


Tecnologías de impresión tridimensional utilizadas en áreas de la salud y educación, mediante modelos anatómicos

Three-dimensional printing technologies used in areas of health and education, by anatomical models

 <https://doi.org/10.52948/mare.v3i2.566>

HUMBERTO MANUEL LEÓN GONZÁLEZ

 <http://orcid.org/0000-0001-6637-4687>

Fundación Universitaria del Área Andina (Colombia)
hleon@areandina.edu.co

YINI CARDONA HERNÁNDEZ

 <https://orcid.org/0000-0001-5878-3333>

Fundación Universitaria del Área Andina (Colombia)
yicardona@areandina.edu.co

Artículo de investigación

Recepción: 15 de septiembre de 2021

Aceptación: 16 de diciembre de 2021

Cómo citar este artículo

H. León González y Y. Cardona Hernández, «Tecnologías de impresión tridimensional utilizadas en áreas de la salud y educación, mediante modelos anatómicos», *mare*, vol. 3, n.º 2, may 2022.

Resumen:

En el desarrollo de nuevas tecnologías, se halló, por medio de diferentes artículos, que el uso de impresiones tridimensionales en el área de la salud y la educación se incrementó, evidenciándolo en el complemento para el tratamiento de enfermedades específicas al emplear modelos anatómicos. Entre la variabilidad de utilidades de la impresión tridimensional, se encontró la formación de residentes en proceso de aprendizaje, donde es utilizada como herramienta aplicativa de investigación y simulación. Se comprobó que los procesos pueden llevar a un margen de error entre modelos, dependiendo del software y material utilizados para su creación. Sin embargo, este hallazgo contribuyó a la búsqueda de calidad, para obtener mejores beneficios. La nueva tecnología en impresión tridimensional revolucionó el arte de la enseñanza anatómica y procedimental, generando un alto impacto en el desarrollo de nuevas tecnologías. Por tanto, se originó mayor expectativa en el uso de esta herramienta en otras áreas.

Palabras clave: impresión tridimensional; salud; educación; modelos anatómicos.

Abstract:

In the development of recent technologies, by means of different articles, the use of three-dimensional impressions health and education increased, evidenced in the complement for the treatment of specific diseases, using anatomical models. Among the variability of utilities of three-dimensional printing, we found the training of residents in learning process, where it used as an application tool for research and simulation. It proved that the processes could lead to a margin of error between models, depending on the software and material used for its

creation, however, this finding contributed to the search for quality, to obtain better benefits. The recent technology in three-dimensional printing revolutionized the art of anatomical and procedural teaching generating a high impact in the development of recent technologies, therefore, greater expectation originated in the use of this tool in other areas.

Keywords: three-dimensional impression; health; education; anatomical models.

Historia de la impresión tridimensional

El primer paso para las impresiones tridimensionales, fue gracias al descubrimiento del profesor Herbert Voelcker en 1960, quien se destacó por su invención y construcción de elementos, catalogándose como diseñador y fabricante. Sin embargo, Carl Deckard, inventor, maestro de ingeniería y hombre de negocios, destacado por el descubrimiento del láser selectivo como método de impresión tridimensional, introdujo la técnica de impresión en 1987 [1].

La impresión tridimensional (3D), se basa en la construcción; capa por capa, de una estructura física; que representa un modelo virtual. Este, es de máxima precisión en casi todas las estructuras que requieran obtener una representación [1].

En los últimos años, se ha podido evidenciar la necesidad de un buen diagnóstico en el área de la medicina. La tomografía computarizada es, una de las técnicas más importantes y destacadas para este fin. En 1967 Godfrey Hounsfield, fue la persona que introdujo esta tecnología para el avance diagnóstico;

¹ Impresión tridimensional o manufacturado por adición, es el proceso por el cual se generan estructuras moldeadas sobre un modelo digital a partir de la colocación de un material por capas, cuyo proceso requiere de software, el hardware, y los materiales a utilizar trabajen armónicamente y en conjunto.

consistía en un escáner cuya fuente principal era la radiación ionizante, capaz de producir proyecciones en diferentes ángulos; así como extraer la información obteniendo imágenes tridimensionales de un cerebro por medio de un ordenador. Posteriormente adquirió imágenes diagnósticas para el estudio del cuerpo en 1972 [2], demostrando el grado de utilidad de dicho descubrimiento.

Metodología

La metodología utilizada en el presente trabajo fue teórica descriptiva, de tipo documental; se realizó una revisión bibliográfica, mediante la recolección de varios artículos científicos y documentos electrónicos que comprendieron un período del 2008 al 2018. Allí se utilizaron, las palabras claves para construir diferentes conceptos sobre la angiografía y la impresión tridimensional. Para esto se consultaron 31 bases bibliográficas, dieciocho (18) en inglés y trece (13) en español. De ellas, se plasmaron veinticinco (25) referencias en el artículo, relevantes para el eje temático. Además, el tema de consulta fue asertivo para el contenido del artículo; aquí, se excluyeron seis (6) artículos que poseían diferente enfoque con respecto al tema y/o la fecha no correspondía al umbral determinado para dicha investigación.

