

Metodología para la obtención por impresión 3D y la verificación de modelos quirúrgicos de huesos

Enrique E. Zayas-Figueras¹, Irene Buj-Corral², Roberto Pérez-Rodríguez³, Rafael Trinchet-Soler⁴

¹CDEI-Dinámica de Máquinas, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universitat Politècnica de Catalunya, España. Email: enrique.zayas@upc.edu

²TECNOFAB, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universitat Politècnica de Catalunya, España. Email: irene.buj@upc.edu

³Centro de Estudios CAD/CAM, Universidad de Holguín, Cuba. Email: roberto.perez@uho.edu.cu

⁴Grupo de investigación, Hospital Pediátrico Octavio de la Concepción y la Pedraja (Holguín), Cuba. Email: trinchetbolivia@gmail.com

Resumen

El trabajo expone la propuesta de una metodología para la obtención y verificación de modelos quirúrgicos de tejidos duros (huesos), que sugiere el uso de varios softwares (RadiAnt, SolidWorks, MeshMixer), tanto para la visualización y el procesamiento de imágenes médicas (archivos DICOM), como para la edición y modificación de los archivos STL requeridos para la impresión 3D de modelos con la tecnología de fabricación por filamento fundido. La metodología se ha validado a través de la obtención y verificación de modelos impresos de las falanges proximal y distal y de un hueso metacarpiano de un dedo pulgar.

Palabras clave: metodología, modelos quirúrgicos; impresión 3D; verificación de modelos.

Abstract

The work exposes the proposal of a methodology for obtaining and verifying surgical models of hard tissues (bones), which suggests the use of different software (RadiAnt, SolidWorks, MeshMixer), both for the visualization and processing of medical images (DICOM files), as well as for editing and modifying the STL files required for 3D printing of models with fused filament manufacturing technology. The methodology has been validated by obtaining and verifying printed models of the proximal and distal phalanges and a metacarpal bone of a thumb.

Keywords: methodology, surgical models; 3d print; model verification.

1. Introducción

Fabricación aditiva (FA) es el término formalizado por la ASTM International, para lo que solía llamarse prototipado rápido (PR) y lo que en la actualidad se ha popularizado como impresión 3D (3DP). Para referirse a la FA con frecuencia también se utilizan los términos Fabricación por Capas (FC) y Fabricación de Forma Libre Sólida (FFLS). Hoy día el desarrollo de las tecnologías de FA y la mejora de la calidad de las máquinas de FA permite, no sólo la fabricación de prototipos rápidos, sino también la entrega de piezas

finales hechas a medida. Así, las aplicaciones de la FA abarcan en la actualidad distintos ámbitos como el sanitario y el médico, el aeroespacial y el transporte, industrias como la alimentaria y la textil, la arquitectura, la construcción y otros. En particular, en el ámbito de la medicina y la biomedicina, el uso de diversas técnicas de FA demuestra su utilidad para aplicaciones médicas y de investigación, destacándose su uso en la fabricación de implantes para huesos, de estructuras biológicas (*scaffolds*), de dispositivos médicos, de modelos quirúrgicos, de órtesis y prótesis e incluso chips biológicos, entre otras [1, 2, 3, 4].

El principio básico de la tecnología de FA, es que un modelo generado inicialmente mediante un Diseño Geométrico Tridimensional Asistido por Ordenador (CAD 3D), puede fabricarse directamente sin necesidad de planificar el proceso de producción. La tecnología de FA simplifica de manera significativa el proceso de producción de objetos 3D de alta complejidad directamente a partir de datos CAD. La clave de la FA es que las piezas se fabrican añadiendo material por capas. Así, las principales diferencias entre las máquinas de FA estriban, tanto en los materiales que pueden utilizarse como en la manera como se crean y se unen las capas entre sí [3]. La norma ISO/ASTM 52900:2015 [1] diferencia los procesos de FA en siete clases principales (Figura 1), que son: 1) Fotopolimerización en cuba (VP); 2) Inyección de material (MJ); (3) Inyección de aglutinante (BJ); 4) Fusión en lecho de polvo (PBF); 5) Extrusión de

Material (ME); 6) Deposición de energía dirigida (DED); y 7) Laminación de láminas (SL).

Dichos procesos de FA tienen un grupo de etapas comunes. Éstas son: 1) Modelado matemático del objeto en 3D, con un programa CAD. Aquí, en ocasiones se hace ingeniería inversa para generar el modelo (adquisición de imágenes y postprocesado de las mismas); 2) Conversión del modelo a formato .STL -legible por un programa de capeado; 3) Manipulación del STL y conversión a formato G-Code -que contiene instrucciones para máquinas CNC de FA; 4) Configuración de la máquina de FA; 5) Impresión del modelo 3D del objeto; 6) Retirada de objeto impreso de la máquina de FA y 7) Postprocesado del objeto -quitar soportes, curado, limpieza, etc. (Figura 2).

