



GLOBAL JOURNAL OF MEDICAL RESEARCH: K
INTERDISCIPLINARY

Volume 22 Issue 1 Version 1.0 Year 2022

Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal

Publisher: Global Journals

Online ISSN: 2249-4618 & Print ISSN: 0975-5888

3D Printing, Complement to Approach in Complex Lesions

By Boris Luis Torres, Gloria Castillo Lara, José Antonio Travieso Rodríguez,
Emilio Fidel Buchaca, Jordi Llumà i Fuentes & Bárbara Adrover Monserrat

Universidad de Ciencias Médicas de La Habana / Cuba

Abstract- The use of 3D printing is a technology in increasing expansion in the area of the medical sciences. We describe it the technical characteristics of 3D printing and a protocol of obtaining of models three dimensional as a complement to the imaging studies for the approach of complex injuries. 3D printing of five areas of interest corresponding to vascular lesions, spinal, renal and pulmonary by additive manufacturing technique. 1.75mm extrafill polylactic acid was used, following the imaging method DICOM medical, 3D reconstruction in format STL and G-code of each structure, being carried out Ender-3 computer printing. They were printed structures at a scale of 50-75% of the real volume, with average processing time of 32.4 min. This technology allows you to individualize care of patients with complex injuries, raising the quality of medical services, techers and decreasing the direct costs of care per hospital stay.

Keywords: 3D printing, polymers in additive manufacturing, 3D design, surgical planning, personalized medicine.

GJMR-K Classification: DDC Code: 840.9003 LCC Code: PC2079



Strictly as per the compliance and regulations of:



© 2022. Boris Luis Torres, Gloria Castillo Lara, José Antonio Travieso Rodríguez, Emilio Fidel Buchaca, Jordi Llumà i Fuentes & Bárbara Adrover Monserrat. This research/review article is distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0). You must give appropriate credit to authors and reference this article if parts of the article are reproduced in any manner. Applicable licensing terms are at <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

3D Printing, Complement to Approach in Complex Lesions

Impresión 3D, Complemento En El Abordaje Terapéutico De Lesiones Complejas

Boris Luis Torres ^α, Gloria Castillo Lara ^σ, José Antonio Travieso Rodríguez ^ρ, Emilio Fidel Buchaca ^ω, Jordi Llumà i Fuentes [¥] & Bárbara Adrover Monserrat [§]

Resumen- El uso de la impresión 3D constituye una tecnología en expansión creciente en el área de las ciencias médicas. Describimos las características técnicas de la impresión 3D y un protocolo de obtención de modelos tridimensionales como complemento a los estudios de imagen para el abordaje de lesiones complejas. Se realizó impresión 3D de cinco áreas de interés correspondientes a: lesiones vasculares, espinales, renales y pulmonares por técnica de fabricación aditiva. Se usó Ácido Poliláctico extrafill de 1,75mm, siguiendo el método de obtención de imágenes médicas DICOM, reconstrucción 3D en formato STL y código-G de cada estructura, realizándose impresión en equipo Ender-3. Se imprimieron las estructuras a escala del 50-75% del volumen real, con tiempo promedio de procesamiento 32.4 min. Esta tecnología permite individualizar la atención al paciente con lesiones complejas, elevando la calidad de los servicios médicos, docentes y disminuyendo los costes directos de atención por estadia hospitalaria.

Palabras clave: impresión 3D, polímeros de fabricación aditiva, diseño 3D, planificación quirúrgica, medicina personalizada.

Abstract- The use of 3D printing is a technology in increasing expansion in the area of the medical sciences. We describe it the technical characteristics of 3D printing and a protocol of obtaining of models three dimensional as a complement to the imaging studies for the approach of complex injuries. 3D printing of five areas of interest corresponding to vascular lesions, spinal, renal and pulmonary by additive manufacturing technique. 1.75mm extrafill polylactic acid was used, following the imaging method DICOM medical, 3D reconstruction in format STL and G-code of each structure, being carried out Ender-3 computer printing. They were printed structures at a scale of 50-75% of the real volume, with average processing time of 32.4 min. This technology allows you to individualize care of patients with complex injuries, raising the quality of medical services, techers and decreasing the direct costs of care per hospital stay.