Para la organización de los documentos, se revisaron los artículos que tenían un referente específico a los aplicativos de la técnica a describir y sus diferentes utilidades. Posteriormente, se realizó el análisis de cada uno de los artículos para concretar su idea principal, comparando y organizando la información, de acuerdo con la importancia de los aplicativos en los últimos tiempos.

Las nuevas tecnologías y la medicina

Fue así, como el desarrollo de esta tecnología, llevó a la adquisición de cada estructura del cuerpo humano en diferentes planos. Muestra de ello, son los avances en angiotomografía, una prueba diagnóstica que se utiliza para adquirir imágenes detalladas de los vasos sanguíneos, administrando un medio de contraste a base de yodo por vía endovenosa. De esta manera, se adquieren imágenes con un mayor realce anatómico [3].

Gracias a la tecnología de punta con que cuentan los equipos tomográficos hoy en día; se resalta la importancia de la utilización en el diagnóstico de diversas patologías, ya que, no solo permite evaluar el sistema arterial; también generar información en la identificación de anomalías y patologías. Por consiguiente, la angiotomografía computarizada ha sido adoptada rápidamente para la evaluación de diversas enfermedades [3].

De otro lado, gracias a las reconstrucciones tridimensionales logradas en los exámenes angiográficos, y a las nuevas tecnologías en el manejo de imágenes diagnósticas, nace la idea de aplicar dichas reconstrucciones y fusionarlas con la impresión 3D; convirtiéndose en una tecnología masiva dentro del campo de la medicina a nivel de las aplicaciones clínicas; al mismo tiempo proyectándose como una de las más deseables por los profesionales de este campo, debido a su excepcional precisión y a su gran adaptabilidad. Es por ello, que la impresión 3D tiene un gran impacto en la práctica médica cuando, permite que el profesional revise el caso con una mayor exactitud antes de una intervención.

Ahora bien, es importante para efectos de la comprensión del proceso de impresión tridimensional, mencionar

los siguientes pasos técnicos necesarios para completar un modelo impreso:

- Seleccionar el área anatómica o la estructura de interés.
- Crear la geometría 3D.
- Optimizar el archivo para la impresión.
- Elegir la impresora 3D y los elementos apropiados [4].

La tecnología de impresión tridimensional permite el diseño y fabricación de modelos biomédicos adquiridos por medio de imágenes realizadas normalmente en tomografía computarizada y resonancia magnética. Se aplica a métodos como: "moldes dentales para coronas, implantes, prótesis, equipos médicos, modelos quirúrgicos, andamios para regeneración tisular como piel y hueso: impresión de órganos y modelos de tejido para descubrimiento de fármacos" [4, p. 4]. Esto ha permitido tratamiento y dispositivos creados específicamente con medidas a escala y formas anatómicas íntegras en su estructura [4].

Impacto en la educación

La impresión tridimensional, es una nueva tecnología que se ha expandido rápidamente hasta llegar a ser útil en la educación en salud. Cobra protagonismo en el uso de los modelos de simulación, utilizados para diferentes tipos de tratamientos; al igual que, los modelos personalizados que poseen una gran precisión anatómica y un potencial para mejorar el conocimiento y las habilidades de una nueva generación de cirujanos [3].

Del mismo modo, dichos modelos de impresión tridimensional, utilizados por primera vez en las aplicaciones médicas o su fabricación aditiva, se han desarrollado rápidamente. Al emplear los datos

de imagen médica propios del paciente, principalmente en tomografía; la impresión 3D se puede usar para crear modelos individualizados, de tamaño natural y específicos para cada paciente. Por ello, pueden contribuir a los procedimientos quirúrgicos, al proporcionar a los cirujanos una reproducción física precisa y de tamaño natural de la anatomía de interés.

De igual manera, esta técnica de impresión tridimensional ayuda a la reducción en la dosis de radiación, así como a la planeación y verificación de tratamientos de la dosis en radioterapia. Asimismo, se incluye en el desarrollo de guías quirúrgicas para pacientes y la reproducción de modelos forenses. Los modelos se pueden imprimir con diferentes tipos de materiales, la mayoría de estos rígidos, por tanto, pueden presentar dificultad en cuanto a la elasticidad, a diferencia del tejido biológico, lo que hace que se explore en la búsqueda de un material óptimo [4]. También se cuenta con diversidad de colores y propiedades mecánicas con potencial para la esterilización. de allí, la importancia de los programas de aseguramiento de calidad (QA) como parte del desarrollo y mantenimiento para garantizar la eficacia de la técnica [5].

Con el descubrimiento de las nuevas tecnologías a nivel de impresiones tridimensionales, se introduce una nueva forma de diagnóstico más preciso; además de la innovación en métodos de aprendizaje basados en modelos de impresión 3D. Estos, exponen nuevas herramientas académicas, especialmente en anatomía, al generar un impacto en la educación apoyado en el trabajo clínico. Así, reemplazando la disección de cadáveres que viene utilizándose desde 1800 [1].

