A y A' con respecto al eje de coordenadas XYZ el plano de imagen sería  $Z = -C$ . Usando la relación mostrada anteriormente tenemos:

$$x'_{A'} = -C \frac{x_A}{z_A}$$

Y igualmente para la coordenada Y:

$$y'_{A'} = -C \frac{y_A}{z_A}$$

En resumen de todo lo tratado:

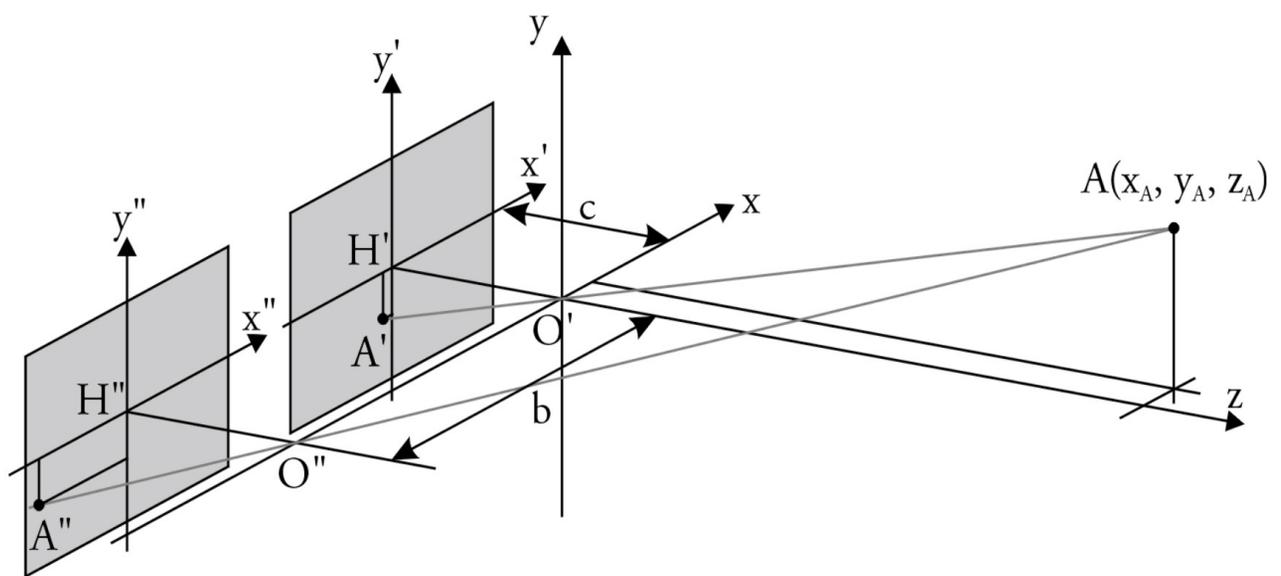
Asumiendo que conocemos las coordenadas de un punto en el espacio para un único punto A ( $x_A, y_A, z_A$ ) podemos ver que la proyección en el plano de imagen a una distancia C del centro de proyección (O) está definido por un punto A' ( $x'_{A'}, y'_{A'}$ ) cuyas coordenadas son dadas respectivamente por:

$$x'_{A'} = -C \frac{x_A}{z_A}; \quad y'_{A'} = -C \frac{y_A}{z_A}$$

Contrariamente si asumimos que conocemos la proyección de las coordenadas ( $x'_{A'}, y'_{A'}$ ) no sería posible evaluar la posición en el espacio de nuestro punto A, ya que todos los puntos estarían situados en la línea que conecta A con O y nos da la misma proyección A'.

## 3.2 ESQUEMA DE POSICIÓN.

Para poder resolver este caso necesitaríamos dos puntos de vista. Vamos a analizar este caso:



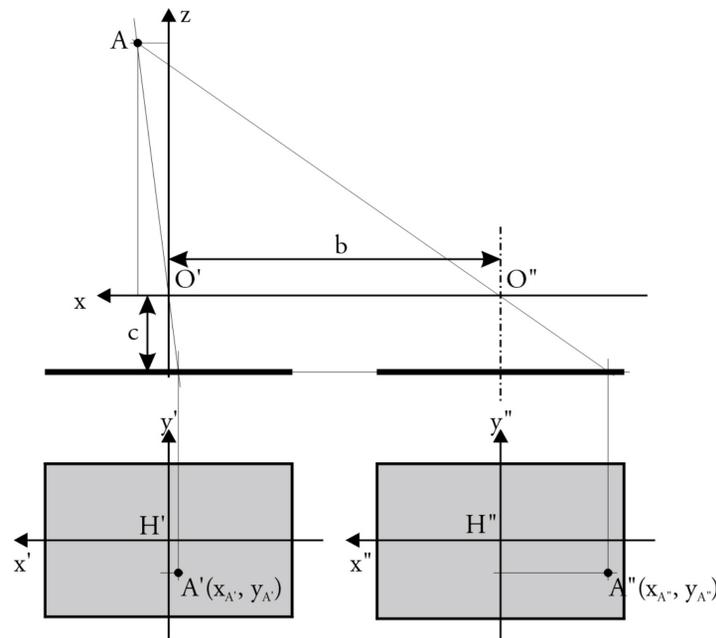
Consideraremos dos cámaras estenopeicas mirando a un punto  $A$  y generando dos proyecciones  $A'$  y  $A''$ .

Las cámaras se encuentran orientadas como muestra la figura en la cual:

- El eje  $Z$  es el eje óptico de la primera cámara.
- El eje  $X$  e  $Y$  están centrados en la primera cámara.
- La segunda cámara está trasladada en dirección del eje  $X$  a una distancia conocida llamada  $b$ .
- Las dos imágenes que queremos capturar (representadas como rectángulos grises) pertenecen al mismo plano de captura.
- Los centros de proyección  $O'$  y  $O''$  están a una distancia  $b$  del eje  $X$ .

### 3.3 PARALAJE.

En materia de cálculos hay que tener claro el concepto de paralaje (del griego παράλλαξις, cambio, diferencia) es la desviación angular de la posición aparente de un objeto, dependiendo del punto de vista elegido. Representado en nuestro caso:



En el esquema se representa la planta de la vista representada en el caso anterior con sus respectivos puntos. Por lo tanto podemos sacar una serie de conclusiones:

- El sistema de coordenadas de cada una de las dos cámaras están separados por una distancia en dirección de X. Por lo tanto:

$$x_{A'} = x'_{A'}$$

$$x_{A''} = b + x''_{A''}$$

- Considerando proyecciones horizontales esa traslación no afecta, lo que tenemos:

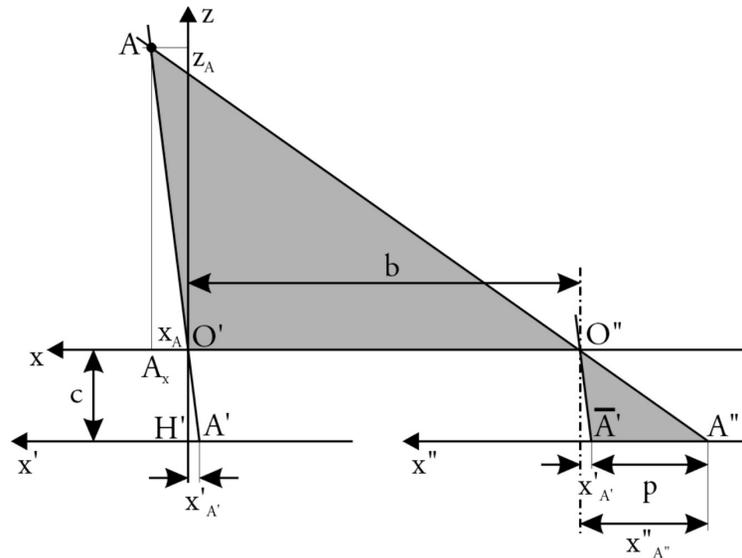
$$y_{A'} = y_{A''} = y'_{A'} = y''_{A''}$$

- El desplazamiento horizontal de las dos proyecciones lo llamamos paralaje o error de disparidad:

$$p = x''_{A''} - x'_{A'}$$

Ahora que tenemos claro el concepto de paralaje podemos comenzar a evaluar cada uno de los factores que intervendrán en la determinación de la posición de nuestro punto o figura:

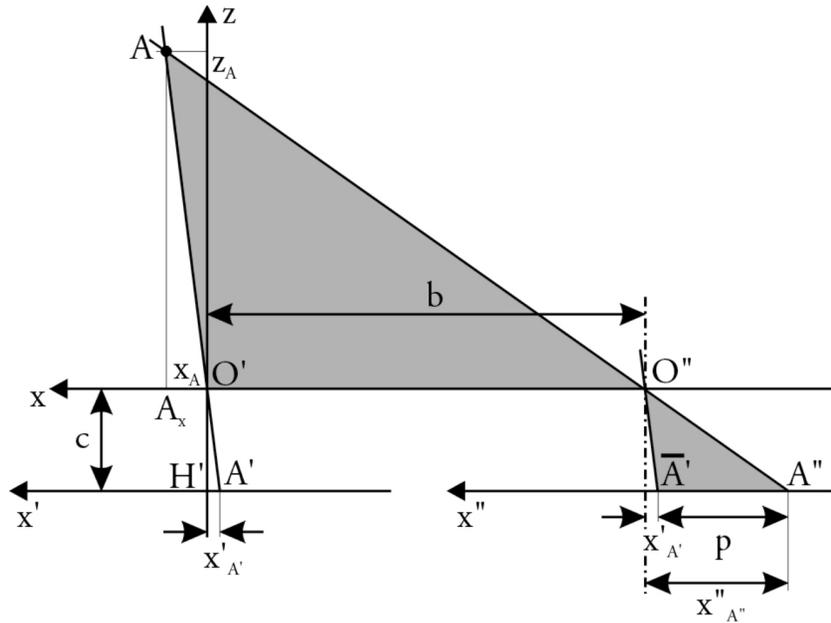
### 3.4 EVALUACIÓN DE LA DISTANCIA DEL OBJETIVO A LA CÁMARA.



- Dos líneas son dibujadas en el plano XZ conectando la proyección de A con las de A' Y A''.
- Dos triángulos similares son generados, representados en color gris.
- Para estos la relación entre base y altura es constante por lo que obtenemos como en el anterior caso la siguiente relación:

$$z_A = \frac{bc}{p}$$

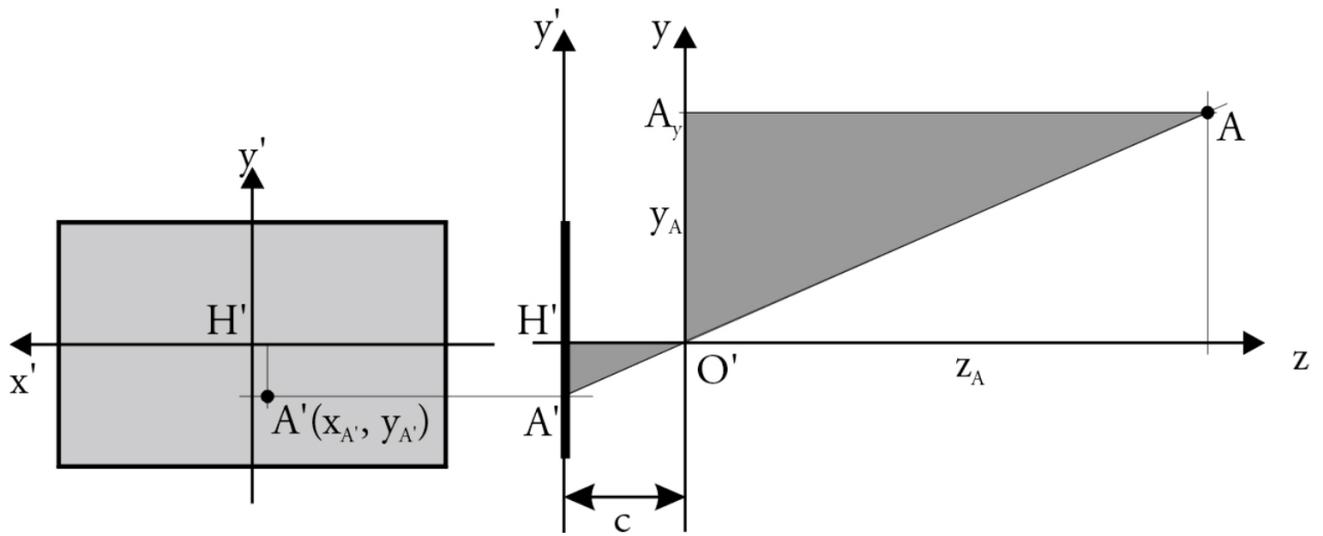
### 3.5 EVALUACIÓN DE X.



- Consideremos el punto  $A_x$  (la proyección de  $A$  en el eje  $X$ ) y  $H'$  el punto principal de la primera cámara.
- Los triángulos  $H'A'O'$  y  $AxO'A$  son similares, por lo que otra vez más, el ratio permanece constante.
- Por lo tanto  $X_A/Z_A = X'_A/C$
- Finalmente usando la expresión calculada antes para  $Z_A$  :

$$x_A = \frac{z_A x'_{A'}}{c} = \frac{bc x'_{A'}}{p c} = \frac{bx'_{A'}}{p}$$

### 3.6 EVALUACIÓN DE Y.



- En el mismo escenario pero teniendo en cuenta el plano YZ, no diferenciamos la primera o segunda proyección, teniendo ambos la misma Y.
- Tomamos por ejemplo dos triángulos de nuevo semejantes  $H'A'O'$  y  $AYO'A$  representados en gris en la figura. Ambos guardan relación de semejanza.
- Usando la expresión obtenida de la semejanza somos capaces de afirmar:

$$y_A = \frac{z_A y'_{A'}}{c} = \frac{bc}{p} \frac{y'_{A'}}{c} = \frac{b y'_{A'}}{p}$$

### 3.7 RESUMEN FINAL.

Usando una cámara estenopeica con una distancia principal conocida  $C$ , localizamos en dos posiciones diferentes desplazadas entre sí una distancia  $B$ , es posible evaluar las coordenadas espaciales de un punto  $A$  en el espacio tridimensional. Comenzando con las coordenadas en el plano de imagen de sus proyecciones  $A'$  y  $A''$ .

$$x_A = \frac{bx'_{A'}}{p} \quad y_A = \frac{by'_{A'}}{p} \quad z_A = \frac{bc}{p}$$

Con el paralaje dado por:

$$p = x''_{A''} - x'_{A'}$$

De esta forma tenemos solucionado el problema de las coordenadas desconocidas y podemos proyectar los puntos para generar poco a poco el modelo.

Esta es una explicación matemática geométrica del proceso de obtención de datos dimensionales abstraído al máximo. En la realidad es un poco más complicado aunque basado en los mismos fundamentos, por lo que con dos puntos de vista diferentes, seríamos capaces de referenciar un punto en el espacio.

Nuestro ordenador dependiendo de sus características de hardware y software realizará estos cálculos con más velocidad o menos. Por medio del programa de fotogrametría Agisoft Photoscan Pro (<http://www.agisoft.com/>) conseguimos modelos muy fieles como estos:



El funcionamiento de este programa se basa en los puntos y en la unión de estos mediante una malla, en el siguiente punto se detallará con más exactitud.

SOFTWARE

AGISOFT

PHOTOSCAN



Agisoft Photoscan es un software ruso que calcula, por medio del procesado fotogramétrico de imágenes digitales, datos espaciales en 3d. Los datos de salida pueden ser usados por un tercer programa para aspectos de visión artificial.

Este software es de los llamados Stand-Alone, lo que significa que no requiere de conexiones externas a internet. Nació en 2006 con una compañía de innovación centrada en la visión artificial. Durante años trabajando en el programa y siendo pioneros en estas técnicas han llegado a convertirse en uno de los programas fotogramétricos más importantes del mercado.

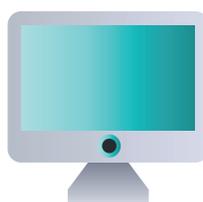
Tras esa pequeña introducción al programa vamos a pasar a explicar el funcionamiento del proceso de obtención de modelos centrándonos en objetos de tamaño medio-pequeño con imágenes tomadas a menos de dos metros.

## 4.1 CONOCIMIENTOS PREVIOS.

El primer paso y uno de los más importantes del proceso es conocer las herramientas que vamos a usar, saber que es lo que hace el programa y como. Así podremos anticiparnos a cualquier error o imprevisto que pueda ocurrir, y crear las condiciones idóneas para la realización del proceso.

No sólo conocer el software con el que trabajamos es importante, lo es también conocer el hardware y las limitaciones que nos impone este. Por ejemplo, no es lo mismo hacer fotos con una cámara que con otra o usar trípode como no usarlo. Con ambos útiles se puede elaborar bien el proceso, simplemente precisa unos pequeños conocimientos previos acerca de la materia.

Conocer nuestras herramientas nos dará eficiencia y exactitud en nuestro trabajo.



## 4.2 ELEGIR BIEN EL MODELO Y CONOCER LIMITACIONES.

En el segundo paso de realización de nuestro proceso es elegir el objeto que queremos escanear y representar en tres dimensiones, este paso es también muy importante ya que podríamos perder tiempo y trabajo si nos pasamos por alto este proceso. Hay una serie de factores a tener en cuenta:

- **Tamaño de la pieza**, no requiere el mismo tratamiento un escaneado de un juguete de 8cm que el de un edificio o una escena.
- **Textura de la pieza**, el modelo a escanear debe estar “texturizado” es decir no puede contener superficies brillantes o totalmente lisas para un correcto procesado. En caso de que nuestra textura sea demasiado uniforme o brillante se aconseja dibujar marcadores a lo largo de la pieza que el programa pueda conectar y luego con postprocesado de imagen retocamos el mapa volviéndolo al estado inicial. Otra técnica que se usa a la hora de darle facilidades al programa es la de rociar con harina el producto otorgándole la textura que le falta.
- Es útil elegir un cuerpo que carezca de **agujeros pasantes** o de partes muy ocultas ya que a la hora de captar esas partes con la cámara podemos tener dificultades.
- Debemos elegir un **objeto que esté estático**, no se puede intentar escanear un objeto que en más de dos fotos tenga posiciones diferentes.
- Conviene también elegir un modelo que **no tenga una textura muy regular** que el ordenador pueda confundir y dar malos resultados.

Una vez que tenemos el modelo en la mano y sabemos que puede resultar idóneo para el proceso podemos pasar al siguiente paso.



## 4.3 PREPARAR OBJETO EN AMBIENTE ÓPTIMO.

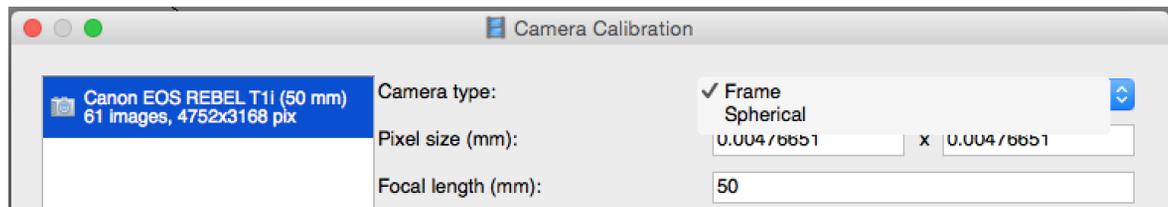
El tercer paso es muy importante en el sentido de que nos puede ahorrar mucho tiempo abaratando el proceso y dándonos mejores resultados. Hablamos del ambiente en el que se sitúa nuestro modelo. Hay una serie de recomendaciones que, siguiéndolas, nos facilitarán la toma de datos:

- Elegir un ambiente con **buena iluminación**, que no proyecte sombras muy agresivas.
- Tener una **base estable** que fije bien el modelo para la toma de fotos. En el caso de usar una mesa rotatoria asegurarse de que ésta es estable y que es del color adecuado.
- Un **fondo de un color muy diferente** al de nuestro objeto, nos evitará problemas a la hora de aplicar mascarar a nuestras fotos.
- **No usar flash** en la toma de fotos a no ser que se sepa lo que se está haciendo.
- Poder ser capaces de **captar todo detalle** en el cuerpo.
- **No usar un ambiente que refleje** a nuestro modelo.

Teniendo en cuenta estos factores el proceso será también mucho más eficiente y nos prevendrá de errores inesperados.

## 4.4 CALIBRACIÓN Y TOMA DE FOTOS.

Este es el primer paso en el que digitalizamos y documentamos nuestro proceso por lo que la relación entre cámara y programa necesita unos ajustes previos. En el programa debemos de elegir el tipo de lente que vamos a usar a la hora de tomar fotos (Lente esférica o plana)



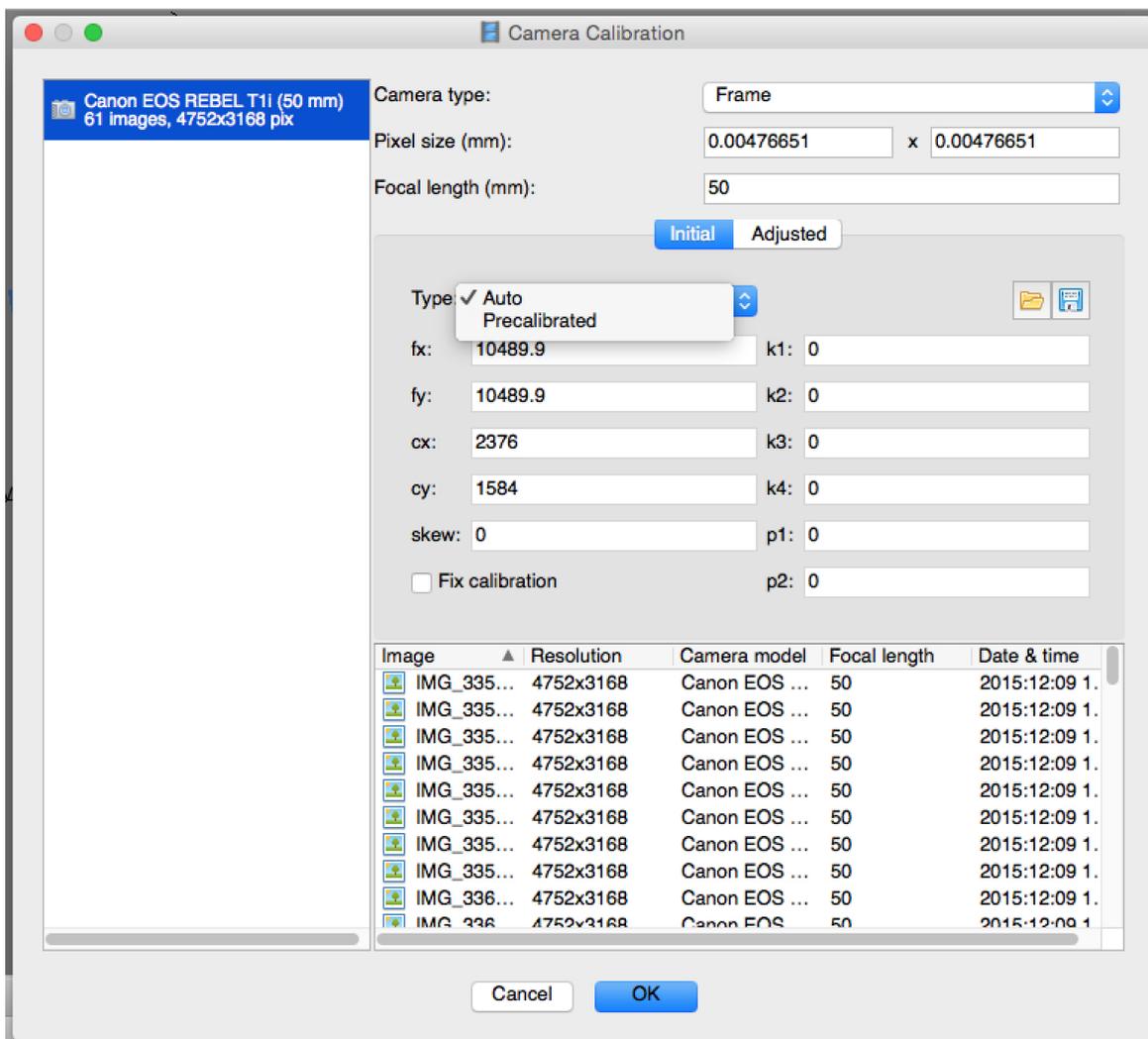
- No conviene que haya ninguna parte del modelo borrosa por lo que se recomienda disparar con la apertura menor que permita la cámara (En este proyecto se ha hecho a F22).
- El hecho de disparar con trípode y una peana es muy interesante, dejar fija la cámara e ir rotando la pieza, no dejar ninguna parte sin fotografiar y hacerlo de manera que el modelo salga bien expuesto (o poniendo un tiempo de exposición de un segundo más o menos o forzando la sensibilidad del sensor).
- Asegurarse de que fotografiamos la base del modelo y la planta.

