



Modelado digital e impresión 3D de relieves y las posibilidades de implementación en la formación de artistas¹

Elena Blanch-González²; José C. Espinel³

Recibido: 21 de junio de 2022 / Aceptado: 4 de julio de 2022

Resumen. Las tecnologías de impresión 3D se han generalizado en los últimos años, tanto a nivel industrial como en los hogares. En la producción de arte, las tecnologías de prototipado rápido están presentes desde hace más de una década y se han incorporado de forma creciente en la universidad.

En el modelado tridimensional por ordenador, el mapeado de texturas utilizado en conjunto con los materiales, se viene empleando con el objetivo de que los objetos modelados mediante técnicas virtuales, visualmente adquieran una apariencia real en sus superficies. Otra de sus aplicaciones sería la creación de relieves escultóricos partiendo del mapeado por desplazamiento, basándonos en la aplicación de las imágenes en escala de grises.

En las facultades de bellas artes, las técnicas estudiadas se aplican a la formación de artistas de escultura tanto en la producción de obras de bulto redondo como en la realización de relieves escultóricos. También es esencial la generalización del aprendizaje de estas técnicas en la formación de docentes.

Se concluye que el desarrollo de relieves a través de la utilización del mapeado de desplazamiento es una alternativa disponible para los artistas, siendo una herramienta para la creación artística sobre la que valorarán la elegibilidad en los proyectos los profesionales que decidan utilizarla.

Palabras clave: Impresión 3D; relieve; modelado, mapeado, escultura.

[en] Digital modeling and 3D printing of reliefs and the possibilities of implementation in the training of artists

Abstract. 3D printing technologies have become widespread in recent years both industrially and in homes. Rapid prototyping technologies have been present in art production for more than a decade and have been increasingly incorporated into the university.

In three-dimensional computer modeling, texture mapping, used in conjunction with materials, is used to mimic these surfaces and make more realistic virtually modeled objects. Another of its applications is the creation of sculptural reliefs, starting from displacement mapping based on the application of gray scale images.

In the faculties of fine arts, the techniques studied are applied to the training of sculptors in the production of round shape works, and they can also be applied in the production of sculptural reliefs. It is also essential to generalize the learning of these techniques in teacher training programs.

¹ Fuente de financiación: Este trabajo ha contado con una ayuda de investigación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de referencia PID2019-104506GB-I00.

² Universidad Complutense de Madrid
E-mail: eblanch@ucm.es
<https://orcid.org/0000-0002-0910-8988>

³ Universidad Complutense de Madrid
E-mail: jcespinel@ucm.es
<https://orcid.org/0000-0002-5990-9249>

It is concluded that the development of reliefs through the use of displacement mapping is an alternative for artists, being a tool for artistic creation selected by artists who will decide whether its use is appropriate or not.

Keywords: 3D printing; reliefs; modeling, mapping, sculpture.

Sumario: 1. Introducción. 2. Modelado 3D y mapas: el realismo en el entorno digital tridimensional 3. Producción de las muestras. 4. Posibilidades de implementación en la formación de artistas. 5. Conclusión. Referencias.

Cómo citar: Blanch-González, E.; Espinel, J. C. 2022. Modelado digital e impresión 3D de relieves y las posibilidades de implementación en la formación de artistas. *Arte, Individuo y Sociedad* 34 (4), 1603-1620, <https://dx.doi.org/10.5209/aris.82655>

1. Introducción

La creación artística a lo largo de la historia ha estado ligada a la de la evolución tecnológica. En el caso de la escultura, desde las venus paleolíticas, en las que se usaba el pedernal como extensión de la mano del hombre, hasta hoy, que las tecnologías digitales permiten al escultor realizar con gran eficiencia las tareas propias del oficio de la escultura como por ejemplo, el tallado o el modelado.

El siglo XX generalizó el uso de la informática en todos los ámbitos de la producción. En el mundo del arte, su impacto inicial vino con la incorporación de los gráficos computerizados, generalizándose el uso de plotérs para dibujar imágenes fijas o secuenciadas con diferentes aplicaciones.

En la evolución de la informática, la intervención de los artistas ha ido más allá del desarrollo de los gráficos por ordenador, también han sido una parte imprescindible en la creación de las aplicaciones para el modelado tridimensional como es el caso del prototipado. Estas aplicaciones permiten que los modelos de tres dimensiones sean visualizados de forma bidimensional por la utilización del render y tridimensionalmente por técnicas de prototipado.

Las tecnologías de impresión en tres dimensiones (3D) han sufrido una rápida democratización en los últimos años debido a la caducidad de las patentes y la disminución de los precios, fruto del crecimiento de la curva de experiencia en sus procesos de fabricación. Así, se ha generalizado su utilización tanto a nivel industrial como en los hogares.

En el campo artístico, las tecnologías de prototipado rápido han estado presentes desde hace más de una década en la producción de obra y se han incorporado de forma creciente en la universidad, tanto en lo referente a la enseñanza teórica como a la práctica de su utilización, incorporándose rutinariamente a los programas de formación en todos los niveles.

2. Modelado 3D y mapas: el realismo en el entorno digital tridimensional

El mundo del modelado digital y la impresión tridimensional ya forma parte del imaginario colectivo de los modelos de bulto redondo. Así, cuando se habla de modelado 3D se suele pensar, en primera instancia, en figuras tridimensionales, de bulto redon-

do, como las figurativas de animación, cinematográficas, objetos de diseño o monumentos escultóricos, pero también puede trasladarse a la escultura en relieve.

Cabe destacar que la percepción de una imagen tridimensional renderizada como una imagen realista, se debe, no solo al correcto desarrollo de una malla o modelo, sino también a la iluminación y a las texturas aplicadas al elemento 3D. Las superficies de los diferentes objetos no están caracterizadas únicamente por el color sino por la incorporación de texturas o patrones que integran en algunas ocasiones imperfecciones y rugosidades no predecibles. Son estas las que otorgan a los objetos de una mayor riqueza y complejidad para la vista. En el mundo del modelado tridimensional por ordenador, el mapeado, utilizado en conjunto con los materiales, puede imitar a esas superficies para conseguir un efecto más real para la percepción del observador.

