

## APLICACIÓN DE INGENIERÍA INVERSA EN MODELADO Y FABRICACIÓN ADITIVA

### APPLICATION OF REVERSE ENGINEERING IN MODELING AND ADDITIVE MANUFACTURING

G. Partida Ochoa<sup>1</sup>  
L.G. González Vázquez<sup>2</sup>  
M. Mojarro Magaña<sup>3</sup>  
R.J. Pérez López<sup>4</sup>

#### RESUMEN

Este artículo presenta la metodología implementada para fabricar un objeto orgánico utilizando herramientas de manufactura digital. Se empleó un escáner 3D EINSCAN PROHD, los softwares SHINING 3D, Meshmixer y Ultimaker Cura para la aplicación de ingeniería inversa en modelos CAD y en la impresora Ultimaker 2+. Se identificaron tres opciones de escaneo en el software SHINING 3D: 1) Escaneo Fijo, 2) Escáner HD de mano y 3) Escáner rápido de mano, con la posibilidad de seleccionar tres niveles de resolución. Para esta investigación, se utilizó la segunda opción y los tres niveles de resolución. Los modelos obtenidos fueron procesados en Meshmixer y exportados en formato STL a Ultimaker Cura para la generación de códigos G, que posteriormente se ejecutaron en la impresora Ultimaker 2+. Los resultados indican que el escaneo en alta resolución proporciona el mejor nivel de detalle, manteniendo la fidelidad de la pieza original, las experiencias y recomendaciones plasmadas contribuirán a la formación de ingenieros con competencias globales.

#### ABSTRACT

This article presents the methodology implemented to manufacture an organic object using digital fabrication tools. An EINSCAN PROHD 3D scanner, SHINING 3D, Meshmixer and Ultimaker Cura software were used for reverse engineering CAD models and an Ultimaker 2+ printer. Three scanning options are identified in the SHINING 3D software: 1) Fixed Scanning, 2) Handheld HD Scanner and 3) Handheld Fast Scanner, with the possibility of selecting three resolution levels. For this research, the second option and all three resolution levels were used. The obtained models were processed in Meshmixer and exported in STL format to Ultimaker Cura for G-code generation, which were subsequently executed on the Ultimaker 2+ printer. The results indicate that high-resolution scanning provides the best level of detail, maintaining the fidelity of the original part. The experiences and recommendations reflected will contribute to the training of engineers with global skills.

#### ANTECEDENTES

Los antecedentes se presentan en tres apartados: Ingeniería Inversa, Software CAD utilizados y aceptados en impresión 3D y manufactura aditiva.

#### Ingeniería Inversa

Batancur (2011) define a la ingeniería inversa como una metodología ampliamente utilizada en la manufactura y el diseño de productos, permitiendo la obtención de modelos digitales precisos. Además, García (2022) menciona que puede ser utilizada para analizar y recrear digitalmente objetos físicos a partir de escaneos o mediciones detalladas. Bordignon (2018) y Rodríguez, (2019) mencionan que la evolución de la tecnología de escaneo 3D, permite

<sup>1</sup> Profesor. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. gonzalo.po@cdguzman.tecnm.mx

<sup>2</sup> Profesor. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. luis.gv@cdguzman.tecnm.mx

<sup>3</sup> Profesor. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. maria.mm@cdguzman.tecnm.mx

<sup>4</sup> Profesor. TecNM / Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán. ruben.pl@cdguzman.tecnm.mx

optimizar este proceso, facilitando la digitalización de piezas con alta fidelidad, en un menor tiempo, a un bajo costo y con la opción de subsanar imperfecciones en los diseños. El enfoque de Varady (1997) es esencial en diversas industrias, ya que facilita la reproducción, mejora y análisis de componentes para su posterior fabricación mediante impresión 3D o maquinado de Control Numérico (CNC).

Aguilar (2024) menciona que la ingeniería inversa se aplica en sectores como la aeronáutica, la ingeniería de materiales, elementos constructivos, industria aeroespacial, aeronáutica, automotriz, construcción, médica, en el desarrollo de elementos de máquinas, entre otros. Sus usos van desde la reparación y modernización de piezas hasta la creación de prototipos personalizados y el análisis de estructuras complejas. En este contexto, (Gibson, 2015; Moreno, 2017) mencionan que la ingeniería inversa se ha convertido en una herramienta esencial para la innovación y el desarrollo tecnológico, permitiendo la recuperación de diseños obsoletos, la optimización de procesos y la adaptación de productos a nuevas necesidades de los mercados crecientes.