La FA se utiliza cada vez más en el ámbito de la medicina, para fabricar piezas basadas en los datos médicos de una persona. Dichos datos se basan en el uso de tecnologías de imágenes médicas en 3D, como

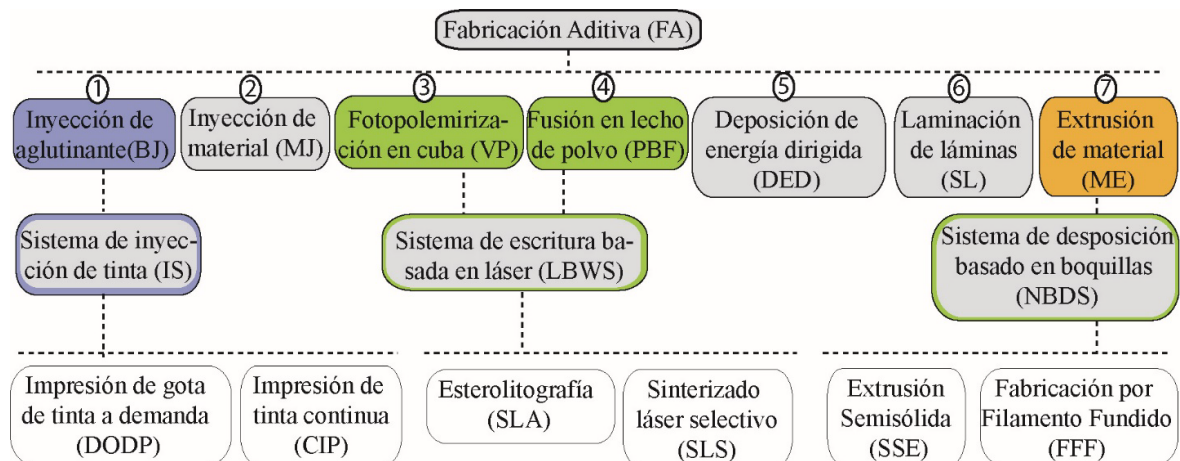


Figura 1. Clasificación de los procesos de FA, según ISO/ASTM 52900:2015. Fuente: elaboración propia.

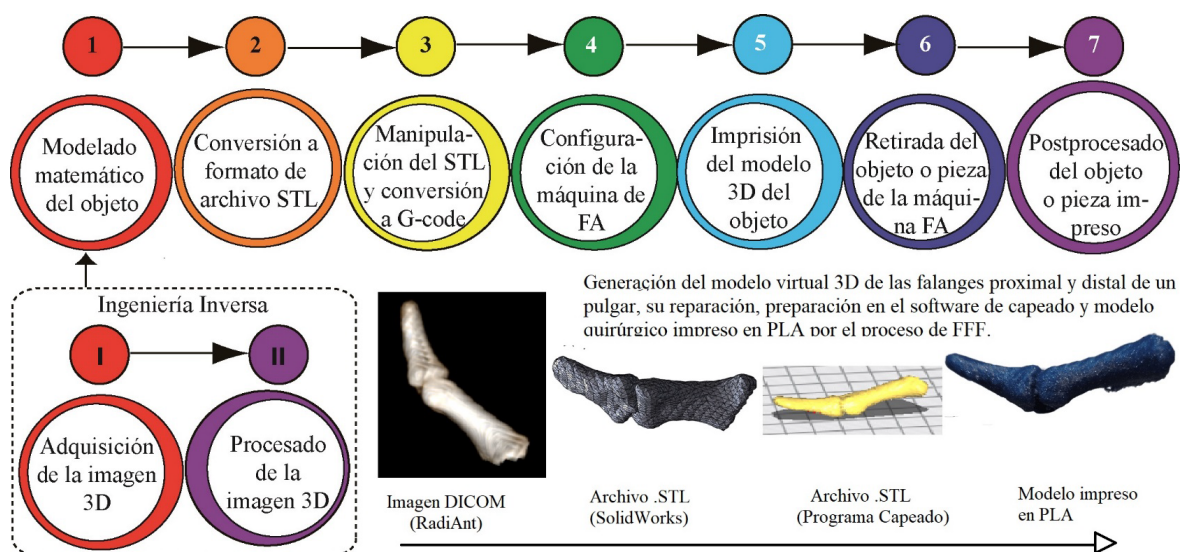


Figura 2. Pasos comunes en las Tecnologías de FA. Ejemplo de obtención del modelo impreso 3D de las falanges proximal y distal de un dedo pulgar. Fuente: elaboración propia.

son la tomografía computarizada (TC), la resonancia magnética 3D (RM), la ecografía 3D y el escaneo láser 3D -para imágenes externas. La necesidad de compartir y ordenar estos datos entre plataformas, ha llevado a un estándar internacional para el almacenamiento y transmisión de imágenes médicas y datos relacionados como es el formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Dichos datos son llamados “datos de la ingeniería inversa” y normalmente requieren un procesamiento considerable para poder extraer las secciones relevantes o de interés por los médicos antes de poder construir un modelo. Existen diversos sistemas informáticos capaces de procesar datos médicos de forma adecuada, y han surgido diversas aplicaciones, por ejemplo, los softwares RadiAnt [5], Invesalius [6] y 3D Slicer [7] para la visualización, procesamiento, segmentación y análisis de imágenes médicas. En este trabajo se ha utilizado el RadiAnt, gracias a sus ventajas, que se exponen más adelante.