Por mapeado entendemos una imagen de dos dimensiones que se aplica a un objeto de tres dimensiones para dotarle de apariencia real específica.

Clasificamos el mapeado según su aplicación y características en cinco grupos:

- a) mapeado de textura (*texture mapping*)
- b) mapeado de relieve (*bump mapping*)
- c) mapeado de desplazamiento (*displacement mapping*)
- d) mapeado de normales (*normal mapping*)
- e) mapeado vectorial de desplazamiento (*vector displacement mapping*)

El *mapeado de texturas* puede utilizarse para trasladar la imagen de una superficie real a una forma geométrica de dos dimensiones, confiriéndole a ese objeto la textura deseada. Así, una disposición aparentemente compleja de varias formas geométricas, adquirirá la apariencia de una composición real. El mapeado de texturas servirá, por tanto, para definir detalles de «textura superficial o información de color en un gráfico generado por computadora o modelo 3D» (Catmull, 1974).

Este tipo de mapas puede aplicarse tanto como una textura basada en un color como en una imagen 2D imitando la de un objeto ya existente como puede ser una madera, piedra, piel... Esto, en combinación con los parámetros que definen el comportamiento de un material, por ejemplo, la refracción, consiguen generar un objeto tridimensional relativamente realista.

Nos referiremos a dos trabajos que fueron pioneros en la utilización de estas técnicas de uso de distintos materiales y terminaciones para su aplicación al mundo virtual. Por un lado, la tesis doctoral *A subdivision algorithm for computer display of curved surfaces* de Catmull (2019), donde buscaba «no solo...que las imágenes representaran con precisión las superficies que elegimos, sino además tener control sobre el sombreado y la textura» (p.8). Más tarde, Blinn & Newell (1976) lo ampliaron en *Texture and reflection in computer generated images*:

(...) refinando y ampliando el algoritmo de subdivisión de Catmull, se generan imágenes con un grado de naturalidad que antes no era posible. Estas generalizaciones dan como resultado técnicas mejoradas para generar patrones y texturas, y la nueva capacidad para simular reflejos(p. 542), algo que hasta ese momento no era posible.

El *mapeado de relieve* es «una técnica que hace a una superficie parecer rugosa o arrugada. Este efecto se logra perturbando las normales utilizadas en el cálculo de la

iluminación» (Hast, 2008) sin modificar la posición ni el número de los polígonos de la malla tridimensional. Se consigue superponiendo una imagen al modelo confiriendo volúmenes al mismo mediante la aplicación de luces y sombras sin modificar la geometría. Para ver el resultado es necesario renderizar la imagen, ya que este tipo de mapas actúa en función de la luz y los materiales otorgados al modelo tridimensional.

Incidiremos en la idea de que, en el mundo real, cuando miramos una superficie rugosa, nuestra mente es capaz, según la forma en que el brillo se modifica en toda la superficie, de conceptualizar que se trata de superficies con cierto abultamiento.

Este mapeado de relieve actúa como un mapeado de textura, sin embargo, en lugar de trabajar con la modificación de colores lo hace sobre una escala de grises, interpretada ésta por los motores de render como abultamientos en la superficie. Este proceso de texturizado logra un efecto de relieve preciso en formas integradas por un número limitado de polígonos.

El *mapeado de desplazamiento* tiene como objetivo otorgar volumen o rugosidad al modelo tridimensional modificando su geometría a partir de la aplicación de una imagen en escala de grises. A nivel visual, el resultado sería similar al de aplicar un mapa de relieve, pero la diferencia radica en que el mapeado de desplazamiento modifica la geometría a través del desplazamiento de los vértices de la forma poligonal.

Este tipo de mapeado, para tener un resultado con una buena resolución, necesita trabajar con mallas con muchos más polígonos que el mapa de relieve, lo que incrementa el peso del archivo. Por ello, es un mapeado no adecuado para producciones audiovisuales, especialmente para videojuegos que requieren de un renderizado en tiempo real.

Por el contrario, el mapeado de desplazamiento es la solución idónea para que en las piezas elaboradas por prototipado podamos apreciar las texturas de los volúmenes al transformar la malla tridimensional.

Tanto el mapeado de relieve como el de desplazamiento funcionan mediante un sistema de niveles de altura. En ellos, las alturas del modelo 3D se controlan mediante los diferentes tonos de grises.

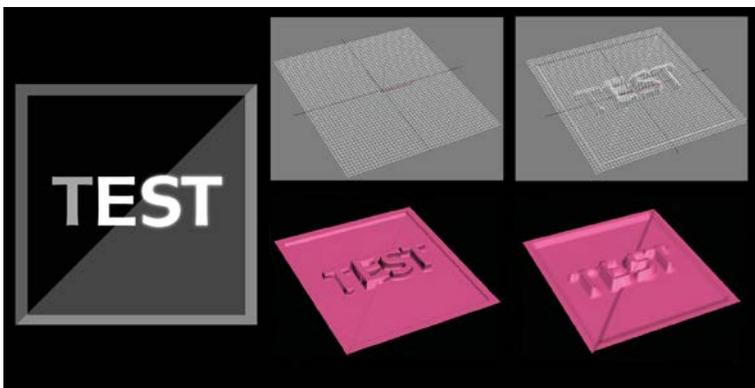


Figura 1. Niveles de altura. Fotografía J. C. Espinel.

El *mapeado de normales* es ampliamente utilizado en el mundo de los videojuegos «para generar mapas de relieve a partir de modelos tridimensionales Computer Graphics (GP) muy densos, de manera que luego esa información pueda ser aplicada

en una versión de mucha más baja resolución poligonal manteniendo un nivel de credibilidad impresionante» (Vila, 2008, p.2).

El *mapeado vectorial de desplazamiento*, se aplica en la producción de los objetos físicamente. Posteriormente,

(...) usando un mapeado vectorial de desplazamiento podemos aportar un verdadero relieve mediante una imagen y además hacer que ese relieve crezca en las 3 dimensiones X, Y, Z. Esto proporciona unas posibilidades realmente espectaculares: podemos generar protuberancias en una superficie que serían completamente imposible obtener mediante un simple mapa de desplazamiento (Vila, 2008, p.2).

