



LA ESCULTURA DIGITAL EL NUEVO CINCEL DE LA ESCULTURA

TRABAJO FIN DE GRADO

BBAA SEVILLA

Curso: 2019/2020

Autor: Alfonso Jesús Martínez Perales





TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN BELLAS ARTES- UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CURSO 2019/2020

LA ESCULTURA DIGITAL
EL NUEVO CINCEL DE LA ESCULTURA

AUTOR: ALFONSO JESÚS MARTÍNEZ PERALES



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN BELLAS ARTES-UNIVERSIDAD DE SEVILLA

CURSO 2016-2020

TITULO:

La escultura Digital - El nuevo cincel de la escultura

AUTOR:

Alfonso Jesús Martínez Perales

TUTOR:

Guillermo Martínez Salazar

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN

1.1 JUSTIFICACIÓN

1.2 OBJETIVOS

2. MARCO TEÓRICO – ARTÍSTICO

2.1 CLASIFICACIÓN Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN LA ESCULTURA

2.1.1 ¿Qué es la escultura? Una breve aproximación a su evolución en la historia.

2.1.2 Clasificación de los métodos procesuales en la escultura

- Técnicas Directas e Indirectas
- Técnicas Aditivas
- Técnicas Sustractivas
- Técnicas de Reproducción
- Técnicas de Construcción y ensamblaje

2.2 LA ESCULTURA DIGITAL EN EL SIGLO XXI

2.2.1 El scanner 3D

2.2.2 Modelado digital 3D

2.2.3 Traslado volumétrico: de lo digital a lo físico.

3. CONCLUSIONES

4. BIBLIOGRAFÍA – REFERENCIAS ELECTRÓNICAS



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Con este trabajo fin de grado, mi propósito es hacer un recorrido sobre la evolución de las herramientas tecnológicas en comparación con los procedimientos escultóricos tradicionales.

El nuevo cincel de la escultura, aborda todos los procesos de los diferentes procedimientos escultóricos. Comenzaremos con los estadios de la escultura, proseguiremos comparando las técnicas directas e indirectas, y en un último bloque los medios tecnológicos actuales para digitalizar una obra y finalmente obtenerla en un formato físico.

Se mostrarán los distintos mecanismos que existen para los procesos aditivos y sustractivos, a partir de un mapa conceptual dividiremos cuales son las técnicas directas e indirectas.

Además, realizaremos un trayecto por todos los procesos tradicionales, donde compararemos el modelado aditivo clásico con arcilla y el modelado digital por medio de un software. También mostraré un recorrido de los diferentes instrumentos que contamos para las técnicas sustractivas.

Contemplaremos en distintos apartados, con que medios tecnológicos contamos en la actualidad. Como son el scanner, la fotogrametría y el modelado 3D, con este último nos permitirá crear una obra digital a partir de un software.

Finalmente veremos cómo conseguir materializar una obra en un formato físico a partir de nuestros modelos digitalizados, como será posible transportarlos a una maquina CNC o a una impresión 3D, con el fin de crear un vínculo entre los sistemas tradicionales y actuales en la escultura.

1.1 JUSTIFICACIÓN

El interés por este trabajo proviene de los años de carrera ya cursados en los que he ido aprendiendo y conociendo los procesos de la creación en escultura.

Las nuevas tecnologías en apoyo a la creación artística nos ofrece un nuevo campo de actuación novedoso y que lo podemos entender como las herramientas al servicio de la escultura del siglo XXI.

La convivencia de las técnicas artísticas tradicionales con los nuevos medios digitales, estos últimos se convierten en un aporte que amplía nuestros recursos a la hora de materializar una escultura.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer a todos los que me han ayudado, aportando un concepto y una visión mejor sobre los procedimientos escultóricos.

En primer lugar, al tutor Guillermo Martínez Salazar por su implicación y apoyo para abordar este trabajo, además de todo lo que me ha enseñado en el ámbito de la escultura.

Destacar también el apoyo de mis compañeros José Miguel Sánchez Rodríguez por mostrarme sus conocimientos en las técnicas escultóricas y sobre el modelado en 3D, también quiero agradecer a Israel Tirado García por su investigación sobre la fotogrametría, que me ha ayudado para complementar en este trabajo. Además, de varios profesores como Alberto German Romero Franco y Juan Manuel Miñarro.

1.2 OBJETIVOS

- Analizar los procesos y técnicas escultóricas tradicionales y su evolución.
- Mostrar el proceso evolutivo en relación al modelado 3D y su reproducción mecanizada a través del CNC e impresión.



MARCO TEORICO - ARTÍSTICO

2.1 CLASIFICACIÓN Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN LA ESCULTURA

2.1.1 ¿QUÉ ES LA ESCULTURA? UNA BREVE APROXIMACIÓN A SU EVOLUCIÓN EN LA HISTORIA.

La definición de escultura según la Real Academia Española.

“RAE: El arte de modelar, tallar, o esculpir en algunos materiales figuras en tres dimensiones” (Real Academia Española, 2014)

El término de escultura proviene del latín (sculptura) el arte de esculpir. Es la creación de formas que ocupan un espacio volumétrico. Según la forma, se pueden diferenciar en dos tipologías que son bulto redondo y el relieve.

El bulto redondo es una forma en el espacio volumétrico que se comprende de múltiples vistas. Se puede entender por ejemplo en la figura humana formas como los retratos, torsos, fragmentos o figuras completas.

Por otra parte, en el relieve la forma es una percepción de bulto redondo en relación del objeto y el observador, adoptándose la forma a un plano, leyes arquitectónicas o cilíndricas (Ej. La columna de trajano). El volumen en las formas se consigue con la sensación de la profundidad con la se encuentren adosada. En el relieve conocemos diferentes tipologías como son; El bajo, medio o alto relieve, además del relieve en hueco o medio bulto.

La escultura ha contado con una gran cantidad de periodos artísticos, tendencias y estilos a lo largo de la historia realizándose con diferentes procedimientos.

Los procedimientos escultóricos constan de dos técnicas, estas se diferencian cuando el artista utiliza diferentes medios de intervención sobre un material para conformar una obra, clasificándose en técnicas directas e indirectas.

Podemos decir que las técnicas directas son aquellas formas que el artista va conformando directamente sobre una obra para conseguir un resultado final. Como son el modelado, la talla en madera o piedra, repujado, etc. El escultor va realizando la obra dejando la huella e impronta de su trabajo en el material.

A contrario las técnicas indirectas son aquellas en la que el artista realiza un boceto en un material y sobre éste se apoya en diferentes instrumentos o máquinas para copiar y transportar a otro material diferente. Los métodos conocidos son el vaciado, sacado de puntos o sistemas tecnológicos como es el modelado en 3D, esta forma también es indirecto y se explica en un próximo bloque.

Además, también se diferencian los procesos según la técnica a realizar en los siguientes estadios.

El Modelado

La Talla

La Construcción

El primer estadio es el **Modelado**, es una *técnica Aditiva* que consiste en dar forma a un material moldeable con un volumen deseado. Las características de estos materiales son que se puede añadir o quitar material cuando sea necesario a medida que se van trabajando.

Tabla 1
El estadio del modelado

Categoría	Forma	Proceso	Volumen	Técnica	Procedimiento	Resultado
Modelado Adictivo	Boceto	Directo	Forma general	Ahuecado	Cocción	Pieza definitiva
		Estructura	Volumen construido	Vaciado	Positivado	

La Tabla 1 muestra los procesos del modelado – Técnica Aditiva: Autoría Martínez, Guillermo

Cuando se realiza un modelado en arcilla se comienza con la elaboración de un boceto, éste se puede proceder directamente o con una estructura como podemos observar en la (**tabla 1**).

Según los pasos a seguir en un modelado directo es que, una vez finalizado la obra es necesario un ahuecado de la pieza para eliminar humedad y tensiones, cuando haya perdido toda la humedad se procede a una cocción en un horno a altas temperaturas para obtener una pieza sólida definitiva. Esta forma sería una técnica directa como anteriormente explicado.

Por lo contrario, si para elaborar la obra utilizamos una estructura interior, se tiene que construir el volumen deseado siempre inferior a la forma, para modelar sobre ésta y realizar la obra completa. Como se puede observar en la **(tabla 1)**, la diferencia de proceder con una estructura es que para obtener la obra definitiva utilizamos una técnica indirecta que es la elaboración de un molde o vaciado, que sirve para consolidar en un material estable la forma inicial que habíamos modelado. Las reproducciones pueden ser en materiales como la escayola, el cemento o diferentes resinas.

Sobre el aprendizaje del modelado en el entorno de las bellas artes se realiza a través de la copia. Para ello se utilizan esculturas de modelos clásicos como referencia, como se puede observar en la **(figura 1)**.



(Fig. 1) Modelado en arcilla el esclavo de Miguel Ángel - Imagen de autor

En base al método del modelado explicado, se añade o se complementa en el siglo XX una nueva forma tecnológica que algunos escultores están estudiando para realizar sus obras, se trata del modelado 3D con diferentes softwares.

El segundo itinerario es la **Talla** una *técnica sustractiva*, se conoce como la eliminación de material hasta elaborar o encontrar la forma deseada dentro del embón o sólido capaz, históricamente se han utilizado materiales nobles como son la piedra y la madera.

“Según los tratadistas italianos del Renacimiento (Alberti, Leonardo, Miguel Ángel), un escultor es aquel que quita materia de un bloque hasta obtener una figura” (Asociación cultural, 2020)

En referencia a la cita anterior, el escultor es reconocido por la talla la técnica se procede a desglosar los pasos a seguir en la talla como se puede observar en la **(Tabla 2)**.

Tabla 2
El estadio de la talla

Categoría	Forma	Talla	Técnica	Terminación
		Directo	Desbaste	Lijado
Talla (Sustracción)	Boceto	Asistida	Modelado Previo Físico	Plantillas Compases Puntómetro Pantógrafo
			Modelo 3D	CNC

La Tabla 2 los procesos de la talla – Técnica sustractiva: Autoría Martínez, Guillermo

La talla es una técnica sustractiva que precisa de un modelo previo (Boceto) o idea a resolver en cuanto a realizar una obra, dentro del proceso de talla observamos dos líneas diferenciadas.

Una de las técnicas es la talla directa que no requiere o necesita ningún modelo previo ningún tipo de referencia física en el volumen para proceder a la talla y su proceso de trabajo va a ser un desbaste directo y una terminación superficial. Esta técnica suele utilizarse como adiestramiento y primer contacto con el material, siendo característico la muestra del estadio de la impronta y de los golpes en el trabajo de las herramientas.

En Cambio, la talla asistida sí requiere un modelo previo para utilizar plantillas, compases, puntómetro, pantógrafo o CNC¹. Es necesario un modelo físico para las primeras y un modelo digital para la última

Esta forma de talla asistida también se comete con un estudio y una construcción de un embón o sólido capaz, conformando el volumen necesario para proceder con la talla, este volumen siempre debe ser mayor que la disposición del boceto o modelo previo.

