

# Aplicación de la fabricación aditiva en el campo de la medicina

Martín Monar Naranjo <sup>(1)</sup>

Belén Freire Guevara <sup>(2)</sup>

---

**Resumen:** Hoy en día la fabricación aditiva o tecnología de impresión 3D, participa activamente de la creación de productos que son utilizados en la cotidianidad o incluso en estudios de carácter científico. Generar prototipos de forma rápida y a un costo relativamente reducido en comparación a la fabricación tradicional de objetos, se ha convertido en su más grande ventaja. Esta facilidad en crear prototipos únicos, que en costo y tiempo son atractivos, ha dado paso a que se utilice cada vez más la impresión 3D en procedimientos relacionados al campo de la medicina. La digitalización de las partes del cuerpo humano es alcanzada mediante dispositivos de alta resolución como el Scanner 3D, CT scan y tomografías; de los cuales se puede obtener un archivo digital tridimensional de zonas externas o internas. Anteriormente, estos archivos eran estudiados por los profesionales de la salud solo de manera digital. Ahora, los modelos son impresos para que el especialista tenga un mejor conocimiento del procedimiento a realizar y pueda considerar detalles que en un archivo por computadora no es perceptible. En el presente artículo se compila información de varias investigaciones referentes al uso de la impresión 3D en áreas como cardiología, odontología, traumatología, otorrinolaringología, prótesis de extremidades y material de estudio médico.

**Palabras clave:** Tecnologías de fabricación por adición - Impresión 3D - Biomedicina - Biofabricación - Materiales biocompatibles - Prótesis

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 24-25]

---

<sup>(1)</sup> **Martín Benancio Monar Naranjo.** Técnico Docente en Universidad Técnica de Ambato. Ingeniero en Mecatrónica y Máster en Administración de empresas con mención en sistemas integrados de calidad, seguridad y ambiente. Líneas de Investigación: Fabricación digital, laboratorios de fabricación. mb.monar@uta.edu.ec

<sup>(2)</sup> **María Belén Freire Guevara.** Asistente de Evaluación en Universidad Técnica de Ambato, Ingeniera en Finanzas, Máster en Auditoría Gubernamental y Control de Gestión, Máster en Finanzas. Líneas de Investigación: Estudios de Factibilidad, análisis de gestión de resultados. mb.freire@uta.edu.ec

## Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2021, a propósito de resaltar la importancia de la expansión de las tecnologías de la información y comunicaciones como la posibilidad de acelerar el progreso humano y desarrollar sociedades del conocimiento; lideró la iniciativa “Estrategia mundial sobre salud digital 2020-2025”; documento que entre las estrategias propuestas para promover la colaboración y fomentar la transferencia de conocimientos de salud digital, se halla “promover las innovaciones en salud [...] en particular las tecnologías digitales de vanguardia, como [la digitalización e impresión 3D]” (Organización Mundial de la Salud, 2021).

La digitalización está asociada al desarrollo de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs); acciones como la conectividad, agilización de procedimientos internos, intercambio de sistemas de datos de información de pacientes y automatización; han permitido que este conjunto de herramientas lidere proyectos de innovación en el campo de la salud digital. De ahí que, la captura, recolección, mantenimiento y procesamiento de información médica en forma de imágenes, conjunto de datos y archivos con información tridimensional, hoy por hoy, represente una de las invenciones más llamativas en el mundo digital (Munguía, 2021).

A partir de este avance, se dio paso a lo que, en la actualidad se conoce como impresión aditiva. La tecnología de fabricación por adición (TFA), se entiende como “el conjunto de conocimientos técnicos cuyo objetivo es crear un objeto tridimensional, mediante la superposición de capas sucesivas de diversos materiales, y el uso de un equipo y software especializado” (César Juárez, y otros, 2018).

Esta técnica, ha sido empleada en diversas áreas, entre ellas la medicina, en donde con uso de la tecnología CAD/CADM se ha podido fabricar estructuras tridimensionales con imitación anatomofuncional. Este descubrimiento, se logró gracias a métodos como resonancias, tomografías y otras acciones radiográficas.