La personalización de productos médicos es una de las características más destacables de la tecnología de FA en aplicaciones biomédicas. Así, la FA contribuye de manera significativa a una o más de las siguientes categorías de aplicaciones médicas: a) Ayudas y modelos quirúrgicos y de diagnóstico, b) Desarrollo de prótesis y órtesis, c) Fabricación de productos médicos relacionados, d) Ingeniería de tejidos, e) Fabricación de diseños complejos de implantes, entre otras [1, 2, 3, 4]. La aportación principal de este trabajo es la propuesta de una metodología para la obtención y verificación de modelos quirúrgicos de tejidos duros (huesos), que sugiere el uso de varios softwares como son el RadiAnt, el Meshmixer [8] y el SolidWorks [9], utilizados tanto para la visualización y el procesamiento de imágenes médicas (archivos DICOM), como para la edición, reparación y preparación de los archivos STL requeridos

para la impresión 3D de modelos con diferentes tecnologías de FA, como la Fabricación por Filamento Fundido (FFF), la estereolitografía (SLA) y la Proyección de Material (MJ). La metodología aquí propuesta se ha validado a través de la obtención y verificación de modelos impresos de las falanges proximal y distal y del hueso metacarpiano de un dedo pulgar. Una vez validada dicha metodología se ha pasado, en una segunda fase, a la creación de modelos quirúrgicos maxilofaciales.

2. Metodología para la obtención por impresión 3D y la verificación de modelos quirúrgicos de huesos

La metodología propuesta sugiere los siguientes pasos (Figura 3): 1) Estudio del estado del arte de la aplicación de la FA en la medicina [1, 2, 3, 4], 2) Estudio del estado del arte del software de visualización y procesamiento de imágenes médicas [5,6,7], 3) Elección de archivos DICOM disponibles y uso de un software de gestión de imágenes médicas (RadiAnt), 4) Uso del software MeshMixer [8] y SolidWorks [9] para la edición y reparación de los archivos STL de los modelos generados en RadiAnt [4], 5) Análisis de los resultados del uso de los softwares utilizados en la generación de los modelos virtuales, 6) Impresión 3D de los modelos quirúrgicos, (usando una impresora Multimaker 2+ para FFF, una impresora FormLabs3 para SLA y una impresora ProJet MJP 3600 Max para MJ), 7) Verificación geométrica, dimensional y de acabado superficial de los modelos impresos y 8) Validación de la metodología propuesta.

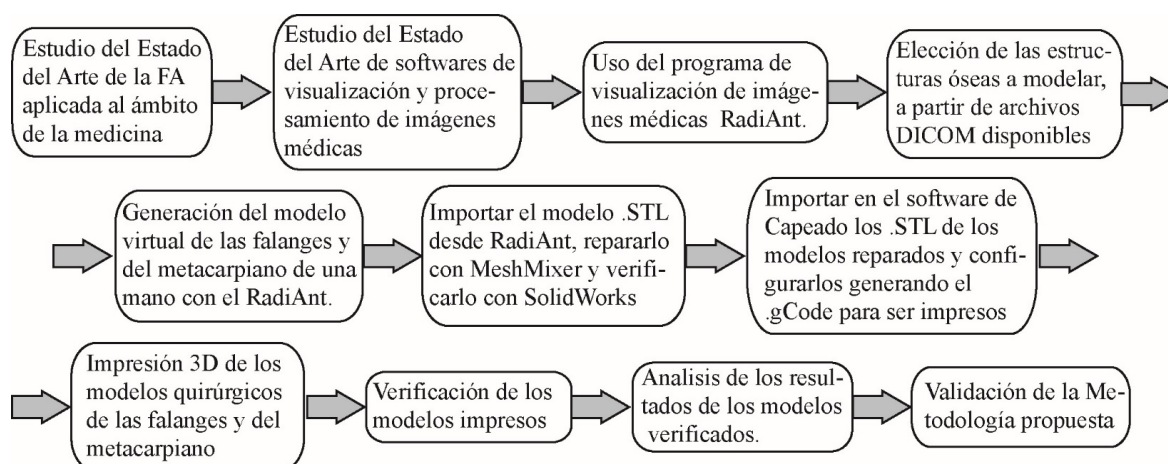


Figura 3. Metodología para la obtención por impresión 3D y la verificación de modelos quirúrgicos de huesos. Fuente: elaboración propia.

2.1. Estudio del estado del arte de la aplicación de la impresión 3D en la medicina

En el ámbito de la medicina, cada paciente es único, lo que hace que la FA tenga un alto potencial en dicho ámbito, dado las posibles aplicaciones personalizadas. Entre las aplicaciones clínicas más comunes se pueden citar los implantes personalizados, los modelos médicos y guías de sierra. En el campo dental, la FA se utiliza en férulas, aparatos de ortodoncia, modelos dentales y guía taladros [4, 10]. Como se expone en el apartado introducción, la FA también ha explorado en la fabricación de tejidos y órganos artificiales, así como estructuras bioactivas y bioimpresión de células [4, 10]. El gran desarrollo en imagenología médica permite reconstruir modelos 3D a partir de la anatomía de los pacientes y a partir de los datos de dichos modelos médicos, se pueden diseñar implantes específicos para pacientes, prótesis, órtesis, modelos quirúrgicos, que se materializan mediante FA [2, 3, 4, 10]. Este trabajo, justo aplica la FA para modelos quirúrgicos personalizados.