La ingeniería inversa evoluciona con la llegada del escáner 3D, la empresa SHINING 3D (2023) menciona que el modelo EINSCAN PRO 2X ofrece un rendimiento incomparable en la captura de alta resolución y precisión. Además de ser un asistente confiable para diseñadores e ingenieros que buscan modelado 3D de alta calidad. Las especificaciones técnicas del escáner 3D, se encuentran en el manual EINSCAN PROHD (2021) y se presentan en la Tabla 1.

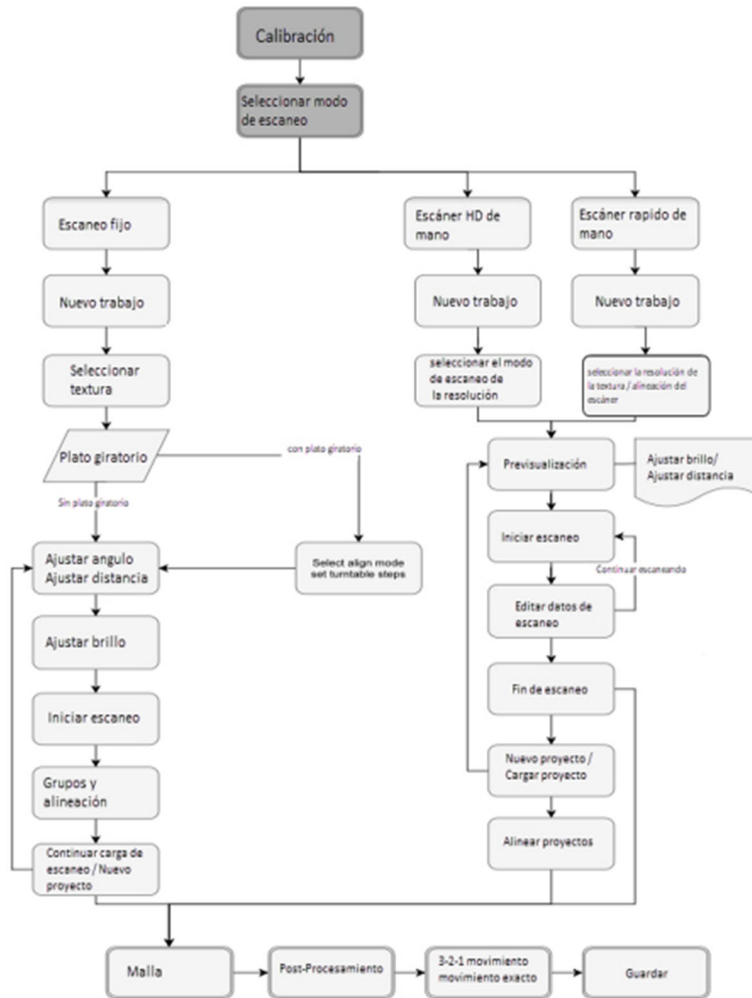
**Tabla 1.** Especificaciones del escáner EINSCAN PROHD.

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
Peso	1.13 kg
Exactitud del escaneo	Hasta 0.045 mm en Escaneo HD, Hasta 0.1 mm en Escaneo rápido de mano
Fuente de luz	LED
Software	<u>ExScan Pro</u> , <u>Solid Edge Shining 3D</u>
Formato de salida	OBJ, STL, ASC, CAPA, P3, 3MF
Configuración requerida	Tarjeta gráfica: tarjeta <u>Quadro P1000</u> y superior o NVIDIA GTX660 y superior, procesador: Intel (R) <u>xeon E3-1230</u> , Intel (R) I5-3470, Intel (R) I7-3770; interfaz: USB 3.0 de alta velocidad; memoria: 8G
Peso	1.13 kg

Fuente: EINSCAN PROHD (2021).

La Figura 1 muestra un diagrama de flujo, proporcionado en el manual de usuario del escáner EINSCAN PROHD, originalmente estaba en inglés y ha sido traducido al español para una mayor comprensión. Se presentan las tres opciones en las que se puede utilizar el escáner y las etapas que implica cada una de ellas.

Figura 1. Diagrama de flujo de escáner EINSCAN PROHD.

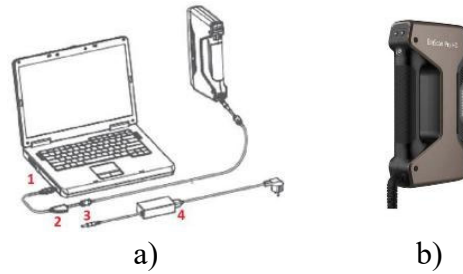


Fuente: EINSKAN PROHD (2021).