En esta revisión, se describirá las aplicaciones que tiene la impresión aditiva en el campo de la medicina. Para ello, se ha realizado un estudio documental que permitió identificar los avances de esta herramienta en las diferentes especialidades médicas como: odontología, otorrinolaringología, cardiología, traumatología, entre otros.

## Metodología

La investigación es netamente bibliográfica o documental. Para lo cual se compiló, organizó, interpretó y analizó artículos científicos con antigüedad máxima de 10 años que son relevantes y estudian el impacto de la impresión aditiva en el campo de la medicina. Entre las bases de datos o índices utilizados se encontraron: REDALYC, SCIELO, DIALNET, GOOGLE SCHOLAR. Los términos de búsqueda fueron: impresión aditiva y la medicina, tecnologías de fabricación por adición, fabricación 3D y especialidades médicas, y aplicaciones biomédicas de la impresión aditiva.

Tras la revisión de la información, en la discusión se la agrupó por criterios de relevancia, incluyendo solo aquellos artículos que responden al objeto de estudio. También se incluyó estudios que presentan temáticas de entrenamiento médico.

## Discusión

Cada año la impresión 3D ofrece diferentes caminos de aplicación en el área de la salud, todas ellas con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los pacientes. La capacidad de diseñar e imprimir objetos de cualquier forma usando una gama de materiales como metales, polímeros, cerámicas, entre otros, ha hecho que sea empleada en diversas ramas incluyendo cardiología, gastroenterología, y otros entornos clínicos.

Según Rodríguez Hernández & Reinecke (2020) en su artículo “Aplicaciones biomédicas actuales de la impresión 3D y fabricación aditiva”; señalan que en comparación con la fabricación convencional, fundamentada en técnicas constructivas o sustractivas que necesariamente requieren de una serie de pasos y que por tanto, limitan la capacidad de modificaciones al producto final, además de representar una alta inversión en la producción de los objetos; la fabricación aditiva permite la reproducción de geometrías complejas que responden ampliamente a las necesidades de la ingeniería biomédica<sup>1</sup> debido a que apuesta por la fabricación de objetos geoméricamente complejos como la biofabricación de modelos in vitro para detectar drogas, modelado de enfermedades e implantes como piel, cartílagos o huesos.

Los autores en su investigación refieren casos de aplicaciones sanitarias que demuestran los avances alcanzados en la fabricación de objetos tridimensionales:

- **Modelos anatómicos para la pre-operación:** Entregan al cirujano un entendimiento a mayor detalle de la anatomía del paciente. Entre los modelados desarrollados se encuentra 1) implante de silicona diseñado por programas CAD y situado internamente para una reconstrucción craneofacial (Msallem, Beiglboeck, Honigmann, Jaquiéry, & Thieringer, 2017) , 2) modelo de trompa de elefante congelado (FET) colocado en arco aórtico con anatomía compleja, para su producción se utilizó una impresora tridimensional en color de alta definición y posteriormente el objeto fue relleno con resina de uretano (Tam, Laycock, Brown, & Jakeways, 2013)3), reconstrucción auricular con la fabricación de cartílago de oído en materiales de almidón y silicona, siendo esto una representación del cartílago costal del paciente muy útil para los estudios de aprendiz y cirujano de microtia (Berens, y otros, 2016)
- **Ingeniería de tejidos:** Con la impresión 3D se producen modelos que imitan la red microscópica de tejido conectivo, proporcionando las condiciones óptimas para elaborar estructuras potencialmente compuestas como resultado de la colocación exacta de material o celdas en un espacio tridimensional. Con este proceso se llegan a fabricar implantes porosos que promueven la regeneración ósea (Fleck, y otros, 2017), complejos organoides tridimensionales compuestos de células (Porter, Hoang, & Berfield, 2017), entre otros más.
- **Implantes:** Los polímeros termoplásticos han sido de los materiales más utilizados en casos clínicos, esto debido a su adaptabilidad en el cuerpo humano. Implantes de rodilla

y vasos sanguíneos sintéticos, son algunos de los objetos que mejoran la funcionalidad de los órganos humanos y extienden sus períodos de vida. Entre los productos con mayor demanda se encuentran los tornillos y clavos poliméricos que son procesados en estado fundido para cirugía ortopédica y pueden usarse para la reconstrucción de ligamento cruzado anterior (LCA).