Debemos tener en cuenta además el número de fotos a tomar, el número de fotos es directamente proporcional a la calidad de salida del modelo final. Se recomiendan entre 20 y 30 para un modelo básico y cientos para un modelo complejo con una gran calidad. Cuantas más imágenes tomemos más tiempo de procesamiento necesitará, lo que significa que se necesitará hardware mejor.

Cada una de las fotos que tomamos tienen unos datos incrustados a ellas, los llamados datos EXIF (Exchangeable image file format) es una especificación para formatos de archivos de imagen usado por las cámaras digitales. Fue creado por la Japan Electronic Industry Development Association (JEIDA). La especificación usa los formatos de archivos existentes como JPEG, TIFF...los que se agrega tags específicos de metadatos, tales como:

- Información de fecha y hora. Las cámaras digitales registran la fecha y la hora actual y la almacenan en los metadatos.
- Configuración de la cámara. Esta incluye información estática como el modelo de cámara y el fabricante, e información que varía con cada imagen como la orientación, apertura, velocidad del obturador, distancia focal, medidor de exposición y la sensibilidad del sensor.
- Información sobre localización, la cual podría provenir de un GPS conectado a la cámara.
- Descripción e información sobre copyright.

Estos datos son grabados en cada una de las imágenes que tomamos. El programa hace una lectura de estos datos automáticamente (en caso de no disponer todos estos metadatos se podrían introducir manualmente) haciendo los ajustes y calibraciones necesarias para el correcto procesado:



Una vez que este proceso se ha realizado la calibración de nuestra cámara está lista, el programa acepta las fotos y las agrupa en cámaras, aunque se pueden procesar por lotes elegidos por el usuario. Pasamos al siguiente paso.

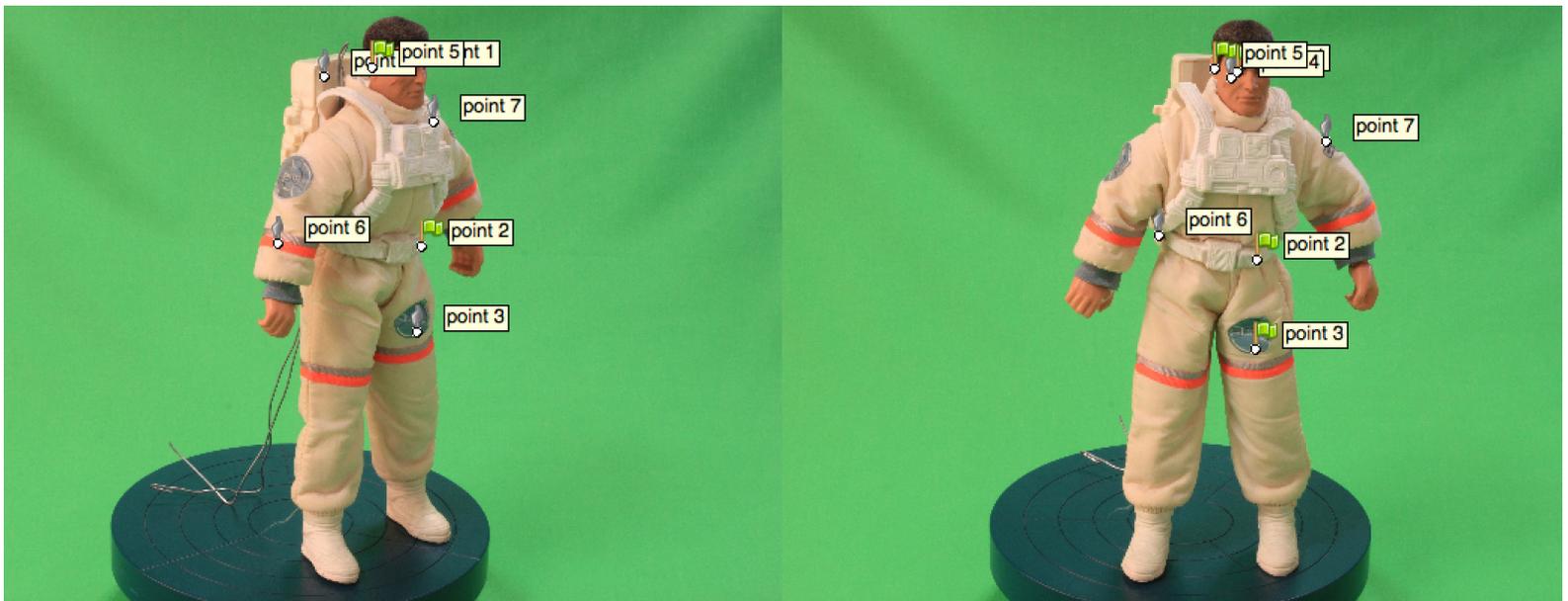
## 4.5 PREPROCESADO Y PREPARACIÓN DE FOTOS.

Una vez que tenemos metidas las fotos en el programa debemos hacer dos pasos importantes que nos aceleraran el proceso y nos suprimirán errores:

1. **Aplicación de máscaras**, esto en el caso de que no tengamos un estudio disponible en el que tomar nuestras fotos con un croma adecuado es un punto muy importante ya que aísla los elementos que no queremos que sean procesados, se selecciona con una pluma la zona que queremos usar foto a foto, o si es fondo es uniforme se puede hacer con un pincel inteligente:



2. **Creación de marcadores**, este paso es clave ya que ayuda al programa a alinear las fotos de una manera rápida y fiable. Consiste en elegir en las mismas fotos puntos que tienen en común y que sirvan de apoyo para calcular los demás, con 9-10 marcadores por modelo estaría bien (también depende del modelo y su complejidad), son vitales en el caso de que movamos modelo y cámara simultáneamente para tomar las diapositivas, de este modo debemos actuar:

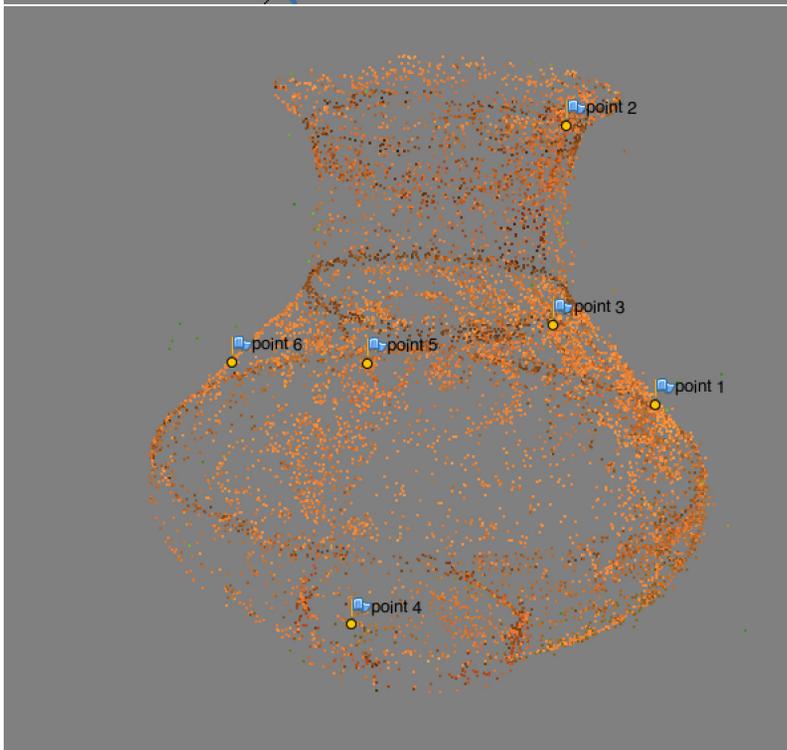
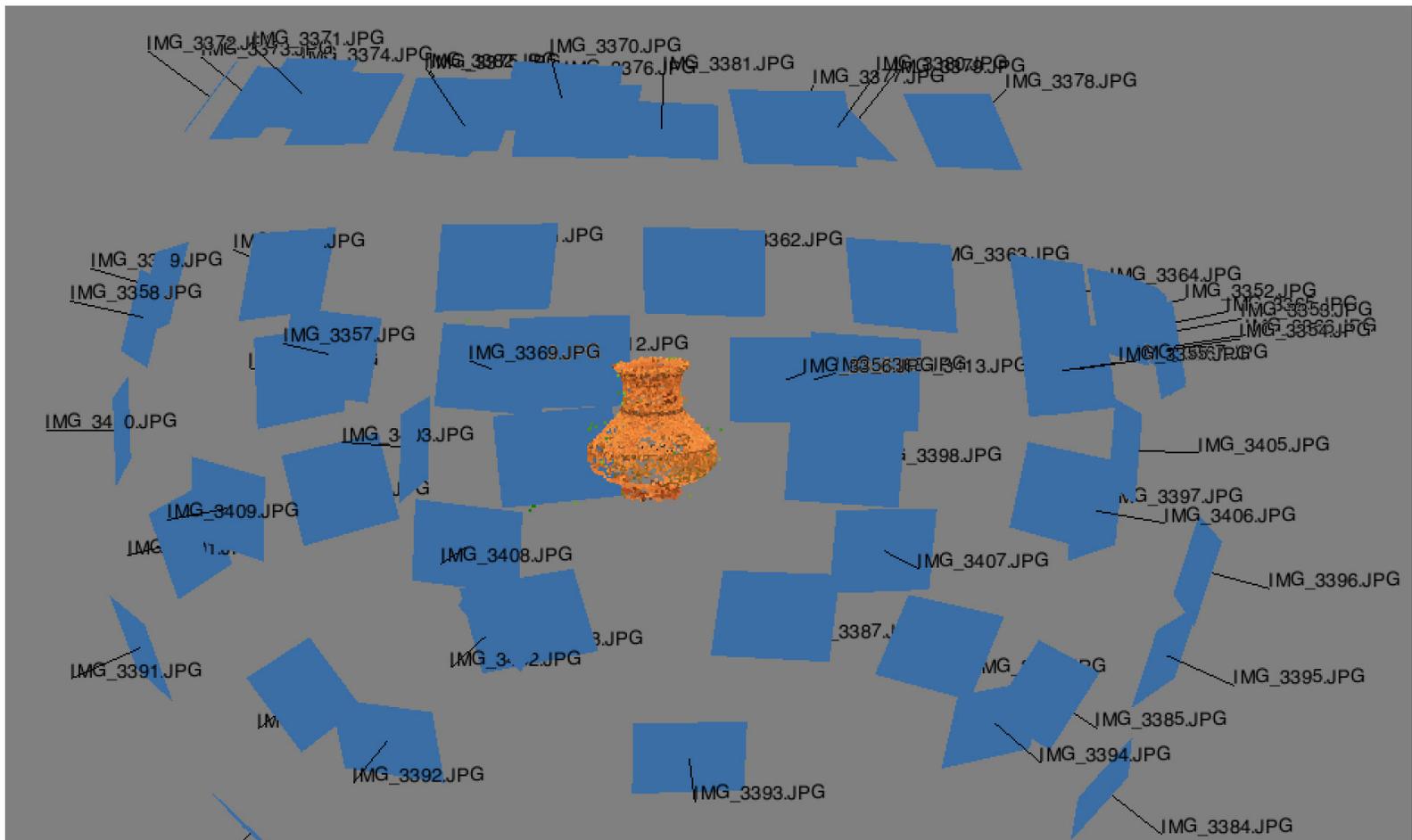


Una vez que las fotos han sido pre-tratadas y todo ha ido bien Agisoft Photoscan debería ser capaz de procesar las imágenes e ir al siguiente paso.

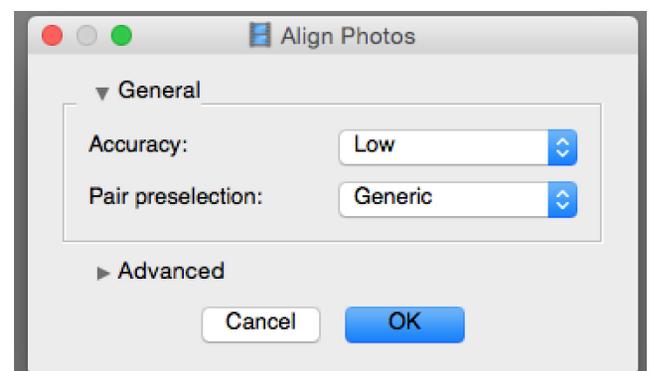
## 4.6 ALINEACIÓN DE FOTOS.

Una vez que hemos tratado cada una de las fotos deberemos dar al comando de alinear fotos. Es con este comando en el que el programa hace todo el proceso descrito matemáticamente anteriormente. Consiste en situar cada foto en el radio al que fue tomada y con el ángulo que fue tomada.

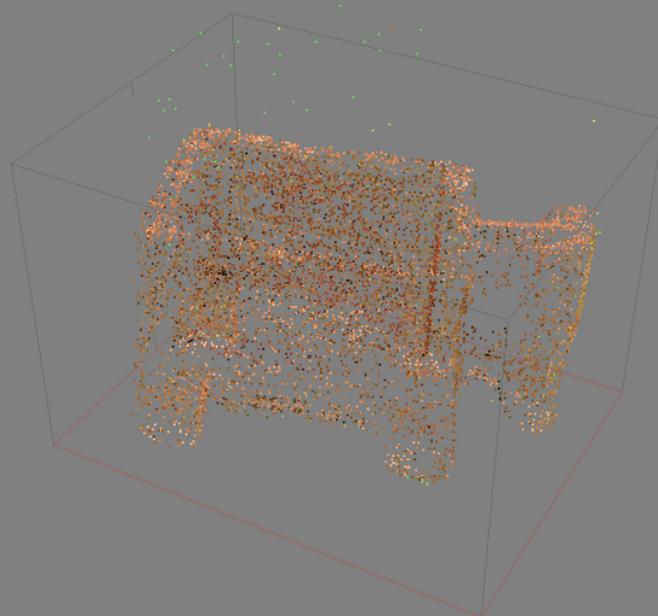
Además de cada foto se proyectan puntos que son directamente compartidos por otras imágenes, llegando a intuirse el modelo por primera vez:



Además podemos elegir el número de puntos que proyectara cada foto, la calidad con la que buscará puntos nuevos y el tipo de emparejamiento entre fotos (En caso de que tengamos en los metadatos incrustados datos de geolocalización) como muestra la imagen:



También hay una opción que nos permite redimensionar la región en la que se realizará el proceso, este paso es como una aplicación de una máscara en tres dimensiones que lo que hará será excluir del algoritmo de procesamiento todo lo que se encuentre fuera de esta caja:



Una vez que este proceso está terminado podemos seguir dándole forma al modelo. Podemos pasar al siguiente paso.

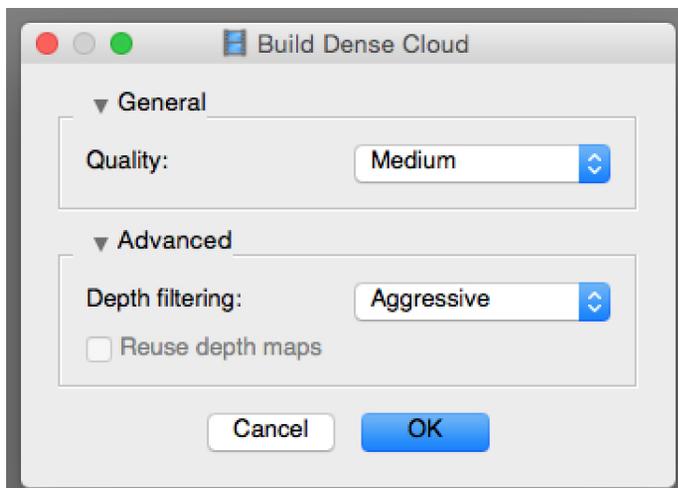
## 4.7 CREACIÓN DE NUBE DE PUNTOS DENSA.

Una vez que las fotos se han alineado y tenemos los primeros puntos asociados podemos comenzar con la creación de la nube de puntos densa.

Lo que hace el programa es el siguiente proceso:

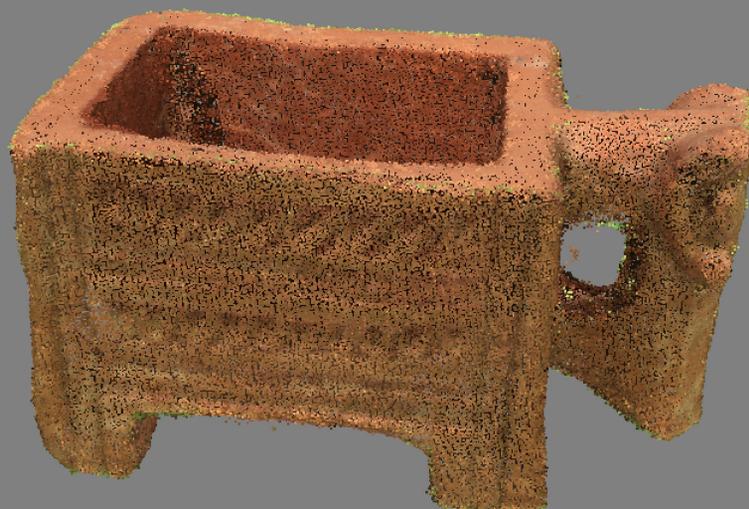
- a. Un mapa creado por una imagen es seleccionado como referencia.
- b. Un mapa adyacente al primero es elegido.
- c. Un grupo de características en común son seleccionadas y comparadas.
- d. Se crea un primer alineamiento y surgen nuevos puntos con relaciones entre ellos.
- e. Por itinerancia se crean relaciones únicamente con los puntos más próximos.
- f. Se realiza una última alineación y creación de nuevos puntos con una primera visión de la textura final.

Las nubes de puntos que pueden surgir son estructurados o desestructurados, con la única diferencia que la conexión entre puntos de una nube estructurada es directa y la desestructurada necesitará un procesado mayor.



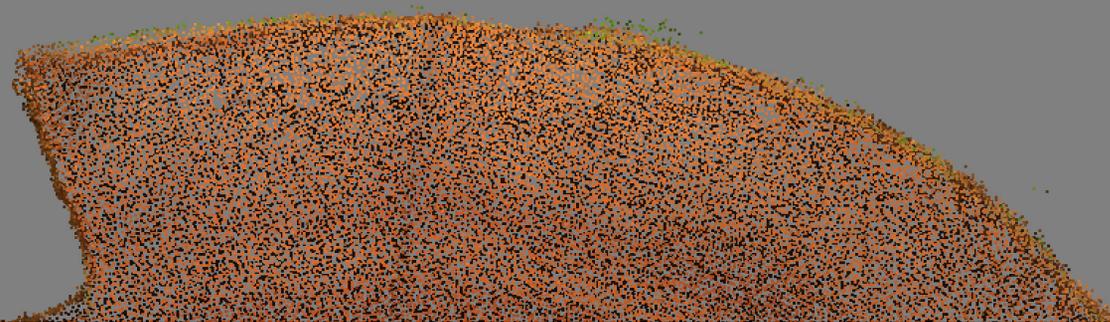
De nuevo el programa nos permite indicar la calidad con la que queremos que se haga el proceso y el filtrado de profundidad con el que tratamos a los puntos.

El resultado que se obtiene es el siguiente:



El mismo programa ha procesado los colores de cada punto y es capaz de proyectar una textura de baja calidad para poder ir haciéndonos una idea del resultado final.

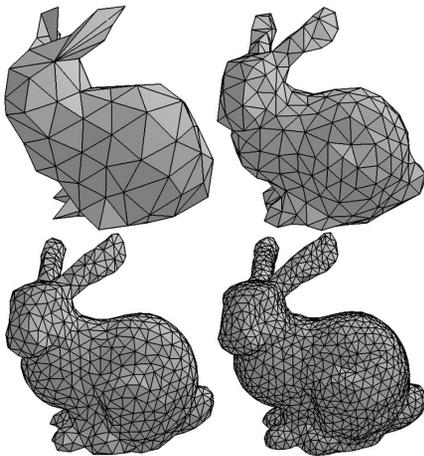
Es importante en este paso eliminar las partes que estén mal creadas o las pequeñas deformaciones que haya podido sufrir el modelo durante el proceso. Si no se realiza este paso se podrían crear malformaciones en la malla más difíciles de retocar después.



Con la herramienta de borrar corregimos esos pequeños defectos y lo dejamos listo para el siguiente paso.

## 4.8 CREACIÓN DE LA MALLA.

Una malla es creada a partir de una serie de puntos que se conectan con líneas creando una superficie.

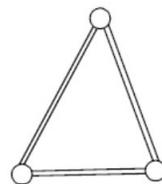


Este podría ser un buen ejemplo de ello.

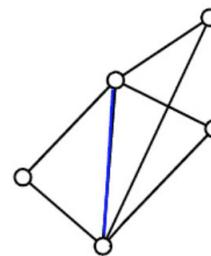
Una vez que se crea la maya podemos observar la forma final de nuestro objeto, a la hora de crear estos triángulos pueden surgir una serie de anomalías que el programa resuelve, son las siguientes:



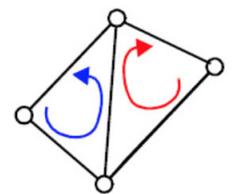
(a) degenerate triangle



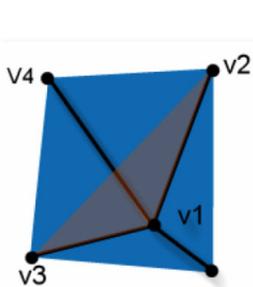
(b) duplicate triangles



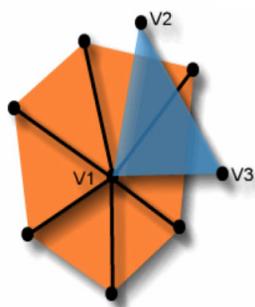
(c) degenerate edge



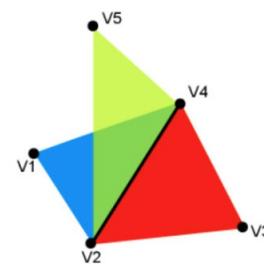
(d) inconsistent edge



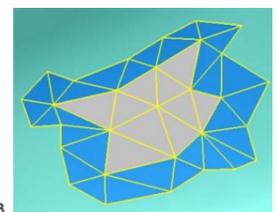
**Crossing face**



**Redundant face**



**Non manifold face**

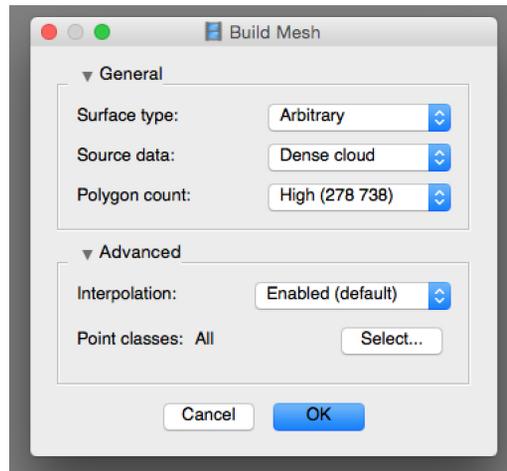


**Unstable face**

Estos errores son solucionados automáticamente y el programa computa nuevos triángulos.

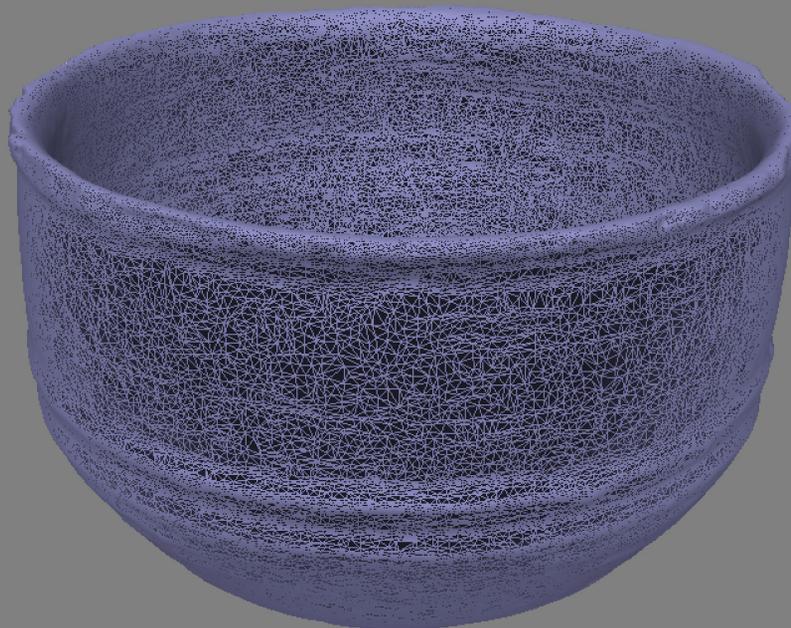
Estos errores son solucionados automáticamente y el programa computa nuevos triángulos.

El programa nos ofrece varias posibilidades de procesado:



Ventana mediante la cual elegimos el tipo de superficie, de donde tomamos los datos de puntos de referencia, el número de polígonos, la interpolación para solucionar errores y el tipo de puntos a procesar.