2.2. Estudio del estado del arte de software de visualización y procesamiento de imágenes médicas

Existen diversos softwares de visualización y procesamiento de imágenes médicas, algunos gratuitos y de código abierto, como son: a) 3D Slicer (admite formatos como DICOM, NIfTI, entre otros; tiene funciones avanzadas como segmentación, registro, cuantificación y visualización 3D de imágenes médicas; tiene una interfaz compleja; ha sido creado por *Slicer Community*, conformada por científicos en diversas áreas de la ingeniería y la biomedicina)[7]; b) Invaselius (admite archivos DICOM o Analyze, tiene funciones de renderizado de volumen, segmentación de imágenes manual o semiautomática, permite generar archivos .gCode a partir de imágenes DICOM-3D, es una aplicación desarrollada en Brasil para usos médico y docente)[6]. El tercer software es RadiAnt [5], aquí utilizado dadas sus ventajas, como son: 1) Software gratuito en versión de prueba, 2) Tiene un instalador compacto, 3) Es rápido y fácil de usar, 4) Compatibilidad con múltiples formatos de archivos de imágenes médicas; 5) Proporciona herramientas esenciales para ver y trabajar con archivos DICOM, 6) Ofrece un rendimiento excelente, así como lectura asincrónica de grandes conjuntos de datos DICOM, entre otras. RadiAnt es el software utilizado en este trabajo, dadas las ventajas antes citadas.

2.3. Elección de archivos DICOM y uso del software RadiAnt de gestión de imágenes médicas

Una imagen DICOM contiene además de un conjunto de imágenes (secciones o cortes) médicas, información relevante del paciente y del estudio en un único

archivo. Cuando se juntan dichas imágenes y se apilan se obtiene el modelo anatómico real del paciente en la zona donde se ha utilizado la tecnología de imágenes médicas usada (TC, 3D RM, ecografía 3D, etc.). Existen repositorios de imágenes DICOM de acceso gratuito. En este caso, se utiliza el repositorio “Dataverso de la Universidad de Harvard” [11] y en particular las imágenes escaneadas de un brazo izquierdo amputado, del cual se obtienen los modelos de las falanges distal y proximal y el hueso metacarpiano del dedo pulgar (Figura 4).

2.3.1. Uso del programa RadiAnt

Los pasos a seguir para utilizar el software RadiAnt, a partir de la experiencia de su uso son (Figura 5): 1) Abrir el archivo DICOM del paciente (este puede ser compactado .zip, que se abre directamente, o un archivo DICOM normal .dcm); 2) Elegir en la columna izquierda de la pantalla la serie de imágenes con la cual trabajar (cada serie indica el número de cortes o imágenes que la forman). Se sugiere elegir la de mayor número de imágenes que permita un posterior renderizado 3D con calidad del modelo anatómico del órgano o hueso del cual se quiere imprimir el modelo quirúrgico; 3) Generar el modelo 3D deseado, haciendo uso de la herramienta de “Renderizado de Volumen 3D” en la barra de herramientas del programa; 4) Comprobar el modelo. En la ventana de renderizado 3D aparecen opciones que permiten elegir qué ver del modelo y su manipulación (rotación, vista sagital, etc.), por ejemplo: “Angio”, para ver los vasos sanguíneos; “AirWays”, para ver las vías respiratorias, “Bones B/W” para ver lo huesos, que en el caso aquí mostrado es la opción deseada, así como otras opciones; y 5) Elegir la herramienta “Bisturí” (de corte) y, con ella, ir marcando las partes que se requiere eliminar, hasta tener el modelo del hueso que interesa imprimir para obtener el modelo quirúrgico. Cabe destacar que, en el caso de superficies cóncavas, al realizar el corte se recorta la pieza en toda su profundidad o volumen, aspecto que hace difícil el proceso de dejar aisladas sólo las partes deseadas del modelo. Por otro lado, el uso de la “Herramienta de medición” en dicha ventana de renderizado 3D no garantiza una alta precisión de medición, por lo que se sugiere medir las dimensiones del modelo, exportándolo el archivo .STL (con la opción “Full” de mayor resolución) y abriéndolo con el programa SolidWorks (SW), donde, en la opción “Evaluar” con la herramienta medir, se puede ir de un nodo a otro del mallado, garantizando mayor precisión de medición. También SW permite una verificación mejor del mallado de toda la superficie de la pieza. Por otro lado, se concluye que, si el archivo DICOM elegido tiene baja resolución (pocas imágenes o cortes), al hacer recortes con la herramienta “Bisturí”, se generarán picos de sierra en ciertas superficies de la pieza que bajan la calidad del modelo, diferenciándolo

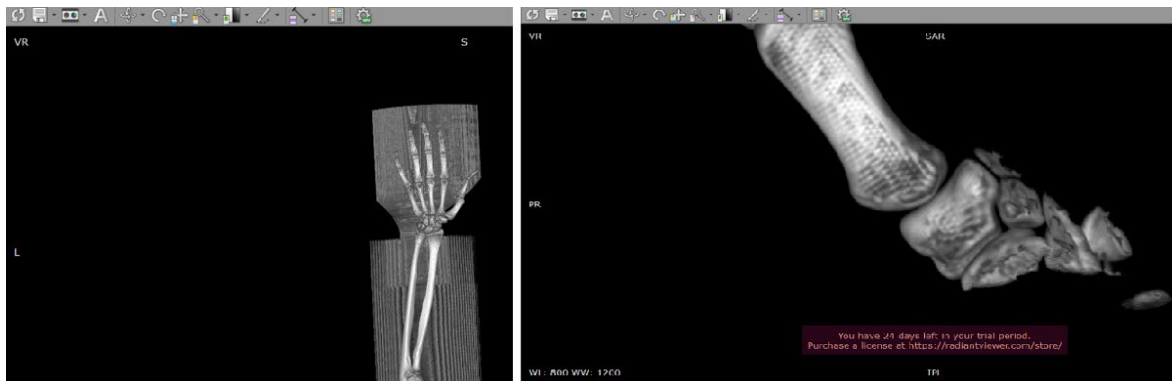


Figura 4. Imagen en RadiAnt del brazo de partida y de los huesos de la mano donde se ve el metacarpiano . Fuente: elaboración propia.