Los bocetos son necesarios para los métodos procesuales, ya que sirven de apoyo para trasportar en otro material, siempre que estén resueltos en un material estable, para poder manipularlo y sean resistentes.

Todos estos métodos procesuales se basan en un modelo previo en los que todos ellos se utilizan Proyecciones Ortogonales

La talla asistida se puede ordenar según los métodos procesuales.

- Plantillas
- Método de 3 compases
- Puntómetro manual
- Pantógrafo
- Cnc

Las plantillas

Se componen de unos dibujos elaborados y recortados en papel, para luego ser apoyados en las vistas ortogonales, que son el alzado, la planta y los perfiles. Con estas plantillas se consigue construir el bloque y posteriormente tallarlo ajustando la información proyectada en diferencia de altura, anchura y profundidad.

Método de los 3 compases

Este método consta de 3 compases, para localizar un punto en el espacio con la determinación de la altura, anchura y profundidad que se consigue con la concreción de cada uno de ellos. La ventaja es que se puede trabajar la técnica al ángulo permitiendo cambiar las escalas, aunque es un sistema que necesita mucho tiempo para poder precisar los puntos.

¹ Mecanización por control numérico computadora

El puntómetro manual

Consta de una cruceta que se apoya en tres puntos, tiene una aguja con la que se va tomando referencias en el modelo. Esta misma herramienta se sitúa sobre el embón para localizar el mismo punto, con lo cual se va eliminando material hasta que la aguja se encuentre al mismo nivel que la referencia. Localizando puntos para poder rodear toda la forma.

El pantógrafo

Es un mecanismo que se ha utilizado en la ampliación y reducción de escala en el dibujo, pero esta herramienta se ha adaptado a una máquina eléctrica que maneja un operario, donde en un lado se encuentra un palpador que el operario va apoyando sobre un modelo rígido y en el otro lado se encuentra una fresadora donde copia y debasta fielmente la misma forma sobre el embón. Este sistema requiere la mano final del artista ya que no dispone de tanto detalle y definición.

CNC

Es una máquina parecida al pantógrafo, pero ésta no requiere de un operario, sino que es controlada con un sistema informático que debasta la figura en 3 ejes, e incluso es posible con un brazo mecanizado el debaste en 5 ejes diferentes. **(Figura 2)** Para esta técnica es necesario un modelo escaneado o un modelado directo en 3D con un software. Este método es desarrollado en un próximo bloque.



(Fig. 2) – Mecanizado CNC 5 ejes – Imagen de Inductec solid

Por último, estadio tenemos la **construcción**, este proceso abarca diferentes métodos de construcción y con diversos materiales, como pueden ser el metal, la madera, cartón, etc. En este procedimiento se encuentran técnicas aditivas, sustractivas y de reproducción que en el próximo capítulo se desglosa cada una de ellas.

CONSTRUCCIÓN	Boceto	Directa	Según material	Metal	Soldadura	Plegado	Siluetado	Ensamblaje	Tratamiento superficial
				Madera	Embonado	Siluetado	Ensamblaje	Corte	Tratamiento superficial
	Estructura	Cartón		Ensamblaje	Pegado	Siluetado	Deformación	Tratamiento superficial	
		Mixto		Técnicas aditivas	Técnicas sustractivas	Moldeo. Repetición	Positivo Negativo	Tratamiento superficial	

(Fig. 3): Proceso de trabajo (Teórica de técnicas – Guillermo Martínez Salazar)

En base al esquema de la **(figura 3)** podemos observar el proceso que se puede llevar a cabo a la hora de construir una obra, según en el material y técnica que se valla a utilizar.

Como toda técnica siempre es necesario la elaboración de un boceto o maqueta. Pensando el mejor método según en el material en el que se disponga a desarrollar la obra. De tal manera como hemos visto anteriormente en el estadio del modelado, una vez disponemos del boceto se puede elaborar la obra directamente o con la ayuda de una estructura para mantener los materiales.

Los materiales que mejor se pueden trabajar directamente son el metal o la madera por su composición podemos soldar o embonar (unir) para construir un volumen o bloque. En cambio, el cartón o diversos materiales mixtos son necesarios una estructura para poder mantenerlos o traspasarlos a un material más sólido, como puede ser con la técnica del vaciado (moldes y reproducción).

También podemos hablar de construcción cuando se realizan montajes efímeros de obras que se elaboran para un espacio, lugar y determinado tiempo.



MÉTODOS PROCESUALES

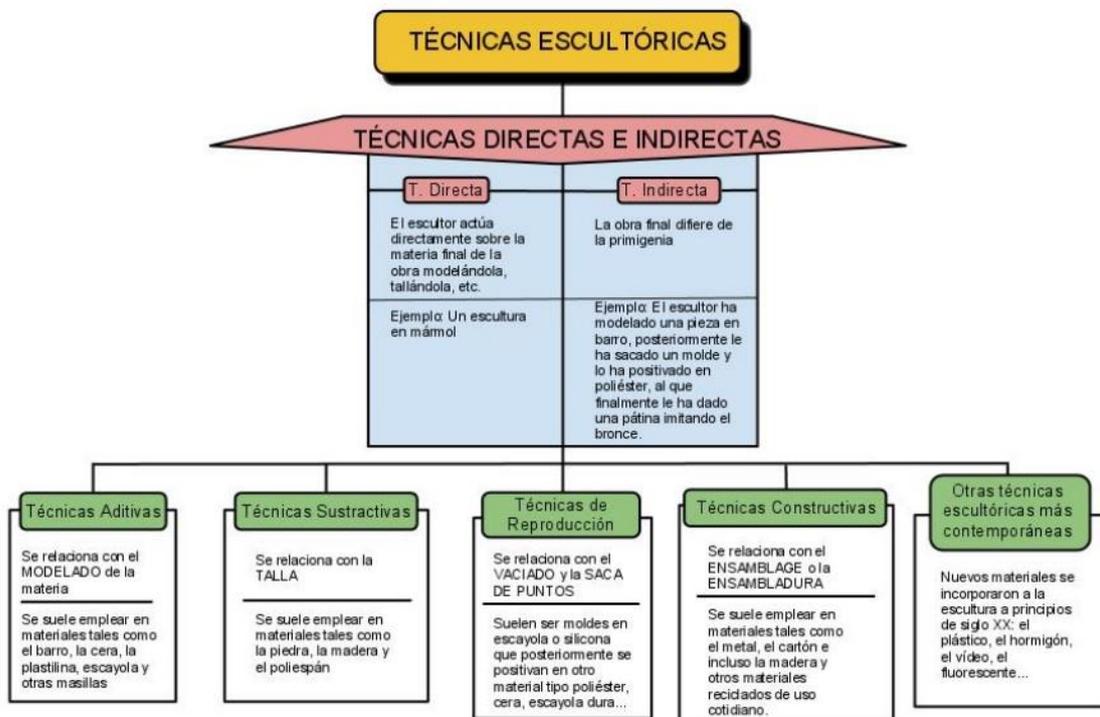
2.1.2 Clasificación de los métodos procesuales en la escultura

En éste apartado realizaremos una clasificación de los métodos procesuales con los utensilios y técnicas empleadas históricamente en la escultura, incorporando los nuevos avances tecnológicos y herramientas controladas digitalmente, que se encuentran aplicando a nuestros tiempos en el ámbito de la escultura, como proceso para producir una obra artística.

A lo largo de la historia haciendo referencia a un libro en concreto cómo explica *Rudolf Wittkower* los principios de la *Escultura y sus procesos*. Los elementos aplicados por los artistas en cada itinerario, se pretende hacer un análisis sobre la evolución de las herramientas tradicionales en cuanto su evolución a lo largo de la historia y como estas repercuten a las nuevas tecnologías.

Técnicas Directas e Indirectas

En este apartado se hace una distinción entre cuales son las técnicas directas e indirectas en el ámbito artístico en la actualidad.



(Fig. 4) Mapa conceptual de técnicas escultóricas (Reyes, 2020)-

Como se puede observar en el mapa conceptual (**figura 4**) la diferencia de la técnica directa es aquella en la que el artista conforma directamente sobre un material definitivo. En cambio, la técnica indirecta la obra es indiferente de la primera concepción de ésta ya que se muestra o sirve como apoyo un modelo o boceto para trasportar a otro material definitivo.

En la técnica Directa se realiza en materiales normalmente nobles como suelen ser madera o piedra, pero también podemos encontrar forjadores, el modelado directo en arcilla, o el vidrio. Son materiales que se proceden dando forma directamente a la obra concluyéndola como definitiva.

Si bien, si se obtienen formas mediante moldes, máquinas o aparatos de apoyo para traspasar un boceto o idea a un material definitivo, a esto lo definimos como técnica indirecta. Hay una nueva modalidad tecnológica, que es el modelado en 3D con un software que se incluye en la técnica indirecta ya que es necesario traspasar este modelo o malla de puntos a un material definitivo, para obtenerlo físicamente.

- **Técnicas Aditivas**

Es una técnica que se realiza añadiendo material directamente para realizar una forma con un volumen deseado.

Como fue explicado anteriormente en el apartado 2.1.1 esta técnica se relaciona con *el modelado*, como se puede observar en la (**Figura 1**) para su empleo se utiliza un material maleable que permite añadir o quitar volumen en el procedimiento.

Los materiales utilizados por lo general, son arcilla, plastilina, cera, escayola, etc. El más utilizado a lo largo de la historia es la arcilla, ya que la calidad plástica de este material y el poder utilizarlo con las manos directamente, hace al escultor que este material sea el más ideal para la elaboración de una obra o idea como boceto.

También se incluye en las técnicas aditivas la modalidad tecnológica de la impresión 3D, ya que ésta se apoya en materiales plásticos que se van fundiendo para añadir poco a poco en la construcción en una obra física.

- **Técnicas Sustractivas**

La técnica sustractiva es la forma en la que el artista sustrae o elimina material de un embón o sólido capaz para dar forma y elaborar un volumen deseado.

Este procedimiento se incluye dentro de las técnicas directas, siendo el método relacionado con el estadio anterior explicado de “La talla” esta forma de atacar o proceder con un material directamente es conocido con la técnica sustractiva, como se puede observar por ejemplo en la (**figura 5**) se está sustrayendo madera de un sólido capaz.

Los materiales más utilizados para este proceso son la madera, piedra, el marfil o el polietileno expandido.



(Fig. 5) Talla Directa sobre embón de madera – Imagen de Autor

- **Técnicas de Reproducción**

Dentro de las técnicas indirectas encontramos *el vaciado*, como técnica de reproducción en escultura. Para este procedimiento es necesario un modelo previo, como se puede observar en la (**figura 6**) para poder realizar una o varias reproducciones de la obra utilizando el método del vaciado, sacados de puntos o mecanizado de una máquina, consiguiendo la misma forma del modelo previo en otro material definitivo.