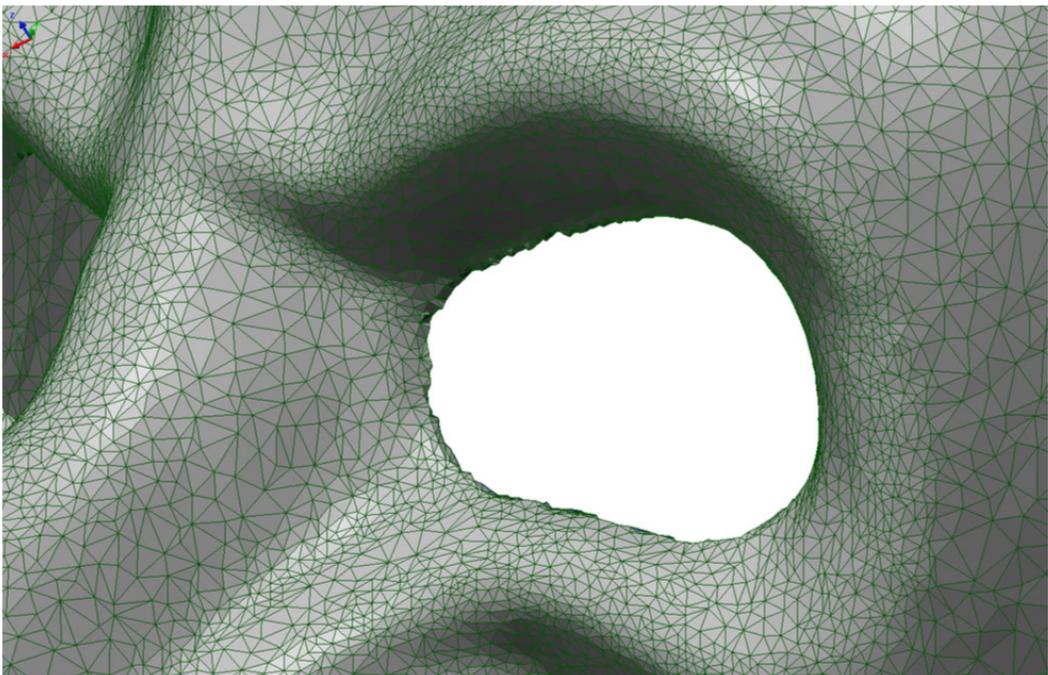
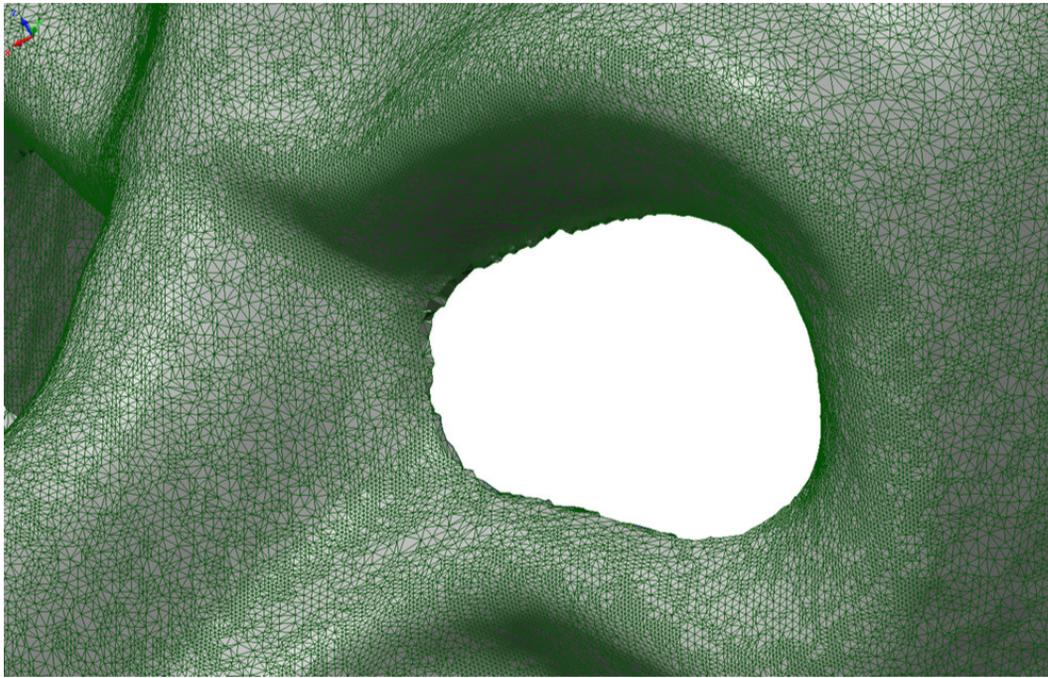
El resultado es el siguiente:



Una vez que tenemos este paso completo ya nos queda poco, completado este proceso pasamos al siguiente.

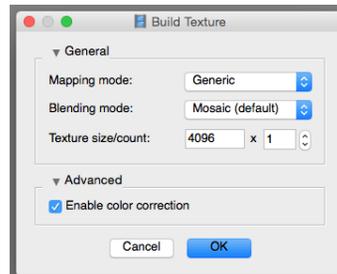
## 4.9 OPTIMIZACIÓN DE LA MALLA.

Hasta este paso la importancia de procesar con mucha calidad nos iba a depender directamente en la calidad final y fidelidad del modelo, por lo que tenemos muchos puntos proyectados por las imágenes y procesados. Después hemos creado la malla, el numero de puntos y numero de triángulos es directamente proporcional por lo que tendremos en el modelo final muchas más caras de las necesarias, esto puede hacer que sea un archivo muy pesado y que resulte muy difícil de postprocesar, por lo que reduciremos y optimizaremos este



## 4.10 APLICACIÓN DE TEXTURA.

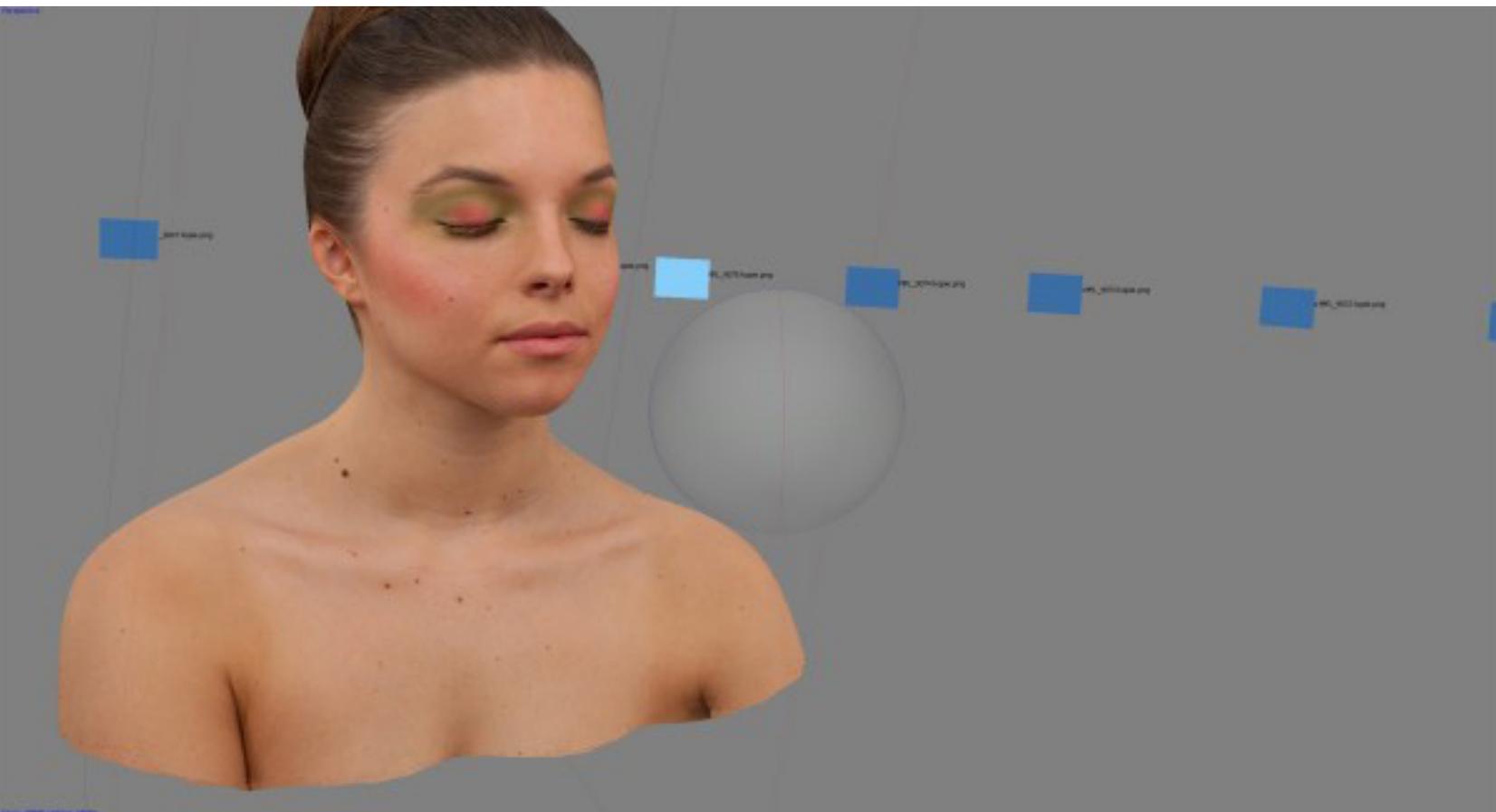
La textura es aplicada según las imágenes captadas por nuestra cámara y el área de procesado, al darle a crear textura nos sale una ventana con las siguientes opciones:



En el primer cuadro nos deja elegir opciones de mapeado tales como imágenes esféricas o mapas creados con una sola cámara. El segundo recuadro nos deja elegir como queremos la textura creada y en la tercera fila el tamaño de tal textura.

En la casilla de aspectos avanzados vemos marcada la corrección de color con la que haremos más uniforme todo el conjunto.

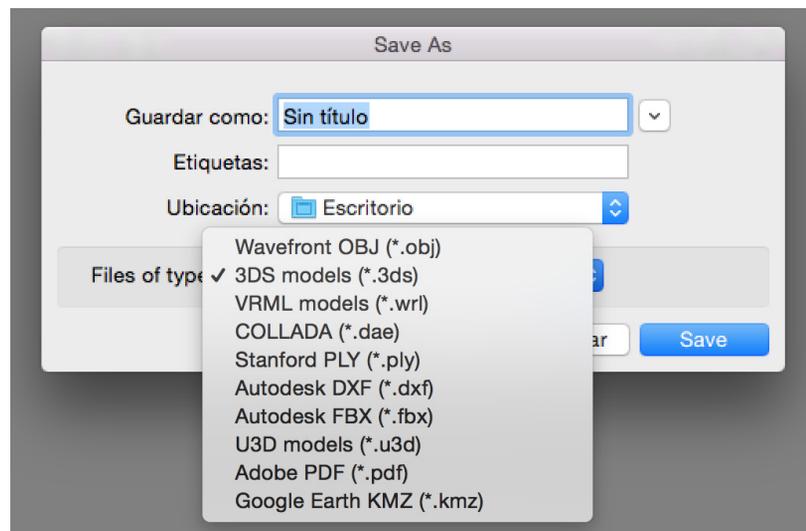
Este sería el resultado final de una modelo:



## 4.11 EXPORTACIÓN DEL MODELO.

Agisoft photoscan tiene su propio formato de datos (.psz) en el que todos los parámetros son guardados y permite la migración de modelos de un programa a otro.

Agisoft nos da varias opciones en formatos de exportación:



Con los que trataremos en otros programas por medio de una importación.

Nosotros hemos usado para ir al siguiente paso el formato .3ds con el que importaremos en 3ds max. La textura nos da la opción de exportarla en jpg o en png, elegiremos jpg marcando la calidad en lo más alta posible. Tendremos dos archivos por separado uno con la textura y otro con el modelo, los guardaremos en la misma carpeta para que la textura se vincule directamente con el modelo.

Una vez que hemos realizado todo este proceso y tenemos el modelo exportado en el formato adecuado podemos llegar a varias conclusiones, siguiendo los pasos y teniendo en cuenta varios factores es relativamente fácil conseguir un modelo a partir de fotografías, cuanto mejor hardware en general se tenga, mejor resultados se obtendrán, todo el proceso está basado en ecuaciones matemáticas y el resultado es más que aceptable.

ESCANEADO 3D  
DE PIEZAS  
ARQUEOLÓGICAS



## 5. ESCANEADO 3D DE PIEZAS ARQUEOLÓGICAS

Estos procesos punteros en el área tecnológica nos permiten diferentes usos tales como: Uso industrial, ingeniería inversa, documentación, entretenimiento, divulgación de patrimonio cultural, etc... Ahorramos tiempo y medios a la vez que mejoramos la percepción y calidad de representación usando estos tipos de tecnología.

Una vez tenido claro el funcionamiento y el proceso de obtención del modelo podemos pasar al estudio de las utilidades que se han pensado para su uso.

Hay muchas veces que es muy difícil transmitir a través de una pantalla los datos tridimensionales, los modelos en 3d son el medio más realista para transmitir este tipo de información volumétrica. En esta parte del proyecto se intenta transmitir la sensación de visualizar una pieza digital y sentir que ésta es real, poderla observar desde todos los ángulos, ver todos sus detalles mientras sentimos que la pieza está delante de nosotros.

Para este proyecto hemos elegido piezas arqueológicas del yacimiento de Pintia (Padilla del Duero, Valladolid) con el fin de añadir a la colección digital nuevas piezas encontradas o reconstruidas para darlas a conocer entre la población independientemente de su ubicación, sólo se necesita para visualizarlas un programa de reproducción flash en tres dimensiones, esto hace que la experiencia sea más intensa y se cree una interacción muy realista imitando la visita al museo.

La motivación que me ha llevado a realizar esta parte del proyecto radica en crear una herramienta que nos permita compartir con cualquier usuario de internet las piezas encontradas en cualquier yacimiento. Es una herramienta que facilita la divulgación del patrimonio cultural de una forma fácil y relativamente rápida. Además de esto, se comenzó el estudio de la aplicación (Agisoft Photoscan) debido a unos antecedentes estudiados en otro proyecto de fin de grado de un programa similar llamado 3d Som. Se ha hecho el estudio de piezas similares y comparado resultados.

Este estudio ha sido dividido en una serie de apartados para poder abordar el tema correctamente. Son los siguientes:

1. Selección de piezas para su escaneado.
2. Aplicación de la metodología.
3. Exportación del modelo para el visionado
4. Comparación de modelos obtenidos y conclusión.

Por lo tanto comenzamos con nuestro primer caso de uso:

## 5.1 SELECCIÓN DE PIEZAS PARA EL ESCANEADO.

Este paso es de vital importancia ya que, como se ha explicado anteriormente, para el escaneado pasivo fotogramétrico hay que tener en cuenta varios factores que nos limitarán la elección de piezas.

En mi caso se han elegido las siguientes cinco piezas para realizar y estudiar su modelo tridimensional:



## 5.2 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.

En este punto aplicaremos los pasos descritos en el apartado 3. En cada uno de los cinco modelos se han aplicado diferentes parámetros para ver las diferencias entre ellos y poder ser conscientes de las capacidades de este software. Para hacer este estudio iremos numerando las piezas y analizándolas individualmente:

### a. Jarra.

Este es el primer modelo a escanear, es un cuerpo con un agujero pasante y que posee una textura muy buena para ser escaneada, así como dibujos en su superficie que nos permiten colocar los marcadores con más exactitud. Para el escaneado de la pieza se han tomado 68 imágenes y todo el procesado, tanto las proyecciones de puntos como la creación de malla y textura, se han realizado con una calidad media. El resultado es muy bueno y el modelo no tiene ningún fallo. La zona crítica de escaneado se considera la parte inferior del asa donde se ha tenido que tener especial atención.



**b. Tinaja de arcilla.**

En este segundo modelo se eligió una pieza simétrica de las mismas características, en cuanto a material, que el anterior. El programa procesa mejor las piezas simétricas que las de formas irregulares, todo el proceso duró menos que con el resto de piezas. La calidad de procesado fue algo mayor digamos que media-alta en todos sus pasos con un numero de imágenes de 60. La calidad el modelo de salida es alta y con estos parámetros de escaneado podría ser usada para representación profesionalmente. En este modelo se tuvo que repetir el escaneado debido a que el ambiente en el que se situó la pieza era reflejante y la textura salía verdosa. A parte de esto no se presentó ninguna complicación ni puntos crítico.



### c. Pequeño recipiente

La forma de este tercer modelo es muy diferente a la de los anteriores, de largo tiene 8 cm y además presenta la dificultad de tener un pequeño agujero pasante que requiere un tratado especial más allá del dado al resto de piezas. El procesado de todos los pasos fue de calidad alta, aspecto que se percibe en el resultado final, muy bueno y que también podría ser de forma profesional. La textura de la superficie es muy irregular, esto facilita al programa su procesado, además de resultar de gran facilidad para nosotros a la hora de colocar marcadores de alineado. Se han tomado 62 fotos para su representación, a la hora de tomarlas se tuvo en cuenta la distancia a la que se hacían ya que, al ser un objeto mas pequeño, requería una distancia menor de enfoque cuando la distancia mínima del objetivo de 50mm era de medio metro.



#### d. Recipiente grande

El modelo es un recipiente circular. Éste tiene forma simétrica y dibujos en su superficie. se encuentra reconstruido y podía ser apoyado en la peana por su base y por su parte superior lo que facilitó el proceso de toma de fotos. Este es el modelo elegido para probar las capacidades del programa a nivel de calidad. Todos los pasos que debemos hacer se han ejecutado marcando la opción de máxima calidad, necesitando un hardware más potente y un tiempo de procesado algo mayor. Se tomaron 110 imágenes para su creación. La calidad del modelo final es excepcional, permitiéndonos apreciar detalles muy pequeños tanto de la textura de la arcilla como de los dibujos o de cada una de las partes que se juntaron para su reconstrucción. Es el modelo con más definición de todos y a la hora del procesado no se encontró ningún punto crítico o que necesitara algún cuidado especial.



**e. Jarra rota**

Esta pieza tiene la forma de una jarra de arcilla, con la peculiaridad de que está reconstruida y tiene varios agujeros pasantes y grietas. Esto no es nada recomendable para el programa siendo muchas veces imposible de realizar el proceso y localizar los puntos de alineado de la pieza. Aún así se ha realizado el escaneado con buen resultado, la calidad en el proceso fue siempre media-alta con un número de 61 imágenes. Los puntos críticos son cada una de las grietas pasantes las cuales necesitan ser tratadas individualmente, borrando los trozos de malla que no sean útiles y dejando aquellos que si, también es importante, antes de crear la malla, ver si los puntos alineados coinciden en orientación. Tomando las precauciones necesarias en la toma de imágenes y en el procesado se puede llegar a escanear este tipo de piezas.



## 5.3 EXPORTACIÓN PARA EL VISIONADO.

Pieza nº: 1



1. Jarra pintada, tumba 127a, necrópolis de Las Ruedas



ENLACES DE INTERÉS

- Vídeo sobre programa D...
- VACCERTE


 ASOCIACIÓN CULTURAL PINTIAV

INFÓRMATE SOBRE LAS  
 DE HACERTE SOCIO. SI TE  
 LA ARQUEOLOGÍA, SI QU  
 APOYAR EL LEGADO VAC

**¡Hazte soc**

Una vez que tenemos los modelos escaneados lo que queremos llegar es a tenerlo en un visor flash que será incorporado en, por ejemplo, una página web en tres dimensiones. Para ello debemos exportar el modelo en un formato compatible y abrirlo con el visor (por ejemplo en un visor de Java) esto nos podrá generar un archivo en extensión HTML que podrá ser incorporado en cualquier web.

## 5.4 COMPARACIÓN DE MODELOS OBTENIDOS Y CONCLUSIÓN.

Una vez realizado el proceso y estudiadas cada una de las diferencias entre todas las piezas escaneadas así como cada uno de los errores que se han cometido en el proceso y la comparación con los resultados obtenidos en el anterior estudio podemos llegar a una serie de conclusiones que nos servirán para el siguiente proceso:

- Comparando la calidad de los modelos a simple vista del programa 3dsom y de Agisoft se puede ver que los del segundo parecen de más calidad y con un acabado superficial mejor, esto puede ser debido a varios factores tales como la antigüedad del programa 3d som o porque al ser exportados en otro formato se produce una pérdida de calidad. Aunque estoy seguro que con las actualizaciones recientes que ha tenido el grupo de 3d som la calidad hoy en día de los modelos puede resultar muy similar.

- El proceso de obtención de modelos con ambos programas es muy parecido.
- El escaneado fotogramétrico es un muy buen recurso de divulgación cultural, nos permite la difusión del patrimonio de una manera rápida, fiable e interactiva.
- La textura de los modelos arqueológicos es muy buena para poder realizar el escaneado, es rugosa y presenta marcas que a la hora de realizar el alineado resultan muy útiles.
- En modelos simétricos resulta más fácil el escaneado.
- Los interiores de las piezas son muy difíciles de escanear por no decir imposibles.
- Para obtener la textura detallada conviene hacer primerísimos planos de los modelos.







ESCANEADO 3D  
E IMPRESIÓN  
DE JUGUETES



## 6. ESCANEADO E IMPRESIÓN DE JUGUETES

Tras el estudio previo sobre piezas arqueológicas damos paso a la que es el aspecto principal del caso de uso, el escaneado de juguetes. El motivo del escaneado de juguetes es que posteriormente se adaptará y abstraerá todo este proceso para crear un curso para niños menores de 15 años con el que aprenderán diferentes aspectos que más tarde se tratarán. Llegarán a ver y a tocar con sus propias manos lo que se puede conseguir con unos pocos recursos y las últimas tecnologías.

Por lo tanto lo que se ha hecho en este caso es escanear un juguete mediante la toma de fotografías, su procesamiento mediante 3ds Max y su posterior impresión en 3d mediante una impresora tridimensional de inyección de aglutinante.

Este proceso se ha hecho con toda la exactitud necesaria así como con todos los medios necesarios para su perfecta ejecución, para la explicación de los pasos tomados se ha pensado dividir este punto en diferentes subapartados:

**6.1** Selección de modelo

**6.2** Aplicación de la metodología

**6.3** Exportación

**6.4** Cambio de posiciones y exportación

**6.5** Impresión en 3D

**6.6** Conclusiones sacadas

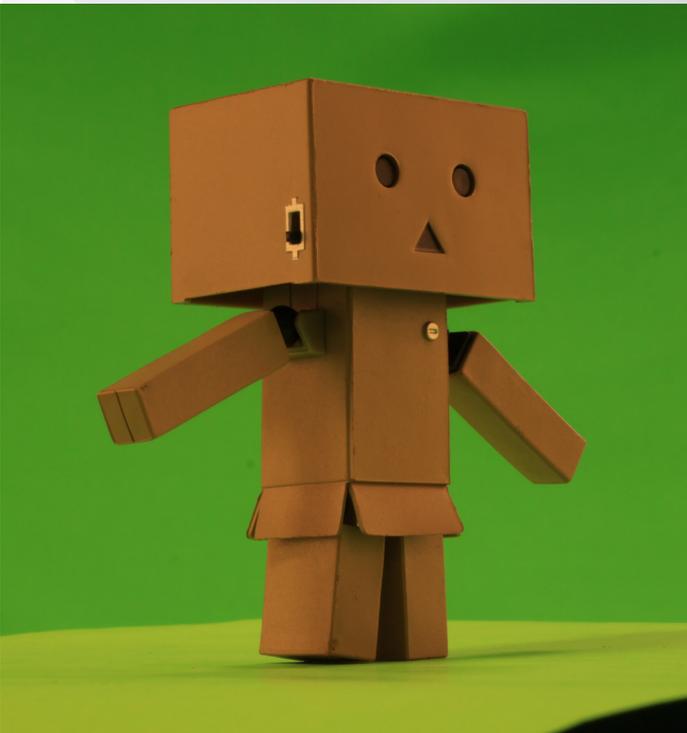
En cada uno de estos apartados se explica detalladamente como de tener varios modelos con posibilidades para ser escaneados hemos llegado a elegir uno y tenerlo escalado en diferentes posiciones y digitalizado en forma de modelo virtual tridimensional.

Por lo tanto los pasos que hemos aplicado son los siguientes:

## 6.1 SELECCIÓN DEL MODELO

Este paso es muy importante como hemos aprendido en el estudio previo de las piezas arqueológicas, hay una serie de factores a tener en cuenta a la hora de elegir modelo ya que modelos con características como agujeros pasantes, texturas muy uniformes, muy grandes o muy pequeños podrían dificultar el proceso de escaneado.

Seleccionamos varios juguetes que podrían resultar adecuados para nuestro proceso:



El **primer candidato** a ser nuestro modelo es un Action Man, vamos a hacer una tabla de contenido en la cual estudiaremos pros y contras de cada modelo para ser escaneado, por lo tanto:

## PROS:

- El tamaño para la toma de imágenes, con el objetivo de 50mm (el recomendado por el programa) es perfecto, no requiere una distancia objetivo-modelo muy grande y resultaría fácil de girar en la peana base.
- No tiene agujeros pasantes ni caras interiores que pudieran dificultar el proceso de escaneado.
- Los brazos están hechos de plástico y presentan algunas irregularidades, esto facilita el escaneado de esas partes.