Keywords: 3D printing, polymers in additive manufacturing, 3D design, surgical planning, personalized medicine.

Author ^α ^ω: Hospital clínico quirúrgico "Hermanos Ameijeiras", Universidad de Ciencias Médicas de La Habana / Cuba.

Corresponding Author ^σ: Instituto de Neurología y Neurocirugía, Universidad de Ciencias médicas de La Habana / Cuba.
e-mail: castillolarag@gmail.com

Author ^ρ [¥] [§]: Departamento de ingeniería mecánica. Universidad Politécnica de Cataluña / España.

I. INTRODUCCIÓN

La fabricación aditiva hace referencia a aquellos métodos de fabricación por adición de material y utilizados con el objetivo de producir nuevos componentes complejos y durables, mientras que la impresión 3D consiste en fabricación de modelos o piezas finales de modo rápido pero de resolución limitada y normalmente se suele utilizar una forma concreta de técnica aditiva.^(1,2)

El origen de la impresión 3D data de 1980 por el Dr Kodama, en 1981 este adquirió su primera patente en el Instituto Municipal de Investigaciones Industriales de Nagoya, al inventar dos métodos de fabricación aditiva de un modelo de plástico tridimensional, con un polímero fotoendurecible. En 1983 Charles W. Hull inventó la impresión por estereolitografía, y al año siguiente registró la patente de un equipo con este método de impresión, lo que fue el eje de la empresa "3D Systems", primera compañía de impresión 3D del mundo. Según los reportes, en menos de 10 años nació la impresión 3D, incorporándose como término al Medical Subject Headings (MeSH) en el 2015, representando una transición tecnológica bajo la teoría de: "SI PUEDES DIBUJARLO PUEDES IMPRIMIRLO"⁽³⁾

Este trabajo tiene como objetivo describir las características técnicas de la impresión 3D y el protocolo de obtención del modelode interés en un centro de atención médica, iniciando desde el procesamiento de las imágenes diagnósticas hasta la impresión de modelos orgánicos o regionales en patologías complejas susceptibles de tratamiento quirúrgico.

II. MÉTODO

El proceso de crear objetos tridimensionales a partir de un modelo diseñado con ordenador mediante programas de diseño asistido por computadoras, comienza por la realización de estudios diagnósticos de TAC o IRM, a partir de lo cual se desencadena el post procesamiento de las imágenes obtenidas hasta finalizar en la obtención de un modelo tridimensional físico de la región definida.⁽⁴⁾

a) *Proceso de obtención de las imágenes y planificación de modelado e impresión 3D*

1. Obtención de las imágenes de TAC o IRM en formato DICOM
2. Definir, crear y modelar el área de interés en 3D, realizando su procesamiento en el software Phillips, versión 8.0 LOT 8.0.2.2.20820; aunque es posible emplear para este fin diversos programas de procesamiento de imagen, algunos de ellos gratuitos y otros comerciales, que permitan realizar reconstrucciones 3D en TAC o IRM y ofrezcan la posibilidad de salvar la imagen en formato exportable STL (STereo Litography, Standard Triangle Language o Standard Tessellation Language); es un formato de diseño asistido por computadora, de tipo binario o ASCII, que define la geometría de objetos en 3D.
3. Creación de fichero G-Code: Consiste en a través de un programa denominado Slicer, abrir el fichero STL y crear un fichero G-Code (nombre de un lenguaje de descripción de operaciones para máquinas de control numérico por ordenador) el cual genera información útil para la impresora teniendo en cuenta varios parámetros como la velocidad, la temperatura, los parámetros de la máquina, dimensiones máximas y de material. A partir de lo anterior, el software va creando las diferentes capas (slices) que la impresora, partiendo de la base del objeto va a ir creando, capa a capa, depositando el material de filamento que sale fundido a través de la boquilla extrusora. El fichero G-Code contiene datos asociados a movimientos en determinadas coordenadas tridimensionales X, Y, Z, y asociadas a la expulsión de cierta cantidad de material en determinada posición.
4. Impresión: El fichero G-Code se carga a la impresora a través de un dispositivo Micro SD. Al reconocer el diseño; la impresora inicia el proceso tomando el filamento de polímero aditivo, enrollado en un carrete en su extremo superior izquierdo, lo va derritiendo en el cabezal extrusor a una temperatura que varía de 180-220 grados.