- **Regeneración de tejidos:** La fabricación aditiva brinda potenciales soluciones en la fabricación de implantes para promover la vascularización con la regeneración ósea. La técnica cuenta con capacidad para crear, por ejemplo, andamios porosos de alta resolución, una excelente solución en el campo de la ortopedia y que motiva la concentración de calcio en los huesos.
- **Regeneración de cartilago y tendón:** La reparación del cartilago puede ser alcanzada a través de la combinación de células madre endógenas de médula ósea con biomateriales óptimos. Esto se produce mediante la fabricación aditiva de andamios de tejido, cuyos materiales son la fibroína de seda con gelatina en combinación con péptido de afinidad específica. En base a ello, se puede avizorar que los avances dados en esta tecnología ciertamente permitirán producir tejidos y órganos clínicamente útiles y que, gracias a la concentración de diversos tipos de células en espacios precisos, cumplirán con el propósito de recuperar la estructura y función originales de los tejidos y órganos.
- **Odontología:** Con la fabricación 3D, la toma precisa de la cavidad oral puede ser extrapolada como plantilla para el diseño de prótesis o implantes orales. Las prótesis, al día de hoy, con la técnica de fabricación aditiva como la estereolitografía los convierten en productos de durabilidad. De manera que, los modelos CAD dentro de la cirugía oral y maxilofacial, resultan primordiales para la impresión de implantes biocompatibles y osteoinductores, los que, al ser rellenados con alta precisión, disminuyen los defectos óseos y originan la regeneración del hueso.
- **Materiales antimicrobianos:** Actualmente los dispositivos biomédicos, son de aplicación esencial en el sistema de salud humano. Su fabricación con materiales de polímeros es usada particularmente en aplicativos para implantes en sistemas de caderas y rodillas artificiales e incluso en injertos vasculares. Toda esta innovación permite aumentar los años de vida.

En definitiva, la investigación destaca que “la mayor oportunidad para la bioimpresión radica en el potencial para imprimir un órgano funcional que pueda ser trasplantado a un paciente”; y que, por tanto, a medida que avanza la fabricación 3D se espera que los costes disminuyan y se creen nuevos materiales. Todo ello, aportará a la aplicación de técnicas más sofisticadas en el campo de la ingeniería biomédica y tisular<sup>2</sup>.

Para Meszaros, Cortés, Zelado, & Cardemil (2023); la práctica en material cadavérico y el ejercicio en pacientes constituye un elemento valioso a la hora de adquirir habilidades y competencias quirúrgicas que brindan a los especialistas una mejor comprensión de órganos y composición del cuerpo humano. Sin embargo, a la par, mencionan que, en la actualidad debido a disposiciones medicolegales, presión asistencial y las expectativas de los pacientes; la práctica médica se está transformando en un espacio más hermético, limitando el aprendizaje experimental en el campo de la medicina.

Para los autores, los modelos de simulación biomédicos nacieron como una alternativa para complementar el desarrollo de las destrezas que son necesarias a la hora de ejercer como especialistas. La impresión 3D, sirve de entrenamiento quirúrgico pues muestra versatilidad para crear objetos múltiples y de estructura compleja.

Una de las especialidades en las que la fabricación aditiva se encuentra en auge, es el entrenamiento en otorrinolaringología. Gracias a la creación de modelos anatómicamente precisos y complejos de cabeza y cuello, la práctica se vuelve viable a diferencia de la simulación en realidad virtual (Meszaros, Cortés, Zelado, & Cardemil, 2023).