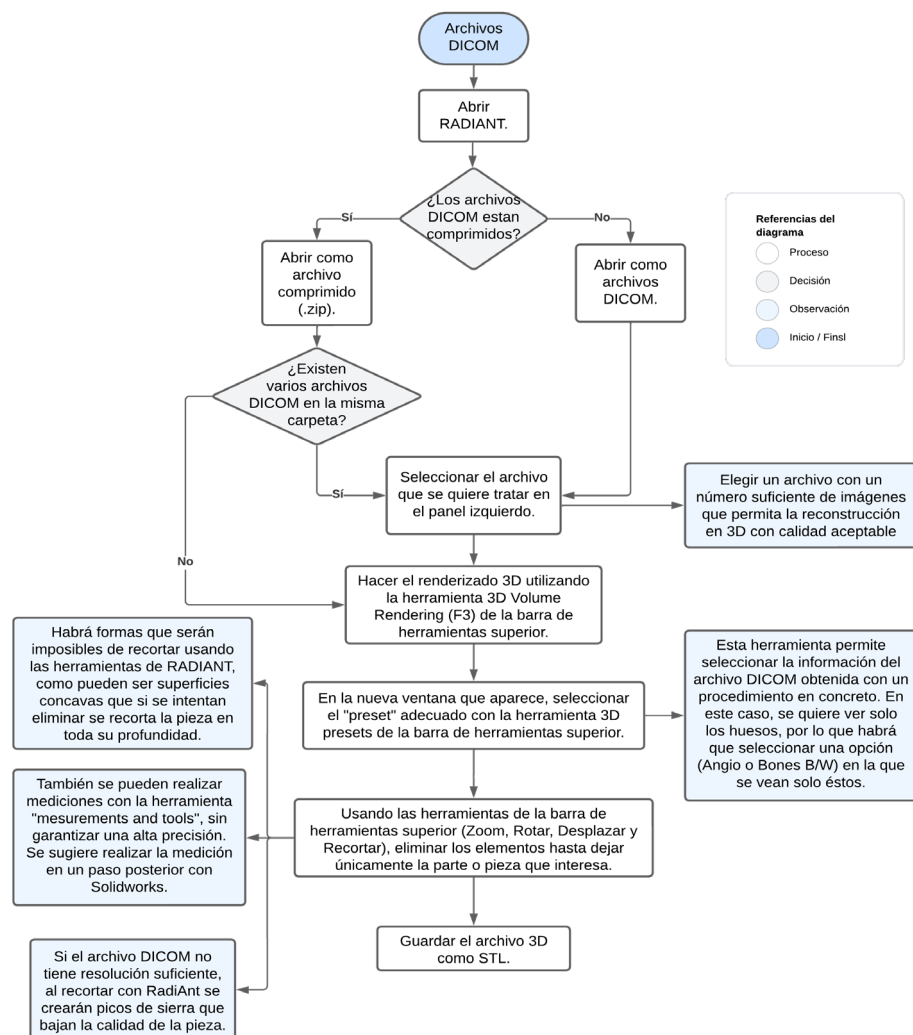


Figura 5. Diagrama de flujo del trabajo con RadiAnt. Fuente: Óscar Rodríguez.

de la pieza o hueso real. En la Figura 4 se muestra el brazo y al lado parte de los huesos metacarpiano y otros que se han ido aislando del brazo con RadiAnt, con el objetivo de generar el modelo del hueso metacarpiano.

2.3.2. Uso de los programas MeshMixer y SolidWorks

MeshMixer es un software gratuito de modelado 3D ofrecido por Autodesk que se enfoca en la edición y preparación de modelos 3D para impresión. SolidWorks es un modelador de sólido 3D comúnmente usado en el diseño CAD y que dispone de muchas herramientas de edición y verificación de modelos virtuales. La metodología aquí propuesta sugiere usar ambos programas para realizar el postproceso de los archivos .STL generados con RadiAnt, tanto para la corrección de la geometría de los modelos como para detección y eliminación de puntos y partes aisladas, difíciles de detectar con RadiAnt. Se debe destacar que MeshMixer permite generar superficies muy similares a las del modelo real y que SolidWorks, permite comprobar de manera más precisa las dimensiones en los modelos (Figura 6).

quedado sueltas durante el recorte del modelo. Sin embargo, puede dar errores en las zonas con agujeros; 5) Usar la herramienta “Edit” con la opción “MakeSolid” para reparar los agujeros y eliminar las partículas pequeñas aisladas (se recomienda no abusar del uso de esta opción, ya que puede deformar el modelo), 6) Revisar el modelo STL y, si está bien, se va al menú “File” y se exporta como .STL; si no, se selecciona la herramienta “Sculpt”, reparando del todo la superficie del modelo, y se exporta como .STL y 7) Abrir el .STL con el software SW, y hacer una verificación final del mallado del modelo para ver si aún queda alguna partícula aislada no deseada. Desde SW se exporta el .STL final, para ser tratado en el programa de capeado correspondiente, y luego generar el archivo .gCode que se envía a la impresora 3D.