El peso del escáner es de 1.13 kg y requiere se conecte a una toma eléctrica de 127V y a un puerto USB 3.0. En la Figura 2 se presenta:

- a) Un esquema de la conexión, donde el numero:
  - 1 representa la conexión del escáner al puerto USB 3.0
  - 2 y 3 Representan la conexión para la alimentación eléctrica del escáner.
  - 4 es la conexión de la clavija al regulador del escáner.
- b) Es una fotografía de la vista isométrica del escáner.

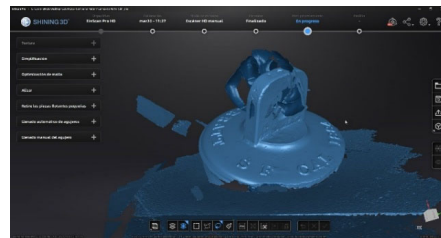
**Figura 2.** Escáner EINSCAN PROHD.



Fuente: EINSKAN PROHD (2021).

Por medio de la Figura 3, se presenta la interfaz del software SHINING 3D®, en la parte superior se observa una línea de tiempo, donde de forma visible se muestra la etapa en la que se está trabajando. Del lado izquierdo y en la parte inferior se presentan comandos acordes a lo que se está realizando y del lado derecho comandos básicos.

**Figura 3.** Interfaz del software SHINING 3D®.



**Programas CAD utilizados en impresión 3D**

El portal “paradibujantes” en (2023), realizó una clasificación sobre programas de cómputo que facilitan el proceso para migrar del dibujo a la impresión 3D, esta información se presenta a través de la Tabla 2.

**Tabla 2.** Programas para crear diseños para impresoras 3D.

Para Principiantes	Avanzados	Versión Gratuita	Programas Online	Específicos para Impresión 3D
TinkerCAD	FUSION 360	TinkerCAD	TinkerCAD	CraftWare
Vectary	FreeCAD	Vectary	Vectary	Slic3r
3D Slash	Onshape	3D Slash	3D Slash	Meshmixer
XYZMaker	Shapr3D	SketchUp	XYZMaker	3D Slash
SketchUp	SculptGL	FreeCAD	SculptGL	XYZMaker
BlocksCAD	ZbrushCoreMini	Wings 3D		
	CraftWare	BlocksCAD		
	Slic3r	Art of Illusion		
	Meshmixer	K-3D		
	Blender	Insight3D		
	ReCap Pro			

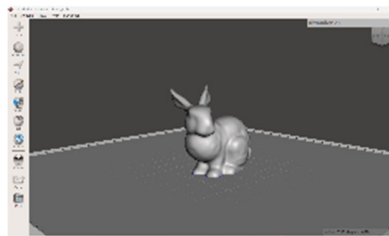
Fuente: paradibujantes (2023).

Meshmixer es uno del software 3D® gratuitos ofrecidos por Autodesk que presenta varias características interesantes para ayudar al usuario en el modelado y la impresión 3D. 3Dnatives (2024) menciona que se basa en el modelado de superficies para diseñar cualquier tipo de pieza a partir de otro modelo, más precisamente en una malla triangular. La cual consta de tres elementos: vértices, aristas y caras o triángulos. Los vértices corresponden a puntos en el espacio 3D, las aristas conectan dos vértices juntos y las caras corresponden a la asociación de tres vértices.

Bitfab (2020), describe a MeshMixer, como una herramienta que ha sido diseñada para la manipulación y optimización de modelos 3D, siendo una herramienta versátil para quienes trabajan con impresión 3D. Su amplio conjunto de funciones permite desde la edición y modificación de modelos hasta su análisis y reparación, facilitando la creación de piezas listas para impresión. La Figura 4 muestra la interfaz de Meshmixer, donde se puede observar en la parte superior izquierda el acceso a menús desplegables, en la izquierda se encuentran los comandos y en el resto de la pantalla el área de trabajo, que proporciona el software.

Entre sus principales capacidades se encuentran las herramientas de edición, que permiten mover, rotar y escalar modelos con precisión, dividirlos en secciones, ahuecarlos para reducir el consumo de material y separarlos en sus componentes individuales. Estas funciones hacen posible modificar los modelos de manera flexible y eficiente. Además, Meshmixer cuenta con herramientas de análisis y reparación que ayudan a evaluar la viabilidad de impresión de un modelo, identificando áreas problemáticas y corrigiendo errores de geometría. También permite determinar el centro de gravedad de una pieza, asegurando su estabilidad al momento de imprimir. Otra funcionalidad clave es la conversión de modelos en sólidos, lo que optimiza su estructura para evitar fallas en la impresión.