Por otro lado, en el estudio de la anatomía por parte del personal educativo

se ha podido evidenciar que con el paso del tiempo se han utilizado diferentes técnicas para ello; van desde los libros, cadáveres disecados, láminas, cera, etc. Aquí los cadáveres son, el método de preferencia para una adecuada enseñanza de la anatomía humana, sin embargo, esta práctica es cada vez menos utilizada debido al cuidado y mantenimiento de este material. En efecto, la posibilidad de contar con modelos tridimensionales en la educación a nivel de anatomía hace de esta una herramienta esencial en las instrucciones médicas, las cuales, de una u otra manera han logrado sustituir el aprendizaje en cadáveres diseccionados a modelos basados en cera. Esta última técnica es utilizada con estrictas limitaciones debido a su visualización bidimensional, manipulación, almacenamiento, conservación y costos en su mantenimiento [6].

En la actualidad, las impresiones tridimensionales han generado en el campo de la medicina la promesa del apoyo para las soluciones en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades cardíacas y malformaciones congénitas, como ventaja, se obtiene una mejor comprensión de la complejidad a la que se enfrentan los médicos día a día; logra, una percepción exacta de las patologías que presentan los pacientes, proyectadas a nivel de las cirugías cardíacas y procedimientos intervencionistas estructurales. De igual manera, la aplicación clínica muestra la gran utilidad en trasplantes; en los casos en que el paciente tiene cirugías previas, estas pueden causar artificio en la imagen que se puede suprimir en el prototipo [7].

No obstante, hoy en día se ha dado un gran paso a nivel tecnológico; se han incorporado a la enseñanza, prototipos diseñados a través de imágenes en tomografía computarizada y resonancia

magnética, las cuales unidas a una impresora tridimensional, crean estructuras anatómicas de acuerdo con el área de interés. De esta manera, generan una gran posibilidad de enseñanza por medio de una réplica física, tangible, que guarda las proporciones reales del objeto, al igual que conserva las relaciones topográficas, la veracidad morfológica, el color de la estructura. Su ventaja radica en que este tipo de material no tiende a descomponerse, ni a generar algún tipo de contaminación, si se compara con el uso de cadáveres [8].

Proceso y elaboración del prototipo tridimensional

Las impresiones tridimensionales se han convertido en una herramienta futurista, tanto en el campo industrial como en las diferentes aplicaciones médicas y educativas. En el caso de un servicio de ortopedia se pueden ofrecer categorías tales como: modelos ortopédicos, instrumentos quirúrgicos, implantes y hasta prótesis. Esto se logra gracias, a las diferentes técnicas en la elaboración de modelos tridimensionales, a continuación, descritas.

La extrusión consiste en la utilización de materiales termoplásticos y hasta comestibles. Esto, se depositan en capas finas, para construir un prototipo, partiendo de una forma semilíquida. Lo anterior, gracias a un aumento de la temperatura (120°C); además, al disminuir se fortalece el material.

En la granular, se deposita una capa de polvo en un cubo a temperatura un poco inferior al tiempo de fusión del polvo. Posteriormente, un láser CO₂ lo sintetiza para que las partículas se fusionen y solidifiquen.

En el laminado, bajo un orden laminar, se depositan capas en un material moldeable a la temperatura. En este caso, son: aluminio, papel o plástico.

El fotopolimerizado emplea materiales que se polimerizan en contacto con la luz ultravioleta. Usualmente son utilizados en prótesis dentales o circuitos eléctricos, donde no se requiere gran puntualización en su terminado [9].

Gracias a la impresión tridimensional, la cual, no solo permite obtener moldes, sino réplicas de estructuras anatómicas específicas en menor tiempo, se obtienen imágenes tanto de tomografía computada (TC) como de resonancia magnética nuclear (RMN), para ser impresas mediante el formato *Stereolithography* (STL). Asimismo, están, basadas en la elaboración de modelos 3D, partiendo de un archivo (*Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM) [9].

En cuanto a la reproducción de imágenes de secciones 2D, son el componente del volumen para la imagen 3D. Para la impresión del modelo es necesario que se encuentren los vóxeles sobre el formato STL. Dicho formato consiste, en una malla compuesta de triángulos, donde no debe haber espacios ni figuras superpuestas, para que posteriormente se reproduzcan en una impresora 3D. De igual manera, las imágenes digitales DICOM se reproducen a las estaciones de trabajo de radiología, interpretando las intensidades de imagen almacenadas. Estas, son proyectadas en un monitor, donde los controladores de impresora 3D procesan las imágenes para fabricar la estructura esperada [10].

Gracias a esta técnica, la adquisición de modelos simulados a nivel clínico, basados en los datos de imágenes médicas; ayudan a decidir sobre estrategias y planificaciones de tipo quirúrgico, evidenciando el gran aporte técnico para que el cirujano perciba visualmente la ubicación y el tamaño de la lesión.