2.3.3 Resultados del uso de los softwares

El uso combinado del MeshMixer y el SolidWorks, para la reparación y edición de las superficies y geometrías de los modelos .STL, permite que éstos sean más parecidos a los modelos de los huesos generados con los datos iniciales con RadiAnt. Se debe

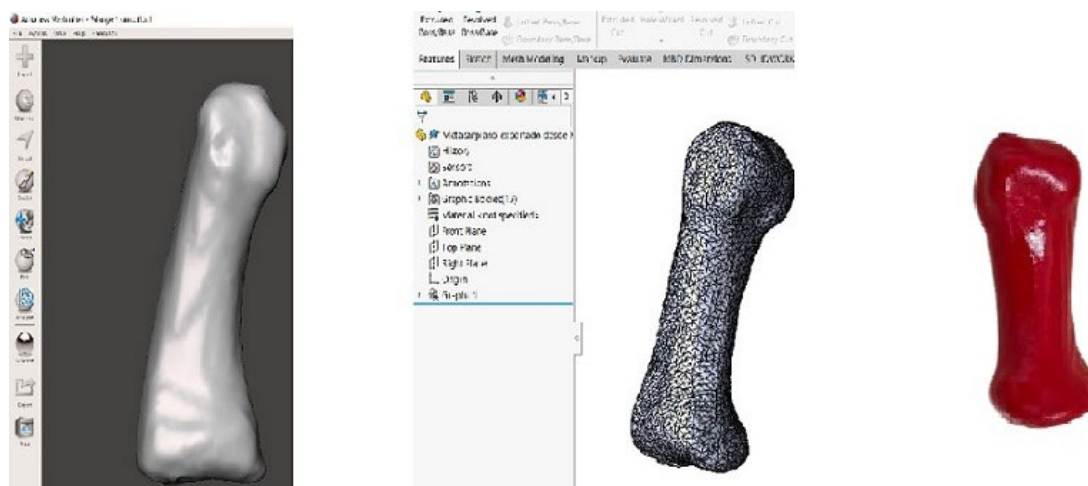


Figura 6. Imagen del metacarpiano en MeshMixer, en SolidWorks e impreso por SLA y pintado de rojo. Fuente: elaboración propia.

La Figura 7 muestra el diagrama de flujo con los pasos a seguir en la utilización de ambos softwares. Los pasos esenciales a realizar con MeshMixer son: 1) Abrir archivo .STL generado con RadiAnt; 2) Posicionar y orientar el modelo importado (con la herramienta “Edit” y la opción “Transform”), habiendo definido previamente el modelo y tipo de impresora virtual en el que se imprimirá el modelo; 3) Con la herramienta “Select”, seleccionar las superficies o partes grandes del modelo que se quieren suprimir, luego clicar en la tecla suprimir; 4) Usar la herramienta “Analysis” con la opción “Inspector” para reparar zonas del mallado y a la vez eliminar puntos o partículas pequeñas que han

destacar, en particular, que el uso de las opciones de MeshMixer y de SW facilita la eliminación de puntos y partes no fácilmente detectadas con Radiant, así como la corrección de las superficies irregulares con puntas o dientes no deseados que surgen durante la eliminación de partes no deseadas en el modelo .STL original, a partir del cual se desea aislar el hueso o tejido del cual se quiere crear el modelo quirúrgico. También el proceso de mallado generado con SW es más preciso que el generado con MeshMixer, lo que facilita la medición de dimensiones lineales con mayor precisión (Figura 6).