En síntesis, tanto el mapeado de normales como el mapeado vectorial de desplazamiento funcionan aplicando un mapa de normales. En ambos, la imagen utilizada para superponer es a color y en la misma se hacen coincidir los vectores XYZ con los valores RGB de esa imagen, lo que producirá el desplazamiento de las normales para el caso del mapeado de normales o el desplazamiento de los vértices en el caso del mapeado vectorial de desplazamiento.

Desde nuestro punto de vista, para los procesos de modelado que tienen como objeto final el prototipado del modelo, el mapeado por desplazamiento y el mapeado vectorial por desplazamiento son los de elección, ya que son los que modifican la malla del objeto. En el caso de esta investigación, nos hemos centrado en el mapeado por desplazamiento, basándonos en la aplicación de la escala de grises partiendo de una imagen bidimensional.

2.1. Modelado de relieves partiendo de mapas de desplazamiento

El amplio desarrollo y difusión que han experimentado los sistemas de modelado digital para bulto redondo hacen que, en la práctica, se estén creando con este sistema la mayoría de los modelos tridimensionales. Esta tecnología se ha estudiado y utilizado muy poco todavía en relieves, medallas o monedas, lo que condicionó que la investigación de la que parte este texto se dirigiera a explorar sus problemas y posibilidades.

Se ha constatado una falta de desarrollo en la aplicación al relieve de las técnicas ya referidas, es por lo que se ha desarrollado una metodología específica aplicable a la producción de los mismos a partir del análisis de los diversos sistemas de prototipado.

En la actualidad, las aplicaciones de modelado 3D cuentan en su mayoría con herramientas que imitan el proceso creativo de modelado en barro. Con ellas es posible definir también relieves tridimensionales.

Trabajando sobre el funcionamiento del sistema de mapas de desplazamiento,

(...) resulta interesante el hecho de que una imagen en 2D pueda ser traducida en un volumen tridimensional, aplicándola a través de un programa de modelado. Esta aplicación es una herramienta que está presente en la gran mayoría de los programas de diseño y desarrollo 3D. Ahora bien, la complejidad en su aplicación, así como sus limitaciones, no son las mismas en unos programas o en otros (Espinel, 2016, p. 164).

Como ya se ha recogido en el texto, para el caso del mapeado de desplazamiento se aplica una imagen con distintos tonos de grises sobre las superficies del modelo

tridimensional transformado los distintos tonos de gris en distintas alturas, siendo el blanco y las tonalidades más claras las que traducen los puntos más altos del relieve y las tonalidades más oscuras hasta el negro los puntos más bajos, aunque según sea la aplicación de esta herramienta se puede invertir el resultado.

Es una evidencia que desde el punto de vista más técnico/informático abunda la información de cómo se consiguen las imágenes a partir del objeto de tres dimensiones, sin embargo, apenas se ha realizado investigación desde el punto de vista artístico de qué métodos utilizar para desarrollar un modelo tridimensional *ex novo*, siendo atribuible esta situación a que se han venido concentrando los estudios prioritariamente para el traslado de texturas de superficies como, por ejemplo, aplicar las vetas de madera o granulado de una piedra a un modelo ya terminado y no habiéndose profundizado apenas en el tratamiento de relieves desde una perspectiva genuinamente escultórica.

Partiendo de los principios por los que se rige el mapeado de desplazamiento, el objetivo de esta investigación ha sido trabajar con este proceso, creando una imagen en escala de grises para, más tarde, transformarla en un relieve como alternativa a la muy desarrollada técnica de obtención de la imagen a partir de figuras tridimensionales ya creadas previamente.

2.2. Acercamiento y primeros pasos

En la investigación se realizan dos pruebas de un primer relieve. En la primera prueba, partiendo de la fotografía del retrato de un niño, se trabajó para transformar la representación de los volúmenes del rostro a una imagen en escala de grises, con el condicionante de utilizar los tonos más caros para las zonas de mayor relieve y el blanco para el nivel más alto y, consiguientemente, los tonos más oscuros de gris destinarlos a la representación de las zonas bajas, reservando el negro específicamente para el nivel más bajo.

Ha de señalarse que las escalas de grises se utilizan para los distintos volúmenes, tratando la nariz y los ojos de forma independiente y no como una única imagen. Sobre estos elementos, nariz, ojos, etc., se aplicaron sucesivamente mapas de desplazamiento sobre la malla modificada, obtenida al aplicar el mapa de desplazamiento anterior, jugando con la intensidad y, por lo tanto, con la profundidad que la aplicación realizaría para las diferentes capas en la programación de modelado 3D, que para el caso de nuestro estudio fue el programa 3DStudio Max.

El mapa de desplazamiento sufría modificaciones motivadas por la aplicación del mismo a partir de cada una de las imágenes parciales. En la investigación se desarrollaron mapas de desplazamiento para distintos elementos como:

- el volumen general de la forma de la cabeza y el cuello,
- el conjunto de los ojos,
- la zona de la nariz,
- los labios,
- el pabellón auditivo,
- el cabello,
- la zona superior del torso
- y el conjunto global

El resultado final fue satisfactorio, sin perjuicio de que el proceso de trabajo capa a capa para cada mapa de desplazamiento, y ajuste de las mismas, resultó un procedimiento con cierta dificultad y lentitud (Figura 2).