## CONTRAS:

- La textura de la camisa y los pantalones es muy mala para el escaneado, es de tela muy uniforme, presenta rugosidades difíciles de captar por el programa y brillos que también dificultarían este
- Es un cuerpo que es difícil mantenerlo de pie, en el caso de que se moviese un poco se debería repetir la toma de fotografías desde el principio.
- No presenta ningún aspecto estético que sea llamativo, es un muñeco bastante normal estéticamente hablando.

Evaluando los aspectos positivos de este modelo y los negativos parece que sería difícil escanearlo con una precisión aceptable pese que uno de los problemas principales como es la textura de la tela azul marino podría ser solucionado aplicando una capa de harina que haría que la textura fuera irregular y que eliminara esos brillos que resultan tan complicados en cuanto a procesado para la obtención del modelo tridimensional. Tras varias pruebas de escaneado para ver los posibles fallos y soluciones descartamos este modelo.



Nuestro **segunda candidata** para el escaneado es esta pequeña muñeca semi articulable, es de la marca Lego y una vez evaluada hemos llegado a la conclusión de que estos son sus aspectos positivos y negativos:

## PROS:

- Es un juguete atractivo, todo el mundo a oído hablar de Lego y la gran mayoría de niños ha tenido uno.
- La textura del material es buena, podría ser fácil de procesar para el programa.
- Rigidez suficiente como para que la posición no cambiase.
- Fácil de poner de pie.
- Geometría simple.

## CONTRAS:

- Tiene huecos muy pequeños entre las piernas y brazos que serían difíciles de fotografiar.
- La zona del lazo de la cabeza resultaría un punto crítico que necesitaría un tratado especial.
- Mide apenas 4 cm de alto, con un objetivo de 50mm resultaría muy difícil de escanear sin una lente macro, este aspecto limita tanto que casi queda descartado el modelo.

Este modelo podría ser de gran validez si fuera de más tamaño ya que todos los aspectos negativos evaluados desaparecerían o se aminoraría su importancia. Tras un intento de realizarse llegamos a la conclusión que para evitar errores en pasos más avanzados del proceso descartamos este juguete.



En nuestro **tercer** y penúltimo modelo posible a escanear tenemos a esta pequeña pieza del anime japonés, de nombre Dambo. Después de varios intentos de escaneado llegamos a las siguientes conclusiones:

## PROS:

- El tamaño de este modelo es adecuado, con sus 8cm es suficiente para ser fotografiado y procesado por el programa fotogramétrico.
- La forma es muy geométrica lo que facilita el posicionamiento de marcadores y su alineamiento.
- Las piezas son desmontables, aspecto que podría resultar de ayuda en el caso de que los huecos del cuello y las piernas resultaran difíciles de escanear.
- Fácil de mantener de pie y de una posición determinada.

## CONTRAS:

- Sólo se ha encontrado un aspecto negativo en este modelo pero lo suficientemente importante cómo para que el programa no sea capaz de procesarla, la textura es demasiado uniforme. Es de plástico y no presenta ni una irregularidad que el programa pueda detectar para alinear las fotos.

En este caso cabrían varias posibilidades: Solucionar el problema de la textura dibujando con un rotulador un patrón en la superficie del modelo y más tarde con postprocesado quitarlo, imprimir la textura en harina o algún otro polvo de color blanco eliminando brillos y haciendo que la textura sea irregular y pueda ser procesada. Como segunda opción que creemos que es la más factible es probar con un modelo que tenga las características óptimas para un escaneado de calidad.



Nuestro **cuarto** y último así como candidato definitivo es este muñeco, un Action Man astronauta del mismo tamaño, una vez escaneado llegamos a las siguientes conclusiones:

## PROS:

- El tamaño es muy bueno para ser fotografiado.
- La textura irregular da muchas facilidades al programa y permite realizar un escaneado óptimo.
- Es fácil ponerlo en pie y en la peana para fotografiar desde diferentes ángulos.
- Las articulaciones son duras por lo que será difícil que se mueva o cambie de posición.
- Es algo más llamativo que el primer caso al ser un astronauta.

## CONTRAS:

- En contra de este modelo se podría decir que necesitaría bastante tiempo de procesado y un nivel de detalle alto, si no se pudiera realizar manteniendo ciertos detalles (como los volúmenes de la mochila etc...) sería mejor realizar otro.
- El número de fotografías que se deberían tomar es bastante alto.

Evaluando los pros y contras y tras diversas pruebas decidimos que este modelo es el adecuado y procedemos a su escaneado, que con el nivel de detalle y precisión en todos los procesos el resultado puede ser muy satisfactorio.

Por lo tanto una vez evaluados varios modelos diferentes con características también diferentes llegamos a la conclusión que el último sería el más adecuado para aplicar la metodología, por lo tanto pasamos al siguiente paso:



## 6.2 DIGITALIZACIÓN DEL MODELO.

Una vez elegido el modelo nos disponemos a colocarlo sobre la peana para poder girarlo adecuadamente y tomar fotos desde todos los ángulos posibles:

Para crear el modelo se han tomado **86 fotografías** entre las cuales podemos distinguir varios tipos:

- Fotografías del modelo desde **3 ángulos diferentes** (Picado, a la altura del modelo y a una altura media) esto nos hará poder crear una alineación muy buena de los puntos y una definición con una nitidez de calidad.
- **Primeros planos** de las partes con más detalle para que la textura y las pequeñas deformaciones queden definidas nítidamente.
- Fotos **desde arriba** del pódolo para tener la base definida.
- Fotos **desde abajo** para tener definidas las partes ocultas, debemos tumbar el modelo para poder hacer esto con precisión, no hay problema de que el programa no detecte la misma posición del modelo ya que para ello colocamos una serie de marcadores.
- Es necesario la toma de imágenes en los **puntos críticos** donde veamos que pueden surgir problemas o que necesitará un tratado especial como pueden ser la zona del cuello y entre las piernas.

Las imágenes en formato jpg ya que la nitidez de 18 megapíxeles del sensor resulta más que suficiente, tomadas con una Canon SLR eos500d con un objetivo de 50mm de también marca canon, hechas en un estudio con un croma verde para su fácil tratamiento.



IMG\_3599.JPG



IMG\_3600.JPG



IMG\_3601.JPG



IMG\_3602.JPG



IMG\_3603.JPG



IMG\_3611.JPG



IMG\_3612.JPG



IMG\_3613.JPG



IMG\_3614.JPG



IMG\_3615.JPG



IMG\_3623.JPG



IMG\_3624.JPG



IMG\_3625.JPG



IMG\_3626.JPG



IMG\_3627.JPG



IMG\_3635.JPG



IMG\_3636.JPG



IMG\_3637.JPG



IMG\_3638.JPG



IMG\_3639.JPG



IMG\_3647.JPG



IMG\_3648.JPG



IMG\_3649.JPG



IMG\_3650.JPG



IMG\_3651.JPG



IMG\_3659.JPG



IMG\_3660.JPG



IMG\_3661.JPG



IMG\_3662.JPG

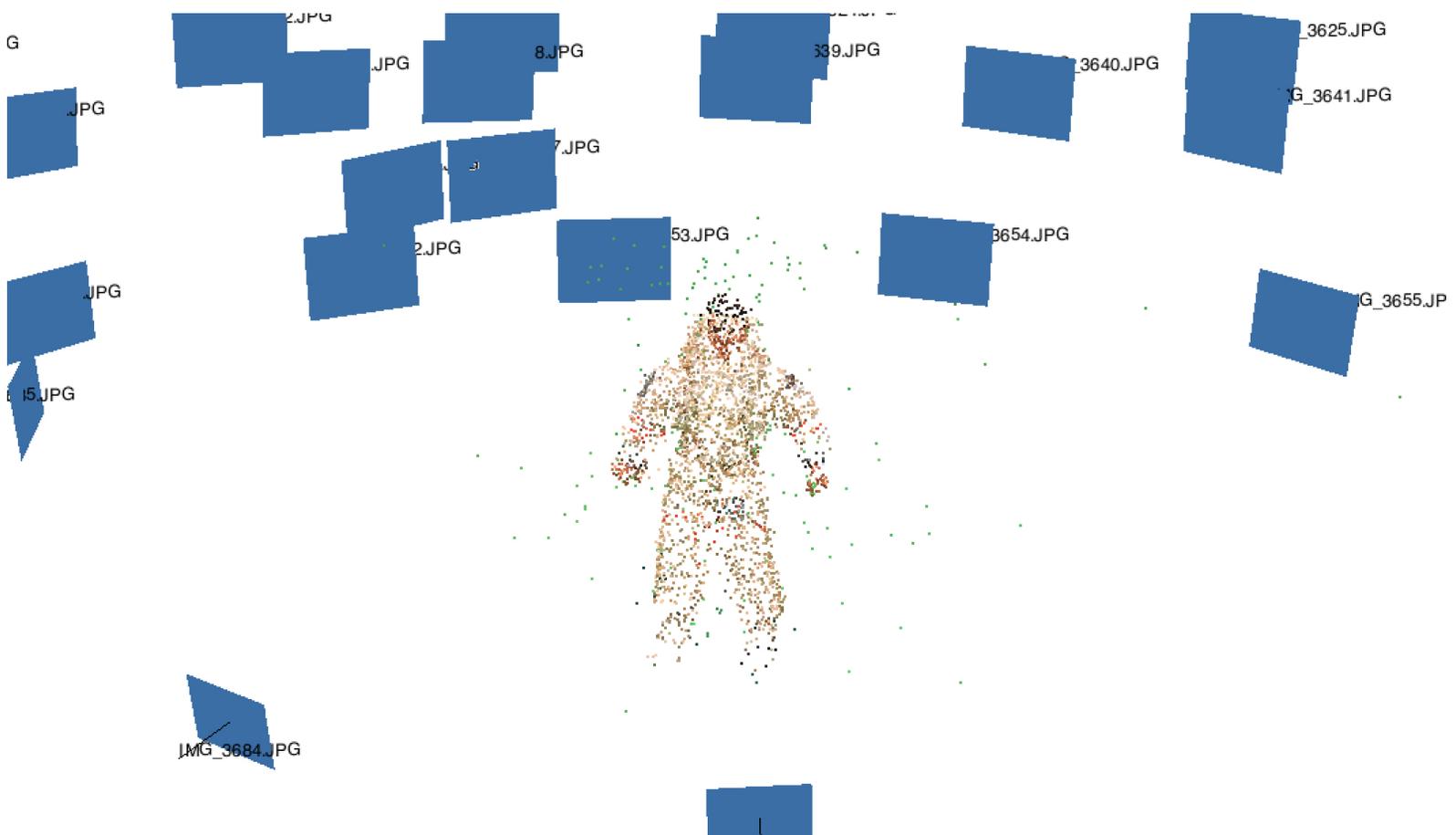


IMG\_3663.JPG

Colocamos 7 marcadores en lugares fáciles de reconocer para que el programa tenga facilidades a la hora de alinear.



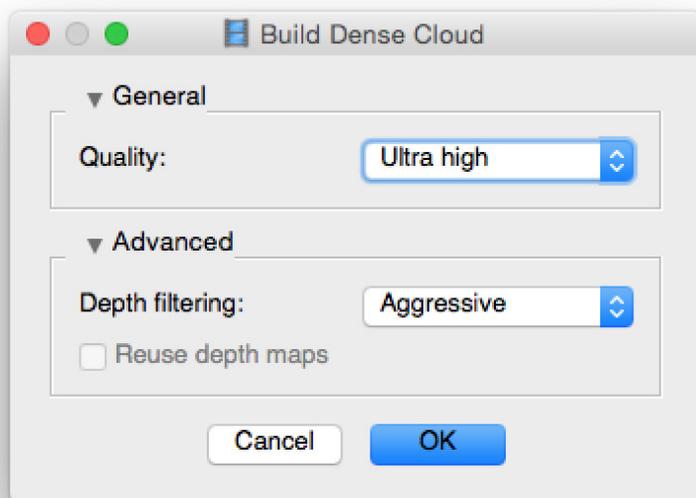
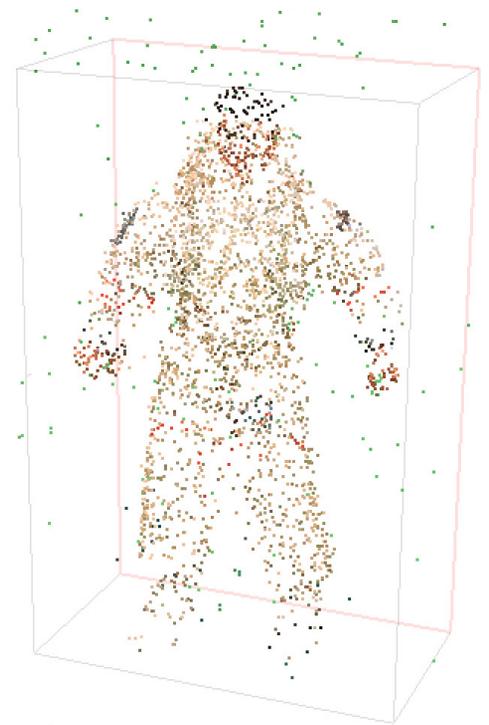
Una vez que tenemos todas las imágenes colocadas pinchamos en el icono de Align Photos, en el cual hemos seleccionado alta calidad y pareado de imágenes genérico, una vez que hemos hecho esto se nos alinean las imágenes de nuestro juguete obteniendo el siguiente resultado:



La calidad del alineado es muy buena y se pueden intuir las formas del modelo sin haber creado la nube de puntos densa. Como se puede ver en la imagen hay un montón de puntos incoherentes y otros pertenecientes al cromatismo. Para que el programa se centre en computar los puntos de nuestro modelo debemos reescalar la región de procesamiento y meter en ella sólo nuestro modelo:

De ésta manera excluimos del procesado todos los puntos que no nos sirvan. Una vez hecho esto y visto que el resultado es satisfactorio procedemos a ejecutar el siguiente comando.

Seleccionamos la opción de Create dense point cloud. Ésta crea una nube de puntos más densa que la anterior buscando relaciones entre distancias de puntos.

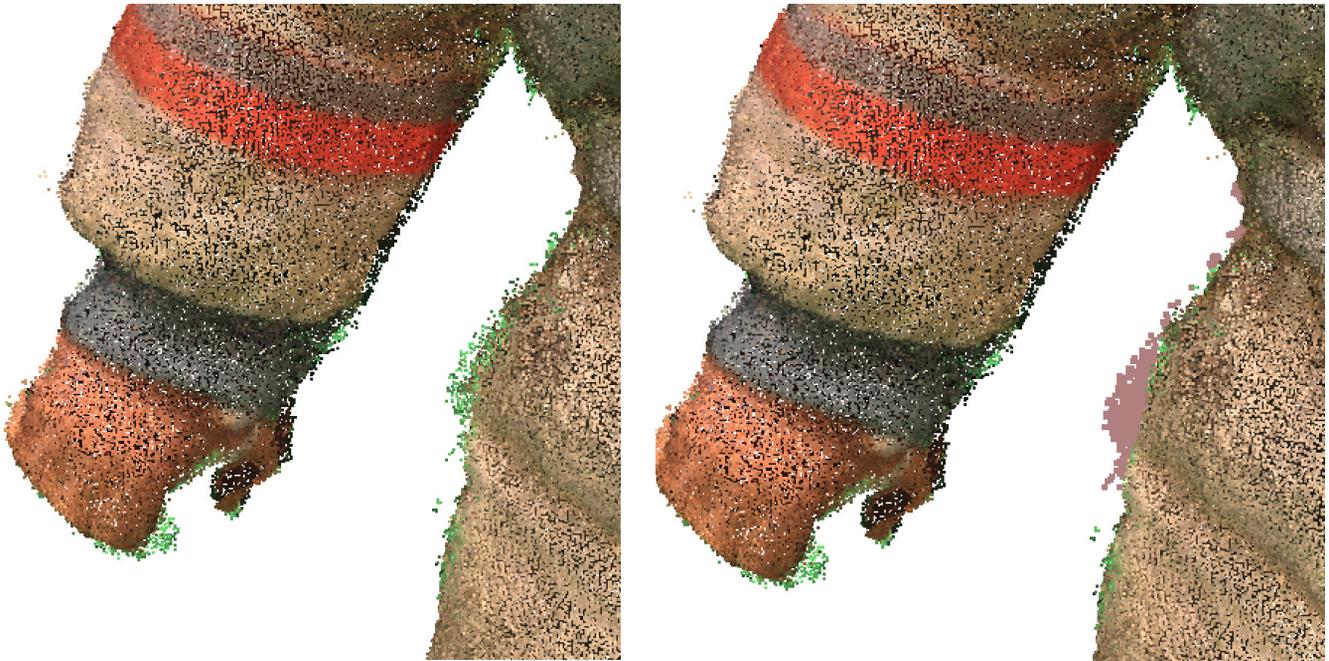


Marcamos la opción de procesado Ultra alta, para una perfecta creación de puntos con un nivel máximo de detalle, una vez hecho esto se tomará un tiempo el programa para procesarlo y después de ello obtendremos un resultado como este:

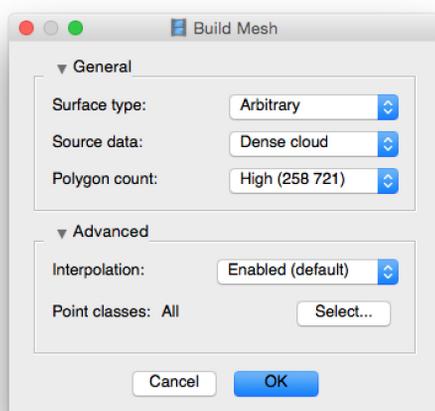


En el que se intuye perfectamente la forma final del modelo en forma de puntos, antes de crear la malla es muy importante eliminar las partes que consideramos que no forman parte del modelo si no la malla podría crearse defectuosa.

Seleccionamos con la herramienta del lazo y vamos eliminando poco a poco.

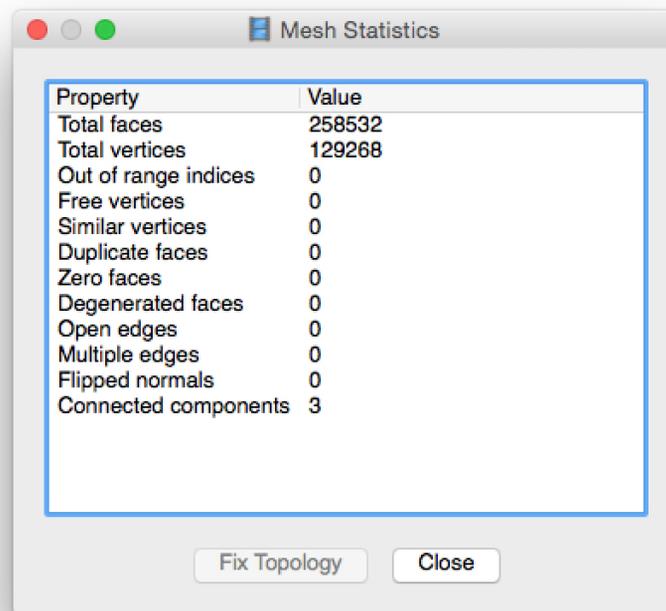


Una vez que hemos eliminado todas las partes que no consideramos útiles podemos crear la malla poligonal con todos los puntos, ésta la haremos con calidad alta y con un alto número de triángulos, el resultado será el siguiente:

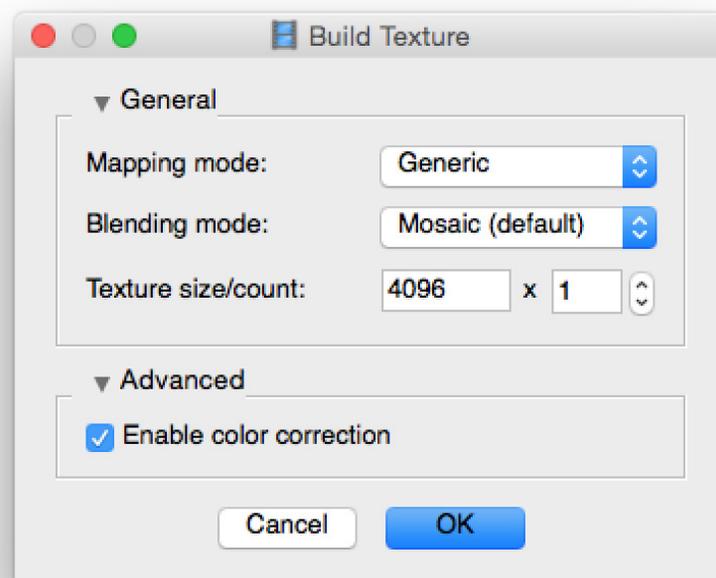


El número de polígonos es muy alto (concretamente 258.000) por lo que la definición es muy buena y los bordes quedan definidos perfectamente.

Una vez que tenemos la malla definida podemos reducirla si lo creemos conveniente, si el número de triángulos es muy grande, además de ver las estadísticas y si tiene algún agujero abierto, etc... Para ello ejecutamos el comando Mesh marcando los parámetros elegidos, en nuestro caso hemos bajado el número de caras a 30.000, que es más que suficiente.

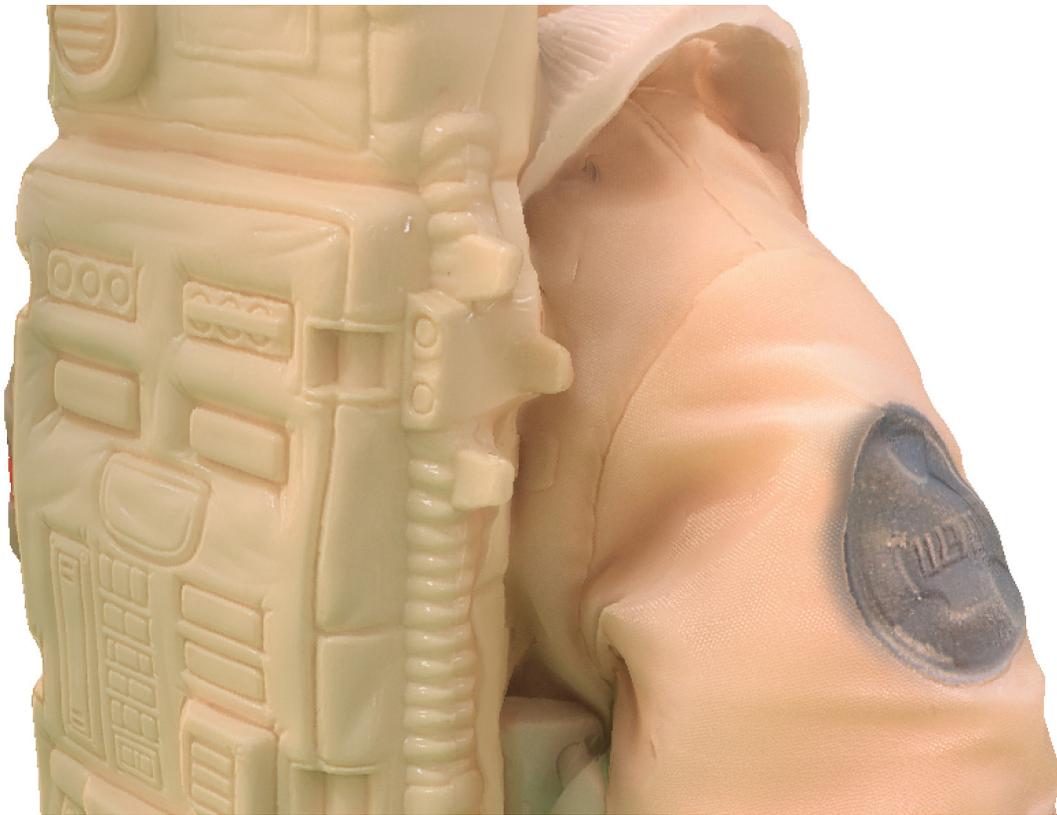


Una vez optimizada la malla podemos pasar a la creación de la textura, creamos la textura en mosaico habilitando la opción de corrección de color, de esta manera:



Esperamos a que se realice el proceso y este es el resultado final de la aplicación de la metodología:



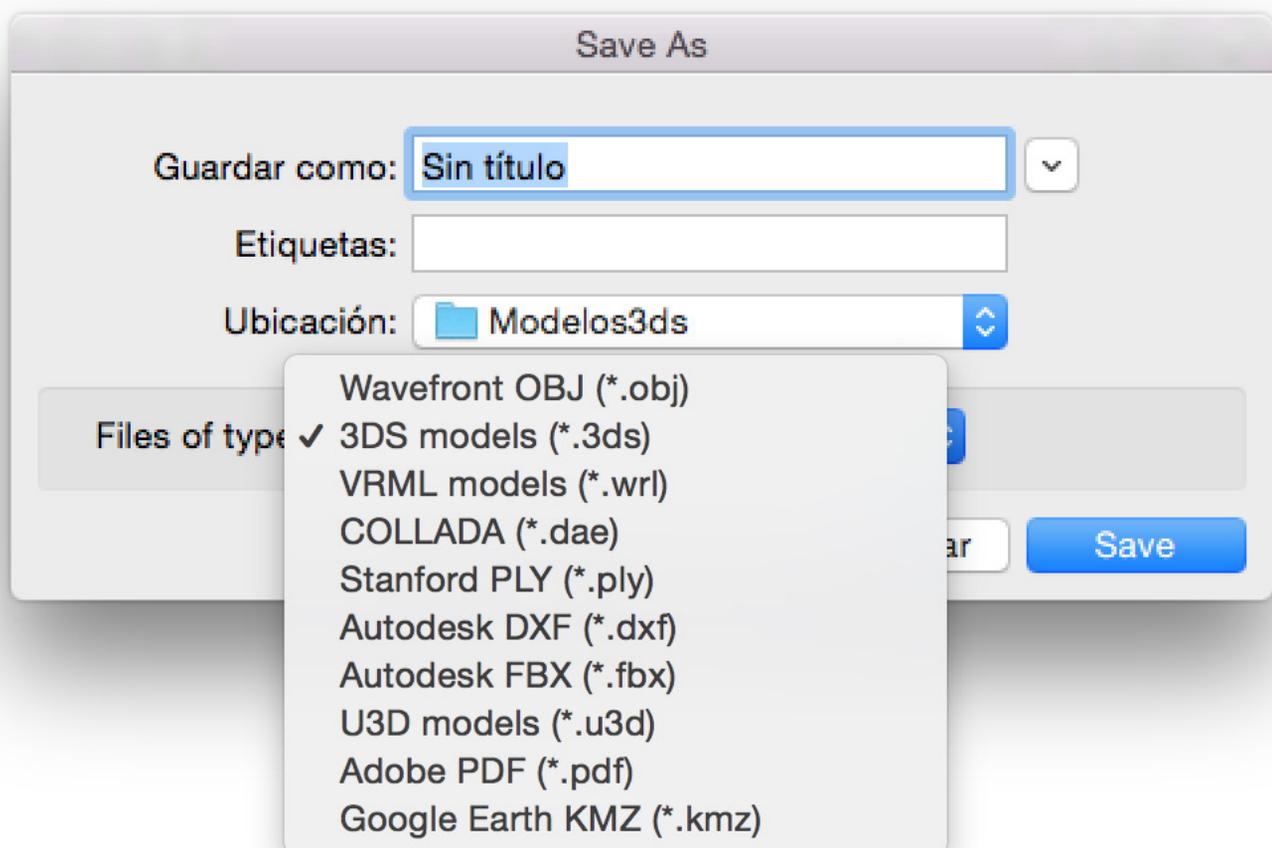


Una definición muy buena y un acabado que podría ser usado en representación profesional. Una vez acabado este proceso podemos pasar al siguiente apartado.