Con el plástico fundido la máquina va creando capa por capa elevándose décimas de milímetros entre cada una de ellas, continuando hasta finalizar la impresión del objeto.

La estrategia de impresión determina los caminos del cabezal de la máquina en la creación de la pieza. En este contexto, las piezas impresas se componen de dos zonas características: el contorno y el relleno. El contorno es la piel que delimita la pieza y se corresponde con los perímetros exteriores.⁽⁶⁾ El relleno es el formado por las trayectorias que sigue la boquilla para llenar el espacio vacío que queda dentro del contorno. La velocidad de impresión también es un

parámetro modificable. Se puede definir para cada zona de impresión, siendo independiente para los contornos, rellenos, capas superior e inferior, lo cual afecta directamente la cantidad de material extruido.⁽⁶⁾

La pantalla del equipo ofrece información referente a: temperaturas del equipo y la base de impresión, tiempo de la impresión (rango de error teniendo en cuenta si el área de interés es cavitada o no), velocidad de impresión y progreso de la de la misma expresada en porciento. (Figura 1)

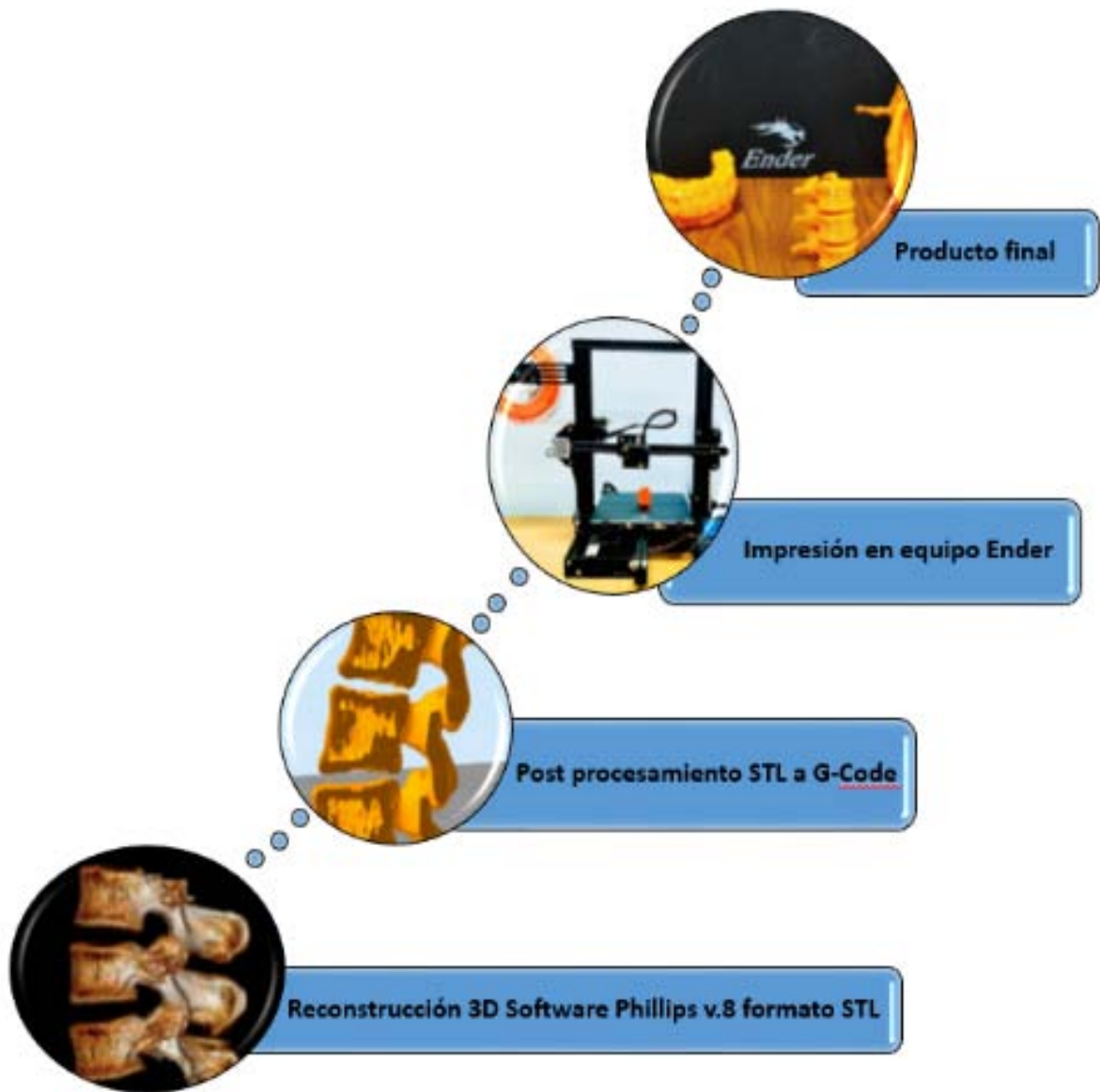


Figura 1: Procesamiento de imágenes médicas hasta obtención de área de interés impresa en 3D.

b) Características técnicas de la Impresión 3D

Ancho del filamento: Determinado por los diámetros de las boquillas de extrusión: 0,3, 0,4 y 0,6 mm. define el volumen y la superficie de los hilos extruidos, así como la superficie de soldadura entre filamentos.