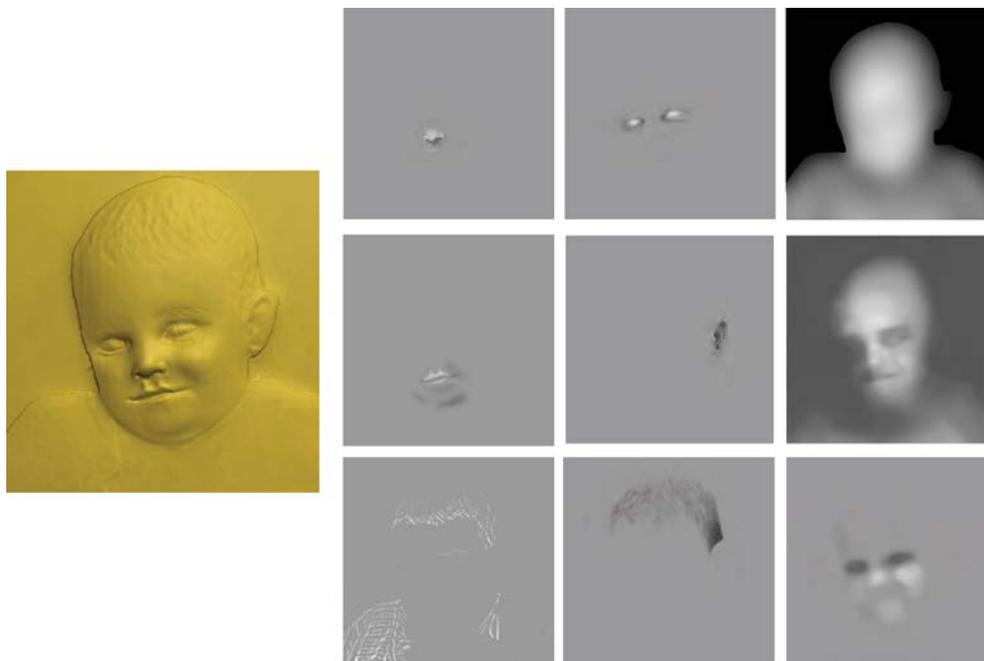


Figura 2. Imágenes en escala de grises de volúmenes independientes.
Fotografía J. C. Espinel

Tras analizar los resultados y el procedimiento, se consideró la posibilidad de mejorar la metodología definiendo un proceso específico para la creación de estos relieves con la técnica a estudio, y sentando nuevas bases que permitieran comprender y ejecutarlos con una metodología más estructurada y normalizada.

Se trataba de interpretar los niveles de los volúmenes de las partes de la figura consiguiendo que tuviera sentido cada una de ellas, pero dotando de mayor coherencia al conjunto, para generar un volumen armónico y de calidad plástica.

2.3. Metodología: diseño del mapa de alturas

Para desarrollar imágenes bidimensionales desde modelos de relieve 3D se ha de tener en cuenta, en primer lugar, el relieve que se pretende conseguir, es decir, si se trata de un alto relieve, medio relieve o bajo relieve. Ese primer paso, nos permite estructurar las primeras etapas de obtención de la imagen, sobre la que después aplicar en distintos niveles el mapa de desplazamiento.

La imagen creada para ser aplicada después a la malla tridimensional, será una imagen con una graduación de color en grises donde, como ya se ha indicado, el blanco se reserva para el punto más alto del relieve y el negro, por el contrario, para el más bajo (aunque estos parámetros se pueden invertir en el programa de modelado).

Inicialmente se ha de fijar el número de niveles con que contara el relieve. En el caso de la realización del relieve con el que se ha trabajado (figura de madre con niño) se definieron siete diferentes niveles. Para cada uno de ellos se crea una imagen en la que se determina la altura máxima y mínima de ese nivel. Esas franjas estarán situadas entre la altura máxima del nivel inferior y la mínima del nivel superior. Por ejemplo, entre el color blanco que es el valor más alto y el negro, el más bajo, se han fijado siete niveles básicos de relieve, lo que da como resultado seis tonos de grises que definen y delimitan los siete niveles de relieve. Por ejemplo, el nivel más bajo iría del negro al 100% hasta el negro al 90% incluyendo todos los grises que haya entre ambos valores. (Figura 3).

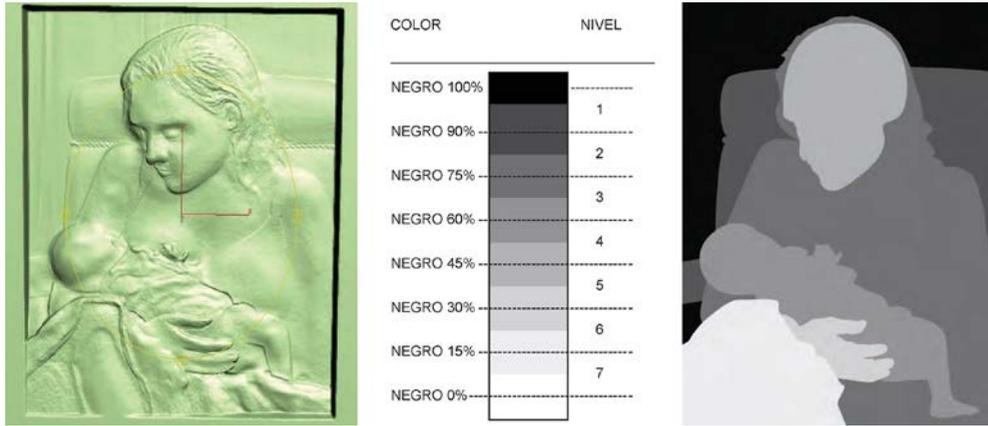


Figura 3. Niveles fijados. Fotografía J. C. Espinel.

Para poder tener garantías de éxito en la utilización de esta metodología, ha de prestarse la mayor importancia a la jerarquización de los distintos niveles o grupos que marcan los intervalos de altura y de las que se derivaran la obtención final de los volúmenes. De esta forma, cada intervalo debe incorporar toda la información del volumen correspondiente en el que su punto más bajo será también el punto más alto del nivel siguiente y, por tanto, tendrá la capacidad de trasladar todas las variaciones de color de ese rango. Por contraposición, el punto más alto de cada intervalo, ha de coincidir con el punto más bajo del nivel siguiente, inmediatamente superior y, por tanto, reflejar en ambos casos el mismo tono de color.

No se debe nunca perder de vista que la correspondencia de los puntos más profundos con los tonos más oscuros sigue una máxima para cada uno de los diferentes rangos y no para la globalidad de la imagen. Sobre esa imagen global no se cumplirá ese principio de que lo más elevado o cercano a nuestra vista será lo más blanco y, en contraposición, lo más alejado a nosotros lo más negro.