**Figura 4.** *Interfaz del software Meshmixer.*



### **Manufactura aditiva**

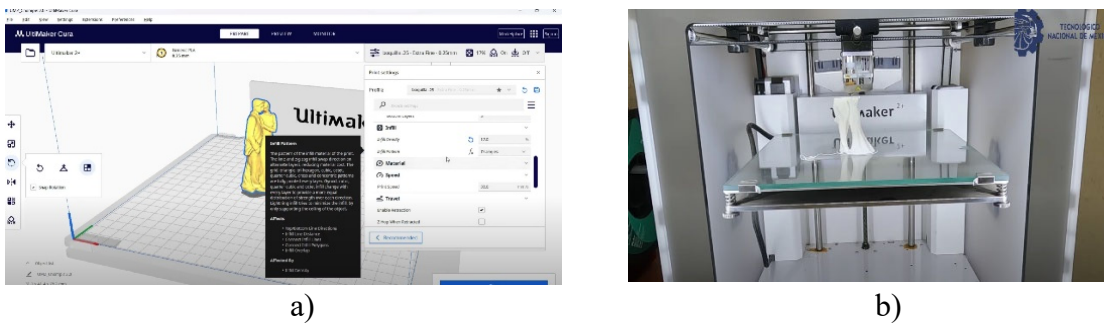
Las primeras tecnologías de impresión 3D se hicieron visibles por primera vez a fines de la década de 1980, momento en el que se las denominó tecnologías de prototipos rápidos (RP) Portocarrero (2018). La aparición de la impresión 3D supone unir la fabricación aditiva con el control numérico, permitiendo generar piezas directamente a partir de un modelo diseñado en software CAD, sin necesidad de moldes, Fernández (2021).

La impresora 3D es un dispositivo capaz de generar un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material y se considera un método de adición, y ahí radica la principal diferencia con los sistemas de producción tradicionales que generan formas a partir de la eliminación de exceso de material, conociéndose como métodos sustractivos (Chimbo, 2016;

Guilcamaigua, 2024). Durán (2024) presenta algunas tecnologías empleadas para el escaneo 3D son: luz estructurada, láser o fotogrametría, utilizadas en diversas aplicaciones útiles como el diseño, la fabricación, la inspección de calidad entre muchas otras.

La impresora Ultimaker 2+ es una impresora 3D de escritorio reconocida por su precisión y versatilidad en la fabricación aditiva. Utiliza la tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM) y es compatible con filamentos de 2.85 mm de diámetro. Su diseño incluye un extrusor con engranajes y boquillas intercambiables de diferentes diámetros (0.25 mm, 0.4 mm, 0.6 mm y 0.8 mm), lo que permite ajustar la resolución de capa entre 20 y 600 micras según las necesidades del proyecto. Con un volumen de impresión de 223 x 223 x 205 mm y una resolución XYZ de 12.5, 12.5 y 5 micras respectivamente, ofrece una alta precisión en la creación de modelos. La Figura 5, muestra: a) La interfaz del software Ultimaker Cura y b) Impresora Ultimaker 2+.

**Figura 5.** Impresora 3D: a) Software Ultimaker Cura y b) Impresora Ultimaker 2+.

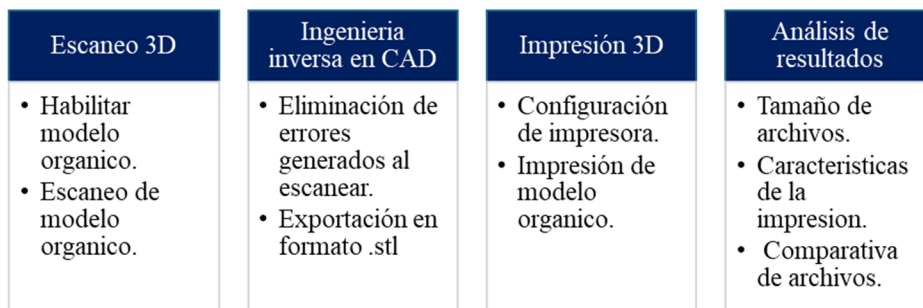


El presente trabajo tiene como objetivo aplicar la ingeniería inversa y la fabricación aditiva de un objeto orgánico. Utilizando el escáner EINSCAN PRO HD, los programas de cómputo Meshmixer-Cura y la impresora Ultimaker 2+.