Altura de la capa: Describe el grosor de cada capa y, por tanto, el número de capas que tendrá la pieza impresa. Afecta al volumen y superficie de los hilos, así como en la soldadura entre capas. El tiempo de fabricación es inversamente proporcional a la altura de la capa. Las capas más delgadas implican más capas para imprimir y más tiempo de producción.

Densidad de relleno: Representa la cantidad de material que se deposita dentro de los contornos. Evita movimientos relativos entre contornos y otorga robustez a las piezas.

Patrón de relleno: Define las trayectorias que sigue la boquilla para llenar el espacio vacío dentro del contorno. Cada patrón creará una geometría interior diferente que producirá diferentes comportamientos mecánicos.

Orientación: Los especímenes se imprimirán en la dirección de los 3 ejes de coordenadas: X, Y y Z.

Velocidad de impresión: Determina la velocidad de extrusión y deposición de los hilos. La velocidad se define para cada parte de la pieza (perímetros interior, exterior, roscas interiores, etc.) para optimizar el tiempo de fabricación. ⁽⁵⁾

Tiempo promedio de impresión: variable teniendo en cuenta el área de interés, y el diseño del relleno.

Contaminación acústica: mínima para ambiente de oficina mecanizada.

Consumo de energía eléctrica: 0.12kWh

Costo del consumo eléctrico en pesos nacionales: 0-100 kWh / 0.33 cup

c) *Características de la impresora 3D*

Modelo: Ender-3 3D.

Voltaje de entrada: 230V ó 115V

Material: Metal

Color: Negro

Dimensiones: LxWxH 20.87 x 14.96 x 7.87 pulgadas

Peso del artículo: 8.4 kg.

Calentamiento rápido, ocupando un tiempo de 3 minutos en calentar la boquilla (200-250 grados) y la cama caliente (50-60 grados) antes de empezar a imprimir.