Evolución de equipos diagnósticos y la técnica tridimensional

Para demostrar cómo la adquisición de las imágenes es primordial en el diagnóstico, se debe hablar del avance tecnológico de los tomógrafos. Allí, la adquisición helicoidal mejoró notablemente el rendimiento de la tomografía computarizada, debido al recorrido continuo de la mesa a través del gantry en el tomógrafo, donde la trayectoria realizada por el haz de rayos X es descrita en forma de espiral o helicoidal.

Por su parte, la tomografía multicorte helicoidal está dotada de hileras de detectores y presentan una velocidad mucho mayor de rotación del tubo de rayos X. Así, logra una adquisición de imagen anatómica de manera tanto axial, como otras reconstrucciones volumétricas de cualquier región anatómica. Gracias a dicha información, se logra tener un modelo virtual que se representa por medio de la impresión tridimensional de manera más exacta [11].

Ahora bien, según el artículo del Departamento de Neurocirugía del Shaohing People's Hospital, se describen distintos tratamientos realizados a pacientes con diagnóstico de aneurisma. Estos, se evaluaron por medio de tomografía computarizada helicoidal, utilizando medio de contraste intravenoso, y realizando las estructuras vasculares del cerebro. De este modo, la imagen substraída brindó la información necesaria para la reproducción de una réplica exacta de la estructura estudiada. En este sentido orienta al neurocirujano en su decisión acerca del tratamiento a realizar de acuerdo con la patología. De esta manera, se demuestra la eficacia que ofrece al profesional, dándole la capacidad de visualizar con mayor claridad el tamaño, forma, dirección y relación con la arteria afectada por el aneurisma. Así,

ayuda en el tratamiento posterior del corte neuroquirúrgico y la utilización de terapia endovascular [12].

Con la evolución de los tomógrafos, se ha revelado un diagnóstico más exacto. Según el artículo publicado por un equipo interdisciplinario del Hospital Universitario Virgen del Rocío en Sevilla, España (2014), muchos estudios a nivel cardiaco demuestran que más del 50% de las estenosis significativas, se han podido detectar por medio de la tomografía computarizada multicorte. De igual manera, se considera la mejor técnica para determinar aterosclerosis en un órgano trasplantado, manejando una sensibilidad hasta del 95% [13].

De igual manera, se resalta el diseño de Agatston en 1990, donde determinó por tomografía computarizada el valor de calcio en las arterias coronarias, siendo complementado con el estudio volumétrico de las arterias, que diseñó Callister en 1998. Por consiguiente, es apreciable que, en cada descubrimiento de aplicaciones realizadas con los avances de los tomógrafos, se destaca la mayor resolución espacial, temporal y submilimétrica que brinda confiabilidad de los hallazgos en los órganos examinados [14].

Vale la pena resaltar que la impresión tridimensional se conoce también como prototipado rápido, estereolitografía o fabricación aditiva. Tiene la capacidad de generar un modelo tridimensional de anatomía cardíaca compleja, que ha hecho de esta una herramienta para la educación, planificación de procedimientos y pruebas de dispositivos en intervenciones estructurales y cardiopatías congénitas, como se menciona en la publicación del departamento de pediatría, división de cardiología, del Hospital para Niños Enfermos [15].

El avance tecnológico a nivel digital ha sido tan importante que se ha definido

que la fabricación digital no es una herramienta concreta, sino un conjunto de herramientas. En ese sentido, se define una impresora 3D, como una máquina controlada por un ordenador capaz de fabricar cualquier forma o geometría por muy compleja que sea. Esto confirma su utilidad, debido a la capacidad que tiene de reproducir objetos complejos, sin convenir en posteriores ensamblajes [16].

La expectativa con respecto a la influencia de los nuevos modelos tridimensionales permite que algunos autores evalúen de una manera objetiva el nivel de precisión que existe a partir de una imagen en tomografía computada con contraste. Según Daniel Ho et al., en el artículo publicado en la revista *Journal of Medical Radiation Sciences* (2017); refieren una diferencia en cuanto al tamaño en los distintos modelos, encontrando una inexactitud en la medida de los vasos entre modelos con aneurisma aórtico y disección aórtica. Además, realizan la comparación en el paso a paso de la técnica para corroborar al final una diferencia mínima de 1mm, para la evaluación y precisión del modelo. Sin embargo, la réplica se consideró un éxito en cuanto a la anatomía, estructura y patología [17].

Del mismo modo, los autores Huotilainen et al. [18], hablan de un registro del estudio realizado a un cráneo, desde la base DICOM, enviándola a diferentes instituciones. Allí, fueron transformadas al formato STL, de acuerdo con el software de cada institución. Posteriormente se evaluó el resultado encontrando una gran diferencia en la geometría y tamaño de los biomodelos virtuales de cráneo, teniendo la misma base de datos. Este antecedente es importante para los médicos, ya que deben evaluar en cada aplicación clínica, los diferentes softwares utilizados en STL para la técnica de impresión tridimensional [18].