En base a la elaboración de este trabajo teórico, la evolución en cuanto a las técnicas de reproducción actualmente se encuentran nuevas tecnologías, como pueden ser el control numérico (CNC) o la impresión 3D ya que este método también es productivo para obtener una o varias copias de una obra.



(Fig. 6) Molde a la italiana realizado sobre un busto femenino -Imagen de Autor

- **Técnicas de Construcción o Ensamblaje**

La construcción es un método conocido con la unión o ensamblaje de piezas según el material, puede ser el encolado en madera, por ejemplo, o la soldadura en el metal, o también construyendo un bloque en poliestireno expandido y modelando con escayola directa como se puede observar en la (figura 7).



(Fig. 7) Construcción de un gallo con poliestireno y escayola. -Imagen de Autor

2.2 LA ESCULTURA DIGITAL EN EL SIGLO XXI

A continuación, en este apartado vamos a mostrar el avance tecnológico aplicado a los procedimientos escultóricos y las herramientas actuales que están disponibles para los escultores del siglo XXI. Como indica el profesor Enrique Caetano en su libro “Digitalización y Escultura” estas nuevas tecnologías crean la incertidumbre y el temor por comprender procesos nuevos, ya que la evolución cada vez es más progresiva.

“Tratamos a las llamadas Nuevas Tecnologías, con el respeto, la admiración, la incertidumbre y en muchos casos, el temor, de quien nos vaya a asistir cual Panacea, sin pretensión alguna de comprender los procesos o mecanismos que las explican. Sin embargo, la evolución de éstas es tan rápida, que lo que hace diez años fue nuevo, ahora está obsoleto, o en el mejor de los casos, parece tan natural como si siempre hubiésemos contado con ello. No debemos esperar más. La sociedad tecnológica es ya una realidad y lo seguirá siendo en el futuro, por lo que el grandilocuente concepto de nuevas tecnologías, debiéramos conmutarlo por el de tecnologías contemporáneas, incorporándolo con naturalidad a nuestros quehaceres tanto personales como profesionales, renunciando, por tanto, a complejos tecnofóbicos” (Caetano, 2007, pág. 23)

La escultura digital la estudiaremos en tres bloques según los avances y las herramientas tecnológicas para elaborar una obra, contando con los métodos digitales y físicos.

Comenzaremos por la tecnología de los scanner y sus aplicaciones, el siguiente apartado será el modelado 3D y sus aplicaciones, relacionando el objeto elaborado por el scanner o el modelado directo digital con un software. Terminaremos por los métodos de reproducción tecnológicos actuales, para obtener una obra físicamente.



LA ESCULTURA DIGITAL

2.2.1 EL SCANNER 3D

Dentro de los procedimientos de análisis y volúmenes en la escultura encontramos como las nuevas tecnologías el scanner. Este es un dispositivo electrónico que se crea en la primera década de los sesenta y que tiene como objetivo recoger o registrar los datos volumétricos de una obra tridimensional.

El primer prototipo de scanner utilizó cámaras, luces y proyectores, para reunir información acerca de la geometría y localizar puntos en el espacio. Esta tecnología, se encarga de generar una malla tridimensional que se establece por puntos, que se generan planos los cuales repercuten en la composición del volumen exacto al elemento que se analiza.

Según el funcionamiento del scanner existen dos tipos, pueden ser por contacto o sin contacto, además de estos dos tipos nos encontramos con variantes según la tecnología empleada.

- Scanner de contacto
 - Utilizan un palpador
- Scanner sin contacto
 - *Activos*: Trabajan emitiendo señales u ondas como son el láser, luz estructurada, luz blanca, luz modulada o de silueta.
 - *Pasivos*: Trabajan con una cámara fotográfica o dron, fotogrametría.

Los scanner de contacto son aquellos que, para obtener información del objeto, se apoyan sobre su superficie con un palpador.

El otro tipo de scanner, conocido sin contacto trabaja emitiendo alguna clase de señal u onda para determinar el objeto, pueden ser de láser, luz estructurada, luz blanca, luz modulada o de silueta, esta tecnología se conoce por activos.

Dentro de los scanner sin contacto existen los pasivos, éstos utilizan una cámara fotográfica para determinar el volumen del objeto. Se conoce el procedimiento por fotogrametría.

Diferenciados los tipos de scanner que existen, empezaremos por el de contacto (**Figura 8**) que necesita un palpador y tiene que tocar físicamente la obra en toda su superficie, siendo capaz de esta forma registrar los puntos y generar la malla digital con la forma del objeto. Este tipo no es conveniente para piezas frágiles o sensibles ya que pueden estropearlas.



(Fig. 8) Scanner de contacto – Imagen 3Dalia

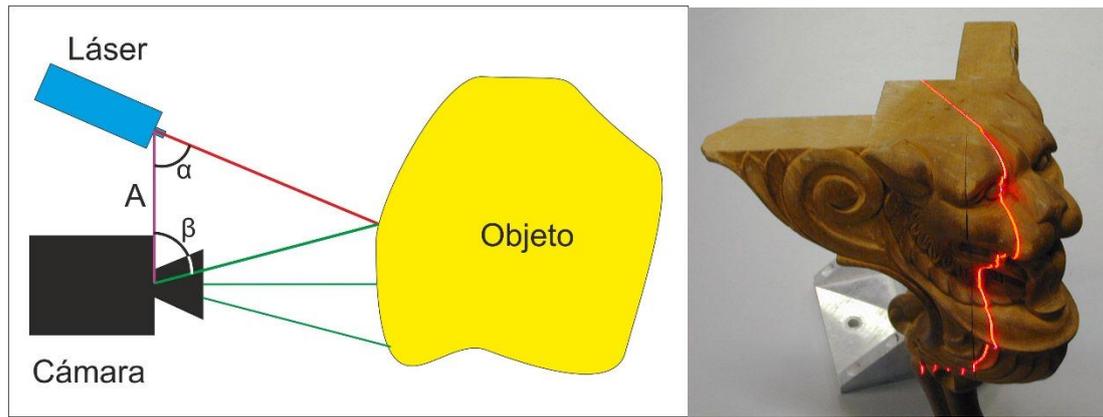
Por lo contrario, los scanner sin contacto, (**Figura 9-10**) son aquellos que emiten ondas como son la (luz ultravioleta, láser, radiografías, ultrasonidos, etc.) Con este método se evita tener contacto con la pieza evitando que sea dañada. Podemos encontrar diferentes tipos sin contacto, se clasifican según la tecnología que utilizan, pueden ser activos como son los de láser, luz blanca estructurada, el de silueta y el de luz modulada.

² Información referente sobre tipos de scanner.

² Directorio de todo tipo de scanner <http://www.3dcadportal.com/3d-hardware/3d-scanning/>

Nota: Según la página web 3D Formizable los scanner activos que podemos encontrar en el mercado son los siguientes:

- Sense 3D de 3D Systems
- Ciclop de la empresa española BQ, hardware libre
- Scanify de Fuel 3D
- Scanner David de luz estructurada
- Capture de 3D Systems
- Scanner 3D de Matter and Form
- Pocket Scan 3D de Laserscan
- Digitizer de MakerBot



(Fig. 9) Funcionamiento de un scanner láser 3D trabajando sobre un objeto.



(Fig. 10) Otros scanner sin contacto – Imagen 3Dalia

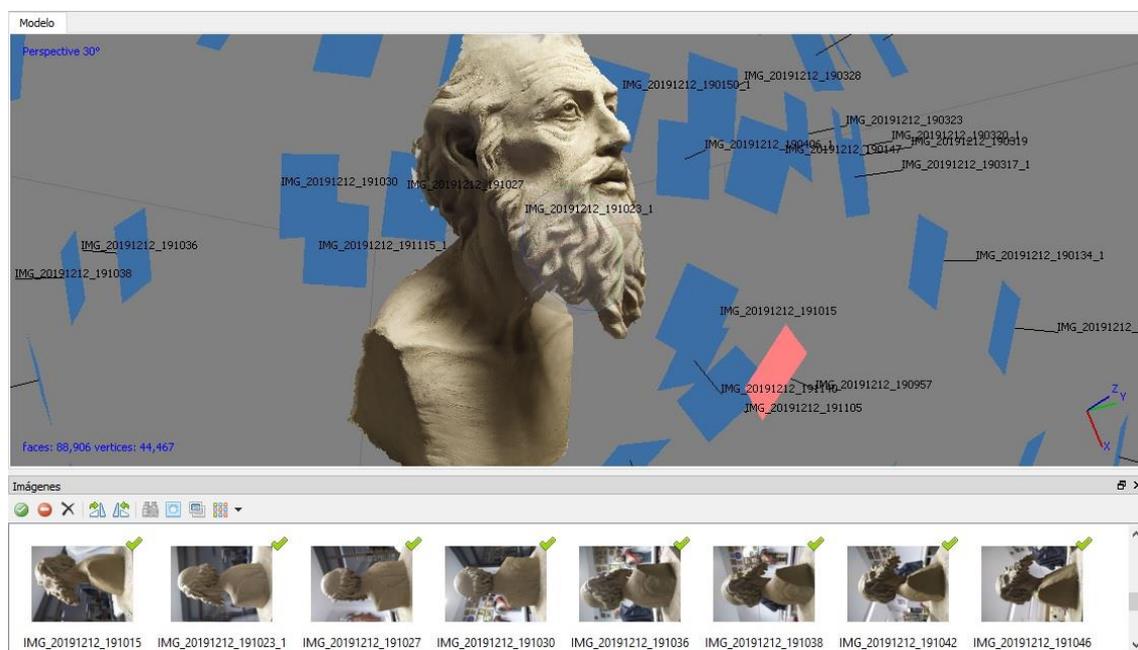
En otra línea de scanner sin contacto encontramos los pasivos, éstos son conocidos por qué no utilizan ningún dispositivo especial para captar 3D. El método se llama fotogrametría (Móvil) o tiempo de vuelo (Drones), ya que, con una cámara de fotos digital, un dron o cualquier dispositivo móvil que incorpore una cámara es posible capturar fotografías alrededor de un elemento. Como dato, añadir que contra más calidad obtenga nuestro objetivo, mejor resolución obtendremos para nuestro escaneado.

La fotogrametría (**Figura 11**) es un proceso que necesita información en este caso fotográfica, y se desarrolla a través de la realización de una serie de toma fotográfica alrededor de un objeto por todos sus ángulos que queremos escanear, es muy recomendable utilizar señales ubicadas en la plataforma como referencia para agilizar al software, a la hora de trabajar con las imágenes en que dimensión se encuentra el objeto.

Con estas fotografías consecutivas conseguimos que se solapen entre sí las imágenes, este proceso contempla la inclusión de la textura y el color del modelo. De modo que, tras realizar las imágenes tenemos que recurrir a un software para generar el modelado 3D, como, por ejemplo, es conocido profesionalmente el *Photoscan* (**Figura 11**) o *ReconstructMe* que es un programa libre.