## 6.3 EXPORTACIÓN DEL MODELO

El modelo ya acabado y guardado viene en un sistema de archivos nativo de Photoscan pro, con extensión .psz, este no es muy común y debe de ser convertido en otro más conocido y manejable por otros programas. Como se ha explicado en apartados anteriores, el sistema de archivos que vamos a usar para exportar nuestro modelo es el de extensión .3ds, y a parte la textura en formato jpg. Debemos seleccionarlo en estas pestañas, así como el directorio de destino:



Una vez tenemos el modelo en el formato adecuado podemos proceder con el siguiente paso.

El siguiente paso se basa en cambiar de posición el modelo para imprimirlo en diferentes posturas, en el apartado llamado “Manipulación del modelo en 3DS Max” está toda la información y pasos detallados para realizar el cambio de postura, una vez hecho este lo único que debemos hacer es exportar el modelo en el formato STL.

STL Es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD.

Es el formato estándar para las tecnologías de fabricación aditiva. Utiliza una malla de triángulos cerrada para definir la forma de un objeto. Cuanto más pequeños son estos triángulos, mayor será la resolución del fichero final; el tamaño de los triángulos está directamente proporcionado con el peso del fichero, por lo que es aconsejable llegar a una solución de compromiso entre la resolución y el peso del fichero.



Los archivos STL (STereo Lithography) pueden crearse a partir de dos clases de datos: nube de puntos o modelo CAD (superficies o sólidos) y casi todos los software pueden realizar una exportación a dicho formato.

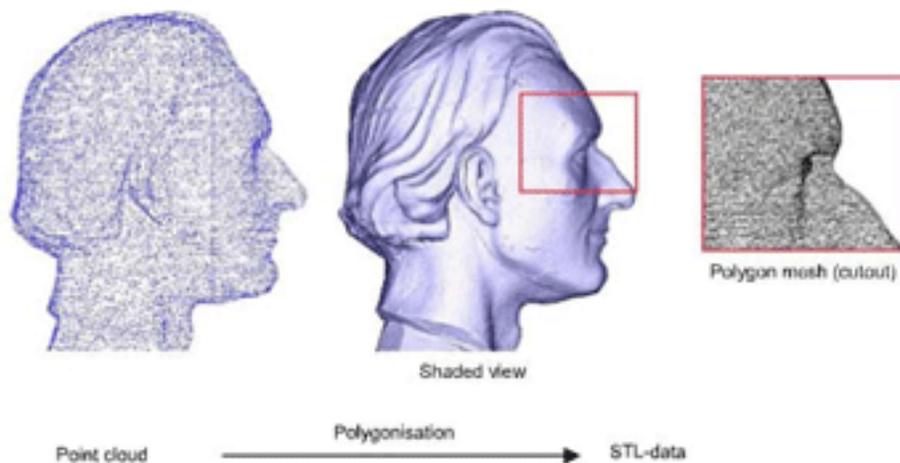


FORMATO ORIGEN: NUBE DE PUNTOS



FORMATO ORIGEN:  
MODELO CAD (SUPERFICIES O

Las nubes de puntos provienen del digitalizado de un modelo o entorno (como en nuestro caso). Para la creación del STL el software tratará de unir estos puntos de forma óptima teniendo en cuenta el procedimiento de digitalizado.



Una vez que tenemos nuestro archivo de STL podemos pasar al siguiente paso. La impresión tridimensional.

## 6.4 IMPRESIÓN 3D

Una vez hemos llegado a este paso hemos realizado la mayor parte de los aspectos técnicamente difíciles del proyecto. Lo que se pretende en este paso es volver a materia tangible la digitalización de nuestro modelo en diferentes posiciones, esta serie de reproducciones están realizadas a un muy alto nivel de detalle y escaladas.

### 6.4.1 ZPrinter 310 Plus y software de impresión

Para la impresión hemos usado la siguiente impresora 3d:



La marca que fabrica esta impresora es Zcorp, marca que desarrolla, manufactura y vende en todo el mundo las impresoras 3d de alta definición más rápidas del mercado. Máquinas que producen prototipos físicos en 3d con la velocidad y calidad de una impresora bidimensional. Z corporation trabaja con las empresas de tecnología más puntera del mundo, ayudándolas a crear prototipos de calidad. Toda la tecnología que usa la empresa Z corp fue desarrollada en el MIT. Para más información se puede visitar su pagina web [www.zcorp.com](http://www.zcorp.com)



Es una impresora de polvo con inyección de aglutinante con resolución 300x450 dpi, la velocidad es de aproximadamente tres centímetros verticales por hora. Las piezas necesitan después de ser impresas un aglutinante para fijar los polvos bien. Tiene incorporada una cámara de calor con la que calentará todo el vaso en el que se encuentran los polvos y donde será inyectado el líquido aglomerante. De tolerancia tiene dos centésimas usando unos polvos propios de la marca llamados zp130 que permiten mejores acabados según Zcorporation. El inyector de aglomerante es el de una impresora de dos dimensiones normal, debe de ser de color negro ya que si fuera de cualquier otro color los pins de contacto para mandar las señales eléctricas no coincidirían.

Ambas fabrican la pieza capa a capa. La geometría del modelo se construye esparciendo una capa de polvo, imprimiendo una sección horizontal de la pieza y después repitiendo el proceso (esparcir polvo e imprimir sección) hasta terminar la pieza.

Las capas se construyen una encima de otra hasta que la pieza se completa. La geometría de la pieza se soporta gracias al polvo “no-impreso”, lo que permite un amplio rango de complejidad en las piezas. Esta tecnología no necesita estructuras de soporte durante la fase de construcción, ya que el polvo cumple esa función hasta que la pieza se desentierra de la cubeta de fabricación.

Las piezas que imprime este aparato pueden ser de muy alta calidad:

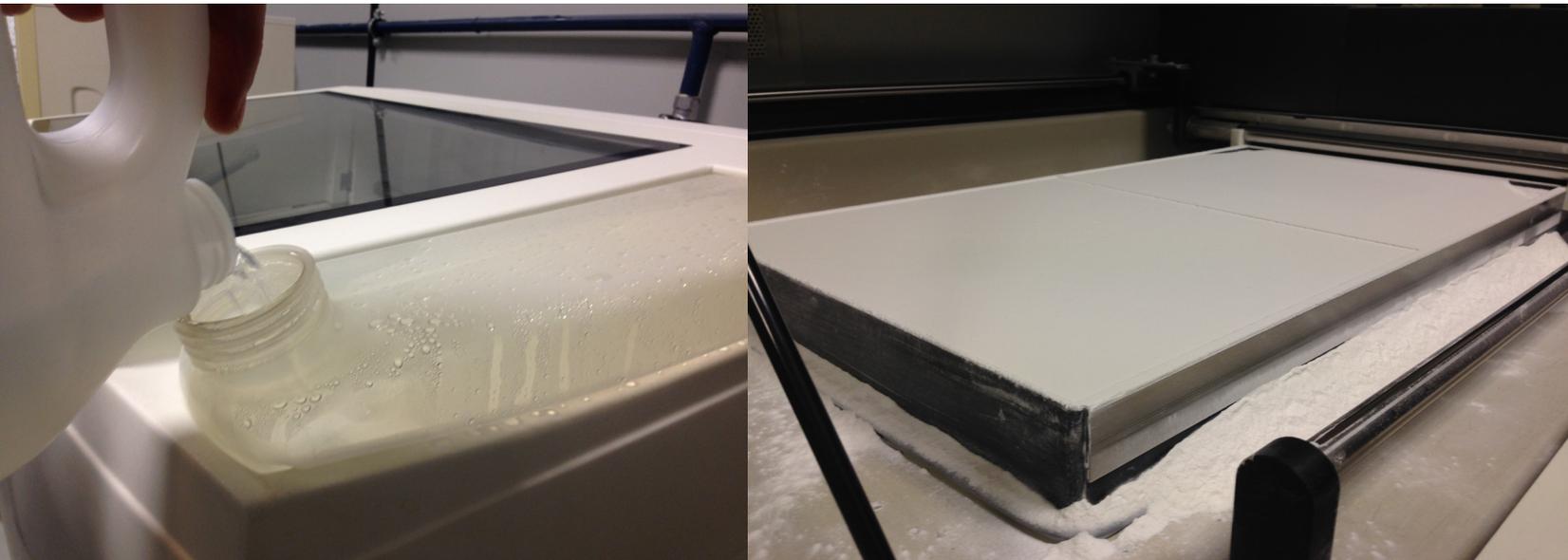


No son un tipo de impresoras orientadas al mercado sino más enfocadas industrialmente debido a sus elevados costes y a su gran tamaño.

Para realizar el proceso de impresión necesitamos un programa que ejecute los comandos básicos de impresión, en nuestro caso usamos ZPrint programa nativo de los mismos desarrolladores que la impresora. Nos permite importar archivos en diferentes formatos como STL (formato monocromo), VRML (formato a color), 3DS o ZPR y su uso es fácil e instintivo.

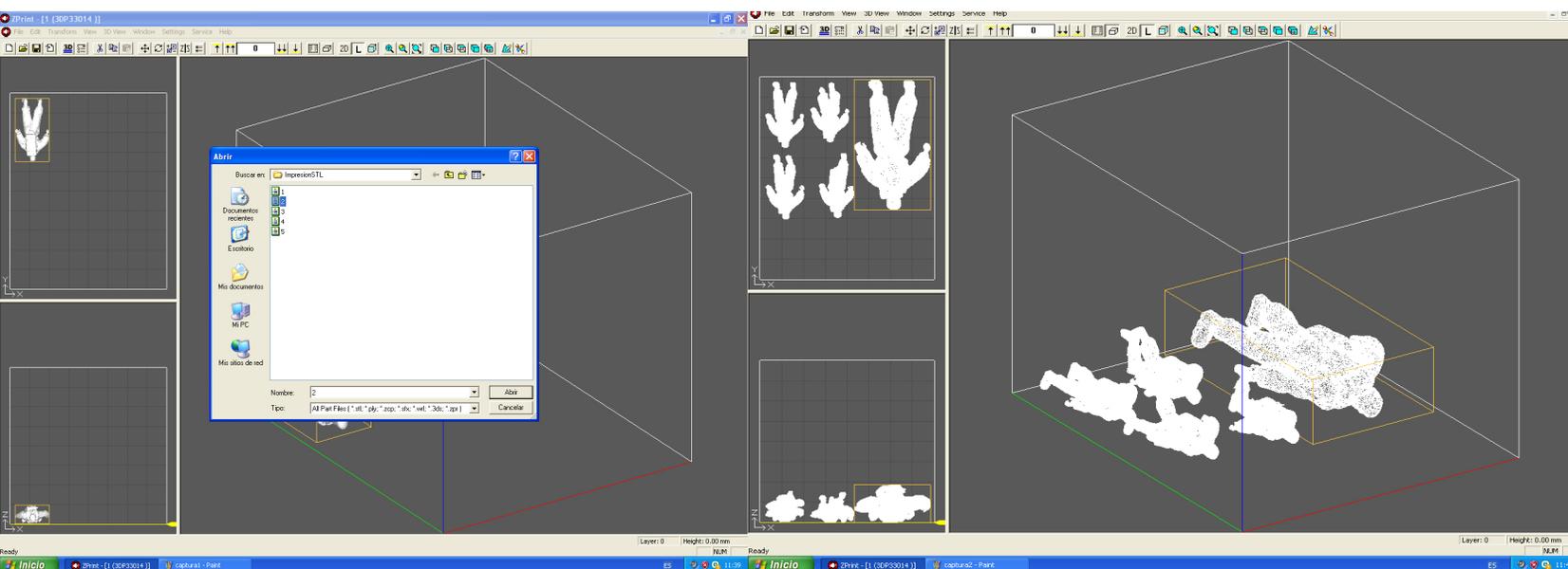
### 6.4.2 Metodología para la impresión.

Para imprimir el modelo lo primero que debemos hacer es preparar la impresora, para ello rellenamos de polvo la cubeta hasta el máximo (más o menos 20cm) y rellenamos el deposito de aglomerante así como conectar la manguera de la depuración de tinta.

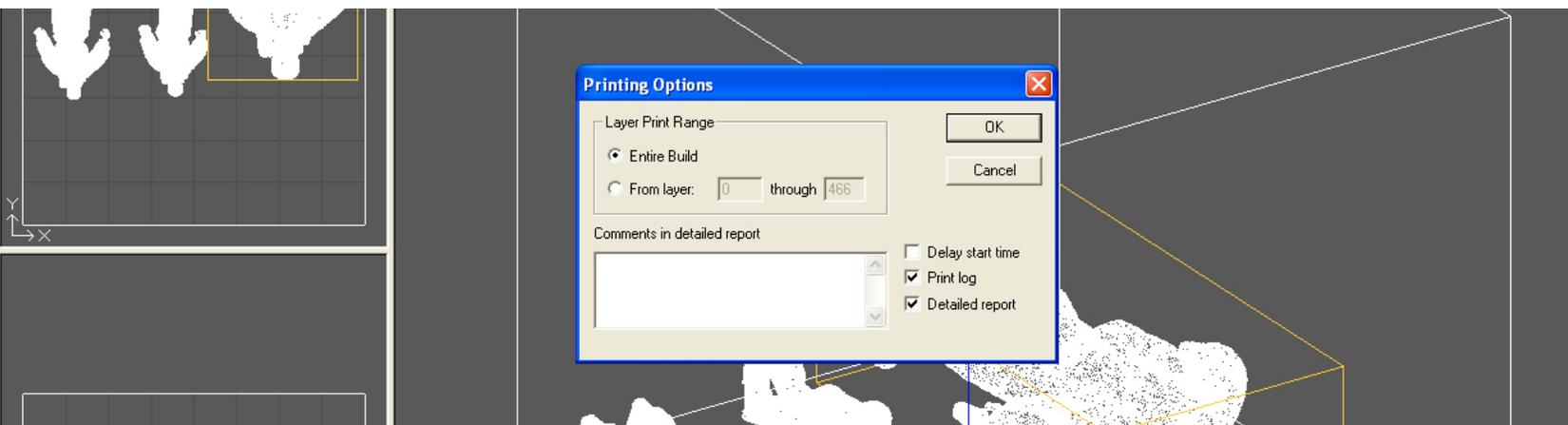


Una vez preparada podemos pasar a la impresión:

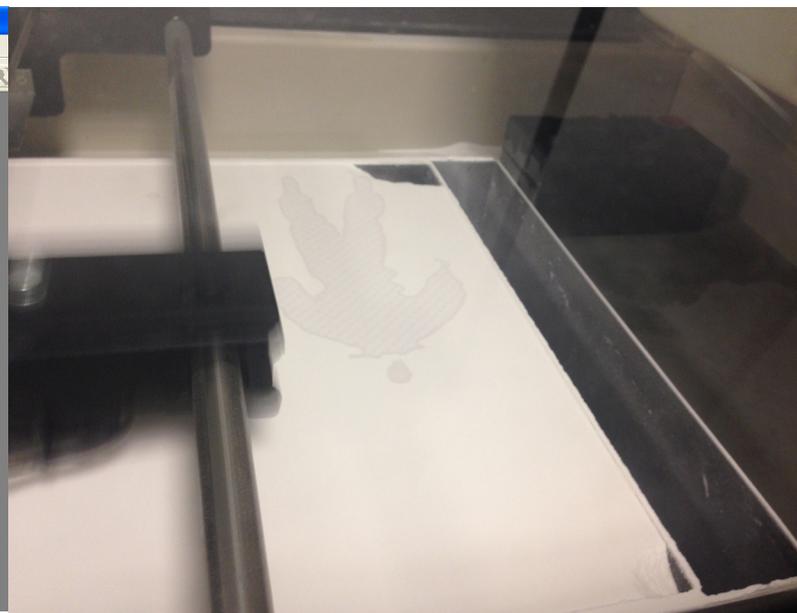
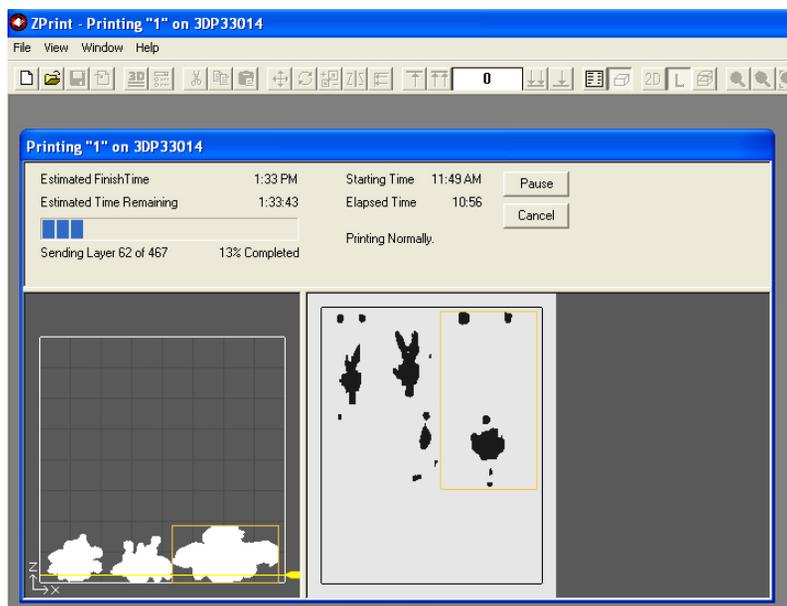
1. Con el archivo ya en un formato imprimible, iniciamos el software ZPrint en el PC. Pinchamos en la casilla de importar nuestros archivos STL. Con ZPrint, se puede aumentar o reducir las dimensiones del archivo que desea imprimir, orientar la pieza en la cubeta virtual de construcción y dirigir la impresora 3D para imprimir varias versiones de la pieza en la misma sesión de impresión (con o sin variaciones). Una vez que el archivo esté importado marcamos las unidades con las que hayamos diseñado el modelo para que las medidas sean las adecuadas, en nuestro caso los centímetros.



- Posteriormente, ZPrint divide digitalmente el modelo 3D en cientos de cortes transversales o capas. Cada corte transversal de 0,004 pulgadas (0,1 mm ) se corresponde con una capa del modelo que se fabricará en la Zprinter. Capa a capa se fabricarán los modelos.

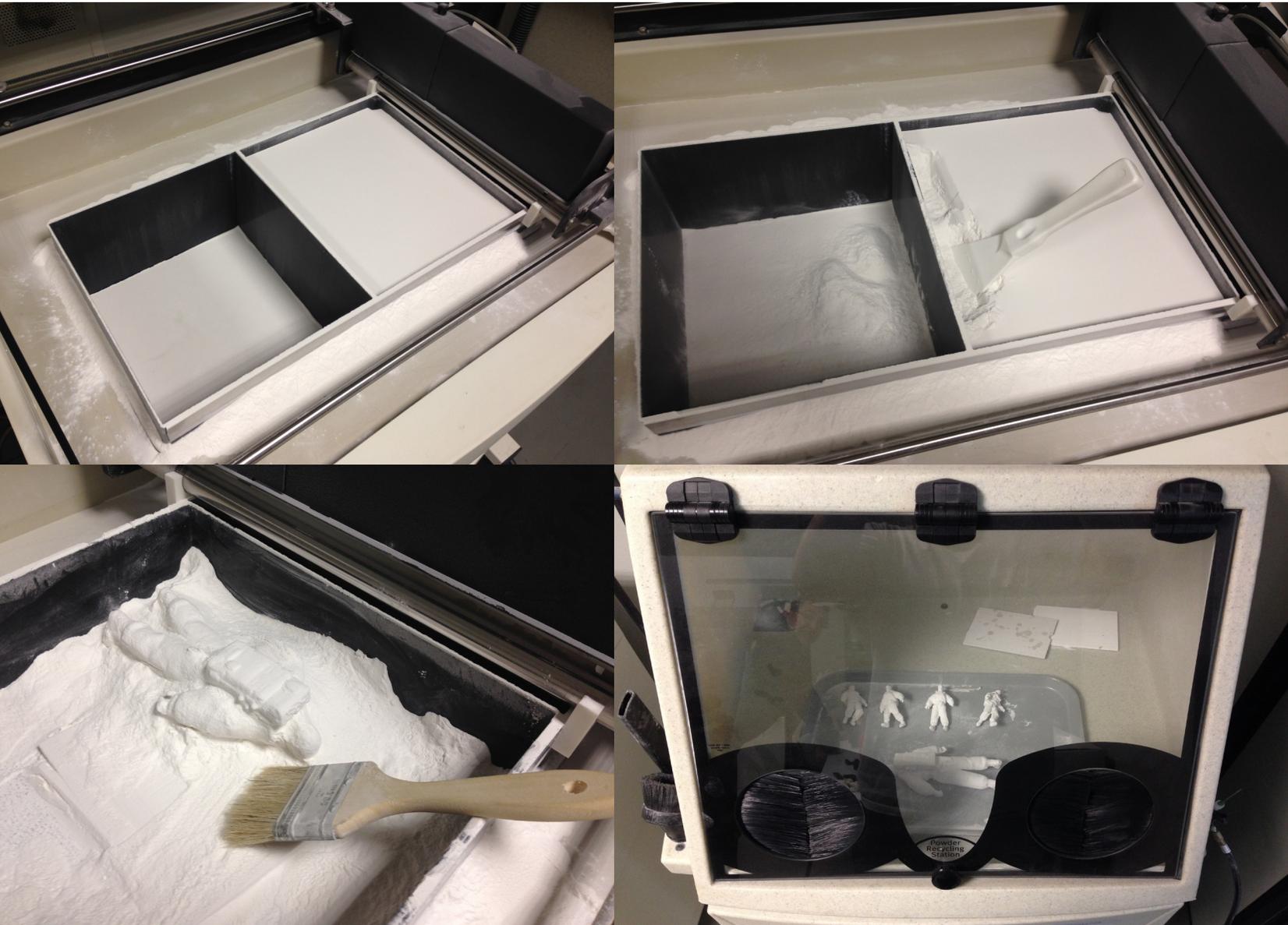


- Cuando esté listo para iniciar el trabajo de impresión, hacemos clic en "3D Print." Se envían los archivos de capas digitales a la ZPrinter y la impresión del modelo comienza inmediatamente o nos puede salir un aviso indicándonos que la cubeta no está lo suficientemente caliente ya que necesita una temperatura de 38 grados, en ese caso debemos esperar unos minutos. Justo después se abre una ventana en la que nos irá el programa haciendo un resumen del proceso que se va ejecutando, esta ventana suele ir un poco más avanzada que el proceso real.