Otra evidencia señalada por el autor Olszewski [19], con respecto al prototipo, menciona las limitantes en las pequeñas estructuras anatómicas. Identifica que el detalle se puede ver afectado a la hora de la reproducción en el biomodelo. Por ello, la mayor eficacia se demuestra en estructuras grandes, siendo utilizado con mayor frecuencia en cirugía cráneo-maxilofacial [19].

De acuerdo con la compilación de estudios realizados para comparar la precisión entre los prototipos: Estereolitografía (SLS), 3DP y Polyjet; se evidencia, la precisión de la técnica SLS, con un margen de error mínimo de 1.79% comparado al 3.14% y 2.14% respectivamente. Por tanto, el prototipo elegido en el campo médico para elaborar biomodelos virtuales, que tengan mayor fiabilidad a la hora de realizar una planeación quirúrgica, es la estereolitografía (SLS) [20].

Hoy en día, se percibe que cada vez más, los modelos tridimensionales adquiridos de imágenes diagnósticas han sido herramienta fundamental en la planeación prequirúrgica y soporte académico, debido a las representaciones anatómicas adquiridas por medio de esta técnica. Una prueba de ello es el caso clínico que se plasma en el artículo de la revista médica *HJCA* (2017). Allí, se registra la planeación quirúrgica de una masa frontal de un menor de 11 años, a quien le explicaron en compañía de sus padres el objetivo de la cirugía mediante un modelo anatómico. Esto proyectó, un alto nivel de confianza para el procedimiento y en el médico tratante. Posteriormente a la cirugía se evidenció la resección completa y la reconstrucción orbitaria con éxito [21].

Desafíos tecnológicos de los modelos 3D

De igual manera, al hablar de planeación quirúrgica, se habla también de

simulación y entrenamiento, nuevos recursos tomados del modelado 3D, llegando hasta el punto donde una cirugía endoscópica mínimamente invasiva, se puede realizar con realidad aumentada. En este sentido, es la manera como los cirujanos se entrenan para ser más diestros y precisos en sus procedimientos [22].

Por ello, existen casos en los que el tener en las propias manos un fragmento de una estructura que se va a reemplazar, requiere elegir los mejores puntos para realizar un procedimiento óptimo, avanzando en cuanto a las vías de ingreso, para evaluar el comportamiento de una prótesis endovascular dentro del prototipo y revisando las posibles dificultades de cateterización en el caso de arterias. De este modo, se reducen los tiempos en los procedimientos, la cantidad de medios de contraste intravenoso aplicados y el tiempo de radiación ionizante emitido al paciente [23].

La implementación de la técnica tridimensional para creación de biomodelos, se puede elaborar a través de diferentes tecnologías, hallando algunas en las que la precisión es óptima, como la técnica de fabricación de filamento fundido. Sin embargo, presenta la imposibilidad de esterilización en el método convencional, ya que la temperatura afecta el material.

Por tanto, intraoperatoriamente la elección debe ser en sistemas adaptables a todo tipo de procedimiento. En el área de odontología es, donde más se explota este tipo de tecnología, ya que, cuenta con imágenes obtenidas de TC para la preparación quirúrgica y colocación de implantes con un grado alto de resolución espacial, tamaño y detalles. Esto, ayuda al profesional a la planeación, guía, comunicación cirujano-paciente y tratamiento en particular [24].

Existen patologías, que, evaluadas con distintos medios de diagnóstico, como radiología convencional, tomografía multicorte y resonancia magnética; permiten definir las características imagenológicas, los posibles tratamientos, y seguimientos de las lesiones. Es el caso de un ameloblastoma sólido que destaca el aporte de las distintas técnicas, además del prototipo en 3D, referido en el artículo de la *Revista Estomatológica Herediana* (2014). Allí se llega a la conclusión, que, aunque son métodos costosos para países en desarrollo, presentan una alternativa para el adecuado manejo de pacientes con lesiones benignas en maxilares, que, a pesar, de su benignidad, son altamente destructivas [25].

De igual manera, se evidencia el mejoramiento continuo con respecto a las imágenes diagnósticas, observando la evolución de los procesos que van de la mano con la tecnología. Este es el caso de las radiografías convencionales bidimensionales, las cuales, se han utilizado principalmente en el área de la odontología [26].

La era digital, se impone en todos los ámbitos a nivel salud. Esto se evidencia con la nueva odontología digital; no solo en el procesamiento de las imágenes, también en el diseño y fabricación de modelos a través de software y hardware específicos, los cuales, proyectan una nueva visión futurista. Las impresiones digitales se transforman como base fundamental en la restauración de prótesis sobre implantes, convirtiéndose en una técnica de diseño rápido y preciso, que arroja un resultado en cuanto al ajuste correcto y libre de defecto [27].

Gracias a las nuevas técnicas de imagenología, se presenta apoyo no solo a nivel de endodoncia, ortodoncia y de implantes. Koushyar y Lanka, mencionan con respecto a este tema que, los avan-

ces tecnológicos han revolucionado la práctica, reemplazando así algunos procedimientos, como el modelo en yeso y las radiografías tradicionales. Como resultado, dan paso a la posibilidad de encontrar modelos tridimensionales que se creían imposibles de alcanzar. Asimismo, llega a una realidad virtual con un nivel de alta precisión en referencia a las reconstrucciones tridimensionales por tomografía de haz cónico.