La cama caliente de la impresora está hecha con vidrio de carbono, facilitando la retirada del modelo al culminar el proceso de impresión. Este equipo soporta reanudar la impresión de esta ser detenida voluntariamente o en caso de suspensión inadvertida del fluido eléctrico. En relación a los materiales

gastables, el equipo soporta materiales de impresión como PLA (Ácido poliláctico)/ ABS (acrilonitrilobutadienoestireno)/PETG (Polyethylene terephthalate)/ TPU (poliuretano termoplástico).⁽⁷⁾

Costo aproximado de la impresora: \$ 260 (USD)⁽⁸⁾

Empresa: SHENZHEN CREALITY 3D TECHNOLOGY CO., LTD.

Materia prima: Filamento de polímero aditivo, PLA extrafill, diámetro 1,75mm, peso -mayor a 750g, trabaja a 190-210^o de temperatura. Costo de 20.99-26.50 € por carrete.⁽⁹⁾

Objetivos propuestos

Impresión de modelos de áreas de interés para planificación quirúrgica en lesiones complejas.

Personalización de la atención médica.

Elevación de la calidad en la docencia médica.

Aprobación de la investigación

El presente estudio fue aprobado por el Consejo Científico del Hospital Clínico Quirúrgico "Hermanos Ameijeiras" y la Universidad Politécnica de Cataluña.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1: Características de los modelos obtenidos y descripción de los parámetros de interés.

Área de interés	Descripción	Volumen respecto al tamaño real	Tiempo de procesamiento imagen DICOM-STL-G-code	Tiempo de impresión	Material empleado	Consumo eléctrico y costo (kWh/ \$)
Espinal	Columna Lumbar 3 segmentos	70%	30 min	1h23min	PLA	0.17 / 0.33
Vascular (Aorta)	Segmento abdominal de la a. Aorta, con sus troncos principales.	100%	25 min	2h20min	PLA	0.28/0.33
Vascular (Arterias ilíacas)	a. Aorta segmento abdominal y lesión oclusiva en a. ilíaca derecha	100%	30 min	2h02min	PLA	0.24/0.33
Riñón neoplásico	Lesión tumoral en polo inferior de riñón derecho	50%	37 min	1h18min	PLA	0.16/0.33
Tórax	Lesión neoplásica parahiliar derecha	25%	40 min	4h10min	PLA	0.44/0.33

La Impresión 3D constituye una tecnología de crecimiento sostenible, con personalización de la atención e innovación basada en el paciente dado por, la impresión de modelos orgánicos complejos sin la necesidad de moldes, empleo de diversos materiales

biocompatibles o inertes como PLA, con buena resistencia a la tracción y calidad de la superficie, ideal para modelos y prototipos que requieran detalles estéticos para uso docente y asistencial, adaptando los

tratamientos acordes a las necesidades de cada paciente.⁽¹⁰⁾

Las piezas que fueron obtenidas tienen la ventaja de brindar asistencia profesional a los diferentes servicios médicos, aumentando un 25% el tiempo empleado en el procesamiento de las imágenes diagnósticas, con la ventaja de ser una tecnología de bajo coste en cuanto a consumo energético, apenas 2.88kWh en 24 horas, siendo económicamente de alta rentabilidad.⁽¹¹⁾ Esta tecnología al establecerse como complemento a la planificación quirúrgica de lesiones complejas brinda la posibilidad de individualizar la atención al paciente elevando la calidad de los servicios médicos y disminuyendo los costes; al facilitar el uso rentable de las salas quirúrgicas relativas al tiempo de equipo médico y paramédico e insumos, disminuir el tiempo de cuidado directo, el número de complicaciones transcurrir y la necesidad de cirugías adicionales.⁽¹²⁻¹⁴⁾

En el área de Neurocirugía espinal, los beneficios de esta tecnología se basan en la disminución del riesgo de daño a estructuras vitales, principalmente en lesiones que involucran la unión craneoespinal, deformidades espinales por escoliosis y espondilolistesis, planificación de la cirugía espinal mínimamente invasiva y bioimpresión de discos intervertebrales.^(15,16)