- La ZPrinter imprime cada una de las capas, una sobre otra, produciendo el modelo en la cubeta de construcción. Cuando la ZPrinter completa la capa final, se ejecuta un ciclo de secado. Tras este proceso, el modelo físico se puede retirar de la máquina con cuidado y pasar al siguiente paso, la retirada de polvo.

- Una vez que tenemos las piezas impresas debemos retirar el polvo sobrante, para ello usamos en primer caso una espátula, luego cuando las piezas se van descubriendo una brocha para, con mucho cuidado debido a su fragilidad, ir quitando las cantidades grandes de polvo. Una vez que hemos hecho esto vamos sacando las piezas a una bandeja donde con ayuda del pincel soplador quitaremos el resto de polvo sobrante, la máquina incorpora un aspirador con el que se absorberá todas las partículas de polvo del



- Una vez limpias las piezas y sin restos grandes de polvo usamos nuestro aglomerante, en nuestro caso hemos usado uno genérico, cianocrilato que dará consistencia y solidez a los modelos.



### 6.4.3 Resultado final.

El resultado final son cuatro piezas de nuestro modelo en muy alto grado de detalle en diferentes posturas y dos tamaños diferentes.



#### 6.4.4 Conclusión.

Este proceso se ha basado en el escaneado tridimensional más básico y su posterior reproducción tridimensional, hoy en día afinando resultados con instrumentos mucho más avanzados de los que hemos usado nosotros se llegan a resultados mucho más productivos como podría ser el escaneado tridimensional de huesos para prótesis quirúrgicas, escaneado y reproducción de articulaciones para uso ortopédico, escaneado de fetos durante el embarazo para examinar malformaciones o crear prótesis dentales casi iguales a las originales, etc...

En nuestro caso al haber escaneado el objeto y habernos metido en los niveles más básicos de escaneado e impresión tridimensional hemos llegado a la conclusión de que hoy en día se pueden crear objetos escaneados con un muy alto nivel de detalle y reproducirlos a la escala deseada si tenemos los medios necesarios para ello y unos conocimientos básicos acerca de la materia.

El escaneado y la impresión tridimensional son unos campos que están creciendo a un ritmo enorme y cada día laboratorios de investigación de importancia mundial están desarrollando tecnologías innovadoras capaces de llevar a cabo conceptos cada vez más difíciles que hace unos años serían inviables.







## 7. MANIPULACIÓN Y ANIMACIÓN DE MODELOS EN 3DS MAX

3ds Max es un software de modelado, animación y renderizado en 3D. Nosotros nos vamos a centrar en la función de animación y renderizado, aunque el programa nos ofrece posibilidades muy potentes en cuanto a modelado.

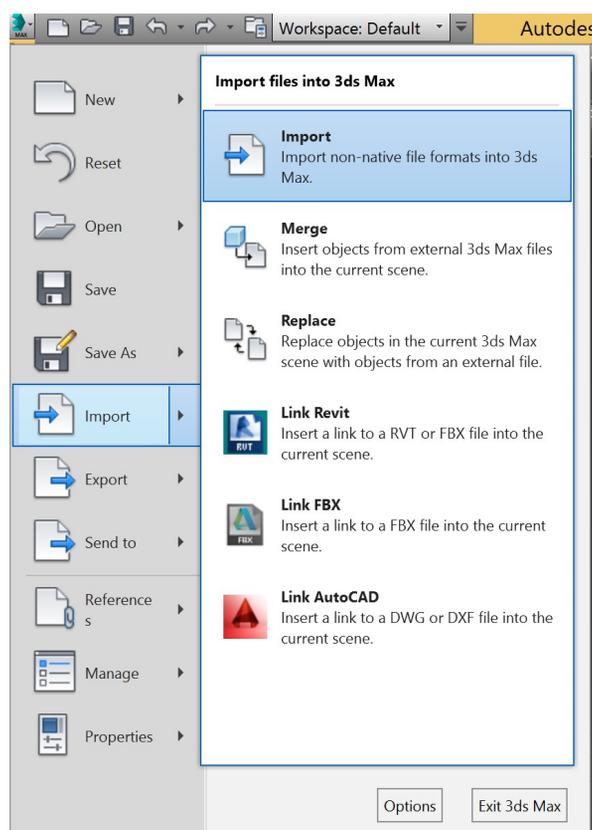
Partimos con este programa dando por hecho que el modelo ha sido exportado desde Agisoft y que la malla con la que está hecho ha sido optimizada. Esto hará que sea más eficaz su tratamiento e importación.

Partiendo de este hecho, se van a explicar cada uno de los pasos que tenemos que dar para animar nuestro objeto escaneado, así como el funcionamiento de tales ordenes:

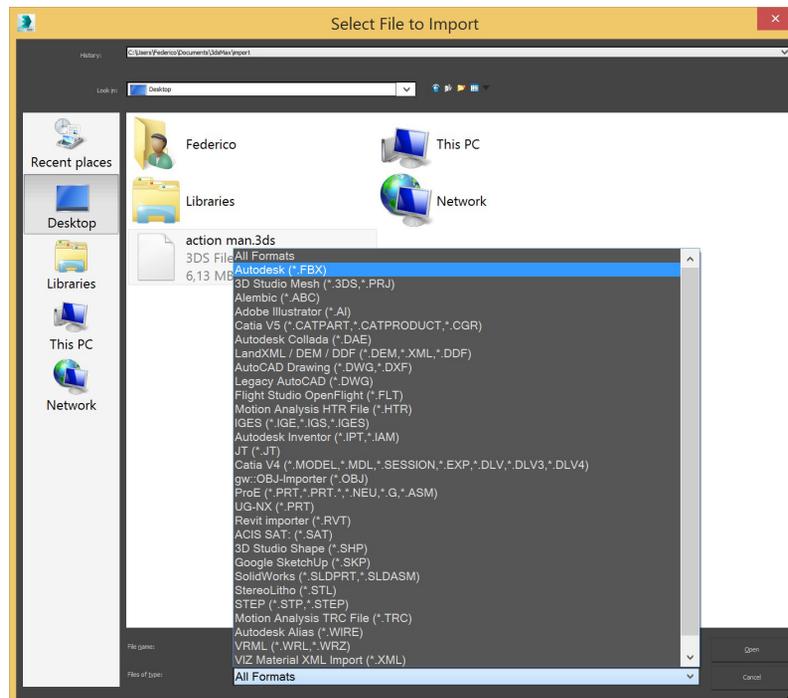
### 7.1 IMPORTACIÓN DE MODELO.

Como ya hemos dicho tenemos localizado el modelo en el ordenador, en nuestro caso será en formato .3ds, de tipo binario lo que quiere decir que el archivo está construido en fragmentos, en donde cada sección de datos está incrustado en un bloque que contiene un identificador de fragmento y la longitud de los datos (para proporcionar la ubicación del siguiente bloque principal), así como los propios números que forman los datos. Este formato es usada por algunos programas de simulación y gráficos 3D.

Para elegir e importar nuestro modelo a la escena elegimos la opción de import y marcamos el formato .3ds, elegimos nuestro modelo y lo situamos en la escena.



Debemos de fijarnos si en el programa tenemos seleccionadas las mismas unidades (sistema internacional) a la hora de importar. Si no las proporciones podrían cambiarse.

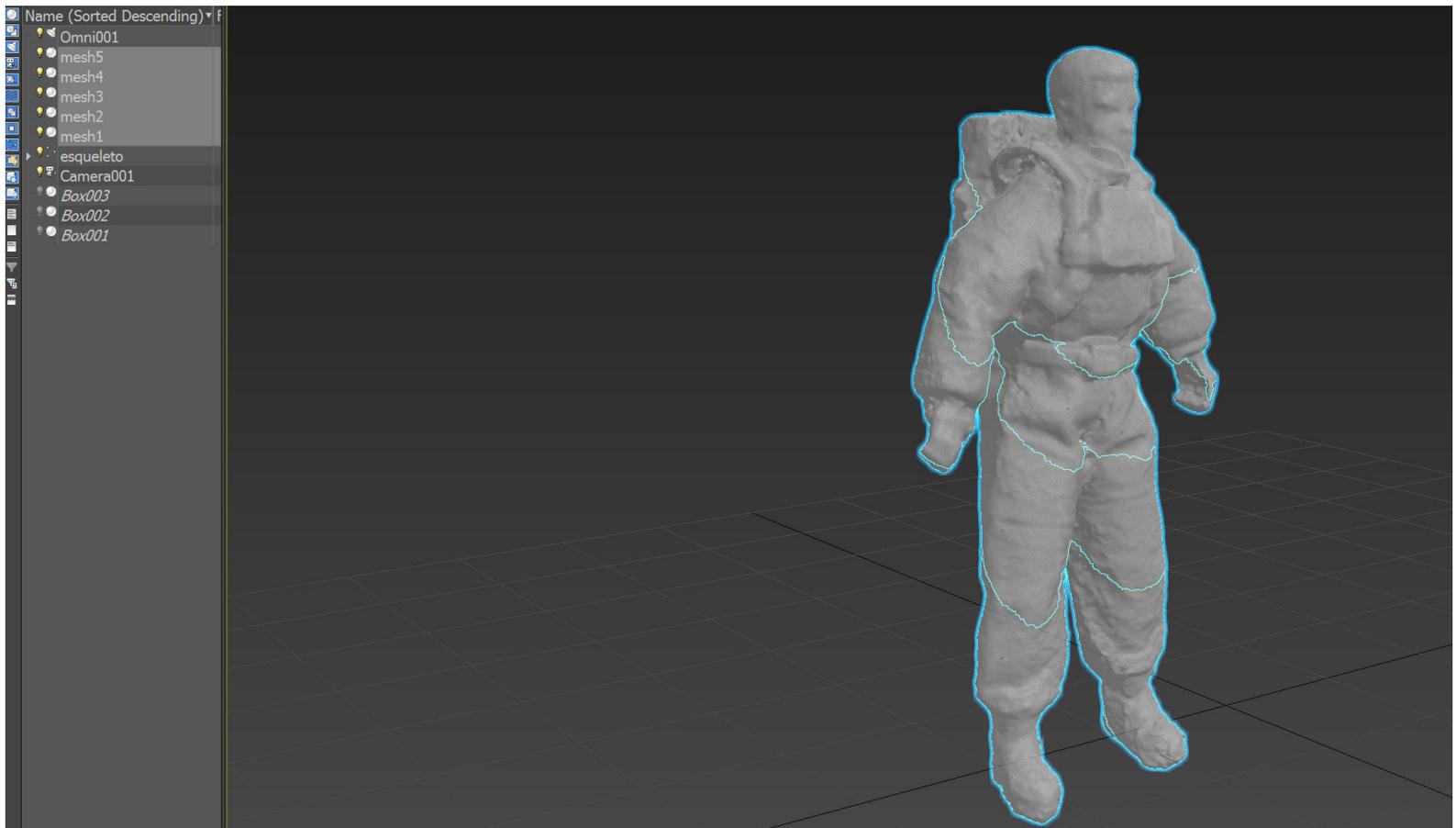


Una vez que tenemos el modelo importado podemos dar paso a la siguiente acción.



## 7.2 OPTIMIZAR MALLA Y UNIR PARTES.

En el caso de que no hayamos optimizado la malla con el anterior programa Agisoft Photoscan lo podríamos hacer con 3ds. Para ello usaríamos los comandos EditMesh, EditPoly y MeshSmooth. Como en nuestro caso ya hemos optimizado la malla no es necesario aplicar este paso.



Una vez que tenemos el modelo en pantalla podemos ver que a veces nuestra malla del modelo se divide en pequeñas partes por lo que debemos unirlos y vincularlos todos para poder empezar a trabajar con él. Esto lo hacemos seleccionando todas nuestras partes yendo a la pestaña de Modifiers, seleccionamos la opción de Editable Mesh y marcamos Attach. Al hacer este paso todas nuestras partes de la malla se nos unirán en el árbol de objetos.

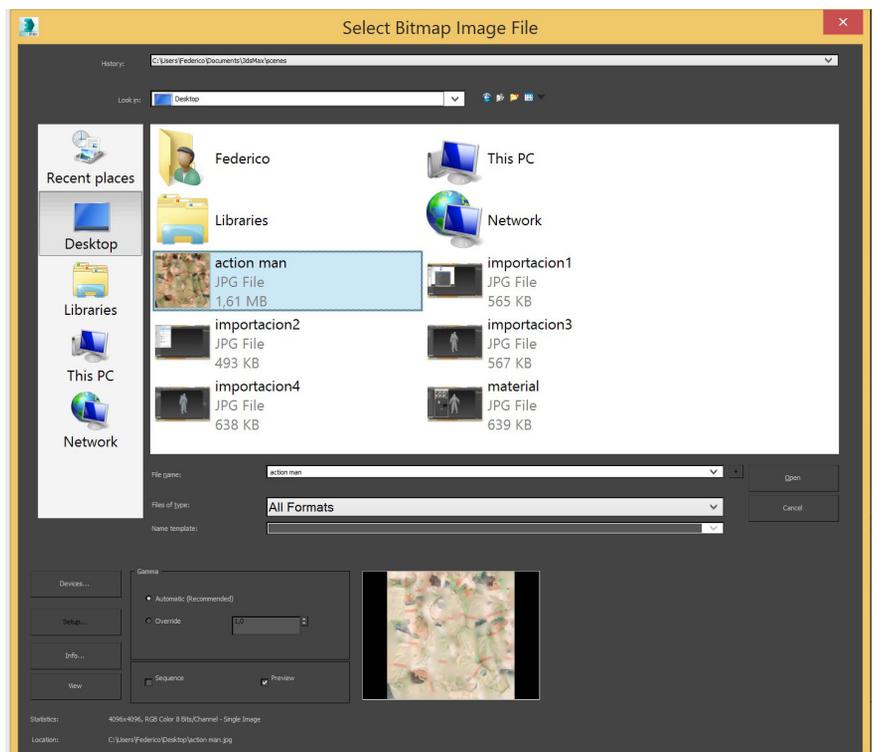
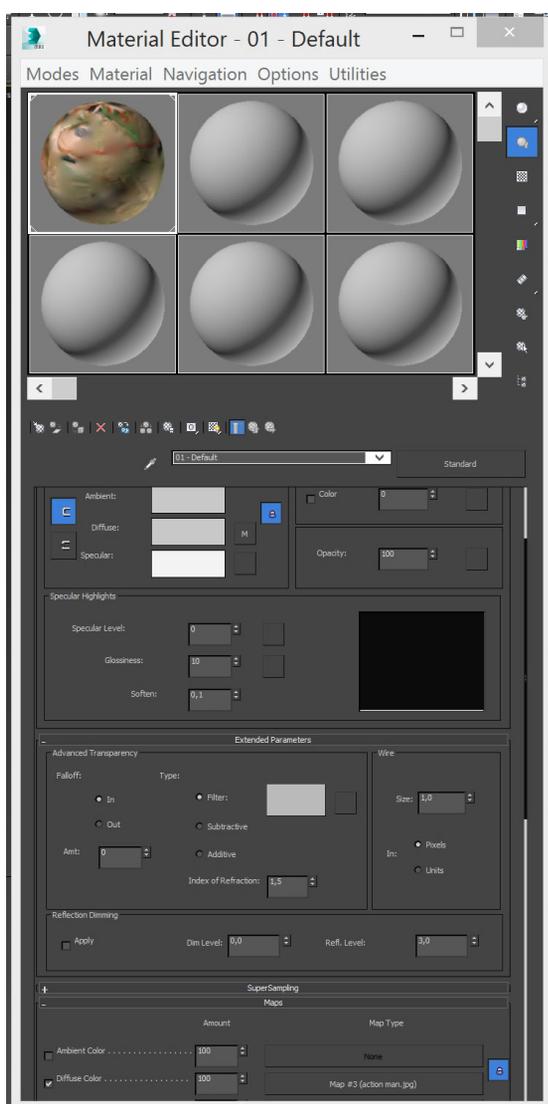
Hecho esto es el momento de pasar al siguiente paso.

### 7.3 APLICAR TEXTURA/MAPA.

Como se ha explicado en pasos anteriores la textura del modelo ha sido exportada en formato jpg, es el formato de imagen más común, utilizado por las cámaras fotográficas digitales y otros dispositivos de captura de imagen.

Para aplicar la textura debemos tener en cuenta factores como:

- El mapa debe estar siempre localizado en el mismo directorio del ordenador, de otro modo el programa no lo encontrará y deberemos buscarlo nosotros manualmente.
- El mapa está referenciado a nuestro objeto en 3d, si modificamos éste antes de aplicarle la textura/mapeado no se situará correctamente.
- El mapa puede no tener la textura del material inicial. Más tarde se modificarán sus propiedades.



Una vez que tenemos nuestra imagen localizada entramos en el Editor de Material, seleccionamos el tipo de material Standard y dentro seleccionamos la opción de bitmap, donde elegiremos nuestra imagen y arrastramos a nuestro modelo.

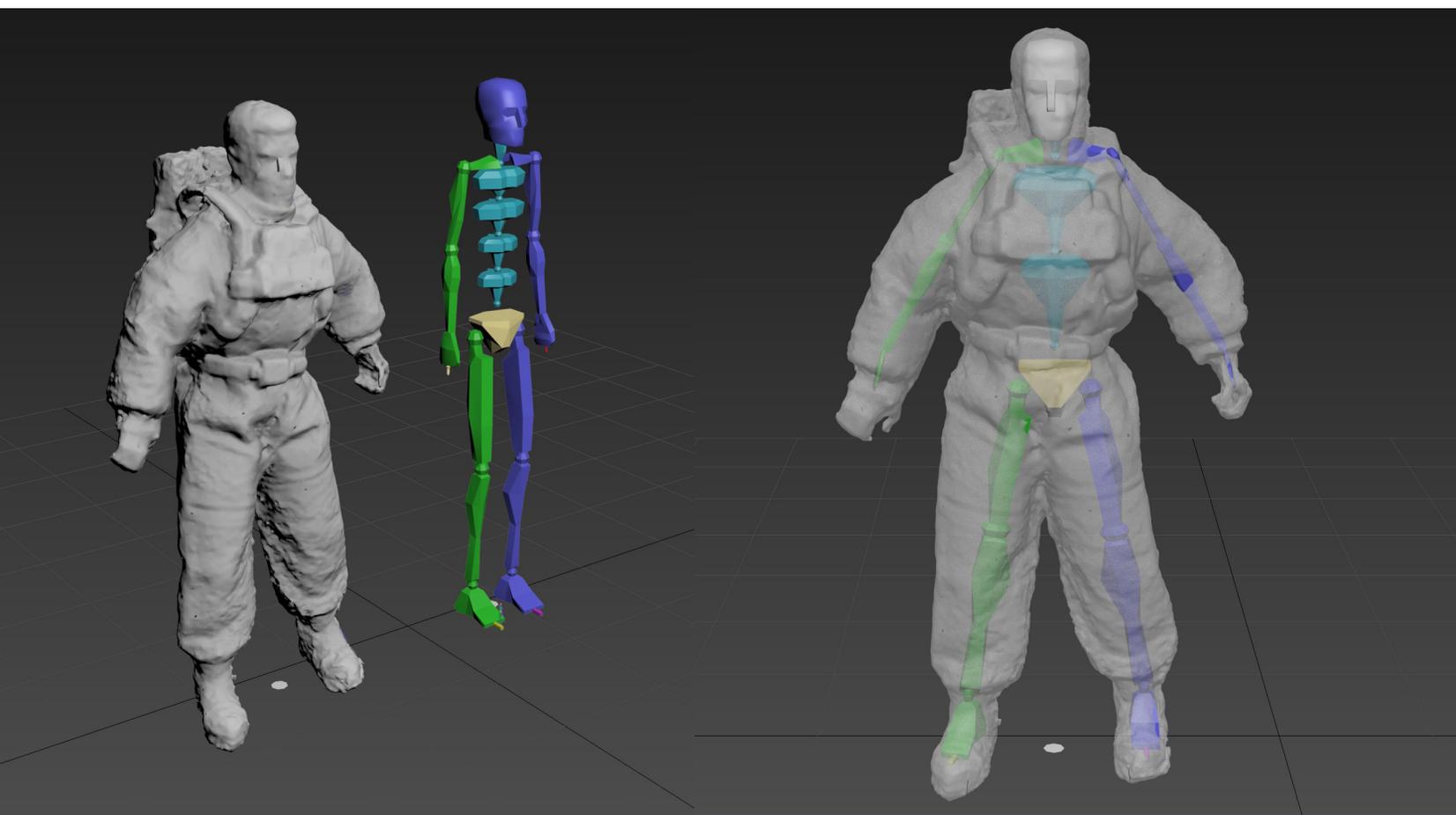
Se recomienda hacer un pequeño render a baja calidad para ver si el mapa se ha situado en el lugar correcto.

## 7.4 CREACIÓN DEL BIPED.

Un modelo biped es una figura bípeda, humana animal o imaginaria. Cada Biped está formado por una estructura diseñada para la animación, creada para estar unido a un esqueleto. El esqueleto Biped tiene propiedades especiales que le dan la posibilidad en el mismo instante para ser animado. Como los humanos, los Biped están diseñados concretamente para andar erguidos, aunque pueden ser usados para crear criaturas con varias piernas aunque las uniones de las articulaciones están diseñadas para coincidir con la estructura humana. Además el esqueleto bípedo está diseñado específicamente para poder andar lo que soluciona el problema de otros programas de animación de tener que bloquear los pies al suelo.

Los pasos a seguir para hacer nuestro bípedo similar a la forma humana de nuestra malla son los siguientes:

- 1- Primero de todo debemos crear nuestro Bipedo. Vamos al panel de Create y seleccionamos la ultima pestaña con el dibujito de los engranajes, pinchamos en donde está escrito Biped.
- 2- Arrastrando con el ratón hacemos que las entrepiernas de nuestro modelo y del biped coincidan, el diamante que vemos a la altura de la pelvis es el centro de gravedad del cuerpo, es muy importante que no esté situado fuera de nuestra malla.
- 3- Una vez creado el biped lo que tenemos que hacer es que todos los huesos y articulaciones coincidan con las de nuestro modelo. Para ello redimensionamos y recolocamos, empezando por los pies, todos los huesos y articulaciones dentro de nuestra malla, sólo lo debemos hacer de una mitad del esqueleto.
- 4- Una vez que una mitad está situada coincidentemente con la malla redimensionamos los huesos para que más o menos sea proporcional al tamaño de las extremidades.
- 5- Tenemos una mitad posicionada y dimensionada. Ahora lo que tenemos que hacer es una simetría de esta mitad ya trabajada, para ello vamos a la pestaña motion y seleccionamos nuestra mitad, damos en "create collection", "copy posture" y después a "Paste Posture Opposite".
- 6- Una vez que hemos hecho este paso tendremos la posición copiada, en el caso de que no sea simétrico nuestro modelo (como en nuestro caso) la simetría nos servirá para tener el mismo tamaño de huesos y deberemos repetir el paso de posicionar la mitad opuesta dentro de nuestra malla.