Entre los productos que son creados vía impresión 3D, los autores resaltan a los modelos de hueso temporal y cirugía de oído, modelos de vía aérea, cirugía nasosinusal y base de cráneo, cirugía de cabeza y cuello y reconstrucción maxilomandibular. Cada uno, en su campo, motiva el acceso a escenarios de práctica clínica que, por su grado de complejidad, indiscutiblemente aportan a una atención más segura como resultado de un personal capacitado con menor margen de error experimental.

A modo de conclusión, en su artículo “Biomateriales y tecnologías de impresión 3D en entrenamiento quirúrgico: una revisión”, los investigadores enfatizan la importancia de la tecnología de impresión 3D en el campo de la medicina. Esto pues, consideran que es una estrategia innovadora en el entrenamiento quirúrgico, cuyas ventajas permiten alcanzar una formación médica integral.

Según Bazán (2015), la principal ventaja de la impresión aditiva es la fabricación de piezas únicas, a medida. Por lo que, gracias a la digitalización no invasiva de imágenes a través de radiografías, tomografía computada y resonancia magnética nuclear; así como el uso de materiales como cerámicos o polímeros biocompatibles que permiten el crecimiento de células de los pacientes, se puede fabricar dientes, prótesis y dispositivos de asistencia para la audición, cuyos beneficios transforman vidas.

Uno de los campos en los que la impresión 3D ha venido trabajando arduamente, es la producción de tejidos. Los resultados de la investigación citada, indica que esta fabricación representa una herramienta idónea para estudios fisiológicos en condiciones patológicas o normales, siendo atractivo para diversos centros de estudio, entre ellos los farmacéuticos. Este tipo de industria usa las impresiones para la producción de drogas u otros agentes terapéuticos, pues ven al producto con capacidad de alta reproducción, volviéndose representativo en sus estudios.

Bazán (2015), por otra parte, señala que, gracias a los grandes avances en el área de la biomedicina, en un futuro cercano, la producción a pedido de órganos enteros con vasos sanguíneos con una alta tasa de proliferación, será uno de los servicios mayormente demandados. Finalmente, menciona que con la producción de prótesis y tejidos 3D, el reemplazo de animales de experimentación por objetos impresos ya es un hecho. Por cuanto, motiva a que se profundice la investigación de biomateriales como una nueva área de estudio dentro de la impresión aditiva.

En la investigación realizada por César Juárez, y otros (2018), los resultados demuestran que las aplicaciones de los modelos 3D en medicina, básicamente pueden ser agrupados en cuatro categorías: modelos anatómicos, planeación preoperatoria, investigación médica e implantes.

Al respecto de los modelos anatómicos, los autores mencionan que los objetos impresos pueden ser empleados con fines educativos. Su facilidad de adaptación en el diseño ayuda a que los especialistas los empleen en su proceso de adiestramiento y reconstrucción de casos quirúrgicos complejos. Además, estos objetos son excelentes auxiliares para comprender la naturaleza de los procedimientos.

En la planeación preoperatoria, la impresión 3D ha brindado grandes beneficios dentro de las especialidades de cirugía craneofacial, maxilofacial, cirugía ortopédica, neurocirugía, cirugía de columna, cirugía cardiovascular y cirugía abdominal. En todas ellas, el uso de la impresión aditiva para fabricar modelos prototipo, mejoran y facilitan la calidad diagnóstica del especialista al momento de repasar los pasos quirúrgicos complicados, previniendo con eso complicaciones intra y postoperatorias. Entre los beneficios inmersos en esta categoría se encuentran, la reducción del tiempo cirugía, la selección del implante ideal, los sitios de cuidado y el uso de impresiones en fracturas articulares complejas como caderas, entre otros.

En cuanto a la investigación médica, campos como la hemodinámica presenta estudios que usan a la fabricación aditiva para promover el análisis de procesos fisiológicos con metodologías innovadoras como mediciones por flujo óptico en modelos transparentes impresos. Aquello, permite el entendimiento completo de procedimientos complejos, que sin el uso de la producción de objetos es imposible alcanzar resultados óptimos y ajustados al campo real de la medicina.