**METODOLOGÍA**

Para desarrollar esta investigación se realizó en cuatro etapas, como se observa en la Figura 6.

**Figura 6.** Etapa de la investigación.



**Escaneo 3D**

Se utiliza el escáner EINSCAN PROHD para digitalizar el objeto físico, generando una nube de puntos con los tres tipos de resolución. Esta información se procesa para obtener una malla poligonal detallada en formato compatible.

**Ingeniería inversa en CAD**

Con el software Meshmixer, se eliminan errores y ruido en la malla, se suavizan superficies y se optimiza la geometría. Luego, el modelo se exporta en formato .stl para su posterior impresión 3D.

**Impresión 3D**

Se configura la impresora Ultimaker 2+, ajustando parámetros como resolución, tipo de material y orientación de impresión. Posteriormente, se genera el archivo G-code y se fabrica la pieza mediante impresión FDM.

**Análisis de resultados**

Se analizan las dimensiones, calidad y características de la pieza impresa. Además, se comparan los archivos digitales y físicos para verificar la precisión del proceso y la fidelidad del modelo impreso.

**RESULTADOS**

Los resultados se presentan por medio de tres tablas, en la Tabla 3, se muestra el tamaño de cada uno de los archivos que se generaron al escanear en las resoluciones: baja, media y alta. En las fases:

- Al finalizar de escanearlos en SHINING 3D.
- Al concluir de corregirlos y convertirlos a sólidos.
- Finalmente, al momento de importarlos en formato .stl.

**Tabla 3.** *Tamaño de archivos.*

Impresión	Tamaño de archivos		
	SHINING 3D	Meshmixer	.stl
BAJO	6,798 KB	11,900 KB	19,600 KB
MEDIO	29,720 KB	38,000 KB	19,900 KB
ALTO	122,070 KB	146,395 KB	19,538 KB

La configuración de la impresora 3D se muestra en la Tabla 4, se realizó en el software Ultimaker Cura y se recabó la información de las variables:

- % de relleno.
- Grosor de pared.
- Velocidad.
- Tiempo de impresión.













- Cantidad de bloques generada en cada uno de los archivos.

**Tabla 4.** Variables de impresión 3D.

Impresión	% relleno	Grosor de pared	Velocidad	Tiempo de impresión	Cantidad de bloques (renglones)
Bajo	20%	0.75mm	30mm/s	1h33m	279
Medio	20%	0.75mm	30mm/s	1h41m	285
Alto	20%	0.75mm	30mm/s	1h42m	287

La Tabla 5 muestra un análisis del proceso de escaneo 3D en diferentes resoluciones. En la primera columna se indica la resolución utilizada (baja, media o alta), en la segunda se presenta la configuración seleccionada en SHINING 3D, en la tercera se observa la nube de puntos generada, en la cuarta la conversión del modelo a sólido mediante Meshmixer y en la quinta la etapa de impresión 3D.

**Tabla 5.** Resultados obtenidos en los tres modos de resolución.

Resolución	Configuración SHINING 3D	Nube de puntos SHINING 3d	Sólido Meshmixer	Impresión 3d
<b>Bajo</b>				
<b>Medio</b>				
<b>Alto</b>				

De forma visible es muy difícil encontrar diferencias, sin embargo, en base a los datos se observa lo siguiente:

1. Densidad de la nube de puntos:
  - La configuración baja genera una nube de puntos con poca información (~0.2 millones de puntos), lo que se traduce en menor precisión del modelo final.
  - La configuración alta tiene 25 veces más puntos que la baja (~5M puntos), permitiendo una representación más fiel del objeto escaneado.
2. Cantidad de polígonos en el modelo sólido:
  - A medida que aumenta la resolución, la cantidad de polígonos crece, generando un modelo más detallado.
  - La diferencia entre baja y alta resolución es un incremento de 20 veces en la cantidad de polígonos.
3. Tiempo de procesamiento:
  - Procesar en alta resolución puede tardar hasta 5 veces más que en baja.
  - Esto es un factor clave si el escaneo se usa para ingeniería inversa o impresión 3D en lotes.