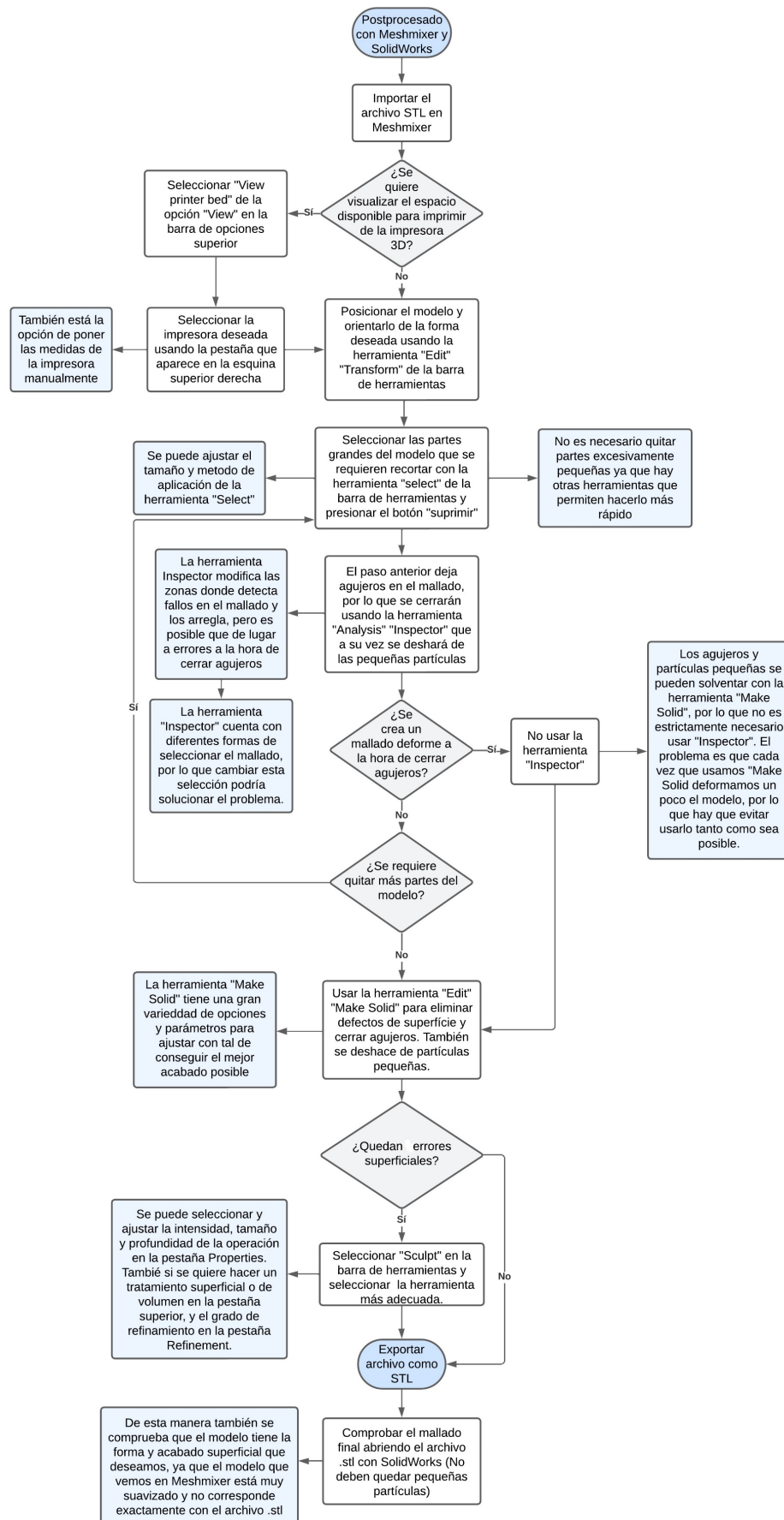


Figura 7. Diagrama de flujo del trabajo con MeshMixer y SolidWorks. Fuente: Óscar Rodríguez.

2.3.4 Impresión de los modelos

Los modelos quirúrgicos se han impreso mediante tres tecnologías de FA diferentes para su comparación: a) Tecnología de extrusión de material mediante FFF, con una impresora Ultimaker 2+, en PLA de color azul; b) Tecnología de fotopolimerización en cuba mediante SLA, con una impresora FormLabs3, en resina FormLabs fotocurable de color negro; y c) Tecnología de proyección de material (MJ), con una impresora ProJet MJP 3600 Max y material VisiJet Crystal-Rigid Crystal de color blanco, recubierta de pintura roja para poder verificarla con un equipo de escaneo 3D (Figura 8).

entre las dimensiones y formas de las piezas impresas y los modelos iniciales.

Por ejemplo, en la Figura 9 se muestran dos vistas del 3D escaneado del modelo impreso del metacarpiano obtenido mediante MJ. En dicha figura se observa una buena coincidencia entre la superficie escaneada y la del modelo .STL (zona de color verde con menores diferencias geométricas). En los extremos del modelo se observan algunas zonas de color azul, donde el error es de hasta $-0,25$ mm. En las zonas cóncavas (color rojo, imagen de la derecha) se observan errores de hasta $+0,25$ mm, que podrían atribuirse a la dificultad de medir dichas zonas mediante el escaneo láser. De



Figura 8. Falanges y metacarpianos impresos en distintos materiales: modelos blancos y rojos (MJ), modelos azules (FFF) y modelos negros (SLA). Fuente: elaboración propia.

2.3.5 Verificación de los modelos impresos

Los modelos impresos se han verificado mediante el uso de un escáner 3D láser de la marca Zeiss, modelo *T-SCAN Hawk 2*, que admite el escaneo en una amplia gama de materiales y superficies. Este escáner funciona mediante el software *Zeiss Inspect*, un estándar bien establecido en metrología 3D. Con esta herramienta se ha podido generar el modelo 3D escaneado de las superficies de cada uno de los modelos quirúrgicos, los que se superponen a los modelos .STL correspondientes generados a partir de la imagen DICOM. Esto permite hacer una primera comparativa

igual manera, se han medido los distintos modelos quirúrgicos impresos, obteniéndose resultados muy similares en cuanto a forma geométrica y dimensiones.