Dichos avances tienen diferentes aplicaciones en "especialidades que incluyen impactación dentaria, imágenes de la articulación temporomandibular (ATM), cirugía maxilofacial (CMF), defectos maxilares, rehabilitación de implantes dentales, endodoncia y ortodoncia" [25, p. 114]

De acuerdo con el artículo expuesto por el autor Velasco (2017), se afirma que la impresión 3D es una herramienta muy efectiva en la planificación de resecciones tumorales a nivel mandibular. Lo anterior, debido a la calidad diagnóstica y a la dinámica que permite en la simulación preoperatoria, ofreciendo como ventaja un menor tiempo en los procedimientos quirúrgicos [28].

Posterior a esto, se han utilizado técnicas de diseño y fabricación que interviene en variados campos de la odontología. Por ello, se puede afirmar que la tecnología no se detiene en el área odontológica, es el caso, de la técnica denominada CAD/CAM, en inglés, son las siglas de: Computer-Aided Design (en español, diseño asistido por computadora) y *Computer-Aided Manufacturing* (fabricación asistida por computadora). Este recurso permite el diseño de prótesis dentales mediante un ordenador. Allí la posibilidad de reconstruir modelos 3D basados en imágenes tomográficas tridimensionales utilizan la zirconia para la prostodoncia fija; también determina réplicas a escala con exactitud, presen-

tando, además de ventajas en cuanto a la estética dental [29].

De acuerdo con lo anterior, la reconstrucción en 3D no solo permite moldear estructuras anatómicas a nivel óseo y vascular; incluso sino determina cavidades y estructuras tubulares de tamaño determinado. Lo anterior, por medio de algoritmos de segmentación, utilizando un software, donde se pueden suprimir estructuras secundarias [30].

Discusión

Las nuevas tecnologías han aportado de manera significativa al campo médico. En ese sentido, se destacan las diferentes aplicaciones a nivel mundial. Aquí se encontraron, variedad de modalidades en las técnicas para realizar modelos biomédicos de alta calidad, precisos en anatomía, medición y proporción, para ser utilizados de manera óptima y brindar los beneficios de dicha innovación.

Entre las modalidades que se estudiaron se encontró inexactitud de unos modelos a otros, de acuerdo con la utilización de softwares y materiales. Esto, contribuye a la mejora constante de la calidad para otorgar excelentes beneficios no solo a los pacientes que requieren tratamientos específicos, también a especialistas en las diferentes ramas de la medicina; de igual manera en los docentes encargados de la construcción de la enseñanza a partir de la anatomía (18).

Conclusiones

Las impresiones tridimensionales se están convirtiendo en una herramienta clínicamente relevante para la planificación preoperatoria e intraoperatoria en muchas especialidades quirúrgicas. Allí, se evidencia un valor agregado en la mejora del resultado, minimizando los riesgos perioperatorios.

Por otra parte, esta tecnología de punta no solamente está direccionada para procedimientos quirúrgicos de alta complejidad, sino que ofrece la oportunidad de una nueva herramienta significativa en pro del aprendizaje y conocimiento anatómico. Este tipo de modelos reemplazan tanto, prototipos en cera como cadáveres, convirtiéndose en una técnica más higiénica y durable para la manipulación. Si bien, el papel de la impresión 3D en medicina se está expandiendo rápidamente, será parte de la atención médica y la educación en el futuro.

Por consiguiente, las nuevas tecnologías en impresión tridimensional presentan una manera de innovación de alto impacto en las diferentes áreas donde se han utilizado. Así, revoluciona las técnicas contemporáneas y llevan a buscar nuevas alternativas de su uso. Aquellas, que representen la evolución de la tecnología en diversos campos. De ahí que, lo expuesto en el presente artículo sea, una herramienta que proyecte a dicha búsqueda.

Referencias

- [1] J. Coronel, J. Palacio and R. Rueda-Esteban. (2017, Jun.). "Multiple Software Based 3D Modeling Protocol for Printing Anatomical Structures", *Int. J. Morphol.* [Internet]. Vol. 35, n.º 2, pp. 425-429. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000200006>
- [2] M. Ortega y G. Socolsky. (2012, oct.). "Godfrey Newbold Hounsfield: historia e impacto de la tomografía computada", *Revista Argentina de radiología.* [Internet]. Vol. 76, n.º 4. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3825/382538503009.pdf>
- [3] J. García, Z. Yang, R. Mongraine, R. Leaks, and K. Lachapelle. (2018, Jan.). "3D printing materials and their use in