Dentro de la serie de acceso libre encontramos *Meshmixer* también para procesar y retocar objetos en 3D forma parte de Autodesk, el programa no permite crear un modelo desde cero, sin embargo, es un software que nos ayudara para al modelado y cierre de imperfecciones, agujeros y vaciado, además de una reparación automática del modelo, por donde el scanner no haya conseguido registrar.

Cuando obtenemos el modelo 3D con el software utilizado, por consiguiente, sería necesario un postprocesado que estudiaremos en el siguiente apartado *modelado 3D*, con el fin de limpiar o remodelar partes de la pieza defectuosa o que no haya registrado bien, para el siguiente proceso de obtener físicamente la pieza con una impresión 3D o una CNC.



(Fig. 11) Fotogrametría sobre modelado San Pedro – (Photoscan) Imagen de autor

El método de la fotogrametría se ha utilizado principalmente para los estudios topográficos sobre los terrenos y carreteras, tradicionalmente se utilizaban los aviones con cámaras incorporadas y dispositivos fotográficos para la realización de este proceso. En la actualidad disponemos de los soportes como las cámaras, drones o dispositivos móviles, que se están aplicando para la conservación y reproducción de obras de arte e incluso para la recreación del patrimonio artístico en la industria de los videojuegos y películas.

Que debemos tener en cuenta para escanear una pieza

Para garantizar un resultado óptimo, debemos evitar las superficies transparentes o reflectantes, estas superficies son muy difíciles de escanear por no decir, casi imposible. También debemos controlar la luz ambiente para que toda nuestra pieza se encuentre iluminada uniformemente en toda su superficie.

Por lo contrario, el objeto escaneado sino atendemos esos puntos posiblemente saldrá con imperfecciones, pero luego con programas de modelado, como hemos visto anteriormente, es posible modificar todas estas imperfecciones y obtener un resultado satisfactorio.

Con el fin de escanear un objeto, hay que tener en cuenta que el registro fotográfico tiene que cubrir toda su superficie. El sistema está pensando para obtener superficies grandes, realizándolo con drones o aviones sobre todo en registros topográficos, aunque actualmente también se está aplicando a preservar bienes culturales y artísticos, como podemos observar en la **(Figura 12)**.

³ Enlaces de interés

³ Fotogrametría realizada por la empresa “Raíz Digital Crafts” de la Sacristía mayor de la Catedral de Burgos en el siguiente enlace:

<http://raiznewmedia.com/condestables.html>

Muestro otro enlace para poder realizar una fotogrametría de bajo coste según el proceso de la página web “Parpatrimonio”

<https://parpatrimonioytecnologia.wordpress.com/2018/02/19/fotogrametría-de-bajo-coste-la-democratización-de-técnicas-profesionales-de-digitalización/>

Masterclass por la escuela profesional de nuevas tecnologías “CICE Madrid” dedicada a la Fotogrametría, Realidad virtual, Impresión 3D.

<https://www.youtube.com/watch?v=F3sbPWpe>

Con la pérdida del patrimonio mundial por los diferentes acontecimientos históricos que han transcurrido en el tiempo, se están perdiendo bastantes obras de gran valor artístico. Pero con los nuevos avances tecnológicos algunas empresas están apostando por crear proyectos de reconstrucción de patrimonio a través de la fotogrametría como podemos ver cómo trabaja la empresa Rekrei.

“Con este enfoque de restauración, hay un proyecto surgido en Alemania que merece la pena destacar en este punto. Ante la destrucción arqueológica que originó el grupo terrorista Dáesh en la ciudad histórica de Palmira, en 2015 un grupo de voluntarios crearon una plataforma para recrear digitalmente el patrimonio destruido. Con el nombre de Rekrei.org (de la palabra que en esperanto significa 'recrear'), la idea de este proyecto, tan simple como ingeniosa, era recibir mediante una plataforma online fotogramas de turistas de todo el mundo referidas a la ciudad con la idea de poder recrearla por medio de técnicas fotogramétricas. Actualmente se están consiguiendo resultados asombrosos tanto de su arquitectura como de sus esculturas” (Rekrei, 2020)



(Fig. 12) – *Fotogrametría aplicada al patrimonio artístico – Imagen de Kore*

2.2.2 MODELADO DIGITAL 3D

En este apartado, veremos que es un modelado digital directamente o con un modelo obtenido por medio del scanner, y como se está aplicando éste al ámbito artístico de la escultura.

Como hemos visto en el anterior apartado, podemos conseguir de un objeto físico obtener un modelo digital por medio de un scanner. Con éste, el siguiente proceso sería intervenir el objeto con un software dedicado especialmente al modelado o edición en 3D logrando modificar la pieza a nuestra satisfacción para un resultado óptimo. Actualmente los escultores están manejando estos nuevos métodos o procedimientos tecnológicos para efectuar sus obras.

¿Qué es el modelado 3D?

Es la creación de un archivo digital que ofrece propiedades por información de la tridimensionalidad, realizándose con un ordenador o dispositivo digital, transformando sus características físicas y materiales para poder crear personajes, objetos, o productos. Con todo lo que nos podremos llegar a imaginar creativamente además con la finalidad de tener diferentes aplicaciones.

“Es conocido también como 3D MODELING, describe el proceso de crear objetos tridimensionales virtuales usando tecnología. Es comparable a esculpir modelos de yeso con martillo y el cincel, pero en este proceso se usa el ordenador con el mouse y el teclado, a través de los programas de modelado 3D que manejan superficies y sólidos.” (Cad, 2020)

El modelado digital, comenzó como producción de figuras y personajes para la industria del cine y los videojuegos. Pero actualmente se está trabajando una nueva línea que se trata de la escultura digital, con esta nueva modalidad se puede crear modelos desde cero o extraídos de un scanner; siendo posible modelar digitalmente una obra para poder mostrar tridimensionalmente un proyecto, con el fin de poder ser creado físicamente con otros sistemas.

El modelado en formato digital guarda cierto parecido con el proceso tradicional del modelado en arcilla. A diferencia de este proceso tradicional, este nuevo formato utiliza un software específico para desarrollar en tres dimensiones.

Dentro de este nuevo lenguaje del modelado en escultura digital existen diferentes itinerarios procesuales, entre ellos, comenzar con un modelo básico que nos ayudara a estructurar a través de formas simples como son esferas, cubos, etc.

Estos programas nos ofrecen un diverso abanico de herramientas que nos permiten la opción de estirar, torcer, empujar e incluso añadir más geometría; lo más parecido a los palillos tradicionales de modelar.

La escultura digital se fundamenta principalmente en polígonos compuestos de puntos que forman una malla. Los modelos 3D podemos diferenciarlos en dos líneas, según la estructura de la malla por modelos poligonales o sólidos.

Los modelos poligonales *Hard Surface*⁴ se compone con la representación de la superficie del objeto, por medio de vértices en el espacio creando una malla poligonal. Esta trabaja por un conjunto de planos, si por ejemplo nuestro modelo necesita curvas o superficies redondeadas sería necesario subdividir esta malla por polígonos más pequeños.

Por el contrario, el modelado sólido conocido por *Organic Modeling*⁵ utiliza el volumen con fórmulas matemáticas para trabajar mejor con la malla poligonal, siendo posible subdividir en mayor o menor tamaño durante el modelado. Es lo más parecido al modelado tradicional, pero en este caso digitalmente. Esta forma de modelado ha sido creada por un software llamado *Zbrush*⁶ de *Pixologic*.

La gran mayoría de escultores contemporáneos lo están utilizando para crear sus obras. Ya que para trabajar con estos programas solo requieren unos equipos informáticos potentes para que pueden soportar este tipo de softwares, permitiendo crear una obra en cualquier lugar transportando solo un equipo informático.

⁴ Se conoce como superficie dura, se relaciona al modelado creado por y para el ser humano como coches, armas, casas y equipos electrónicos.

⁵ Modelado orgánico, abarca todo lo natural como animales, plantas, flores y materiales.

⁶ Software creado para el modelado en 3D ideal para los escultores.

¿Qué periféricos y tipos de software necesitamos?

Las herramientas necesarias que requiere el sistema del modelado digital, son un ordenador potente para mover el modelo, una tableta gráfica y unas características mínimas para hacer un trabajo de calidad, por supuesto los condicionantes básicos del modelado, el dibujo y el estudio de la anatomía si queremos dedicarnos a este ámbito.

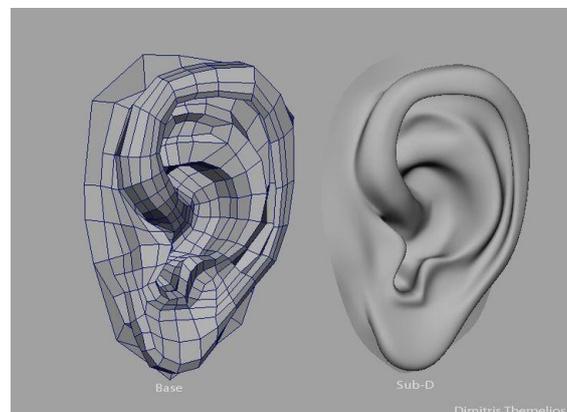
Para el modelado digital nos encontramos con diferentes softwares o aplicaciones para crear una escultura. Las más conocidas son *Blender* y *Zbrush de Pixologic*.

Blender es una aplicación de libre acceso creada en la década de los 90. Está basado en un modelado poligonal, ya que es muy intuitivo, porque solo se pueden mover los bordes y puntos en el espacio para construir un volumen con la forma deseada. Es un medio poco aplicado a la hora de crear un modelado por técnica aditiva, pero aun así permite exportar modelos en 3D.

En cambio, *Zbrush* es un software creado por *Pixologic* que, si requiere de una licencia, pero existe una alternativa por esta misma compañía de otro software de libre acceso que es *Sculptris*, para los principiantes en el modelado digital.

La forma de trabajo con este tipo de software es muy parecida al modelado tradicional, (**Figura 13**) como se hace referencia en el artículo de V-Art una escuela audiovisual de Sevilla, Zbrush es como modelar con barro.

“Terminando la primera década del milenio hubo otro salto evolutivo: El esculpido digital, con un representante por encima de todos: Zbrush de Pixologic. Gracias a su innovadora tecnología, los artistas y escultores tradicionales podían enfrentarse a la creación en 3D de una manera más amena y creativa. ¡Era como barro!” (V-ART, 2020)



(Fig. 13) Detalle de malla poligonal & malla suavizada
Imagen Dimitris Themelios

Zbrush es el programa más avanzado que existe en la actualidad para el modelado en 3D, es conocido por la posibilidad de creación en modelos orgánicos con bastantes detalles sobre la superficie (**Figura 13**).

La forma de trabajar con este software, permite total libertad y creativa, con la posibilidad de elegir en el programa una bola o un cubo simulando a la arcilla y poder manipular diversas formas con un amplio abanico de herramientas, creando modelos de todo tipo y con bastante detalle. Como se puede observar en la (**Figura 16**).