En la figura podemos constatar este hecho con el ejemplo de la mano del niño y el pecho de la madre. En el primer caso es gris, de un color casi negro, sin embargo, el pecho de la mujer es prácticamente blanco, estando ambos prácticamente en el mismo plano. Esta aparente contradicción es atribuible a los diferentes niveles de jerarquización donde el pecho de la madre está en un rango inferior al de la mano del niño, aunque ambos elementos se encuentran en lo que denominamos como horizonte y en la imagen final se apreciarán como muy próximos en cuanto a color. (Figura 4)



Figura 4. Valores de cada uno de los niveles. Fotografía J. C. Espinel.

En nuestro estudio se han establecido ocho colores (negro 100 %, negro 90%, negro 75 %, negro 60 %, negro 45 %, negro 30 %, negro 15 % y negro 0 % (blanco) y siete niveles de jerarquización. Se ha de lograr que cada uno de los niveles se ajuste a los parámetros de escala de color definidos para el mismo. Por ejemplo, para el nivel superior, el siete, la imagen tendrá que estar dentro del rango definido por el negro 15% y el negro 0%, siendo el color que marca el punto más alto de nivel y en este caso del conjunto del relieve. De este modo, en cada nivel los rangos de color deben enmarcarse en los tonos definidos inicialmente.

Partiendo de la imagen total del relieve en blanco y negro, ésta se redefinirá utilizando los valores que se han marcado para cada uno de los niveles. Posteriormente, se aplican unas máscaras de recorte a cada una de las capas que se habrán superpuesto por orden, lo que nos permitirá visualizar, en cada nivel, el área correspondiente.

Es importante que estas máscaras de recorte no se limiten sólo al área que corresponde al nivel, sino que integren las capas superiores en aquellas zonas que sean comunes. Lo anterior es clave para trabajar más adelante la integración de las capas o niveles entre sí, ya que, si aplicáramos esta imagen como mapa de desplazamiento en este estado, sí conseguiríamos volúmenes en diferentes niveles, pero no un único volumen con distintos niveles (Espinel, 2016, p 175).

Para la integración de las diferentes capas se ha de actuar sobre las áreas que han definido las máscaras y los bordes. En ellas se aplican degradados y traspas-

rencias para conseguir la mejor integración posible. Se trata de resaltar la pronunciación de los volúmenes en algunos casos, como mentón o pecho, y suavizar otros, como cuello y cabeza, para que haya una continuidad en la forma. Finalizado este proceso podemos proceder a aplicar la imagen como mapa de desplazamiento (Figura 5).



Figura 5. Integración de niveles. Fotografía J. C. Espinel.

Dada la complejidad de prever con exactitud el comportamiento de la malla tridimensional al integrar la imagen, es imprescindible la realización de pruebas previas que permitan realizar los ajustes necesarios hasta alcanzar la definitiva imagen. De esta forma, si se produjeran modificaciones de nivel bruscos, estos condicionarían discontinuidades muy marcadas, y aun cuando el objetivo sería recoger esos contrastes, viene a resultar más adecuado, su difuminación para eludir conductas de la malla disarmónicas. Sin embargo, después de las necesarias pruebas, la imagen en sus tonalidades de grises, ofrecerá una visualización difusa, en la que, a simple vista, no estarán bien definidos los distintos niveles, pero mantendrá una escala suficiente para el fin perseguido (Figura 6).

La imagen definitiva se procesa con un programa de modelado tridimensional, en el que todavía pueden hacerse algunos ajustes que mejoren el resultado final, pudiendo obtener diferentes versiones partiendo de una misma imagen.



Figura 6. Imagen en escala de grises. Fotografía J. C. Espinel.

2.4. Formato y resolución de la imagen

El grado de resolución de la imagen utilizada para la realización del relieve es clave para la consecución del producto final. Se estima que, como mínimo, ha de tener doscientos cincuenta píxeles por pulgada. En el caso de un relieve de seis por seis centímetros, la imagen debe tener como mínimo quinientos noventa y uno por quinientos noventa y un píxeles por pulgada. Para que el relieve tenga el detalle suficiente la resolución deberá estar en los quinientos píxeles por pulgada, lo que supone un tamaño para el total de la pieza de mil ciento ochenta y uno por mil ciento ochenta y un píxeles por pulgada. La resolución superior para obtener un elevado nivel de detalle, estará en torno a ochocientos píxeles por pulgada, lo que ofrecería para el total de la pieza, en este caso, una imagen de mil ochocientos noventa por mil ochocientos noventa píxeles.

A mayor resolución de imagen tendremos mayor detalle en el relieve. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta la limitación, en cuanto a la resolución, que se obtendrá al prototipar la pieza; la propia limitación de la técnica utilizada y también la derivada de escalar el modelo. La resolución de doscientos cincuenta píxeles por pulgada en ocasiones es aceptable, por ejemplo, en el caso de prototipado mediante sinterizado láser selectivo. No obstante, tanto las impresoras y el acabado final difícilmente pueden dar mayor nivel de detalle que el de la referida resolución. Para relieves a producir mediante procesos con gran nivel de detalle, como la estereolitografía, la resolución adecuada es de quinientos píxeles por pulgada.

El formato del archivo de la imagen escogida es importante en dependencia del programa que se vaya a utilizar para la ejecución del mapa de desplazamiento. Aun cuando

estos no suelen generar distorsiones en la imagen, excepción hecha de la aplicación de ruido en la imagen intencionadamente, en el caso de utilizar en el mapa de desplazamiento un archivo de imagen JPG con doscientos cincuenta y seis niveles, puede producirse en la imagen un efecto no deseado de bandeado, similar al de las curvas de nivel. En ocasiones aplicando sobre el programa de modelado 3D un desenfoque al mapa de desplazamiento se puede conseguir eliminar el efecto, pero al actuar también sobre otros elementos de nuestra imagen puede reducirse el nivel de detalle de la pieza.