## CONCLUSIONES

La investigación demuestra la relevancia de la ingeniería inversa como una herramienta clave en la digitalización, modificación y fabricación de modelos tridimensionales. La utilización del escáner EINSCAN PROHD permitió la captura de modelos en distintas resoluciones, cuya calidad final dependió directamente de la densidad de la nube de puntos generada. Se evidenció que la configuración de escaneo en alta resolución ofreció mejores resultados en términos de precisión y fidelidad del modelo. Posteriormente, el software Meshmixer facilitó la optimización de los modelos digitales, eliminando errores y mejorando su estructura antes de la impresión.

En términos de manufactura aditiva, el uso de la impresora Ultimaker 2+ y el software Ultimaker Cura permitió convertir los modelos digitales en objetos físicos, con variaciones mínimas en el tiempo de impresión entre las distintas resoluciones de escaneo. Sin embargo, un escaneo más detallado implica archivos más grandes y tiempos de procesamiento mayores, lo que debe considerarse en aplicaciones industriales o en producción en serie.

Este estudio confirma que la combinación de escaneo 3D, ingeniería inversa y manufactura aditiva es una metodología efectiva para la digitalización y reproducción de objetos orgánicos. El alcance de esta investigación fue identificar la mejor configuración del escáner, para vincularlo con la impresión 3D, lo cual coadyuvará a mejorar las habilidades técnicas de los estudiantes y prepararlos para el mercado laboral.

## BIBLIOGRAFÍA

Alfonso, M. (2020, 26 de mayo). *Mega guía de Meshmixer, la navaja suiza de los STLs*. Bitfab. <https://bitfab.io/es/blog/meshmixer/>.

Aguilar Urquidez, P. (2024). *Impresión 3D cerámica de densidad variable controlada* [Tesis de licenciatura, institución no especificada].

Betancur Rodríguez, M. A. (2011). *Ingeniería inversa aplicada: Metodología y aplicaciones*

- industriales* (Tesis de licenciatura). Universidad EAFIT.
- Bordignon, F., Iglesias, A. A., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D: Una guía de apoyo a escuelas*. UNIPE Editorial Universitaria.
- Crear diseños para impresora 3D: Los mejores softwares. (2023, 26 de septiembre). *Paradibujantes*. <https://paradibujantes.com/3d/crear-disenos-para-impresora-3d/>.
- Chimbo, K. M., Aveiga, H. L., Moreira, J. M., & Tumbaco, R. L. (2016). Los beneficios de las impresoras 3D como herramienta de innovación en la medicina. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 11.
- Durán Sánchez, C. A., & Tapia Faicán, J. F. (2024). *Digitalización de autopartes mediante escaneo 3D* (Tesis de licenciatura).
- EinScan. (2023, 1 de diciembre). *Einscan Pro HD proporciona una experiencia de escaneo de alta eficiencia*. <https://www.einscan.com/escaneres-3d-portatiles/einscan-pro-hd-es/>.
- Fernández-Castellanos, R. (2024). *Diseño y optimización de una férula de muñeca para fabricación aditiva*.
- García, J. C. T. (2022). *Scanner 3D para la fabricación de componentes mecánicos mediante ingeniería inversa*.
- Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2015). *Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing* (2.<sup>a</sup> ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>.
- Guilcamaigua, S., & Arbey, M. (2024). *Impresión 3D*.
- 3Dnatives. (s. f.). *MeshMixer, the free surface 3D modeling software*. <https://www.3dnatives.com/en/meshmixer-231020204/>.
- Moreno, I., & Serracín, P. (2017). Impresora 3D. *El Tecnológico*, 27(1), 26. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/el-tecnologico/article/view/1293>.
- Portocarrero Peláez, J. S. (s. f.). *Trabajo exploratorio sobre la aplicación de la impresión 3D en una minera*.
- Rodríguez Castro, C. C., & Barreto Amaya, C. A. (s. f.). *Recuperación de un ensamble mecánico por ingeniería inversa mediante técnicas de digitalización*.
- Sahib. (2021, 15 de noviembre). *Guía del usuario del escáner 3D portátil multifuncional SHINING 3D EinScan Pro HD*. Manuals+. <https://manuals.plus/es/shining-3d/einscan-pro-hd-multifunctional-handheld-3d-scanner-manual>.

UltiMaker. (s. f.). *UltiMaker 2+ Connect*. <https://ultimaker.com/es/3d-printers/s-series/ultimaker-2-connect/>.

Varady, T., Martin, R. R., & Cox, J. (1997). Reverse engineering of geometric models: An introduction. *Computer-Aided Design*, 29(4), 255–268. [https://doi.org/10.1016/S0010-4485\(96\)00054-1](https://doi.org/10.1016/S0010-4485(96)00054-1).