La posibilidad de crear una escultura desde cero con diversas herramientas, a partir de formas generales hasta completar los pequeños detalles podemos conseguir dar un cierto realismo sobre las superficies, como las arrugas o cicatrices del personaje. Además del modelado orgánico se pueden elaborar objetos como arquitectura, bastones, armas o vehículos.

Siendo un software que tiene un rendimiento de trabajo totalmente libre, que otros programas por ejemplo debemos seguir unos pasos concretos para modelar en 3D. La tecnología con la que trabaja el software, es que cuando se mueve la figura en 3D convierte o hace intuir una simulación de dos dimensiones, consiguiendo que el flujo de trabajo sea más ligero y poder aumentar el detalle. Pero en realidad tenemos un objeto en 3D.

Debido a las características de Zbrush cabe la posibilidad de dividir por capas los diferentes objetos por separado. Además, tiene un medio de poder introducir el color al diseño realizado, aunque hay otros softwares especializados para esta característica, como por ejemplo *substance painter*⁷.

Podemos resumir que con este software de modelado 3D, nos permite crear una escultura desde cero hasta desarrollar la obra con detalles de texturas y si es necesario una policromía final. Es posible también la simulación de diversos materiales como puede ser el bronce, la madera, mármol, etc.

⁷ Software dedicado especialmente para el color sobre modelos 3D.

¿Como se modela una escultura digital?

Técnicamente debemos comenzar a partir de una idea principal, como en estudios de investigación y con dibujos a través de bocetos 2D conocidos también como *Concept-art*⁸ (**Figura 14**). En base a las referencias previas nos servirán de apoyo para consolidar el concepto y modelado artístico.

Con este software, podemos iniciar con un modelo básico de estructura que nos facilita o directamente con una esfera para desarrollar la pose principal del modelo (**Figura 16**).

Completa la estructura principal con las diversas herramientas que disponemos, seguiremos creando los volúmenes generales hasta consolidar la forma del modelo. Una vez progresado con todo el modelo, será el momento de *subdividir*⁹ la malla para añadir más detalles conforme el escultor considere necesario para desarrollar la forma y realizar el estudio anatómico sobre el personaje en el caso que se trate de una figura humana o un animal.



(Fig. 14) Concept – Art y modelado 3D de un personaje y su entorno – Imagen de autor



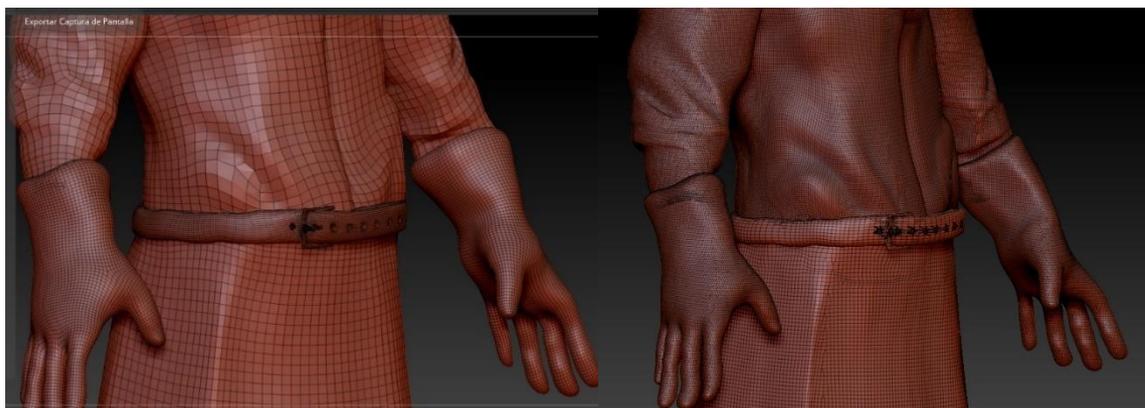
⁸ Creación del concepto básico en aspectos del dibujo, la pose y elementos del personaje.

⁹ Partir la malla poligonal en más polígonos para registrar más detalles.

Para terminar con la obra, al igual que un artista desarrolla con diferentes utensilios para crear texturas sobre la arcilla, en el modelado digital puede crear y personalizar pinceles para texturas. Aplicando en pequeños detalles finales, pero en este caso sobre la malla, quizás sea necesario subdividir una última vez para un mejor resultado.

Estas subdivisiones requieren de un alto grado de polígonos sobre la malla. Es posible trabajar tanto, con muchos polígonos o pocos según al grado que queramos otorgar sobre nuestra obra digital. Esto es conocido por *High* y *Low Poly*¹⁰.

Según con la intención que queremos hacer nuestro modelo, podremos conformarlo para mayor o menor resolución, según necesitemos de detalles y el equipo pueda soportar el modelado podemos trabajar con más o menos polígonos *High* o *Low Poly*. En la (**Figura 15**) podemos observar la diferencia los polígonos sobre la malla.



(Fig. 15) Izq. = Low Poly ----Der. = High Poly – Imagen de Autor

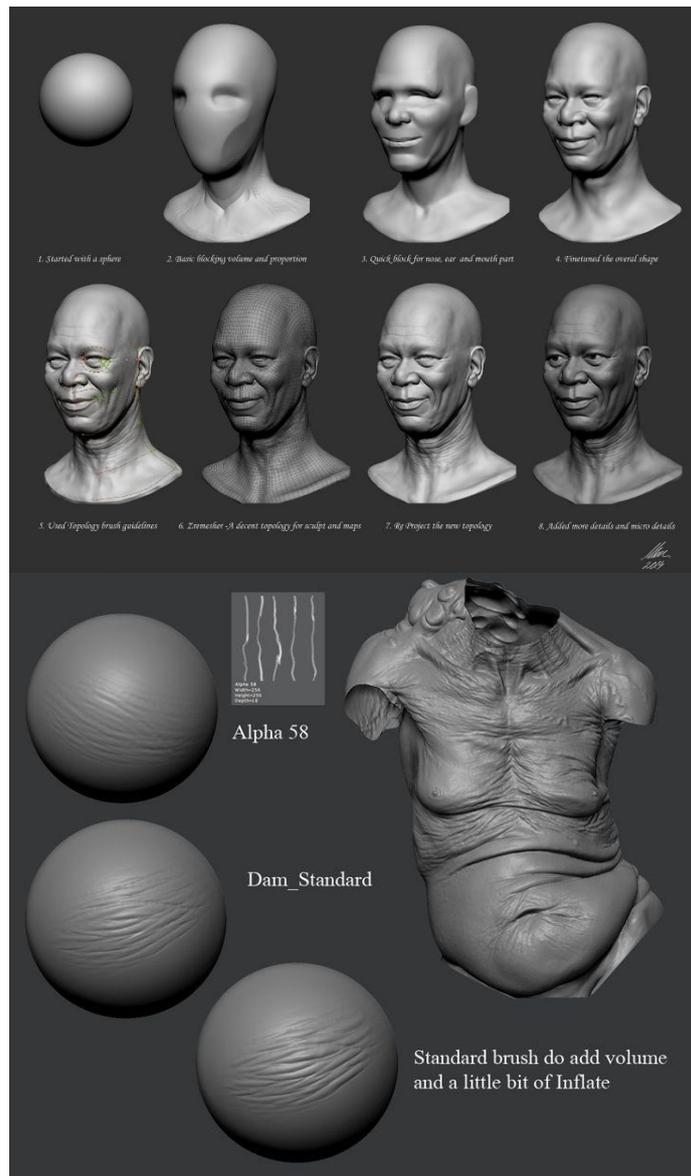
Zbrush cuenta con un plugin llamado Decimation11, que nos permite reducir los polígonos de nuestra malla en el acto sin perder detalle y reduciendo el peso del archivo. La forma de trabajo como se puede observar en la (**Figura 15**). En la parte izquierda los polígonos son cuadrados y en la parte derecha los polígonos tienen forma de triángulos.

¹⁰ Alto o bajo polígonos sobre una malla en un modelo digital.

¹¹ Plugin para reducir la cantidad de polígonos.

Con nuestro modelo completo, podemos hacer también otros elementos por separado como son la ropa, herramientas o incluso el soporte para después aplicar a nuestro personaje.

Por último, también se puede añadir textura (**Figura 16**) como desgastes, piezas quebradas e incluso modificar la escala para poder exportarlo a otros medios físicos.



(Fig.16) Proceso de modelado en Zbrush, de Mdrul Sen, 2014



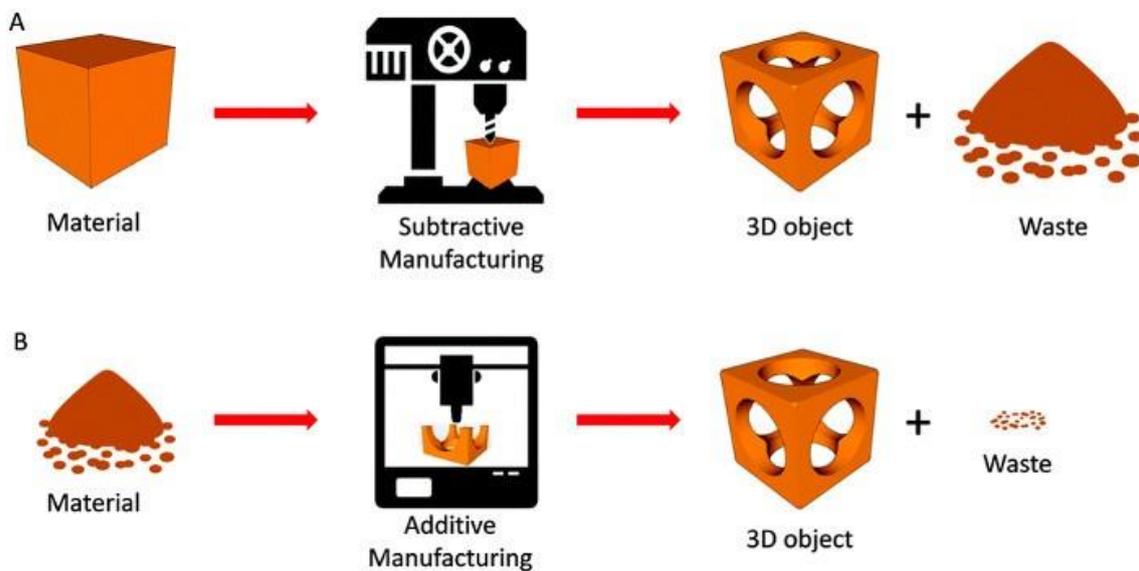
TRASLADO VOLUMÉTRICO

2.2.3 TRASLADO VOLUMÉTRICO: DE LO DIGITAL A LO FÍSICO.

En este bloque, hablaremos sobre las herramientas y maquinas que contamos actualmente para el proceso de trasladar un archivo digital a una obra en formato físico.

Para obtener una obra en este formato disponemos de dos tipos, que dividiremos según sus técnicas.