Por último, la impresión de modelos 3D es líder en el desarrollo de implantes personalizados. Gracias a materiales biocompatibles, la reconstrucción ósea, hoy en día, es una de las técnicas quirúrgicas potencialmente más beneficiosas.

En conclusión, el artículo de César Juárez, y otros (2018), muestra la importancia de las tecnologías de fabricación por adición (TFA) en el campo de la medicina. A través de la bioimpresión de tejidos u órganos, los autores concluyen que esta técnica genera un impacto trascendental en diferentes especialidades médicas, favoreciendo al pronóstico y evolución de los procedimientos que son aplicados.

## Conclusiones

Los hallazgos de la revisión documental demuestran el vínculo que existe entre las ciencias médicas y las tecnologías de fabricación por adición. Producto de ello, las ventajas que la impresión 3D otorga al campo de la medicina, contribuyen en crear estrategias médicas innovadoras, ya sea para entrenamiento quirúrgico o en la fabricación de prótesis o prototipos.

La creciente disponibilidad de nuevas tecnologías y materiales de impresión avizora el crecimiento que este método tendrá en la medicina tradicional. Su evolución en términos de costos y demás, también contribuirá el gran avance que se espera de la bioimpresión en torno al trasplante de órganos funcionales en pacientes.

En este sentido y por lo mencionado, se concluye que cada vez más es necesario fortalecer las investigaciones en este campo. De modo que, la tasa actual de desarrollo crezca en los próximos años y otorgue más aplicaciones médicas en beneficio de la humanidad.

Desde la perspectiva de los autores, el crecimiento que tendrá América Latina, respecto a estas tecnologías será incremental, en países desarrollados el desarrollo de los sistemas pasaron la etapa de prueba y se encuentran en comercialización, pronto habrá distribuidores de la marca promocionando estas nuevas tecnologías y con el apoyo de la academia y grupos de investigación se podrá obtener patentes y recursos que faciliten la adaptación de la réplica del cuerpo humano, desde lo digital a lo físico.

## Notas

1. Rama de la ingeniería que aplica los principios de las tecnologías al campo de medicina. Su campo radica en el diseño y construcción de equipos médicos, prótesis, dispositivos médicos, dispositivos de diagnóstico y de terapia. (Gismondi Glave, 2010).
2. Perteneciente o relativo a los tejidos de los organismos (Real Academia Española, 2022).

## Referencias

- Bazán, S. (2015). Impresión 3D de órganos, la próxima frontera. Bitácora Digital-Facultad de Ciencias Químicas (UNC). Obtenido de <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/Bitacora/article/view/12805/13010>
- Berens, A., Newman, S., Bhrany, A., Murakami, C., Sie, K., & Zopf, D. (2016). Computer-Aided Design and 3D Printing to Produce a Costal Cartilage Model for Simulation of Auricular Reconstruction. *Otolaryngol Head Neck Surg*. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27048671/>
- César Juárez, Á., Olivos Meza, A., Landa Solís, C., Cárdenas Soria, V., Silva Bermúdez, P., Suárez Ahedo, C., Ibarra Ponce de León, J. (2018). Uso y aplicación de la tecnología de impresión y bioimpresión 3D en medicina. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*. Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0026-17422018000600043](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422018000600043)
- Fleck, T., Murray, A., Gunduz, I., Son, S., -C Chiu, G., & Rhoads, J. (2017). Additive manufacturing of multifunctional reactive materials. *Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.08.008>
- Gismondi Glave, G. (2010). *Ingeniería Biomédica*. Scielo. Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-33232010000100007](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-33232010000100007)
- Meszaros, N., Cortés, I., Zelado, Ú., & Cardemil, F. (2023). Biomateriales y tecnologías de impresión 3D en entrenamiento quirúrgico en otorrinolaringología: una revisión. *Revista De otorrinolaringología Y cirugía De Cabeza Y Cuello*, 92-99. Obtenido de <https://www.revistaotorrino-sochiorl.cl/index.php/orl/article/view/221>