2.4. Resultados

El desarrollo del presente trabajo ha obtenido como resultados los siguientes: 1) Una metodología validada para la obtención por impresión 3D y la verificación de modelos quirúrgicos de huesos; 2) Los diagramas de flujo que muestran los pasos a seguir con los softwares RadiAnt, MeshMixer y SolidWorks, que se sugieren utilizar en la metodología propuesta; 3) La validación

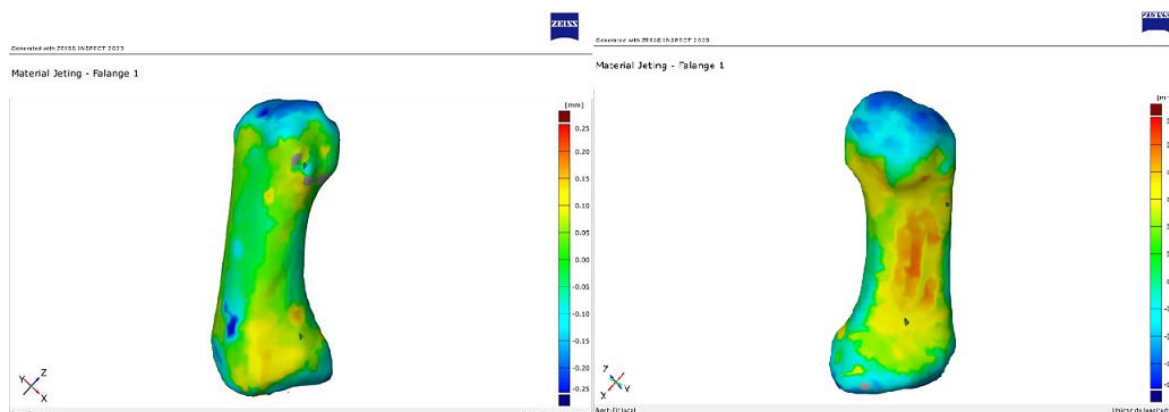


Figura 9. Imágenes del modelo del metacarpiano impreso escaneado y superpuesto al modelo .STL generado con el software *Zeiss Inspect*. Fuente: elaboración propia.

de la metodología a través de la impresión y verificación de modelos quirúrgicos de los huesos metacarpiano, y las falanges distal y proximal de un dedo pulgar. Los resultados de la verificación se consideran satisfactorios, dada la similitud de las formas geométricas obtenidas y la buena aproximación entre las dimensiones entre los modelos impresos y escaneados y los archivos .STL tomados como referencia, que en la mayoría de los casos tienen errores de -0.25 mm en las zonas convexas y de +0.25 mm en las zonas cóncavas.

2.5. Conclusiones

El trabajo propone y valida una metodología para la obtención y verificación de modelos quirúrgicos de tejidos duros (huesos). Dicha metodología implica el uso de varios softwares, tanto para la visualización y el procesamiento de imágenes médicas como para la edición, modificación y reparación de los archivos STL requeridos para la impresión 3D de modelos. La metodología se ha validado a través de la impresión mediante diferentes tecnologías de FA de modelos quirúrgicos de las falanges proximal, distal y el metacarpiano de un dedo pulgar. La verificación de los modelos impresos se ha realizado mediante un escáner 3D láser, lo que ha permitido comprobar que las dimensiones y formas de las piezas impresas son similares a las de los modelos en la mayor de sus superficies, con algunas ligeras diferencias en los extremos de las piezas y en las zonas cóncavas.

2.6. Trabajo futuro

Aplicando la metodología anterior, se ha comenzado a imprimir modelos maxilofaciales de casos reales de pacientes cubanos, utilizando tecnología de FA mediante FFF y distintos materiales, cuya verificación está pendiente. Por ejemplo, en la Figura 10 se muestran tres modelos impresos con el material Polipropileno con Fibra de vidrio (PP+FV)

2.7. Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Cooperación para el Desarrollo (CCD) de la UPC por su apoyo económico al proyecto 2023-B011 “Transformación de la práctica quirúrgica en un hospital de Holguín (Cuba) mediante la incorporación de la fabricación aditiva a la obtención de modelos quirúrgicos”. Esta investigación también fue financiada por la Agencia Estatal de Investigación de la Gobierno de España, a través del proyecto PID2020-115647RB-C21, “Obtención de prótesis para sustitución de tejido óseo mediante impresión 3D por extrusión y posterior sinterizado”. También agradecemos al estudiante Óscar Rodríguez Valentín, así como a los compañeros Alejandro Domínguez, Ramón Casado y Héctor Sanz, todos ellos del DEM de la UPC, por su colaboración en el desarrollo del trabajo.

3. Referencias

- [1] I. 52900, Additive manufacturing—General principles—Fundamentals and vocabulary, 2021.
- [2] Elhadad, Amir A., et al. "Applications and multidisciplinary perspective on 3D printing techniques: Recent developments and future trends." *Materials Science and Engineering: R: Reports* 156 (2023): 100760.
- [3] Gibson, Ian, et al. “Additive manufacturing technologies”. Cham, Switzerland: Springer, 2021.
- [4] Salmi, Mika. “Additive manufacturing processes in medical applications”. *Materials* 14.1 (2021): 191.
- [5] Página Web de RadiAnt. Disponible en: <https://www.radiantviewer.com/es/>
- [6] Página Web de Invesalious. Disponible en: <https://invesalious.github.io/>



Figura 10. Modelos maxilofaciales impresos con tecnología FFF y material PP+FV. Fuente: elaboración propia.

[7] Página Web de 3DSlicer. Disponible en:
<https://www.slicer.org/>

[8] Página Web de MeshMixer. Disponible en:
<https://meshmixer.com/>

[9] Página Web del SolidWorks. Disponible en:
<https://www.solidworks.com/es/product/students>

[10] Buj-Corral, I., Tejo-Otero, A. and Fenollosa-Artés, F. Use of FDM Technology in Healthcare Applications: Recent Advances. In: Fused Deposition Modeling Based 3D Printing: 277-297. 2021

[11] Página Web del Dataverso de la Universidad de Harvard. Disponible en:
<https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/TJTSCM>