- Técnica sustractiva: Mecanizado CNC = A
- Técnica aditiva: Impresora 3D = B



(Fig. 17) Descripción de trabajo y material con Impresión 3D o con CNC

Imagen de 3dnatives

Contamos con una serie de maquinaria electrónica que dividiremos según su técnica, una de ellas son las controladoras CNC (A – Fig.17), que trabajan por la técnica sustractiva y van eliminando material de un embón o sólido capaz. Para controlar este tipo de maquinaria es necesario la supervisión de un operario.

En la otra línea, nos encontramos con la impresión 3D (B – Fig. 17) que trabaja con la técnica aditiva, añadiendo material con diferentes procesos, se suele utilizar para obras de pequeños formatos.

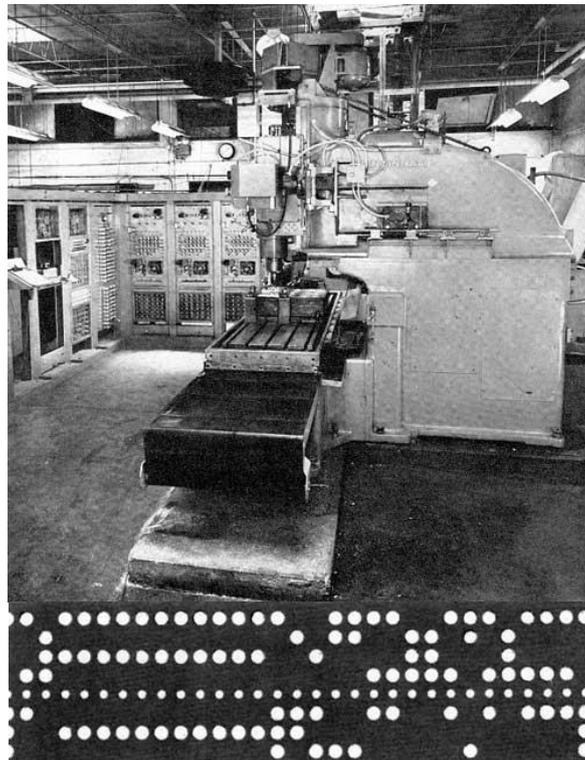
-TÉCNICA SUSTRACTIVA: MECANIZADO CNC (**Figura 2**)

Comenzaremos por la técnica sustractiva, sobre que es el mecanizado CNC y como se está aplicando en el ámbito de la escultura.

Históricamente se comenzó a trabajar con este revolucionario sistema del CNC en la década de los 40. Este método utiliza una técnica de mecanizado por sustracción. Es decir, trabaja eliminando material de un bloque o sólido capaz directamente hasta realizar la pieza deseada.

La revolución sobre la automatización electrónica y el desarrollo de conceptos tecnológicos programables, hizo posible aplicar a una máquina para ser programada. Al comienzo, estas máquinas trabajaron con controles donde se introducían cintas perforadas, (**Figura 18**) pero con la tecnología hicieron que mejoraran los sistemas a nivel analógicos como digitales.

Gracias a Richard Kegg, junto al instituto tecnológico de Massachusetts consiguieron crear la primera fresadora CNC, conocida como la Cincinnati Milacron Hydrotel (**Figura 18**).



(Fig. 18) CNC + cinta perforadora – Imagen de forestal maderedo

Actualmente, casi todo está informatizado siendo mucho más manejable y productivo este sistema gracias a las nuevas tecnologías.

Como hemos visto en los bloques anteriores, a través de la técnica del scanner o el modelado 3D podemos crear una pieza digital. A partir de los diferentes tipos de formatos exportados, nos permitirá transferir a un software dedicado al CNC, lo más conocidos son el CAD¹²/CAM¹³ que trabajan mandando las ordenes necesarias sobre la fresadora para producir la obra en un formato físico. Consiguiendo de esta manera una pieza completamente automatizada.

¿Como se fabrica una obra por medio de una CNC?

El funcionamiento de una CNC, como observamos en la (**Figura 2**) está compuesto por un programa de códigos que son transmitidos a un software en una computadora que es manejada por un operario, ésta se encuentra conectada a una fresadora donde realiza las indicaciones necesarias para que la máquina trabaje de la mejor forma posible.

La iniciación sobre el mecanizado se trata en primer lugar del diseño o plano de la pieza, nos podremos apoyar con los sistemas digitales anteriores del scanner y el modelado 3D con sus archivos exportados. A partir de éstos será posible transferirlos para trabajar con uno de los softwares dedicados al control del CNC que nos permite ver y optimizar la programación para crear la pieza.

Cuando tenemos toda la programación del trabajo podemos transferir los archivos por medio de la conexión por cable, USB o wifi. Se traspasan las ordenes producidas en el software al control de la máquina. La fresadora llevara a cabo el proceso de la elaboración por medio de unos pasos que el programa verificara previamente.

Introducido los pasos del programa, se procede con la calibración de la máquina para que comience desde un punto en su diseño. Una vez calibrada la CNC se ejecutaría el programa en vacío (sin ninguna pieza) para observar si las herramientas se encuentran en buenas condiciones.

¹² Diseño asistido por computadora (Dibujo a seguir por el procedimiento)

¹³ Mecanizado asistido por computadora. (Ejecución de las órdenes al CNC)

Por último, será comprobado que todo funciona bien y se procederá a la creación de la obra. Se situará sobre la mesa de trabajo el bloque y se darán las ordenes necesarias al software para que utilice los diferentes tipos de fresas¹⁴ que son indicadas por el operario según el procedimiento requerido.

El trabajo de estas máquinas a primera vista asombra la calidad y rapidez de elaboración sobre una obra. Ya que la maquinaria al ser guiada por sus coordenadas cambia de fresa automáticamente si es necesario según proceda para eliminar material.

Los materiales que este tipo de maquinaria CNC puede trabajar con diferentes tipos de madera, poliestireno expandido, metacrilato, PVC o necuron¹⁵ (Poliuretano rígido).

La eficiencia que nos permite esta maquinaria repercute directamente en un ahorro de energía, tiempo y mano de obra, todo gracias al avance tecnológico.

Debemos tener en cuenta que por este medio no obtendremos una definición completa de la obra ya que las fresadoras llegan a un máximo de detalle de unos 2mm (**Figura 19**) y el artista utiliza palillos o herramientas más pequeñas, por esto el resultado siempre se procederá finalmente por la mano del artista, tanto utilizando micro gubias o raspines en el medio de la madera.



(Fig. 19) Cnc trabajando sobre embón de madera
Imagen WordArt

¹⁴ Herramientas de corte o grabado, utilizadas en las máquinas fresadoras y pantógrafos

¹⁵ NECURON - Listones mecanizables - CNC poliuretano <https://www.youtube.com/watch?v=fSaU-ABhei0>

Los elementos esenciales para una Cnc son:

- Una unidad controladora (Ordenador – Computadora HMI)
- Mesa de trabajo o cama
- Servomotores entre 3 a 5 (Para ejes)
- Ejes de trabajo (Movimiento de carril)
- Dispositivos de fresas y sensores

Este tipo de maquinaria CNC se puede adquirir completamente montada con unas medidas específicas y para un trabajo concreto para un proceso industrial. Aunque también, pueden montarse al gusto del consumidor para trabajos de pequeña envergadura (estilo casero), gracias a la venta de los componentes por separado.

Profesionalmente requiere de un operario dedicado especialmente a la utilización de este tipo de maquinaria, ya que es necesario que se establezca un buen equipo equilibrado y con una seguridad de trabajo óptimo, cualquier pequeño desajuste matemático o error de algún sistema puede estropear la obra a producir.

Es necesario también, realizar un mantenimiento sobre las herramientas de corte con las que trabaja la CNC, se utilizan fresas y existen varios tipos de ellas según para la aplicación y el material en el que se vaya a procesar. En la (**figura 20**) se pueden observar varios tipos de fresas.



(Fig. 20) Tipos de fresas para Cnc – Imagen Perezcamps

-TÉCNICA ADITIVA: IMPRESIÓN 3D

Una impresión 3D es la creación de objeto físico a partir de una impresora que trabaja por la técnica aditiva, quiere decir por adicción de sucesivas capas con diferentes materiales sobre un soporte llamado cama. La forma de movimiento es parecida a la CNC a partir de unos ejes x,y,z, pero en vez de usar una fresadora se encuentra un cabezal extrusor.

A partir de un prototipo diseñado digitalmente por ordenador podremos exportarlo a una impresora 3D y conseguir la reproducción de objetos con volumen físicamente, siendo posible en diferentes materiales como se puede observar en la (Fig.21)

El principio general de cómo trabajan las impresoras consiste en ir creando capa por capa como si de un edificio se tratase la pieza a imprimir, a partir de la elección de un material.

Desglosaremos los siguientes tipos de impresoras según su creación y los materiales que utilizan para la impresión.

- FDM - Deposición de material fundido (PLA, ABS, Nylon, etc.)
- SLA - Estereolitografía (Haz de luz ultravioleta a un líquido resina)
- SLS- Sinterización selectiva por láser (Haz de luz solidifica un polvo)
- BJ- Inyección por aglutinante (Mediante un líquido con adherencia)



(Fig.21) Diferentes materiales para impresión 3D – Imagen de Prusa 3D

-DEPOSICIÓN DE MATERIAL FUNDIDO (FDM)

Son las impresoras más conocidas por su valor comercial, trabajan con un filamento de plástico, éste se funde a partir de un extrusor (cabezal de impresión) donde va derritiendo el material y se deposita por capas hasta conformar una pieza. El proceso puede durar varios minutos e incluso días, según el tamaño y estructura de la obra.

Existen varios tipos de impresoras por filamento (**Figura 22**), se clasifican según el movimiento que realizan para guiar sus extrusores, las más conocidas son las cartesianas y las de tipo delta, aunque ambas realizan una extrusión de un filamento compuesto por un material plástico.

-CARTESIANAS: Se llama de esta forma porque utilizan sus ejes cartesianos x,y,z. Donde el extrusor trabaja guiado sobre ellos, moviéndose según el volumen del objeto. El cabezal va fundiendo el material plástico y va depositando el filamento fundido por capas sobre un cristal llamado cama que va bajando según la altura de la pieza.

-DELTA: Trabajan de la misma forma que las cartesianas, pero en este caso la cama se encuentra fija y el cabezal se va moviendo sujeto por 3 brazos. Hasta conformar la altura de impresión, por lo general se utilizan para piezas de mayor altura. Este tipo de impresora debe estar muy bien equilibrada para realizar una buena impresión.



(Fig. 22) Diferentes impresoras 3D de filamento – Imagen de Bitfab

En cuanto a los materiales que utilizan este tipo de impresoras suelen ser de un material plástico (**Figura 21**) los más conocidos son PLA o ABS y se pueden comprar en formato cassette donde se encuentra enrollado el filamento plástico. Existen dos tipos de grosores 1,75 y de 3mm según el extrusor de la impresora, además, de diversos colores, imitación en madera, metal e incluso fluorescentes.