## 7.5 COMANDO SKIN.

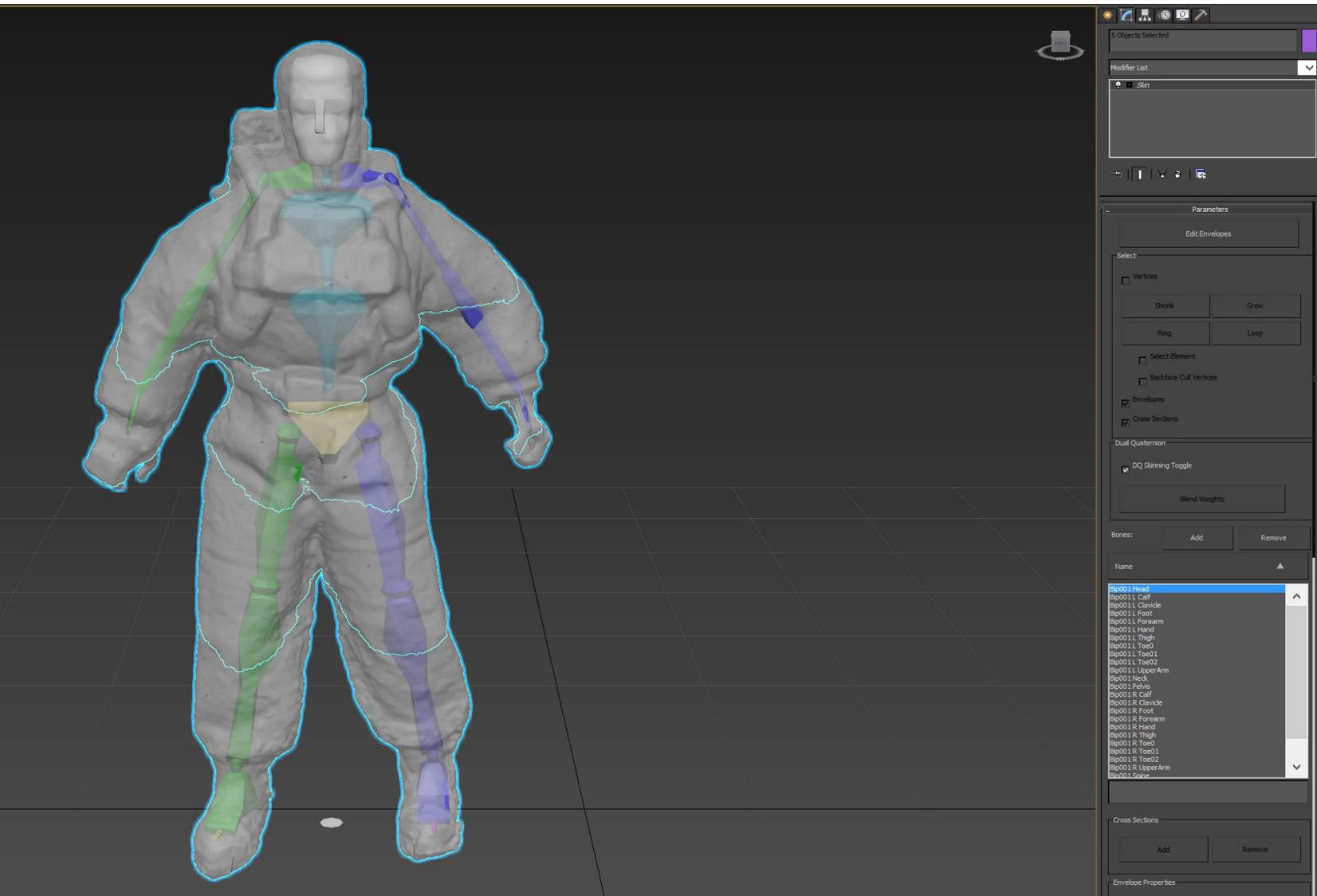
El modificador Skin es un comando que permite la modificación de una malla asociada a un esqueleto. Aplicando este comando modificador, y asignando los huesos a los que se va a aplicar la modificación, el programa crea una cápsula alrededor de cada hueso llamada "Envelope", esta cápsula hace que todos los puntos de la malla que estén contenidos en ella se muevan solidariamente. Cuando dos de estas envoltentes se unen se crea un vértice de movimiento en forma de unión de estas dos envoltentes.

Como valor inicial, cada vértice que es afectado por un solo hueso o envoltente se le asigna un peso de 1.0, lo que significa que es solamente afectado por ese hueso. Los vértices que estén incluidos en una intersección de dos envoltentes tienen dos valores para el peso, uno por cada hueso que afecte. Estos valores intervienen directamente en el movimiento de nuestro modelo. Por ejemplo, si la articulación de dos huesos la forman uno de peso 0,8 y otro de 0,2 el primero tendrá 4 veces más de influencia en el movimiento que el segundo de peso 0,2. Este aspecto es importante para que nuestro modelo realice un movimiento natural.

Tras esta pequeña introducción sobre el comando procedemos a la explicación de cómo lo aplicamos en nuestro caso:

- 1- Seleccionamos la malla, vamos a la pestaña de "Modifiers" y seleccionamos nuestro comando "Skin".
- 2- Una vez seleccionado bajamos con el ratón y donde pone "Bones" pinchamos en "Add".
- 3- Se nos abrirá una ventana emergente en la que nos salen todos los huesos que tenemos de nuestro Biped, tenemos que seleccionar todos ellos y dar a confirmar.

Después de estos pasos la envoltente se ha creado sola y en principio no habría que modificarla. Para comprobar si se ha realizado correctamente podemos mover un brazo o alguna parte de nuestro modelo desde el hueso y si la malla se mueve solidariamente es que se ha realizado correctamente.



## 7.6 ANIMACIÓN.

Al haber aplicado el comando Skin, como se ha dicho anteriormente, se ha vinculado malla y esqueleto, esto significa que si movemos el esqueleto nuestro modelo repetirá el movimiento.

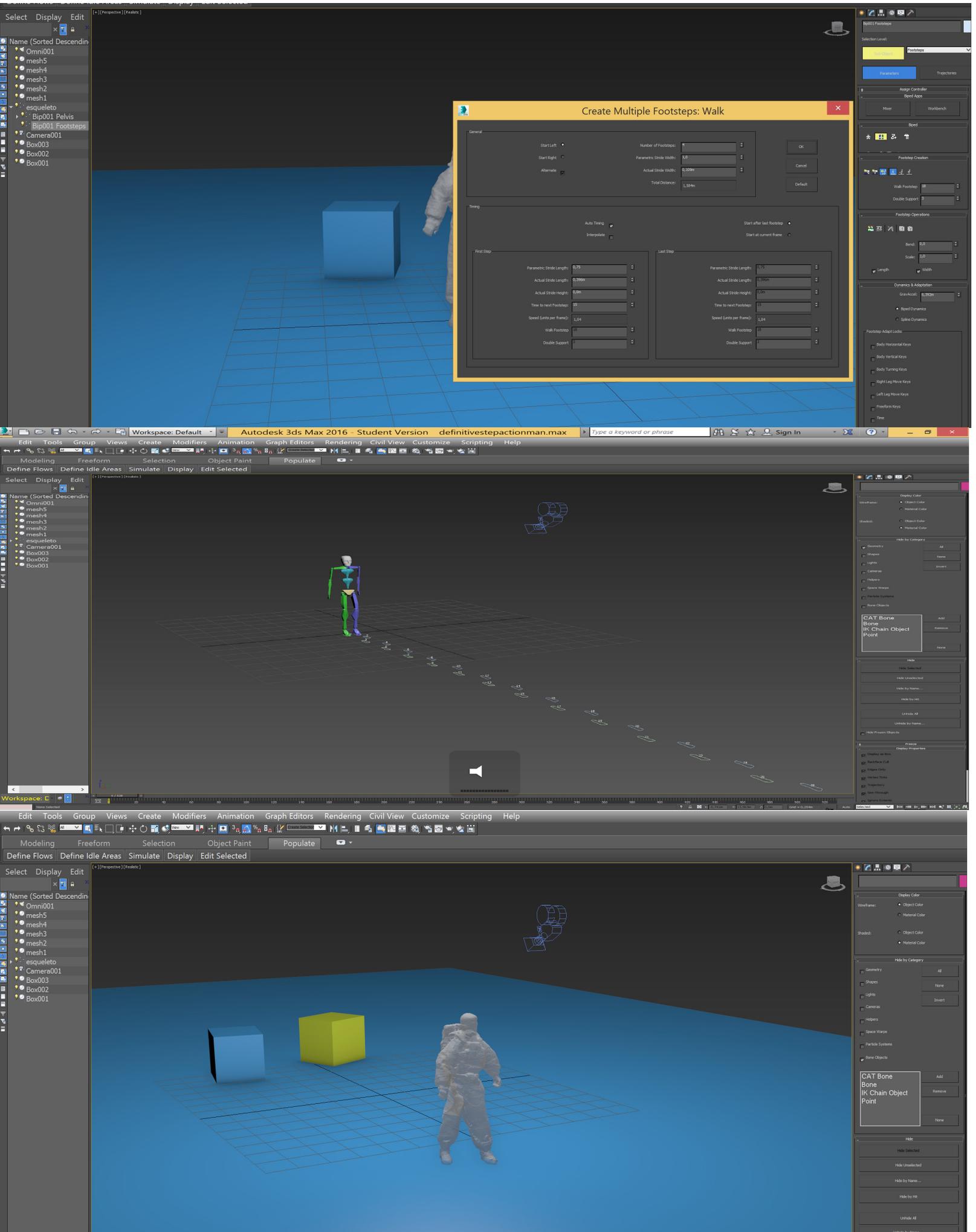
Es el momento de animar nuestro modelo, se ha pensado en hacer comandos básicos como hacerle mover una mano, hacerle andar o correr. En nuestro caso explicaremos como hacer para poder hacerlo andar, el resto de funciones serán analogías de este.

- 1- Seleccionamos el esqueleto en el árbol de objetos que tenemos en nuestra escena, es importante asegurarnos de que no esté oculto, vamos a las pestañas y nos fijamos si todas las casillas de display están desmarcadas.
- 2- Una vez que tenemos el esqueleto seleccionado cambiamos la pestaña de display por la de motion. Nos podemos fijar que nuestro Biped está en el modo "Figure mode".
- 3- Cambiamos el modo a "footstep mode".
- 4- En el momento que hemos marcado la casilla de footstep mode se activa una casilla que se llama "Create multiple footsteps", donde clicamos y se nos abre una ventana emergente donde deberemos introducir todos los datos como número de pasos, longitud de estos...etc
- 5- Una vez que hemos metido estos parámetros pinchamos en la casilla que dice "create key for inactive steps", una vez hecho esto podemos fijarnos en que los pasos se han marcado en el suelo horizontalmente y ahora sólo debemos modificar factores para que el movimiento sea limpio sin deformar el modelo.

Podemos dar al comando Play y ver el movimiento de nuestro modelo. En la mayor parte de los casos el muñeco cambiará su posición inicial y habrá que jugar con factores como los "envelopes" del comando skin, la distancia entre pasos o el tamaño de las extremidades para evitar deformaciones en el modelo.

En mi caso para que la malla no sufriera deformaciones desmarque la casilla de "Always deform" en "Advance Parameters" de la pestaña de "modifications".

Haciendo estos pasos tenemos un modelo que anda. Es sólo un ejemplo de la cantidad de cosas que se podrían hacer teniendo un esqueleto rodeado por una malla, de hecho la mayoría de películas y videojuegos actuales se basan en este concepto de animación.



## 7.7 CREACIÓN DE LA ESCENA.

Este último paso consiste básicamente en aspectos estéticos, habiendo llegado a este paso sería cuestión de tiempo el hacer la animación más fotorealista o menos. En nuestro caso hemos optado por hacer una animación sencilla en la que integramos algún elemento para dar volumen y profundidad a la vez que integramos un suelo liso en el que nuestro modelo caminará.

Para ello creamos la geometría y con el editor de materiales vamos dando material y textura a cada elemento.

El resultado final será el siguiente

Después de realizar todo este proceso sacamos conclusiones:

- El programa 3ds Max es muy potente y nos permite ejecutar muchas acciones usando datos tridimensionales.
- Una malla muy grande nos traerá problemas a la hora de realizar el proceso.
- Es preferible tener la textura en JPG que en png ya que en la segunda se notarán las costuras de las partes que forman esta debido al formato de exportación 3ds que divide el modelo en secciones.
- Se necesita un ordenador potente para realizar todo este proceso.



MODELO  
DE  
NEGOCIO



## 8. MODELO DE NEGOCIO

Hoy en día existe un interés social en motivar el uso y experimentación por medio de la ciencia y tecnología en una edad temprana. Este es la primera idea que nos llegó a la mente antes de hacer el proyecto. Se pensó en desarrollar una idea que enseñara aspectos tecnológicos muy novedosos a niños de menos de entre diez y catorce años, aquí es donde se nos ocurrió mezclar conceptos como el escaneado tridimensional, la impresión en 3d y la animación del modelo escaneado e impreso. Nuestro modelo de negocio.

En el escaneado de juguetes es donde empieza la parte principal del proyecto de forma práctica. En esta parte aplicaremos los conceptos aprendidos teniendo en cuenta todos los factores y las conclusiones sacadas en el anterior caso de estudio de las piezas arqueológicas.

Los objetivos que se quieren alcanzar con este caso práctico son los siguientes:

- Acercamiento de la infancia a las últimas tecnologías.
- Mejorar la relación social entre ellos, de forma que se ayuden y complementen los unos a los otros.
- Uso del escenario digital.
- Fomentar la comprensión de conceptos científicos.
- Acercar la ciencia desde lo cotidiano.
- Despertar y fomentar las vocaciones científicas.
- Implicación activa.
- Fomentar la experimentación.

Para alcanzar estos objetivos el niño formará parte de un taller formativo-competitivo en el que, con ayuda de un monitor, aprenderá conceptos básicos abstraídos al máximo de escaneado tridimensional e impresión y competirá contra sus compañeros. Siendo capaz de entender cada paso dado y ver la evolución de todo el proceso en el que está tomando parte.

En este caso práctico lo que se va a estudiar es como adecuar todos los pasos a un niño de entre 10 y 14 años, lo que hará el niño será modelar con sus propias manos (en arcilla, plastilina, etc...) o traer de casa un juguete cualquiera que nos servirá de modelo en nuestro escaneado, se enseñará como escanearlo y se realizará el escaneado y posteriormente se imprimirá en 3d. Después de esto y mediante unas animaciones realizadas con el programa 3ds max se dará "vida" a este juguete en un escenario digital. Todo esto será orientado en el ámbito de una competición en la que uno de los equipos resultará ganador evaluándose aspectos como acabado final o complejidad del modelo.

A continuación se detallan los aspectos a realizar por los niños en el taller formativo:

## 8.1 ACTIVIDADES A REALIZAR

Para enseñar a los niños debemos dividir el proceso tan elaborado en varias partes para que sean más fáciles de entender, en este apartado vamos a explicar tales fases del proyecto según el orden de ejecución.

### 8.1.1 Primera Fase. Introducción y nociones básicas.

Esta primera fase consiste en introducir una explicación inicial de el proceso que vamos a realizar de carácter más técnico, qué aspectos se tratarán en el proceso y como los vamos a realizar.

Además de esto se explicarán unas nociones básicas de los componentes más importantes del proceso como una impresora en 3d, el escaneado en 3d o la relación entre estas dos sin entrar de momento en mucho nivel de detalle. Se enseñarán videos de los últimos avances de estas tecnologías y lo que se puede llegar a conseguir con ellas.

Todo esto se realizará elaborando una pequeña presentación en la que los niños intervendrán activamente, con contenido fácil de asimilar y sin demasiado tecnicismo.

Una vez explicados los conceptos técnicos abstraídos pasaremos a la explicación de los aspectos prácticos del proceso. Qué técnicas se usarán para alcanzar los objetivos iniciales: Trabajar en grupos, Implicación activa, etc...

Se harán grupos de no más de seis niños y se les explicará que al final de todo el proceso se elegirá un ganador juzgando el modelo final.

Una vez que estos aspectos están claros podemos dividirnos en los grupos hechos y pasar al siguiente paso.



### 8.1.2 Segunda fase. Selección del modelo.

En este paso se les enseñará a los niños a elegir un modelo que escanear, teniendo dos opciones de elección:

- **Elección de un juguete**, hacer un folleto que se puedan llevar a casa en el cual se reúnan las características que debería tener éste como una textura no uniforme , geometría no muy compleja, tamaño medio y demás factores...
- En el caso que prefirieran modelar con arcilla, plastilina o algún otro material por el estilo explicar en el mismo folleto que tal modelo debería reunir **características** similares pero adaptadas a lo que sería el material maleable.

Cada niño traerá al taller su modelo, creando una batería con diferentes alternativas de elección. Entre todos



### 8.1.3 Tercera fase. Creación del ambiente idóneo.

En el siguiente paso, una vez validado el modelo, consiste en la colocación de la peana y todos los elementos necesarios para el escaneado. Fijar el modelo en el lugar donde se van a tomar las fotografías colocado de una forma idónea.

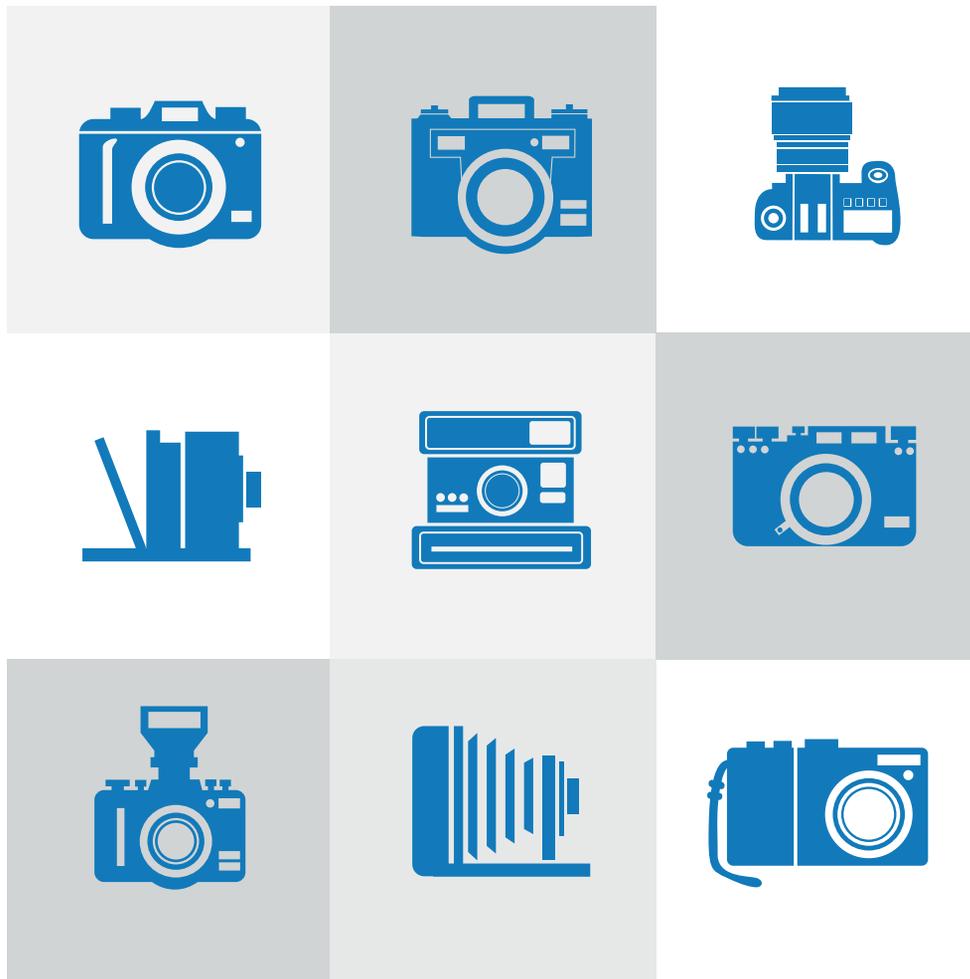
Les explicamos en que se basa este paso y que debemos tomar fotografías desde diferentes ángulos incluyendo todos los posibles. También vamos haciendo con ellos el proceso ayudándoles a realizarlo. Creamos el ambiente perfecto para la toma de fotografías.



#### 8.1.4 Cuarta fase. Toma de fotografías.

Una vez que el juguete está fijo en el croma podemos pasar a la toma de fotografías. Las imágenes serán tomadas con una cámara de fotos la cual opcionalmente traerá alguno de los niños o en su defecto podrán ser tomadas con un teléfono móvil. El resultado final no variará mucho, el resultado final no será el mismo que realizar las fotos con un cámara SLR actual pero será más que aceptable. Además de que el hecho de que los niños aporten su propio medio de toma de imágenes reduciría costes de manera considerable mientras se acerca el proyecto a la vida diaria de los niños.

Los niños tomarán todas las fotos desde cada uno de los ángulos mientras el monitor les explica en que tener especial cuidado y que aspectos evitar. Una vez que todas las fotos han sido tomadas se guardarán y se procederá al siguiente paso.

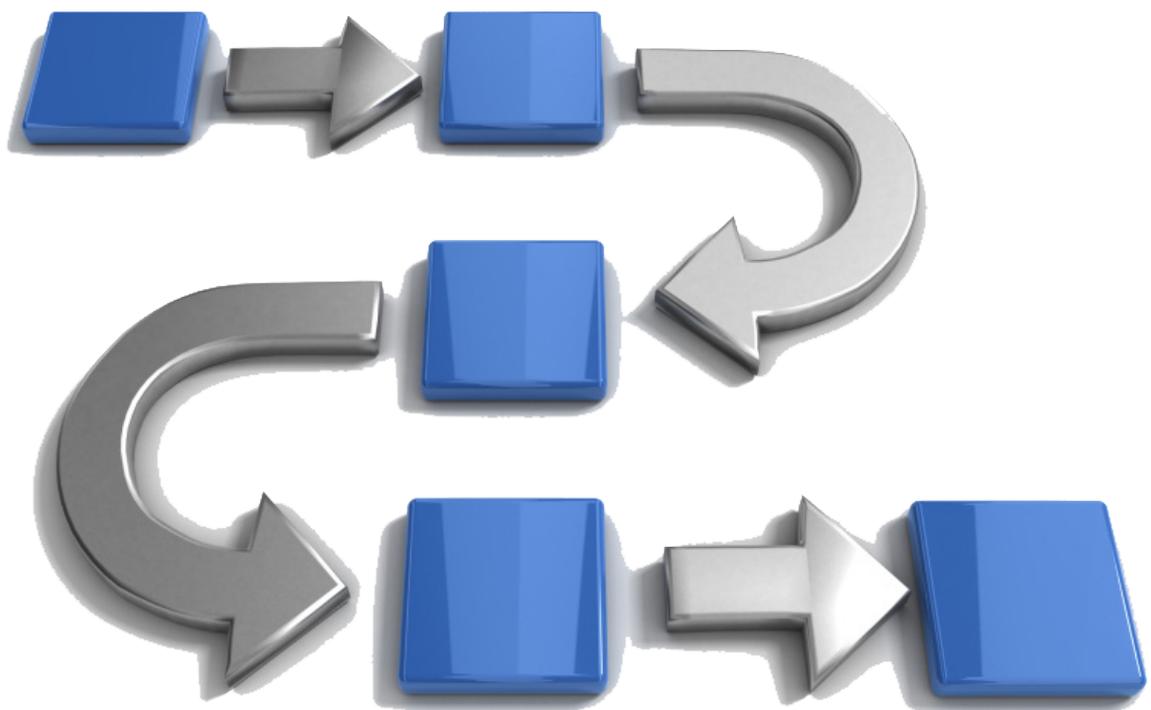


### 8.1.5 Quinta fase. Procesado y escaneado.

Esta parte del proceso es una de las más delicadas. Se les enseñará a los niños como importar las fotos y los pasos necesarios desde que tenemos las fotos en un directorio del ordenador a la visualización del modelo en 3d ya digitalizado. Para ello el grupo de niños se sentará en una mesa con el monitor de forma que estos no sólo visualicen el proceso sino que intervengan activamente, enseñándoles qué hace el programa y como lo hace, conceptos básicos para que se familiaricen con esta tecnología.

Entre cada paso que hay un tiempo. En ese tiempo para dejarlo muerto se harán tertulias conjuntas en las que se comentará el proceso que se está realizando.

Una vez que se ha realizado este proceso ya tenemos la digitalización del modelo, hacemos un pequeño debate en el que hablaremos de los aspectos realizados y aprendidos y podemos pasar al siguiente paso.

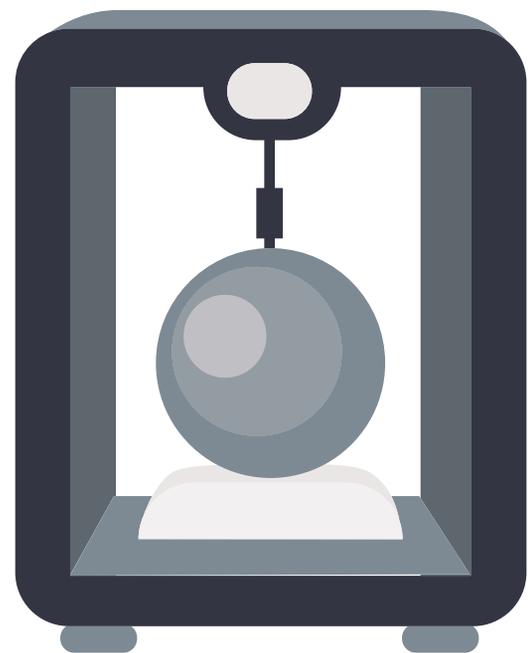


### 8.1.6 Sexta fase. Exportación e impresión en 3d.

Tenemos nuestro modelo perfectamente digitalizado. Enseñamos a los niños el modelo final y se lo relacionamos con la impresión tridimensional. Les enseñamos los siguientes aspectos:

- De qué está formado nuestro modelo y diferencias que podríamos tener si hubiéramos hecho el proceso de otra manera.
- Cómo interpreta esta información la impresora en 3d.
- En qué se basa el formato en el que estamos exportando.
- Cómo introducimos el modelo en la impresora en 3d.

Acto seguido exportamos el modelo y lo mandamos a la impresora 3d que se tomará su tiempo en procesar y comenzar la impresión. Una vez hecho esto pasamos a la siguiente fase.



### 8.1.7 Séptima fase. Animación del modelo.

La impresora en 3d se toma su tiempo en imprimir cada uno de los modelos por lo que mientras tanto enseñamos a los niños lo fácil que resulta animar nuestro juguete escaneado en 3ds Max. De nuevo nos sentamos en la mesa y comentamos cada uno de los pasos que vamos a tomar. Todo con un carácter participativo y dejando que ellos realicen alguno de los pasos más fáciles indicándoles como poco a poco.