En el caso de los archivos JPG, su compresión es lo que restringe la información de la imagen, repercutiendo en la disminución de la calidad de la misma. Aunque en general el nivel de compresión de los archivos JPG no es obstáculo para el correcto funcionamiento de la mayoría de las aplicaciones gráficas y tampoco lo es cuando se trata de mapas de texturas para los procesos 3D. No obstante, si no tenemos cuidado con los parámetros de calidad, el resultado puede no ser el deseado ya que cualquier imperfección o desperfecto de la imagen del archivo se trasladará con una gran exactitud al aplicarse la misma como mapa de desplazamiento

Consecuentemente con lo anterior, es preferible no escoger el formato de archivo JPG para aplicar como mapa de desplazamiento. En la investigación realizada se ha utilizado para la edición de imágenes el programa Adobe Photoshop. Como es conocido, sus archivos tienen la extensión .psd y no se plantean problemas de pérdida de información con el uso de los mismos, por lo que es el programa de elección.

En ocasiones, en algunos programas de modelado 3D no es de aplicación el formato PSD. Otros programas elegibles pueden ser los formatos TIFF (a 32 o 16 bits) o IFF, que funcionan muy bien en su aplicación como mapas de desplazamiento, en cualquier caso, la recomendación es la de evitar el formato JPG (8 bits).

Cuando se nos presente la necesidad de modificar y guardar una imagen en 8 bits a 16 o 32 bits no obviaremos, el efecto negativo sobre la calidad, ya que en la nueva imagen no se habrá generado la información necesaria de color debido a que no se habrá realizado una interpolación de los tonos existentes.

En el caso de que nos encontremos con el efecto de bandeado y no dispongamos del archivo sin compresión, podemos aplicar a la imagen un pequeño desenfoque lo que la suavizaría. De todos modos, se ha de tener en cuenta, que el efecto de bandeado, siempre estará relacionado con el tamaño definitivo de la pieza y el proceso de prototipado elegido, únicamente en los procesos que aportan una resolución mayor será visible, o en caso de que escalemos la pieza en el proceso final de preimpresión.

2.5. Aplicación del mapa de desplazamiento

Cuando se ha finalizado la elaboración de la imagen, se edita a través del correspondiente programa de modelado 3D como mapa de desplazamiento aplicándose sobre los polígonos ya creados, por lo que, en primer lugar, se debe generar un plano o polígono del tamaño y resolución (número de polígonos) en el que se quiera prototipar la pieza.

Conviene realizar el modelo en el tamaño definitivo para poder comprobar los posibles fallos que se podrían presentar en la pieza final.

Cualquier variedad de diseño o forma geométrica es susceptible de ser tratada por mapas de desplazamiento. Para el relieve motivo del estudio tenemos dos opciones

diferentes: proyectarlo sobre una forma cubica de las dimensiones de la pieza final, en este caso cuatro por sesenta por setenta milímetros, o hacerlo sobre el propio plano. Si optamos por realizarlo sobre el volumen, no se precisaría proceder al cierre de la pieza ni ajustarla después de aplicar el mapa de desplazamiento, tan sólo habría que utilizar un archivo de formato STL para pasar directamente al prototipado. Uno de los problemas que puede presentar este método es que se aplique también el desplazamiento sobre la cara opuesta de la forma, generando así un modelo muy complejo y de gran peso, lo que haría más difícil producirlo en algunos de los tipos de herramientas de prototipado.

El segundo caso, aplicándolo sobre un plano, requerirá de un mayor trabajo sobre el modelo, al tener que dar grosor y cerrar la geometría de la pieza, sin embargo, este método otorga una mayor facilidad de trabajo, debido al menor número de polígonos, además, la edición final para cerrar la malla permite un modelo más limpio y con menos errores a la hora de prototiparlo.

Hay algunas variables que se pueden modificar al aplicar el mapa sobre el modelo como, por ejemplo, además de la resolución, el ruido o desenfoque. De ellas, la que ofrece mayor posibilidades es la variable de altura o profundidad, que permite generar relieves de distintas alturas (Figura 7).

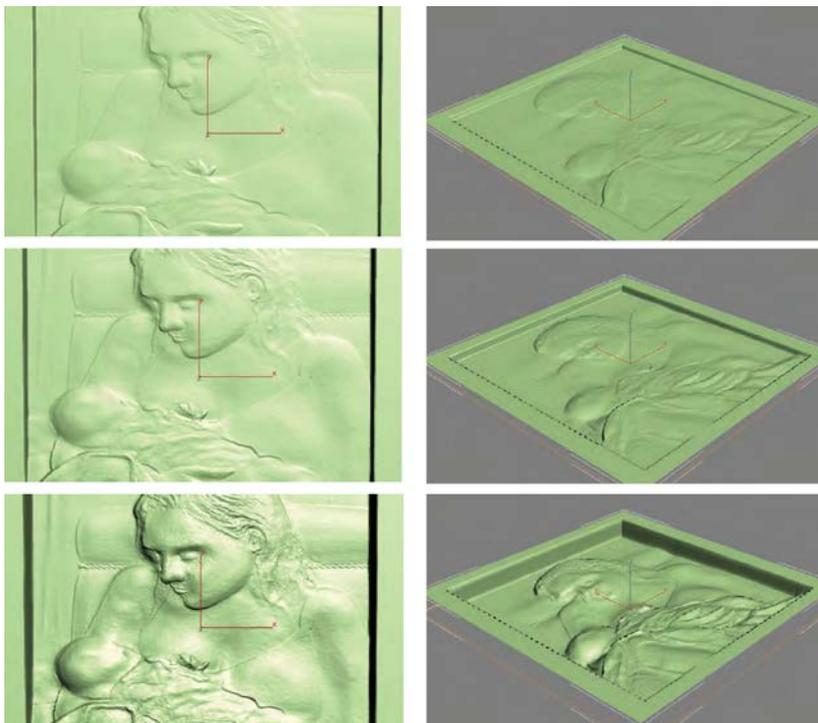


Figura 7. Variable de altura. Fotografía J. C. Espinel.

Existe también la posibilidad de aplicarlo de una forma inversa, cuando la variable de altura tiene signo negativo permite producir directamente el negativo o molde de la pieza.