PLA – Poliacido Láctico, es un derivado del maíz siendo un material biodegradable, este filamento necesita menos calor para derretirse, consiguiendo calentar la impresora con más rapidez para crear la impresión, pero la desventaja que tiene este material es que podría fracturarse con facilidad.

ABS – Acrilonitrilo Butadieno Estireno este tipo de filamento necesita un punto más alto de fusión entre 220-260°. Una de las ventajas de este material es que se puede pegar entre sí, otro beneficio es que aguanta presiones y tensiones.

Según la impresión que necesitemos realizar nos interesara un material u otro para la condición en la que se valla a consolidar la obra.

Tabla 3

Comparativa de materiales impresión 3D

Material	PLA	ABS
Temperatura de impresión	180-230 °C	210-250 °C
Temperatura de la cama caliente	20-60 °C	80-110 °C
Cama caliente	Facultativa	Obligatoria
Caja cerrada	Facultativo	Recomendado
Obstruye el cabezal	A veces	Nunca
adherencia de la primera capa	Problemas menores	Problemas menores
Humo	Poco a nada	Nefasto e intenso
Absorbe la humedad	Sí	Sí

Tabla 3

Comparativa de materiales PLA vs ABS – Autor pagina web all3dp

Otro material que se está aplicando actualmente es el **Nylon**, conocido como (PA) es mucho más resistente, e incluso se podría decir que las piezas impresas pueden ser utilizadas de por vida. Pero también debemos tener presente que este tipo de material para imprimir es más complejo, ya que se necesita una temperatura más alta, tanto para el extrusor como para la cama.

- ESTEREOLITOGRAFÍA (SLA)

Fue el primer prototipo de impresoras que se crearon. Trabajan con una resina líquida en un recipiente y a partir del impacto de una luz ultravioleta sobre el material es posible solidificar capa por capa.

El creador de este tipo de impresoras fue *Charles Chuck Hull* en la década de los 90 y es conocido como el padre de las impresoras. La idea surgió cuando trabajaba con luz ultravioleta, investigando sobre un material plástico descubrió por este método la solidificación de la pieza.

Hay que destacar que la pieza se imprime boca abajo como se puede observar en la **(Figura 23)** y se suele aplicar en la creación de obras para fundición en bronce. Gracias a la ventaja que este tipo de impresión con respecto a las demás, es la gran resolución y precisión que se puede obtener como resultado.



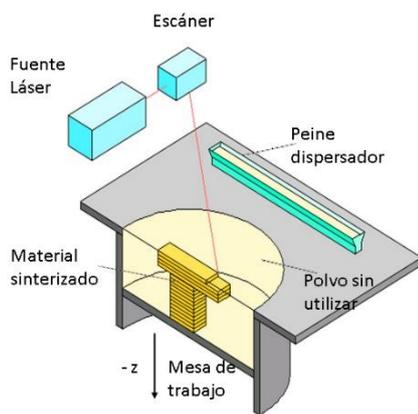
(Fig. 23) Piezas impresas por medio de Estereolitografía – Imagen Cosomo SLL

En cuanto al material de resina que se utiliza se dispone en diferentes colores, cuando realizamos la impresión el producto sobrante es reutilizable. Este tipo de impresoras vienen protegidas con una mampara de color naranja para evitar impactos de luz ultravioleta sobre la piel, además, de proteger los olores producidos por el quemado de la resina.

- SINTERIZACIÓN SELECTIVA POR LÁSER (SLS)

La forma de impresión es conocido también por *Selective laser sintering* (SLS), es un sistema similar al de la estereolitografía. Pero en este caso no se utiliza un líquido, sino que el material se encuentra en polvo, normalmente suele ser un polvo metálico que por medio de un láser consigue solidificar el polvo, como se puede observar en la (**Figura 24**)

Las piezas 3D que se realizan por SLS, son de unos acabados muy finos y con bastante precisión. Se suelen utilizar para crear piezas metálicas de gran resistencia y tensiones mecánicas.



(Fig. 24) Diagrama y pieza realiza por impresión SLS

Imagen de Imprimalia 3D

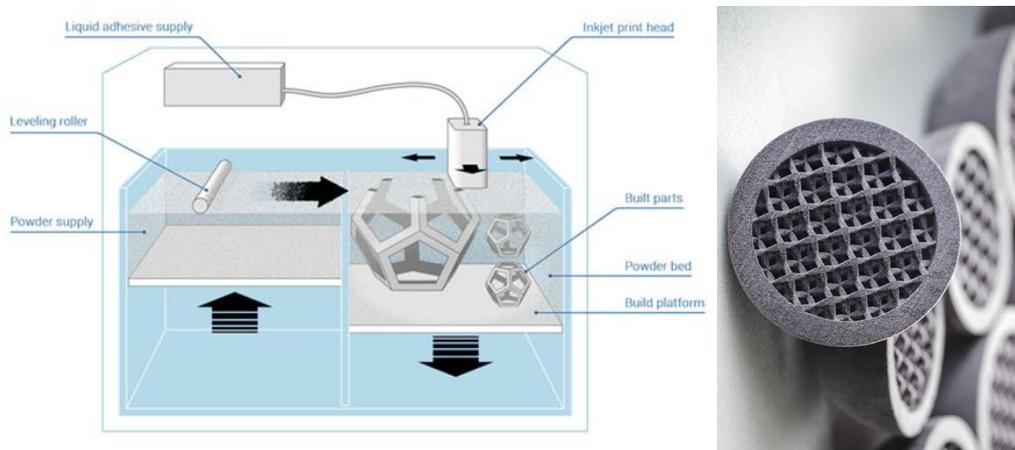
Una gran ventaja es la eliminación de soportes como apoyo para elaborar un objeto, ya que por este sistema se consolida la pieza en una caja llena de polvo, reduciendo el gasto en material para guías o andamios de base.

Por decir algún inconveniente en este tipo de impresoras, es el encarecimiento para poder adquirir alguna, ya que utilizan un tipo de láser bastantes potentes y caros.

- INYECCIÓN POR AGLUTINANTE (BJ)

Es conocida también por el término inglés *Binder jetting (BJ)*, el formato de trabajo es parecido al de las impresoras 2D, diferenciándose por la impresión en materiales metálicos, cerámicos e incluso polímeros, pero en un formato 3D.

Como se puede observar en la (**Figura 25**) el proceso para crear el volumen o pieza en 3D utiliza un cabezal de impresión en forma de gotas (Aglutinante) que puede ser en cualquier color sobre una cama de polvo. A partir, de sucesivas capas y por la técnica aditiva se va conformando la pieza hasta obtener nuestra impresión en un formato rígido.



(Fig. 25) Funcionamiento y resultado de impresión por aglutinante

Imagen de Additively

Este tipo de impresoras están más dedicadas a la parte de la industria. Por su alto nivel de costo, no suelen ser utilizadas por cualquier usuario. La producción de una pieza puede desarrollarse en diferentes materiales como aleaciones de metales, bronce, cerámicos e incluso actualmente se está incluyendo polímeros termoplásticos.



CONCLUSIONES

3. CONCLUSIONES

Para dar respuesta a los objetivos planteados en este trabajo he realizado un análisis en base a los procesos y técnicas escultóricas, así como su evolución histórica hasta llegar a las nuevas tecnologías entendidas como las herramientas del siglo XXI.

Gracias a este trabajo he conseguido tener una visión más amplia sobre los procesos constructivos de la escultura, dado que al entender su origen estudiando las técnicas antiguas he podido valorar como éstas han evolucionado hasta nuestros días.

Entender la evolución de éstas técnicas me ha permitido valorarlas como una nueva oportunidad de implementación en los procesos creativos. Inicialmente y desde el desconocimiento la impresión que tenía de éstas nuevas herramientas me producían cierto rechazo al pensar que podían sustituir al trabajo de los propios escultores. No obstante, he comprendido que su uso no solo no excluye al artista sino que le ayuda en su tarea.

En base a estas nuevas herramientas señalar que su actualización y avance es muy rápido. La unión de las técnicas clásicas con estos nuevos medios nos ofrece una amplia perspectiva de posibilidades.

Si bien a lo largo de este trabajo creo que ha quedado lo suficientemente claro que el procedimiento escultórico por sí solo no es resolutivo, para ello se ha de tener los conocimientos suficientes para conducirlos a través de los diferentes procedimientos.

En este sentido el modelado tradicional se puede realizar también desde un ámbito digital. El conocimiento de la forma es básico para el modelado con arcilla o el modelado en una malla de puntos, coincidiendo con lo anteriormente dicho.

Existen opiniones que rechazan de manera manifiesta el uso de las nuevas tecnologías para la creación de la escultura, al entenderse que un software puede sustituir el proceso creativo del artista, no siendo así en ningún caso.

En lo relativo a la reproducción escultórica los avances a lo largo de la historia son muy significativos, desde el uso de plantillas, compases y el puntómetro. Con la revolución industrial la máquina de sacar de puntos, y al día de hoy desde el ámbito digital tenemos a nuestra disposición la máquina de reproducción CNC. Ésta, al igual que los sistemas que acabo de citar emplea un método de reproducción sustractiva de material, la gran diferencia recae en que sustituye el modelo físico por un modelo virtual, y trabaja en base a las coordenadas volumétricas que determina dicho modelo.

Este nuevo sistema de reproducción volumétrica nos ofrece múltiples opciones, desde utilizar un archivo digital que podemos producir en diferentes escalas, también en forma inversa, seccionada, etc.

Otra forma de conseguir materializar nuestro modelo, es a través de las impresoras 3D, con el fin de crear un vínculo con los sistemas tradicionales en escultura podría etiquetarse dentro de los procesos de escultura por adicción.

La tecnología de impresión 3D en comparación con las técnicas tradicionales, podemos decir que ha avanzado y sigue avanzando a pasos de gigante, y no solo tiene reflejo en el ámbito de la escultura, sino que además tiene uso en sectores de otra naturaleza; por ejemplo en el diseño de moda, impresión de comida, piezas de ingeniería, etc.

En un futuro este trabajo se podría seguir investigando dado el amplio abanico que tienen estas nuevas herramientas dada con la rapidez que avanzan.

Finalmente me ha resultado muy enriquecedor comparar y estudiar la evolución de los procesos técnicos en la escultura. Pienso que éste trabajo puede ser el punto de partida para el estudio del modelado en 3D y su aplicación en el ámbito de la escultura, quien sabe si algún día dispondré de mi propio CNC o impresora 3D.