- medical education: a review of current technology and trends for the future", *BMJ Simul Technol Enhanc Learn*. [Internet]. Vol. 4, n.º 1, pp. 27-40. Disponible en <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5765850/>
- [4] M. Guvendirin, J. Molde, R. Soares, and J. Kohn. (2016, Oct.). "Designing Biomaterials for 3D Printing", *ACS Biomater Sci Eng*. [Internet]. Vol. 2, n.º 10, pp. 1679-1693. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5181796/>
- [5] S. Leng, K. McGee, J. Morris, A. Alexander, J. Kuhlmann, T. Vrieze, C. McCollough, and J. Matsumoto. (2017, Apr.). "Anatomic modeling using 3D printing: quality assurance and optimization", *3D Print Med*. [Internet]. Vol. 3, n.º 16. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1186/s41205-017-0014-3>
- [6] O. Hernández-Muñoz y A. Sánchez-Ortiz. (2019, en.). "Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII", *Conservar Patrimonio*. [Internet]. Vol. 30, pp. 59-72. Disponible en <https://doi.org/10.14568/cp2018003>
- [7] I. Valverde. (2017, Apr.). "Impresión tridimensional de modelos cardiacos: aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardiaca y el intervencionismo estructural", *Revista Española de Cardiología*. [Internet]. Vol. 70, n.º 4, pp. 282-291. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2016.09.043>
- [8] O. Inzunza, I. Caro, G. Mondragón, F. Baeza, Á. Burdiles y G. Salgado. (2015, set). "Impresiones 3D, Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica", *Int. J. Morphol*. [Internet]. Vol. 33, n.º 3, pp. 1176-1182. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022015000300059>
- [9] L. García-Valadez, A. Espinoza-Gutiérrez, J. Rivas-Montero, V. Hernández-Méndez, A. Santiago-García, R. Banegas-Ruiz, Á. César-Juárez y R. Palmieri-Bouchan. (2017, abr.). "Impresión de modelos 3D para fracturas de radio distal: un estudio piloto en el Instituto Nacional de Rehabilitación", *Rev. Sanid. Milit. Mex*. [Internet]. Vol. 71, n.º 4, pp. 366-373. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=73786>
- [10] A. Giannopoulos, M. Steigner, E. George, M. Barile, A. Hunsaker A, F. Rybicki, J. Frank, and D. Mitsouras. (2016, Sep.). "Cardiothoracic Applications of 3D Printing", *Journal of Thoracic Imaging*. [Internet]. Vol. 31, n.º 5, pp. 253-272. Disponible en <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000217>
- [11] A. Calzado y J. Geleijns. (2010, dic.). "Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones", *Rev. Fis. Med*. [Internet]. Vol. 11, n.º 3, pp. 163-180. Disponible en <https://revista-defisicamedica.es/index.php/rfm/article/view/115>
- [12] J. Wang, Z. Yuan, G. Qian, W. Bao, and G. Jin. (2018, Jun.). "3D printing of intracranial aneurysm based on intracranial digital subtraction angiography and its clinical application", *Medicine (Baltimore)*. [Internet]. Vol. 97, n.º 24. Disponible en <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011103>
- [13] N. Romero-Rodríguez, S. Ballesteros y M. Serrano. (2014, nov.). "¿Qué aporta la TAC coronaria a los pacientes trasplantados de corazón?", *Cardicore*. [Internet]. Vol. 49, n.º 4, pp. 145-147. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.carcor.2014.10.009>
- [14] V. Mendoza-Rodríguez, L. Llerena, A. Rodríguez-de la Vega y. Rodríguez-Díaz. (2010, set.). "Volumen de placas coronarias calcificadas por tomografía com-

- putarizada y presencia de estenosis significativa por angiografía coronaria", *Arch. Cardiol. Méx.* [Internet]. Vol. 80, n.º 3. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-99402010000300007
- [15] S. Kang and L. Benson. (2018, Mar.). "Recent advances in cardiac catheterization for congenital heart disease," *F1000Research*. [Internet]. Disponible en <https://doi.org/10.12688/f1000research.13021.1>
- [16] A. Jorquera, *Fabricación Digital: introducción al modelado e impresión 3D*, Madrid: Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2017. <https://doi.org/10.1002/jmrs.212>
- [17] D. Ho, A. Squelch, Z. Sun Z. (2017, Jan.). "Modelling of aortic aneurysm and aortic dissection through 3D printing", *J. Medical Radiation Sciences*. [Internet]. Vol. 64, n.º 1, pp. 10-17. Disponible en <https://doi.org/10.1002/jmrs.212>
- [18] E. Huotilainen, R. Jaanimets, J. Valášek, P. Marcián, M. Salmi, J. Tuomi, A. Mäkitie, J. Wolff. (2014, Jul.). "Inaccuracies in additive manufactured medical skull models caused by the DICOM to STL conversion process," *J. Cranio-Maxillofacial Surgery*. [Internet]. Vol. 42, n.º 5, pp. 187-197. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2013.10.001>
- [19] R. Olszewski. (2013). "Three-dimensional rapid prototyping models in cranio-maxillofacial surgery: systematic review and new clinical applications," *Proceedings of the Belgian Royal Academies of Medicine*. [Internet]. Vol. 2, n.º 1, pp. 43-77. Disponible en <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/object/boreal:128246>
- [20] D. Ibrahim, T. Broilo, C. Heitz, M. de Oliveira, H. Willhelm, S. Wanderlei, J. Gomes, and D. Nascimento. (2009, Apr.). "Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy," *J. Cranio-Maxillofacial Surgery*. [Internet]. Vol. 37, n.º 3, pp. 167-173. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2008.10.008>
- [21] P. Peña, J. Vázquez, B. Moscoso, R. Martínez, A. Torracchi, E. Figueroa, G. Delgado y J. Franz. (2017, nov.). "Caso Clínico: Uso de Biomodelos Tridimensionales para la planificación preoperatoria de Tumores Craneales Fronto-orbitarios", *Rev. Med. HJCA*. [Internet]. Vol. 9, n.º 3. Disponible en <https://revista-medica-hjca.iess.gob.ec/ojs/index.php/HJCA/article/view/187>
- [22] J. François, G. Prat, D. Costi, J. Ovelar, F. Scarpelli, C. Ruiz y B. Lorea. (2018, jun.). "Modelado 3D del sistema vascular", *Rev. Flebología*. [Internet]. Vol. 44, n.º 1, pp. 17-27. Disponible en <http://www.sociedadflebologia.com/Revistas/2018/Vol-44-n1/Vol44N1-PDF09.pdf>
- [23] C. Vaquero, E. San Norberto, N. Cenizo, Á. Revilla, L. Saiz, L. del Río, C. Flota, M. Ibáñez y R. Martínez, "Revascularización de las arterias viscerales mediante endoprótesis con ramas en el confluente toraco abdominal", en C. Vaquero, ed., *Cirugía endovascular de las arterias viscerales*, Valladolid, España: Procivas, S.L.N.E., 2016, pp. 117-122. [Internet]. Disponible en <https://www.noticiasendovasculares.com/wp-content/uploads/2016/09/cirugia-ARTERIAS-VISCERALES.pdf#page=118>
- [24] F. Villena y S. Sánchez. (2017, Oct.). "Fabricación de biomodelos tridimensionales odontológicos a partir de tomografías computarizadas", *Mouth*. [Internet]. Vol. 2, n.º 1. Disponible en <https://zenodo.org/record/1004602#.W2j0W1BKIM8>
- [25] G. Ventura-Ponce, A. Trevejo-Bocanegra, V. Ruiz-García, W. Delgado-Azañero, J. Huamaní-Parra, A. Ruiz-Imbert, V.

- Calderón-Ubaqui. (2014, set.). "Evaluación mediante radiología, tomografía computarizada y resonancia magnética de un ameloblastoma sólido", *Rev. Estomatológica Herediana*. [Internet]. Vol. 24, n.º 3, pp. 178-185. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=421539382007>
- [26] K. Koushiar y L. Mahesh. (2011). "Comparación entre radiografías tradicionales y tridimensionales en odontología", *Odont. Act.* [Internet]. Vol. 8, n.º 103. Disponible en <http://www.centrefordentalimplant.com/wp-content/uploads/2012/09/kialanka-3D-Oda11103-01.pdf>
- [27] I. Velasco, H. Ramos y S. Vahdani. (2017, ag.). "Manejo quirúrgico del tumor mandibular asistido con la tecnología de impresión tridimensional: técnica y reporte de caso", *Rev. Chilena de Cirugía*. [Internet]. Vol. 69, n.º 4, pp. 332-340. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.rchic.2016.09.007>
- [28] M. Serrat, J. Castro, F. Montes, S. Costa y J. Cabratosa. (2013, dic.). "Impresiones digitales con scanbody para restauraciones unitarias sobre implantes", *Gaceta dental: Industria y profesiones*. [Internet]. N.º 253, pp. 110-118. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4514931>
- [29] A. Vilarrubí, P. Pebé, A. Rodríguez. (2011, sep.). "Prótesis fija convencional libre de metal: tecnología CAD CAM-Zirconi, descripción de un caso clínico", *Odontoestomatología*. [Internet]. Vol. 13, n.º 8, pp. 16-28. Disponible en http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-93392011000200003
- [30] J. Coronel, J. Palacio, and R. Rueda-Esteban. (2017, jun.). "Multiple Software Based 3D Modeling Protocol for Printing Anatomical Structures", *Int. J. Morphol.* [Internet]. Vol. 35, n.º 2, pp. 425-429. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000200006>
- [31] R. Raudales. (2014, jun.). "Imágenes diagnósticas: Conceptos y generalidades", *Rev. Fac. Cienc. Méd.* [Internet]. Vol. 11, n.º 1, pp. 35-43. <http://www.bvs.hn/RFCM/pdf/2014/pdf/RFCM-Vol11-1-2014-6.pdf>
- [32] A. Franco y G. Fernández. "Tomografía computarizada, bases físicas y dosis: 'Lo que usted siempre quiso saber y nunca se atrevió a preguntar'", en *33 Congreso Nacional Seram*, Bilbao, España: Seram, 2016. [Internet]. Disponible en <https://piper.seram.es/index.php/seram/article/download/3044/1560>