Finalmente, tras culminar la etapa de aplicación del mapa de desplazamiento y una vez cerrada la malla se exporta el modelo en un formato STL. Los programas de preprocesamiento, requerirán, para producir el modelo en su escala correspondiente, la unidad de medida en la que se ha diseñado la pieza.

3. Producción de las muestras

Una vez realizadas, con distintos procedimientos y diversos materiales, las pruebas necesarias se hizo una producción del primer ejemplar de la medalla, a partir del proceso de sinterizado láser selectivo en una poliamida blanca (Figura 8).



Figura 8. Producción de dos muestras. Fotografía J. C. Espinel.

Como se puede apreciar en la parte izquierda de la figura 8, en esta pieza, se ha producido bastante pérdida de detalle del modelo original, apreciándose únicamente los volúmenes generales. A partir de esta primera impresión se realizó otra muestra aplicando la tecnología Multijet en resina transparente Visijet Cristal, y como puede apreciarse en la parte derecha de la figura 8, en ella se obtuvo un resultado adecuado.

El análisis de los resultados obtenidos, tras imprimir las dos primeras muestras del relieve, determinó que en la realizada en poliamida se produce falta de nitidez debida a dos factores: la colocación de la pieza en posición horizontal sobre el plano XZ (siendo el eje Y el eje vertical) y el procedimiento y material elegido. En el primer supuesto se había producido la pieza con una poliamida nylon11 mediante sinterizado láser selectivo. Caso de que la pieza se hubiera impreso en posición vertical, es decir con la superficie mayor sobre el plano ZY o XY, hubiéramos obtenido un mejor resultado, si bien habría que establecer que para un trabajo de detalle, como es este caso, ni el procedimiento ni el material elegido son los adecuados, deduciéndose que, en el momento de preparar piezas para su impresión, hay de tener especial atención en la colocación del modelo y su orientación en la mesa de trabajo para alcanzar un resultado óptimo.

Se constata que para diferentes impresoras 3D la resolución será más baja en el eje Z que en los otros ejes X e Y. La diferencia se provoca porque la resolución viene

marcada por el grueso de las capas de material, elemento que tendrá menos importancia en los relieves en contraste con los modelos de bulto redondo.

Aceptando que la resolución más adecuada se obtiene en los planos ZY y XY, se realizó la producción de la pieza sobre ambos para establecer cuál de ellos ofrece el mejor resultado y sus diferencias específicas. Se pudo comprobar que, para el caso del relieve, el nivel de detalle era muy satisfactorio en los dos casos, debiéndose elegir entre una y otra posición la que menos deformación produzca.

En el caso de que la producción la realicemos por adicción, no es recomendable trabajar con modelos que estén configurados por grandes planos o superficies ya que estas son susceptibles de deformaciones en el proceso final de solidificado en muchos materiales. Si hubiéramos utilizado un sistema de prototipado sustractivo (mecanizado CNC) no habría este problema. En el estudio, la posición utilizada ha sido determinante en cuanto a la deformación. En la pieza impresa de forma vertical, la deformación, aunque presente, fue imperceptible. Por el contrario, en la impresa sobre el plano XY y apoyada sobre un lateral, muestra una deformación apreciablemente mayor (Figura 9).

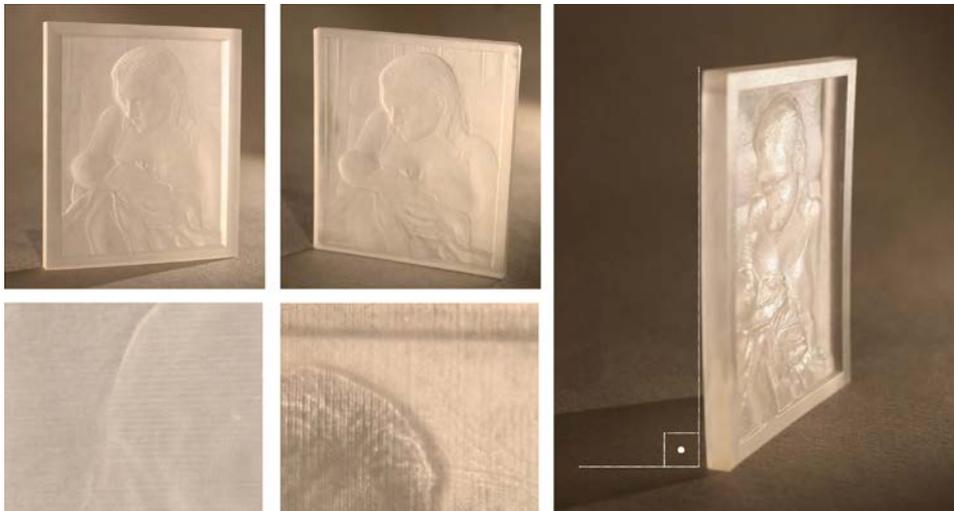


Figura 9. Estudio de posición. Fotografía J. C. Espinel.

La deformación sucede en el plano XY sobre el eje X en ambos casos.

Esta deformación no se debe a que el cabezal de impresión haya procedido de una forma errónea ya que esta deformación tiene lugar durante el proceso de curado. Durante el proceso de impresión las capas impresas se van curando de forma instantánea, lo que va generando tensiones entre la capa curada inmediatamente antes de la que se acaba de imprimir (Espinel, 2016, p.197).

Para evitar esa deformación en el eje X, se debe intentar colocar la pieza de tal forma que el procesamiento mayor se produzca sobre el eje Z, es decir, en predominio vertical y no horizontal. En síntesis, diremos que cuando se presenta una diferencia de medidas, es necesario procesar la más larga sobre el eje Y.

La pieza final generada ha sido un relieve de cuatro con siete por cincuenta y nueve con siete por sesenta y nueve con siete milímetros. Su volumen total ha sido de once con setenta y cinco centímetros cuadrados y su composición total alcanzó la cifra de dos millones quinientos diecisiete mil novecientos ochenta y cuatro polígonos, razón que nos invita a afirmar que las maquinas pueden llegar a crear piezas de cifras superiores al millón de polígonos (Figura 10).