- Msallem, B., Beiglboeck, F., Honigmann, P., Jaquiéry, C., & Thieringer, F. (2017). Craniofacial Reconstruction by a Cost-Efficient Template-Based Process Using 3D Printing. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5732683/>
- Munguía, J. (2021). Digitalización en la medicina: Implicaciones para el diseño, innovación y la ingeniería. *Revista Colombiana de Materiales*, 46-52.
- Organización Mundial de la Salud. (2021). Estrategia mundial sobre salud digital 2020 - 2025. Ginebra: WHO.
- Porter, D., Hoang, T., & Berfield, T. (2017). Effects of in-situ poling and process parameters on fused filament fabrication printed PVDF sheet mechanical and electrical properties. *Additive Manufacturing*. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2016.11.005>
- Real Academia Española. (2022). Tisular.
- Rodríguez Hernández, J., & Reinecke, H. (Marzo de 2020). Aplicaciones biomédicas actuales de la impresión 3D y fabricación aditiva. *Revista de Plásticos Modernos*, 754. Obtenido de <https://digital.csic.es/bitstream/10261/243131/1/837547.pdf>
- Tam, M., Laycock, S., Brown, J., & Jakeways, M. (2013). 3D printing of an aortic aneurysm to facilitate decision making and device selection for endovascular aneurysm repair in complex neck anatomy. *J Endovasc Ther*. <https://doi.org/10.1583/13-4450mr.1>

---

**Abstract:** Nowadays, additive manufacturing or 3D printing technology actively participates in the creation of products that are used in everyday life or are included in scientific studies. Generating prototypes quickly and at a relatively low cost compared to traditional manufacturing of objects has become its greatest advantage. This ease in creating unique prototypes, which in cost and time are attractive, has given way to the increasing use of 3D printing in procedures related to the medical field. The digitization of human body parts is achieved by means of high-resolution devices such as 3D scanners, CT scans and tomographies; from which a three-dimensional digital file of external or internal areas can be obtained. Previously, these files were studied by health professionals only digitally. Now, the models are printed so that the specialist has a better knowledge of the procedure to be performed and can consider details that are not perceptible in a computer file. This article compiles information from various research studies on the use of 3D printing in areas such as cardiology, dentistry, traumatology, otorhinolaryngology, prosthetic limbs, and medical study material.

**Keywords:** Additive manufacturing technologies - 3D printing - Biomedicine - Biofabrication - Biocompatible materials - Prosthetics

**Resumo:** Atualmente, a manufatura aditiva ou tecnologia de impressão 3D está ativamente envolvida na criação de produtos que são usados na vida cotidiana e em estudos científicos. A geração de protótipos com rapidez e a um custo relativamente baixo em comparação com a fabricação tradicional de objetos se tornou sua maior vantagem. Essa facilidade de criar protótipos exclusivos, que são atraentes em termos de custo e tempo,

levou ao uso crescente da impressão 3D em procedimentos relacionados à área médica. A digitalização de partes do corpo humano é obtida por meio de dispositivos de alta resolução, como scanners 3D, tomografias computadorizadas e tomografias computadorizadas, a partir dos quais é possível obter um arquivo digital tridimensional de áreas externas ou internas. Anteriormente, esses arquivos eram estudados pelos profissionais de saúde apenas digitalmente. Agora, os modelos são impressos para que o especialista tenha uma melhor compreensão do procedimento a ser realizado e possa considerar detalhes que não são perceptíveis em um arquivo de computador. Este artigo compila informações de várias pesquisas sobre o uso da impressão 3D em áreas como cardiologia, odontologia, traumatologia, otorrinolaringologia, membros protéticos e materiais de estudo médico.

**Palavras-chave:** Tecnologias de manufatura aditiva - Impressão 3D - Biomedicina - Bio-fabricação - Materiais biocompatíveis - Próteses

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]

---