4. BIBLIOGRAFÍA — REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

- Caetano, E. (2007). Digitalización y escultura. En E. Caetano, *La innovación al servicio de los métodos y técnicas de reproducción escultórica* (pág. 23). Sevilla: Padilla Libros.
- Caro, J. (s.f.). *Fotogrametría y modelado 3D: Un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Gañan, C. (1999). *Técnicas y evolución de la imaginería policroma en Sevilla*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- García, I. C., Lagos López, J. G., Urrego Pérez, L. F., & Delgado Parra, P. Y. (2009). Diseño e implantación de un control CNC para crear modelos y esculturas en tercera dimensión a partir de un diseño CAD. (*Trabajo Fin de Grado*). Universidad de Sanbuenaventura, Bogotá.
- Jorquera, A. (2019). *Fabricación digital: Introducción al modelo & impresión 3D*. Madrid: Secretaria del Ministerio de Educación, cultura y deporte.
- Martín, O. (1990). Concepto y técnica de la escultura en piedra. (*Tesis Doctoral*). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Martínez, G. (2012). La madera como elemento constructivo en la escultura sagrada contemporánea . En G. Martínez Salazar, *La madera como elemento constructivo en la escultura sagrada contemporánea* . Sevilla: Dibujarte 5.
- Olano, A. M. (2016). El lenguaje de la piedra y su pervivencia en la escultura actual. (*Tesis Doctoral*). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Pierre, J. (s.f.). Frase de un poeta. *Frase de un poeta*.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la lengua Española*. Madrid: vigesimotercera edición.
- Tirado, I. (2019). Procedimientos escultóricos y tecnología digital. (*Universidad de Sevilla*). Universidad de Sevilla, Sevilla.

CONSULTAS DE INTERÉS

3DNatives. (16 de Abril de 2018). *Impresión 3D o mecanizado CNC: ¿Cuál es mejor para el prototipaje?* Obtenido de 3D Natives: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-o-mecanizado-cnc-160420182/>

3DNatives. (15 de Mayo de 2020). *3D natives el sitio web de la impresión 3D*. Obtenido de <https://www.3dnatives.com/es/tecnologias-3d/>

Alegre, E., López, J., & Perla de las Parras, A. (12 de Marzo de 2020). *Técnicas y medios artísticos*. Obtenido de Studocu - Uned: <https://www.studocu.com/es/document/uned/tecnicas-y-medios-artisticos/apuntes/tema-8-procesos-escultoricos-resumen-libro/1209650/view>

Asocación cultural, A. (27 de Marzo de 2020). *Arte & Historia*. Obtenido de <https://www.almendron.com/artehistoria/arte/escultura/las-claves-de-la-escultura/concepto/>

Bitfab. (17 de Mayo de 2020). *Bitfab - Servicio de impresión 3D bajo demanda*. Obtenido de <https://bitfab.io/es/blog/tipos-de-impresoras-3d/>

Cad, P. (13 de Mayo de 2020). *3DCadPortal*. Obtenido de <http://www.3dcadportal.com/modelado-3d.html>

Formizable. (1 de mayo de 2020). *Formizable*. Obtenido de <https://formizable.com/todo-sobre-tecnologias-escaner-3d/>

Gómez, F. D., Jiménez Peiró, J., Barreda Benavent, A., Asensi Recuenco, B., & Hervás Juan, J. (2015). Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual. En Varios, *Modelado 3D para la generación de patrimonio virtual* (págs. 29-37). Valencia: Var.

González, Á. (11 de Mayo de 2013). *Taller de técnicas escultóricas*. Obtenido de Sistemas de reproducción manual: <http://tallerdetallaenmadera.blogspot.com/2013/05/antiguos-sistemas-de-reproduccion-manual.html>

- Gracia, L. (10 de Febrero de 2015). *¿Qué es y para que sirve un escáner 3D?* Obtenido de D3D - Digitalización 3D: <https://www.digitalizacion-3d.com/que-es-y-para-que-sirve-un-escaner-3d/>
- Lagos, J. (14 de 7 de 2016). *Maquinaria CNC - Definición, funcionamiento, componentes y ventajas.* Obtenido de Biwy mecatronica: <https://es-la.facebook.com/biwy.mkt>
- Lorenzo, J. (9 de Mayo de 2019). *Of3lia.* Obtenido de <https://of3lia.com/tipos-de-impresoras-3d/>
- Maderero, F. (30 de Agosto de 2019). *Forestal Maderero.* Obtenido de <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/la-historia-del-cnc-control-numerico-por-computadora.html>
- Mediterránea, G. (11 de Febrero de 2020). *Global Mediterránea Geomática.* Obtenido de Global S.L: <https://www.globalmediterranea.es/fotogrametria-que-es/>
- Olabuénaga, M., & Fernández Chento , F. J. (6 de Diciembre de 2011). *Recursos Académicos.* Obtenido de <https://www.rekursosacademicos.net/conceptos-de-escultura/>
- Online , E. (29 de Abril de 2020). *Escaner3D.ONLINE.* Obtenido de <https://www.escaner3d.online/como-funciona-escaner-3d/>
- Pérez, J. (25 de Febrero de 2014). *El mirador de las artes.* Obtenido de LA maquina de sacar de puntos: <http://miradorartes.blogspot.com/2014/02/la-maquina-de-sacar-puntos.html>
- Planes, F. (11 de Diciembre de 2017). *Equipo Ferros Planes.* Obtenido de <https://ferrosplanes.com/mecanizado-cam/>
- Prado Barriga, J., McIsaac, M., & Rojas, S. (6 de Mayo de 2018). *Escáner 3D.* Obtenido de Casiopea: https://wiki.ead.pucv.cl/Esc%C3%A1ner_3D
- Prieto. (13 de Febrero de 2008). *Prieto y sus obras.* Obtenido de <http://rjprieto.blogspot.com/2008/02/tecnicas-de-escultura.html>
- Raffino, M. E. (28 de Febrero de 2020). *Concepto de Escultura.* Obtenido de <https://concepto.de/escultura/>
- Rekrei. (13 de Mayo de 2020). *crowdsourcing.* Obtenido de <https://rekrei.org/gallery>

- Reyes, J. M. (16 de abril de 2020). *La nube artística*. Obtenido de http://www.lanubeartistica.es/Volumen/Unidad2/VO1_U2_T4_Contenidos_v03/index.html
- Rivera, A. (15 de Agosto de 2018). *Teqvita*. Obtenido de <https://teqvita.pe/blogs/impresion-3d/tipos-de-materiales-para-impresion-3d>
- Sakhare , U. (26 de Noviembre de 2015). *Puntas CNC*. Obtenido de <https://www.cnc.com/the-history-of-computer-numerical-control-cnc/>
- Santos, J. (27 de Mayo de 2019). *Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*. Obtenido de Junta de Andalucía: <http://www.juntadeandalucia.es/cultura/blog/el-3d-y-sus-aplicaciones-al-patrimonio-historico/>
- Sicnova. (8 de Enero de 2020). *Sicnova*. Obtenido de <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/tecnologias-de-escaneo-3d-ventajas-y-limitaciones/>
- Silicon, R. (12 de Noviembre de 2013). Obtenido de Silicon: <https://www.silicon.es/impresion-tridimensional-llega-el-futuro-de-los-sistemas-de-produccion-49043>
- Stanser. (21 de Junio de 2019). *Stanser*. Obtenido de Maquinaria CNC Stanser S.A: <https://www.stanser.com/mecanizado-cnc-o-impresion-3d/>
- Unicom Innova, 3. (29 de Abril de 2020). *3Dalia*. Obtenido de 3D UNICOM INNOVA S.L: <https://3dalia.com/escaner-3d/>
- Valero Martínez , P., & Valero Araez, J. M. (22 de Agosto de 2018). *Introducción al escaneado 3D*. Obtenido de 3DFILAMENTS S.L: https://www.3dfils.com/es/blog/27_introduccionescaner
- V-ART, A. (14 de Mayo de 2020). *V-ART escuela audiovisual Sevilla*. Obtenido de <https://v-art.es/breve-historia-del-3d-y-los-videojuegos/>

GLOSARIO DE IMÁGENES

- (Figura 1) Modelado en arcilla el esclavo de Miguel Ángel - Imagen de autor
- (Figura 2) Mecanizado CNC 5 ejes – Imagen de Inductec solid
- (Figura 3): Proceso de trabajo (Teórica de técnicas – Guillermo Martínez Salazar)
- (Figura 4) Mapa conceptual de técnicas escultóricas - Imagen de (Reyes, 2020)
- (Figura 5) Talla Directa sobre embón de madera – Imagen de Autor
- (Figura 6) Molde a la italiana realizado sobre un busto femenino - Imagen de Autor
- (Figura 7) Construcción de un gallo por medio de poliestireno y escayola. Imagen de Autor
- (Figura 8): Scanner de contacto – Imagen 3Dalia
- (Figura 9) Funcionamiento de un scanner láser 3D trabajando sobre un objeto – Imagen 3Dalia
- (Figura 10) Otros scanner sin contacto – Imagen 3Dalia
- (Figura 11) Fotogrametría sobre modelado San Pedro – Imagen de autor
- (Figura 12) – Fotogrametría aplicada al patrimonio artístico – Imagen de Kore
- (Figura 13) Detalle de malla poligonal & malla suavizada – Imagen Dimitris Themelios
- (Figura 14) Concept – Art y modelado 3D de un personaje y su entorno – Imagen de autor
- (Figura 15) Izquierda = Low Poly / Derecha = High Poly – Imagen de Autor
- (Figura 16) Proceso de modelado en Zbrush, de Mdrul Sen, 2014
- (Figura 17) Descripción de trabajo y material con Impresión 3D o con CNC - Imagen de 3dnatives
- (Figura 18) CNC + cinta perforadora – Imagen de forestal maderero
- (Figura 19) Cnc trabajando sobre embón de madera – Imagen WordArt
- (Figura 20) Tipos de fresas para Cnc – Imagen Perezcamps
- (Figura 21) Diferentes materiales para impresión 3D – Imagen de Prusa 3D
- (Figura 22) Diferentes impresoras 3D de filamento – Imagen de Bitfab
- (Figura 23) Piezas impresas por medio de Estereolitografía – Imagen Cosomo SLL
- (Figura 24) Diagrama y pieza realiza por impresión SLS – Imagen de Imprimalia 3D
- (Figura 25) Funcionamiento y resultado de impresión por aglutinante – Imagen de Additively

(Portada) Rostro con malla 3D & Cabezal de impresora – Imagen de Autor

(Portada 1) Pág.6 Modelado 3D Rostro San Pedro – Obra de Autor

(Portada 2) Pág.8 Modelado de cristo de 80cm “Creación abierta en escultura” - Obra de Autor

(Portada 3) Pág. 17 Talla directa sobre madera “Procedimientos escultóricos” - Obra de Autor

(Portada 4) Pág. 23 Modelo 3D de San Pedro – Obra de Autor

(Portada 5) Pág. 37 Modelo 3D de Ánimas Infernum “Fundición” – Obra de Autor

(Portada 6) Pág. 49 Autorretrato en talla directa en piedra “Talla Escultórica” – Obra de Autor

(Contraportada) Imagen libre diseño malla holográfica – Imagen de Freepik

LA ESCULTURA DIGITAL
EL NUEVO CINCEL DE LA ESCULTURA



TRABAJO FIN DE GRADO

BBAA SEVILLA

Curso: 2019/2020

Alfonso Jesús Martínez Perales