Figura 10. Pieza final generada. Fotografía J. C. Espinel.

4. Posibilidades de implementación en la formación de artistas

La incorporación de las nuevas tecnologías en los procedimientos de producción de obra artística tridimensional está condicionando a que los departamentos de escultura de las facultades de bellas artes de este país adapten sus programas a nuevas técnicas de ejecución de piezas, reproducción e instalación para su exhibición posterior.

En las facultades de bellas artes, las posibilidades de implementación de las técnicas estudiadas en la investigación realizada no sólo se aplican a la formación de artistas de escultura en producción de obras de bulto redondo, sino también, y especialmente, en los relieves escultóricos o esculturas de pequeño formato. Además, puede aplicarse a los estudiantes que orientan su trabajo hacia el grabado, por ejemplo, en la creación de planchas para grabado en linóleo o para realización de matrices en el gofrado. Destacan, asimismo, las posibilidades que puede prestar a los estudiantes de diseño por la facilidad que ofrece para la creación de maquetas o prototipos de objetos.

Se debe subrayar que es esencial la generalización del aprendizaje de estas técnicas en la formación de docentes para que los programas escolares pueden dar satis-

facción a la demanda de estas nuevas disciplinas y aprovechar la ventana de oportunidad que produce el abaratamiento de los costes de las máquinas de prototipado, de la que ya disponen la mayoría de los colegios e institutos.

Como nos ha transmitido Elvira Rach,

(...) la digitalización y la tecnología están cambiando todo. Especialmente en las escuelas, la creciente digitalización es un gran tema y el campo de la impresión 3D está prestando especial atención. Es por eso que la educación debe involucrarse para preparar a los estudiantes para el futuro. Pero estos cambios son tan profundos que no basta con colocar un iPad en el aula. La impresión 3D puede cambiar completamente la forma en que los estudiantes aprenden y la tangibilidad física del contenido de aprendizaje de una manera especial (Contreras, 2018).

5. Conclusión

El desarrollo de relieves a través de la utilización de mapas de desplazamiento es una alternativa disponible para los artistas. Los relieves obtenidos mediante los procedimientos estudiados resultan útiles tanto en la generación de imágenes bidimensionales y también en la forma de materialización de la pieza escultórica. Aunque existen notables diferencias en las aplicaciones en cuanto al uso de los mapas de desplazamiento en programas de modelado tridimensional el resultado final en la creación de relieves es satisfactorio. Debe tenerse en cuenta que para modelos con gran detalle será necesario utilizar materiales o sistemas de procesamiento que permitan registrar suficientemente replicando fielmente los mismos.

Sera imprescindible que el tamaño de la imagen generada se adapte en tamaño a las dimensiones finales del objeto, así la referencia de elección será de una resolución de quinientos píxeles por pulgada. La imagen se debe presentar en un formato preferiblemente sin compresión como sería el caso del TIFF.

El proceso de prototipado elegido tendrá un alto impacto en el producto final, siendo determinante a la hora de ser producida la pieza la orientación de la misma sobre la bandeja de impresión en sistemas de prototipado aditivo.

El procedimiento desarrollado no pretende ser una técnica que reemplace a los métodos habitualmente empleados por los escultores como el modelado en barro o la talla en madera o piedra, y tampoco se plantea como alternativa al modelado digital directo. Por el contrario, se plantea como un sistema complementario para la creación escultórica dejando en manos del artista la elegibilidad del proyecto y métodos a utilizar en cada caso.

Las facultades de bellas artes del país deben incorporar las técnicas de modelado de relieve digital en los programas de bellas artes, diseño e incluso restauración y conservación del patrimonio, dando satisfacción a la demanda de estas nuevas técnicas por parte de la sociedad.

Referencias

Blinn, J. F. & Newell, M. E. (1976). *Texture and Reflection in Computer Generated Images-Commun. ACM*, 19, 542-547. <https://doi.org/10.1145/360349.36035>

- Caballero, L. (20/5/2022). Juguetes impresos en 3D: los pequeños “makers” de hoy, ¿ingenieros del mañana? *elDiario.es*. https://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/software/impresora-3d-educacion-ninos-programa-software_1_4599318.html
- Catmull, E. (1974). *A subdivision algorithm for computer display of curved surfaces*. ¡Falta el nombre de la editorial!
- Contreras, L. (2018). *Implementación de la impresión 3D en la educación ¿una necesidad?* 3dnatives. <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-en-la-educacion-290820182/>
- D’Elia, A. Pitrola, C. & Pasman, J. (2011). *Nuevas tecnologías, nuevos públicos, nuevos desafíos, en Perspectivas. Situación actual de la educación en los museos de artes visuales*. Ed. Ariel. Barcelona.
- Espinel Velasco, J. C. (2016). *Procesos digitales y sistemas de prototipado rápido aditivos aplicados a la creación escultórica de pequeño formato y relieves*. [Tesis, Universidad Complutense de Madrid] <https://eprints.ucm.es/id/eprint/38940/1/T37730.pdf>
- Hast, A. (2008). *Bump Mapping*. Creative Media Lab. University of Gavle. Sweden.
- Huaman Mauricio, G.G. (2019). *Implementación de impresora 3D para impresión de juguetes mediante objetos reciclables*. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/7758>
- Neto, M.M., Bishop, G. & McAllister, D.K. (2000). *Relief texture mapping*. Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques.
- Oppenheimer, R. (2005). *William Fetter, E.A.T. and 1960s Computer Graphics Collaborations in Seattle*. <https://www.historylink.org/File/20542>
- Vila, C. (2008). *Mapas de Relieve: Mucho más que bumps*. Etereastudios. http://www.ete-reastudios.com/training_img/relief_maps/relief_maps_2.htm
- Wang, X., Tong, X., Lin, S., Hu, S., Guo, B. & Shum, H.-Y. (2004). Generalized displacement maps. *Eurographics Symposium on Rendering. Eurographics*, 227–233. Suecia.
- Witkower R. (1980). *La escultura procesos y principios*. Ed. Alianza.