El número de documentos científicos referentes a impresión 3D por fabricación aditiva han aumentado desde 1987 con 556, hasta 2017 con 24.600, ubicados en la web de ciencia, lo que evidencia el interés creciente en la adopción de esta tecnología dado por sus ventajas económicas y la relación que muestra entre el éxito en la implementación y los resultados de la innovación.⁽¹⁴⁾

Referente a la contaminación sonora

El ruido es uno de los contaminantes más frecuentes en las oficinas incluidos los centros de trabajo no industriales. Ciertamente en estos ambientes rara vez se produce pérdida de la capacidad auditiva y aunque los niveles de ruido que se manejan están por debajo de los niveles dañinos, si producen otros efectos como: alteraciones fisiológicas, distracciones, interferencias en la comunicación o alteraciones psicológicas. Estos efectos son difíciles de valorar y, en la práctica, el ruido producido por la impresora en funcionamiento maneja niveles bajos de presión sonora (20-20000Hz), bajo nivel de interferencia conversacional bajos (rango de Noise rating aceptable en oficinas mecanizadas 50-55), tiempo de reverberación menor a 1 segundo.⁽¹⁷⁾

La alta rentabilidad (margen bruto que se aplica sobre el coste de los materiales oscila entre el 90 y el 95%, llegando incluso en algunos objetos hasta el 97%), los ahorros de tiempo y costo en el proceso de atención hospitalaria post proceder quirúrgico, su empleo para

las investigaciones biomédicas y su uso en la elevación de la calidad del proceso de formación docente hospitalario, hacen que esta tecnología sea disruptiva, con establecimiento paulatino en el mercado internacional de los insumos médicos y en la atención médica personalizada.

Consideraciones éticas

La investigación se realizó conforme a los principios de la ética médica, a las normas éticas institucionales y nacionales e internacionales vigentes y a los principios de la Declaración de Helsinki.⁽¹⁸⁾

Fuente de Financiamiento

Centro de cooperación para el desarrollo (CCD) de la Universidad Politécnica de Cataluña / España

Contribución de los autores

Boris Luis Torres Cuevas: Conceptualización, investigación, administración del proyecto, edición y revisión.

Gloria Esther Castillo Lara: Conceptualización, investigación, redacción, revisión y edición.

José Antonio Travieso Rodríguez: Adquisición de fondos, investigación, recursos y administración del proyecto.

Emilio Fidel Buchaca Faxas: Supervisión y validación.

Jordi Llumà i Fuentes: Software y metodología.

Bárbara Adrover Monserrat: Software y visualización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Rosique Serrano D. Fabricación aditiva y atenuación de ruido en trabajos de oficina. [tesis maestría]. España: Universidad de Murcia y Politécnica de Cartagena; 2019 [acceso: 21/02/2022]. 88p. Consultar en: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8030/tfm-ros-fab.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
2. Nasr Esfahani, K, Zandi, M.D, Travieso-Rodriguez, J.A, Graells, M, Pérez-Moya M. Manufacturing and application of 3D printed Photo Fenton Reactors for Wastewater Treatment. Int. J. Environ. Res. Public Health [Internet]. 2021 [acceso: 21/02/2022]; 18: 4885. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/9/4885>
3. Aranda Baulero M. Un cambio en los paradigmas de la salud, la tecnología 3D. Rev. Perú. Investig. Salud [Internet]. 2020 julio-sept [acceso: 21/02/2022]; 4(2): 121-126. Disponible en: <http://revistas.unheval.edu.pe/index.php/repis/article/view/685/637>
4. Suardíaz Muro J, Pérez Gomáriz M, Cabrera Lozoya A, Do Carmo Trolle R. O., V. Combinando la impresión 3D y electrónica como estrategia para mejorar la experiencia de aprendizaje. RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia [Internet]. 2021 [acceso: 21/02/2022]; 24(1): 115-135.

- Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3314/331464460006/331464460006.pdf>
5. Travieso Rodríguez JA, Jerez Mesa R, Lluma J, Traver Ramos O, Gomez Gras G, Roa JJ. Mechanical properties of 3D-Printing polylactic Acid parts subjected to bending stress and fatigue testing. *Materials* [Internet]. 2019 [acceso: 21/02/2022]; 12: 3859. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1944/12/23/3859>
 6. Adrover Monserrat B, Llumà, J, Jerez Mesa R, Travieso Rodríguez JA. Study of the Influence of the Manufacturing Parameters on Tensile Properties of Thermoplastic Elastomers. *Polymers* [Internet]. 2022 [acceso: 21/02/2022]; 14: 576. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/3/576>
 7. León M, Fernández AM, Rodríguez Hernández J. Impresión 3D con materiales elastoméricos. *Revista de plásticos modernos*. [Internet]. 2019 [acceso: 21/02/2022]; 118(747): 5-15. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/203003/1/777537.pdf>
 8. All3DP [Internet]. España: Printing magazine for Beginners and Professionals; 2021 [actualizado 9/12/2021; citado 4/03/2022]. Disponible en: <https://m.all3dp.com/es/1/mejor-impresora-3d-calidad-precio-comprar/>
 9. Trititive additive manufacturing. [Internet]. España: ABS Extrafill Fillamentum; 2022 [actualizado 4/03/2022; citado 4/03/2022]. Disponible en: <https://store.tritive.com/en/>
 10. Eraso LA, Rodríguez YD. Impresora 3D, su innovación en el campo de la medicina. *Travesía Emprendedora* [Internet]. 2020 jun [acceso: 5/03/2022]; 4(1): 58-63. Disponible en: <http://editorial.umariana.edu.co/revistas/index.php/travesiaemprendedora/article/view/2484/2749>
 11. García Piña M. Tratamiento personalizado: medicamentos fabricados con impresora 3D [tesis de grado]. Madrid: Universidad Complutense; 2017 [acceso: 21/02/2022]. 20p. Consultar en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/56311/>
 12. Bucco M. La impresión 3D y su aplicación en los servicios médicos [tesis maestría]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de San Andrés; 2016 [acceso: 21/02/2022]. 106p. Consultar en: <https://repositorio.udes.edu.ar/jspui/bitstream/10908/11878/1/%5bP%5d%5bW%5d%20T.M.%20Ges.%20Bucco,%20Mariano.pdf>
 13. César Juárez AA, Olivos Meza A, Landa Solís C, Cárdenas Soria VH, Silva Bermúdez PS, Suárez Ahedo C, et al. Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Revista de la facultad de medicina de la UNAM* [Internet]. 2018 nov-dic [acceso: 21/02/2022]; 61(6): 43-51. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/facmed/v61n6/2448-4865-facmed-61-06-43.pdf>
 14. Vicente Oliva S. La impresión 3D como tecnología de uso general en el futuro. *Economía Industrial* [Internet]. 2018 [acceso: 21/02/2022]; 407: 123-35. Disponible en: https://zaguan.unizar.es/record/70820/files/texto_completo.pdf
 15. Randazzo M, Pisapia JM, Singh N, Thawani JP. 3D printing in neurosurgery: A systematic review. *Surg Neurol Int* [Internet]. 2016 Nov 14 [acceso: 21/02/2022]; 7(33): S801-S809. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5122816/>
 16. Andrés Cano P, Calvo Haro JA, Fillat Gomà F, Andrés Cano I, Perez Mañanes R. Papel del cirujano ortopédico y traumatólogo en la impresión 3D: aplicaciones actuales y aspectos legales para una medicina personalizada. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* [Internet]. 2021 abr [acceso: 21/02/2022]; 65(2): 138-51. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1888441520301223>
 17. Hernández Calleja A. NTP 503: Confort acústico: el ruido en oficinas [Internet]. 1998 [acceso: 21/02/2022]. Disponible en: http://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_503.pdf/182d0939-8e1e-488d-9f74-98fa93709759
 18. Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. 2013 [acceso: 05/03/2022]. Disponible en: <http://www.uchile.dl/doc/helsinki.htm>