Una vez tenemos la animación la podemos comparar con el modelo inicial y ver las diferencias y similitudes. Hecho esto avanzamos al siguiente nivel.



### 8.1.8 Octava fase. Resultado final.

Una vez llegamos a este paso tenemos el resultado final en cuanto a digitalizado de modelo, animación e impresión.

Dejamos a los niños que vean el modelo final y lo comparen con el inicial enumerando diferencias y similitudes. También visualizamos la animación final y el conjunto lo que les resultará muy vistoso y les animará a participar en proyectos similares despertando su curiosidad así como su vena científica.

Los niños se unirán todos juntos y verán el resto de modelos, los tocarán, examinarán y compararán con sus originales también dialogando entre ellos.

Después de esto se juntarán todos los grupos y entre todos se comentará el proceso. Acto seguido pasamos a la siguiente fase.



### 8.1.9 Novena fase. Conclusiones.

Una vez todos juntos en una sala hacemos un debate conjunto en el que hablemos de los aspectos aprendidos y en que otro tipo de campos seríamos capaces de aplicarlos. Además de esto los monitores valorarán los modelos finales y digitalizados y elegirán un ganador entre todos los equipos.

Los niños al acabar se llevarán un diploma y una imagen de el modelo escaneado por su equipo.

Al finalizar todo el proceso se realizará una serie de encuestas de evaluación en las cuales los alumnos y profesores evaluarán aspectos aprendidos y calidad del procedimiento creando una fase de control. Esto servirá para realizar cambios en el proceso que mejoren el proceso didáctico.



## 8.2 SECUENCIAMIENTO DE ACTIVIDADES DEL TALLER.

La organización en un proyecto técnico es clave para que este funcione bien, para ello se deben organizar recursos, trabajadores y tiempos de una manera efectiva. En este punto se tratará el secuenciamiento en cuanto a tiempos de las actividades descritas anteriormente, manteniendo el mismo orden de prioridad.

A cada una de las actividades se le han aplicado unos tiempos de ejecución y en algunos casos caben holguras que serán solucionadas por los encargados de impartir la materia conforme se vaya avanzando en el proceso.

Para el estudio de tiempos de cada una de las actividades se ha realizado un diagrama de Gant:



### 8.3 AGENTES NECESARIOS PARA LA ELABORACIÓN.

Hemos evaluado el tiempo necesario y la manera de ejecutar el proceso formativo, así como objetivo principal hemos fijado el de servir didácticamente a un número de 30 alumnos poniéndonos como tiempo máximo el de dos días de horario lectivo.

Una vez definido el objetivo y hacia donde queremos dirigir nuestras intenciones debemos evaluar los agentes que usaremos para ello. Para ello dividiremos los agentes en cuatro tipos:

- Material, los objetos/aparatos que usaremos para impartir el curso.
- Personal, el número de personas adecuado para llevar a cabo el proyecto.
- Infraestructuras, en el lugar donde se impartirá el mismo.
- Formativo, la formación a la que hay que someter al personal para que tengan las capacidades necesarias para impartir el curso.

Conocidos y evaluados los agentes que serán requeridos seremos capaces de organizar en materia de tiempos cómo administrarlos para llegar a nuestra meta. Por lo tanto.

#### 8.3.1 Material necesario.

El curso se basa en el uso de material de última tecnología por lo que es obvio que siempre se podría mejorar este a costa de aumentar el capital invertido en el proyecto. En nuestro proyecto el presupuesto va a ser conservador en todo momento, además de que no se requiere un equipo profesional para ningún tramo del proceso. En general se usarán aparatos de calidad a la vez que económicos y fiables.

Para analizar todo el material que necesitaremos tenemos que analizar cada uno de los pasos descritos en anteriores apartados en el que se explicaba el curso por orden de aplicación, por lo tanto tenemos diferentes fases:

- Fase inicial, es la fase en la que se introduce el proceso y comenzamos a dar las primeras directrices.
- Fase de desarrollo, en la que realizamos el proyecto.
- Fase final, en la que tenemos el modelo final y sacamos conclusiones.

En cada una de estas fases se necesitará material didáctico diferente y en algunos casos se compartirá material de una fase a otra.

### Material de la fase inicial.

Siempre se va a evaluar el material necesario para dar una sesión del curso, en caso de que se repitiera, todo el material sería reusado.

En esta fase necesitaremos material para ilustrar y explicar los pasos que vamos a dar por lo que evaluando objetivos llegamos a la conclusión que es necesario:

- Material de impresión 2d, todo lo necesario para dar la información exacta de en qué consiste el curso, instrucciones básicas etc...
- Proyector para las presentaciones, videos y diálogos entre los niños. Será capaz de proyectar decentemente en condiciones de luz, ya que hará procesos que no se puedan realizar con poca luz.
- Además de esto necesitaremos un ordenador al que conectar el proyector y con el que realizar tanto la presentación como los folletos informativos.

Con estos recursos seríamos capaces de realizar la fase inicial.

### Material de la fase principal.

En esta fase es donde se desarrolla toda la materia didáctica, en la que se basa el proyecto y con la que los niños aprenderán los aspectos más importantes. Para ello necesitaremos diferentes materiales:

- Croma, preferiblemente verde que se pueda tratar en el procesado y donde se colocarán las piezas a escanear. Una por cada grupo sería lo óptimo.
- Peana, en la que apoyar los modelos y girarlos para hacer las fotografías desde diferentes ángulos. También sería conveniente una por grupo.
- Un ordenador por grupo, no hace falta que sean profesionales pero convendría que fueran potentes, con que cumplan las especificaciones recomendadas por el fabricante del programa (Agisoft) sería suficiente. Esto es una memoria RAM no inferior a 4gb, un procesador de más de 2,5GHz, tarjeta gráfica de al menos 2Gb. Con esto sería suficiente para realizar el proceso en un tiempo óptimo y una calidad adecuada.
- Impresora tridimensional, con la adquisición de dos sería suficiente para un grupo de 30 niños. Estas impresoras, para poder realizar nuestro proceso, necesitarían una precisión de al menos 60 micras para poder reproducir fielmente el modelo escaneado.

Una vez tengamos todos estos materiales podríamos realizar nuestro curso.

### Material de la última fase.

El material para esta fase es el más básico:

- Material de impresión para los diplomas y el “premio” al mejor modelo escaneado.

### 8.3.2 Preparación del curso

Para la preparación del proyecto hemos elaborado de nuevo un diagrama de Gant en el que subdividimos las operaciones principales a realizar en el proyecto:

Hemos dividido el Gant en actividades que pueden ser elaboradas a la vez, la duración total que se ha fijado para la elaboración del proyecto es de un año y el periodo de ejecución y evaluación puede repetirse las veces que se quiera o que resulte necesario. Además a cada tarea le hemos asignado una duración en días y posteriormente colocado en el gráfico, se ha sido realistas a la vez que conservadores a la hora de asignar duraciones.

El curso tiene una duración de 3 días por lo que fácilmente se podría impartir un curso cada semana durante todas las semanas en las que haya solicitudes para realizarlo.

Hemos dividido las operaciones en las siguientes:

### **Primera fase. Selección de personal.**

En esta primera fase se elaborará el proceso de selección del personal que organizará e impartirá el curso. Estos serán encargados de solucionar todo problema que pudiera surgir en el tiempo que se realiza el proyecto.

Además hemos dividido la selección en suboperaciones intermedias: Abrir la convocatoria de plazas, analizar las solicitudes en base del CV y de las habilidades de cada candidato, proceso de evaluación de propuestas y selección.

Con estos pasos intermedios y con el tiempo necesario (un mes y una semana en total) seremos capaces de formar el equipo perfecto para desempeñar el papel.

### **Segunda fase. Formación del personal.**

Una vez hemos seleccionado nuestro personal con las bases técnico científicas necesarias para consolidar la base del conocimiento posterior, podemos realizar una serie de cursos de formación con los cuales enseñaremos a nuestro personal aspectos como la función que van a desempeñar, como lo harán y todo lo necesario para llevarla a cabo de una manera eficaz.

Para esto hemos marcado una duración del proceso de veinte días, suficiente para nuestro objetivo.

### **Tercera fase. Búsqueda de clientes.**

En esta fase la dirección facultativa del proyecto será la encargada de, mientras se están formando los monitores que impartirán el curso, buscar clientes que estén dispuestos a que sus alumnos reciban el curso. El objetivo será en su mayoría colegios públicos de la provincia de Valladolid.

Para ello hemos fijado la duración de dos meses, en estos dos meses se tratará personalmente y por escrito con las entidades explicando paso a paso lo que se realizará y las ventajas que supondrá para los niños que reciban éstas.

#### **Cuarta fase. Organización.**

En la cuarta fase el equipo se centrará en organizar cuando ejecutar los cursos, donde adquirir los recursos necesarios o todos los procesos burocráticos necesarios.

Para ello hemos puesto un plazo de un mes, este plazo se compartirá con la búsqueda de clientes ya que es un proceso que se puede complementar fácilmente. Una vez que la organización está a punto de acabar podemos empezar la siguiente fase.

#### **Quinta fase. Acomodación de laboratorio.**

Mientras ya tenemos algunos candidatos firmes a aceptar el curso y la organización está clara al noventa por ciento, parte del equipo se dedicará a adecuar el laboratorio para servir de infraestructuras. Hemos pensado en usar algún laboratorio de la Universidad De Valladolid en el que quepan 30 personas.

El plazo de ejecución de este periodo, entre pedir todo el material a los distribuidores y montarlo, es de un mes. Pensamos que es más que suficiente una vez que todo el proceso ha sido ya organizado.

#### **Sexta fase. Ejecución.**

En esta fase ya se desarrollará la parte principal de todo nuestro proyecto, ésta es la principal de todo el proceso y donde se dará lo mejor de cada aspecto técnico explicado en este proyecto.

El tiempo que hemos fijado invertir para impartir éste es el de cuatro meses, en los niños de diferentes colegios o asociaciones pasarán por el laboratorio donde se impartirá éste.

#### **Séptima fase. Evaluación de resultados.**

En esta fase se evaluarán los aspectos aprendidos por los niños y la opinión de sus profesores con respecto a lo aprendido por ellos. Para ello se elaborarán una serie de encuestas que serán respondidas por todos ellos.

El proceso general está dividido en dos subprocesos, la distribución y elaboración de las encuestas y el análisis de éstas. Para ello hemos asignado un tiempo de una quincena para cada uno, tiempo suficiente para analizar fallos y corregirlos en próximas veces. Esto servirá para evaluar el proceso de una manera eficaz.

Hemos creado un gráfico basándonos en los recursos que necesita cada tarea, las actividades a llevar a cabo en cada una de estas tareas, y planificando la disponibilidad de recursos en todo ese tiempo. Esto es clave para la correcta realización del proyecto, un buen proyecto podría no funcionar si la organización no fuera buena.

## 8.4 RECURSOS NECESARIOS

Una vez hemos evaluado las necesidades y los tiempos de ejecución podemos hablar de términos económicos, el precio que tendría el desarrollar el proyecto tangiblemente en el día de hoy. Para ello debemos hablar de:

- Material didáctico: Cada uno de los instrumentos que se usarán para enseñar a los niños los aspectos ya descritos.
- Salarial: El salario que habría que pagar a cada uno de los integrantes del equipo de ejecución.
- Infraestructuras: Donde ejecutaríamos todo el proceso y almacenaríamos el utillaje.
- Formación: La formación que daríamos a los trabajadores.

Estos aspectos deben de ser evaluados cuantitativamente, y sobretodo de una forma realista para evitar sorpresas o incluso tener que cancelar el proyecto por falta de fondos.

Por lo tanto analizaremos el coste de cada uno de estos apartados:

### 8.4.1 Material didáctico.

Se ha realizado una tabla en la que tratamos el tema económico de este primer apartado, en ella dividimos por columnas en la que escribimos el número identificador, el nombre de el medio a adquirir, la función que desempeñará en el proceso, las características mínimas que debe tener el mismo, el precio que se estima que valdría y el número de unidades. Por lo tanto:

Identificador	Nombre	Función	Característica	Precio	Unidades
1	Cámara de fotos	Servir de apoyo y realizar demostraciones.	Distancia focal de 50mm, buena autonomía, buena optica, posibilidad de disparo en raw.	100€	1
2	Ordenador	Realizar todo el proceso creativo. Así como presentaciones y organización.	Ram 4gb. Procesador 2,5Ghz. Tarjeta gráfica 2gb.	400€	5
3	Proyector	Proyector para exposiciones y exposición de objetivos.	Resolución 1024x768. Luminosidad 3200. Contraste 15000:1	300€	1
4	Impresora 3d	Imprimir modelos.	Vel mínima: 50mm/seg. Resolución: 60 micras. Materiales: PLA,HIPS,Fi-laFlex.	500€	2
5	Estudio	Crear ambiente idóneo.	Croma verde. Peana giratoria.	30€	5
6	Material de impresión	Imprimir en 3d y 2d.	PLA. Papel/folletos.	30€	2

El total de dinero a invertir en el material didáctico es el de **3610 €**, con este dinero gastado en material seríamos capaces de impartir el curso de una manera optima.

### 8.4.2 Gastos salariales.

Este apartado de gastos engloba todo lo relacionado con los gastos salariales, es decir, el dinero que ha de ser invertido en cada una de las personas que intervendrán en el proceso.

Para ello calculamos un número de horas que trabajara cada uno de ellos y los euros por hora que obtendrán de salario.

Para el desarrollo del proceso se va a necesitar un total de 9 personas en los que dividiremos en dos supervisores y 7 monitores. Los dos primeros tendrán más responsabilidades en el proceso y serán los encargados de funciones como la comunicación o la formación de los siete segundos.

La idea es que los dos supervisores sean personas tituladas en Ingeniería y con conocimientos relacionados con todo el proceso y que el resto sean alumnos de la uva con también conocimientos básicos en la materia, con una formación suplementaria alcanzarían el nivel de conocimientos y habilidades suficientes para impartir el curso aprendiendo al mismo tiempo que enseñan. Además la carga de trabajo de los segundos será menor.

Para empezar vamos a estudiar los días totales que suponen cada uno de los procesos basándonos en diagrama de Gant que hemos desarrollado anteriormente:

1. **Selección de personal:** Suponen un total de 37 días. En esta fase sólo tomarán parte los supervisores.
2. **Formación:** El curso será impartido por los supervisores también y se desarrollará en un periodo de 20 días en total.
3. **Búsqueda de clientes:** La búsqueda de clientes supondrá dos meses de trabajo (60 días). En ella intervendrán los supervisores principalmente y en menor medida los monitores.
4. **Acomodación de laboratorio:** Para ello necesitaremos un mes para realizarlo correctamente, en este periodo el taller será adecuado por los 7 monitores en turnos.
5. **Organización:** Con una duración de treinta días y ejecutada por los dos organizadores principales.
6. **Ejecución:** En la ejecución se precisará el trabajo de todo el grupo menos dos monitores que se irán turnando a lo largo de los cuatro meses de ejecución.
7. **Evaluación de resultados:** Con una duración total de un mes, intervendrán los dos organizadores principales y en menor medida los monitores.

Una vez hemos definido las actividades en las que intervendrán cada uno de los trabajadores podemos estudiar la carga de trabajo en horas que supondría en cada uno un proyecto a un año, en cada una de sus fases. Para ello elaboramos de nuevo una tabla de resumen salarial de cada uno de los tipos de puestos que tenemos:

ORGANIZADORES (tiempo total del proceso)	Traducido en días de carga de trabajo.
Selección de personal	12 días
Formación	15 días
Búsqueda de clientes	40 días
Acomodación de laboratorio	5 días
Organización	20 días
Ejecución	75 días
Evaluación de resultados	20 días
<b>total</b>	187 días x 4 horas al día x 12,5€/hora = 9350€ en un periodo de un año

9350 € x 2 organizadores = **18.700 €**

ORGANIZADORES (tiempo total del proceso)	Traducido en días de carga de trabajo.
Selección de personal	-
Formación	20 días
Búsqueda de clientes	-
Acomodación de laboratorio	10 días
Organización	10 días
Ejecución	50 días
Evaluación de resultados	5 días
<b>total</b>	95 días x 4 horas al día x 10 €/hora = 3800€ en un periodo de un año

3800 € x 7 Monitores = **26.600€**

Para el desarrollo de toda esta actividad necesitaremos una cantidad de **45.300€** dedicada exclusivamente a el pago de nóminas a cada uno de los trabajadores del proyecto en el proceso de un año entero de realización. De esta forma se realiza un planteamiento realista de los gastos que supondría realizarlo de una forma correcta suponiendo que cada uno de los días laborables de ambos trabajarían una media jornada.

Se ha pensado que las horas de trabajo sean a media jornada para que los trabajadores puedan compaginar el trabajo con estudios o algún tipo de formación complementaria, ya que se pretende contar con estudiantes de la universidad de Valladolid para optar a trabajar en el puesto de monitores del proceso.





## 9. CONCLUSIONES

Podríamos resumir en una frase el proyecto como el proceso por el cual hemos transformado la idea de querer fomentar la tecnología en edad temprana en algo aplicable; nuestro curso de escaneado, animación e impresión tridimensional.

Desde el primer momento en el que se pensó que tipo de proyecto queríamos realizar teníamos claras varias ideas; Queríamos proyectar algo innovador en cuanto a herramientas de uso y de resultado, un proyecto que nos supusiese un reto a realizar con los medios que teníamos y que al mismo tiempo aportase algo real, aplicable, que no se quedase en un mero documento archivado. Después de considerar varias opciones optamos por elegir la temática de escaneado tridimensional, animación e impresión. Estos tres campos están sufriendo un crecimiento exponencial y las posibilidades de cada uno de ellos aumentan potencialmente cuando se combinan entre ellos.

Llegando a esta conclusión construimos los cimientos de nuestro proyecto.

Para ir entrando en materia comenzamos con una revisión del estado del arte. Un estudio intensivo de cada uno de los modos de escaneado e impresión tridimensional. Esta revisión al estado del arte ha servido tanto como para conocer bien las técnicas que se están usando actualmente como para saber los sorprendentes límites que pueden llegar a alcanzar con el uso de estas tecnologías hoy en día.

Además de esto hemos comprendido los aspectos técnicos que diferencian nuestro proceso del resto, así como las limitaciones que se nos iban a presentar y los posibles impedimentos que podrían surgir.

El estudio de todo el proceso tiene estructura circular que empieza con el escaneado realizado por medio de fotografías y se cierra con la impresión en 3d del mismo modelo. Cabe destacar la calidad de los resultados en cada uno de los procesos, los modelos escaneados tridimensionalmente son excelentes y debido a este resultado tan satisfactorio podrían ser usados para diferentes usos de representación o manipulación 3D. Al cerrar el círculo con las impresiones 3D podemos darnos cuenta del abanico de opciones que se le podría dar al uso combinado de las tecnologías de escaneado fotogramétrico e impresión en 3d.

Haciendo autocrítica el proyecto realizado con los recursos que se han tenido ha sido muy aceptable, con un resultado que finalmente con los recursos y la inversión descrita en la memoria podría ser llevado a cabo perfectamente enseñando a unos doscientos niños en cada periodo de ejecución.

El resultado de todo este proceso ha resultado en algo tangible tanto en forma de presentación en la página web del yacimiento arqueológico Pintia (<http://www.pintia vaccea.es/modelos3d.php?pieza=5>) como en el proyecto educativo para niños en temprana edad. Para poder realizar este último se ha creado en forma y formato el proyecto para que encaje en los requisitos que pide la convocatoria de FECYT. De esta forma podríamos obtener la financiación necesaria.

Durante la realización del curso de escaneado los niños aprenderán aspectos técnicos que harán despertar en ellos su parte científico-técnica alimentando además su creatividad. Se ha abstraído todo el proceso técnico de forma que sea fácilmente asimilable, así como queda recogido en este proyecto.

# BIBLIOGRAFÍA



## 10. BIBLIOGRAFÍA

Manual of Photogrammetry. Ed. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. LOWE, D., Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. Computer Science Department, 2003, University British Columbia, Vancouver (Canada).

Speedup-UP Robust Features (SURF). Revista Computer Vision and Image Understanding, vol. 110, 2009, BAY, H., ESSA, A., TUYTELAARS, T.; VAN GOOL, L.

Handbook of Computer Vision and Applications. Volume 1: Sensors and Imaging, Chap. 17-21 Academic Press, 1999, San Diego, Editors B. Jähne, H. Haußecker and P. Geißler.

Airborne laser scanning: basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing (54), 1999, Baltsavias.

Computing consistent normals and colors from photometric data 3-D Digital Imaging and Modeling. Proceedings Second International Conference on 3D digital imaging and modelling, , 1999, Canada, Rushmeier, H., Bernardini.

Image-Laser Fusion for In Situ 3D Modeling of Complex Environments: A 4D Panoramic-Driven Approach Telecom ParisTech CNRS URA 820 - TSI Dept. Institut Geographique National - Laboratoire MATIS France, Daniela Craciun, Nicolas Papanoditis and Francis Schmitt.

Robot Vision. The MIT Press, McGraw-Hill Book Company, Cambridge 1986, Horn, B.K.P.

3D Photography Using Shadows. Conf. Proceeding of EUSIPCO, 1998, Bouguet, J.-Y., Perona, Island of Rhodes.

3D vision based on the combination of Gray code and phase phase shift light projection. 1999. Sansoni, G., Carocci, M., Rodella.

Fundamentos de informática gráfica. S.L. EDICIONES CEYSA. CANO PINA. 2003, David Escudero, Valladolid.

Principles of interactive multimedia, Cambridge, 2012, Mark Elsom-cook.

Introduction to Modern Photogrammetry, 2013, Edward M. Mikhail (Author), James S. Bethel (Author), J. Chris McGlone (Author).

[www.r3ald.com](http://www.r3ald.com)

[http://www10.mcadcafe.com/nbc/articles/view\\_article.php?articleid=214549](http://www10.mcadcafe.com/nbc/articles/view_article.php?articleid=214549)

<http://www.photogrammetry.com/links.htm>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Photogrammetry>

<http://www.geodetic.com/v-stars/what-is-photogrammetry.aspx>

<http://www.3dsystems.com/shop/sense>

<http://www.fecyt.es/>

<https://www.3dhubs.com/best-3d-printer-guide>

<http://www.makerbot.com/>

<http://www.bq.com/es/hephestos-2>

# APÉNDICE



## 11. APÉNDICE

La inversión para poder realizar el proyecto es bastante grande por lo que hemos fijado como objetivo desde el principio presentar el proyecto a la convocatoria que abre la FECYT cada año. La Fundación Española para la Ciencia y Tecnología, FECYT, es una fundación del sector público que depende del Ministerio de Economía y Competitividad. Cuya misión es impulsar la ciencia, la tecnología e innovación, promover su integración y acercamiento a la Sociedad y dar respuesta a las necesidades del Sistema Español de Ciencia, Tecnología y Empresa (SECTE).

Creada en 2001, la fundación se ha consolidado como el principal impulsor nacional de la difusión de la ciencia en España, en línea con el Plan Estatal de Investigación Científica, Técnica y de Innovación 2013-2016 que tiene entre sus objetivos incrementar la cultura científica, tecnológica e innovadora de la sociedad española, así como incrementar la difusión de los resultados de investigación científico-técnica y de la innovación financiados con fondos públicos. FECYT trabaja para dar a conocer los proyectos científicos, las personas, los descubrimientos, la historia, los instrumentos... en definitiva, la ciencia que se desarrolla en España, con el fin último de aumentar el interés de la sociedad española por la misma y consecuentemente, el conocimiento, la valoración y la participación del ciudadano español en la ciencia.

La FECYT abre todo los años una convocatoria en la que hay diferentes apartados en los que pueden participar investigadores mediante alguna institución pública, en mi caso lo haría a través de la Universidad de Valladolid.

El apartado al que se pretende presentar la candidatura es a la línea de actuación llamada "Creatividad y vocaciones científicas" de Modalidad 2.1. que trata del fomento de la creatividad y las vocaciones científicas. Proyectos cuyo objetivo sea promover las vocaciones científicas entre escolares y jóvenes no universitarios mediante el contacto directo con el método y la práctica investigadora. Fomentando la puesta en valor de la utilidad social y económica de la ciencia y tecnología y su atractivo como profesión.

Tendrán mayores posibilidades para la financiación proyectos cuyo objetivo sea fomentar la creatividad en los más jóvenes (como en nuestro caso), permitiéndoles desarrollar habilidades y valores propios de una generación preparada para el cambio y las nuevas ideas, y a la asunción del riesgo y el error como parte del proceso de aprendizaje. Dentro de esta modalidad se financiarán proyectos que coordinen a nivel estatal iniciativas ya desarrolladas a nivel regional y local, y con objetivos y dinámicas similares, tales como concursos, certámenes, olimpiadas, cursos.

Una vez que nos hemos cerciorado que el proyecto cumple con todas las bases necesarias para su candidatura procedemos a la presentación del proyecto para la convocatoria de este año 2016, se adjunta el modelo de solicitud:





