



Revista de la Facultad de Medicina

ISSN: 2357-3848

ISSN: 0120-0011

Universidad Nacional de Colombia

Telich-Tarriba, José Eduardo; Ramírez-Sosa, Lino Enrique; Palafox, Damián; Ortega-Hernandez, Esteban; Rendón-Medina, Marco Aurelio

Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva

Revista de la Facultad de Medicina, vol. 68, núm. 4, 2020, Octubre-Diciembre, pp. 603-607  
Universidad Nacional de Colombia

DOI: 10.15446/revfacmed.v68n4.77862

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576366658016>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org  
UAEM

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Revista de la Facultad de Medicina

## ARTÍCULO DE REFLEXIÓN

DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.77862>

Recibido: 14/02/2019. Aceptado: 28/06/2019

# Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva

*Use of 3D printing in reconstructive plastic surgery*

José Eduardo Telich-Tarriba<sup>1,2</sup> Lino Enrique Ramírez-Sosa<sup>2,3</sup> Damián Palafox<sup>4</sup> Esteban Ortega-Hernandez<sup>5</sup> Marco Aurelio Rendón-Medina<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Hospital General "Dr. Manuel Gea González" - División de Cirugía Plástica y Reconstructiva - Ciudad de México - México.

<sup>2</sup> Universidad Nacional Autónoma de México - Facultad de Medicina - División de Estudios de Posgrado - Ciudad de México - México.

<sup>3</sup> Centro Médico Nacional La Raza - Hospital General "Dr. Gaudencio González Garza" - Unidad de Cirugía General - Ciudad de México - México.

<sup>4</sup> Hospital Christus Muguerza - División de Cirugía Plástica y Reconstructiva - Puebla - México.

<sup>5</sup> Queen Mary University of London - Barts and The London School of Medicine and Dentistry - Londres - Inglaterra.

<sup>6</sup> Hospital General "Rubén Leñero" - Servicio de Cirugía Plástica y Reconstructiva - Ciudad de México - México.

Correspondencia: Damián Palafox. División de Cirugía Plástica y Reconstructiva, Hospital Christus Muguerza. Avenida 5 poniente 715. Colonia Centro, C.P. 72000. Teléfono: +52 01 222 2298100. Puebla. México. Correo electrónico: reconplast@hotmail.com.

## Resumen

La impresión 3D es una tecnología interesante en constante evolución. También conocida como manufactura aditiva, consiste en la conversión de diseños digitales a modelos físicos mediante la adición de capas sucesivas de material. En años recientes, y tras el vencimiento de múltiples patentes, diversos campos de las ciencias de la salud se han interesado en sus posibles usos, siendo la cirugía plástica una de las especialidades médicas que más ha aprovechado sus ventajas y aplicaciones, en especial la capacidad de crear dispositivos altamente personalizados a costos accesibles. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente artículo es describir los usos de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva a partir de una revisión de la literatura.

Las principales aplicaciones de la impresión 3D descritas en la literatura incluyen su capacidad para crear modelos anatómicos basados en estudios de imagen de pacientes, que a su vez permiten planificar procedimientos quirúrgicos, fabricar implantes y prótesis personalizadas, crear instrumental quirúrgico para usos específicos y usar biotintas en ingeniería tisular.

La impresión 3D es una tecnología prometedora con el potencial de implementar cambios positivos en la práctica de la cirugía plástica reconstructiva en el corto y mediano plazo.

**Palabras clave:** Andamios del tejido; Cirugía plástica; Ingeniería de tejidos; Bioimpresión (DeCS).

Telich-Tarriba JE, Ramírez-Sosa LE, Palafox D, Ortega-Hernandez E, Rendón-Medina MA. Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva. Rev. Fac. Med. 2020;68(4):603-7. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.77862>.

## Abstract

3D printing is an interesting technology in constant evolution. Also known as additive manufacturing, it consists of the conversion of digital designs into physical models by successively adding material layer by layer. In recent years, and after the expiration of multiple patents, several fields of health sciences have approached this type of technology, plastic surgery being one of the medical specialties that has taken advantage of its benefits and applications, especially the ability to create highly customized devices at low costs. With this in mind, the objective of this work is to describe the uses of 3D printing in reconstructive plastic surgery based on a literature review.

The main applications of 3D printing described in the literature include its ability to create anatomical models based on patient imaging studies, which in turn allow planning surgical procedures, manufacturing custom implants and prostheses, creating surgical or instrumental simulators, and using bioinks in tissue engineering.

3D printing is a promising technology with the potential to cause positive changes in the field of reconstructive plastic surgery in the short and medium term.

**Keywords:** Tissue Scaffolds; Surgery, Plastic; Tissue Engineering; 3D Printing (MeSH).

Telich-Tarriba JE, Ramírez-Sosa LE, Palafox D, Ortega-Hernandez E, Rendón-Medina MA. [Use of 3D printing in reconstructive plastic surgery]. Rev. Fac. Med. 2020;68(4):603-7. Spanish. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/revfacmed.v68n4.77862>.

## Introducción

La impresión en tres dimensiones (3D), también conocida como manufactura aditiva, es una tecnología que permite construir modelos físicos diseñados por computadora, un hecho que hasta hace unos años parecía imposible.<sup>1</sup>

Esta tecnología fue introducida por Charles W. Hull al campo industrial desde los años ochenta, pero en la última década sus costos se han reducido, en gran parte gracias al vencimiento de múltiples patentes, y por tanto se ha vuelto accesible para la población general.<sup>2,3</sup>

La impresión 3D consiste en la conversión de diseños digitales a modelos físicos mediante la adición de capas sucesivas de material hasta obtener el objeto deseado,<sup>2,4</sup> por lo que uno de sus principales atractivos es la capacidad de producir objetos personalizados en períodos cortos de tiempo y que se adaptan a las necesidades de cada persona. La impresión de este tipo ha impactado en múltiples especialidades médicas como cirugía vascular, ortopedia y, recientemente, cirugía plástica debido a que los modelos fabricados se ajustan a las características anatómicas de los pacientes y a las necesidades de los cirujanos.<sup>2</sup>

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo del presente artículo es describir los usos de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva a partir de una breve revisión de la literatura.

## ¿Qué es la impresión 3D?

Como se mencionó antes, la impresión 3D consiste en generar objetos físicos creados en una computadora a partir de la aplicación sucesiva de capas de algún material. En esta tecnología se utilizan diversos métodos y materiales, cada uno con indicaciones específicas dependiendo de la resolución y la calidad del objeto que se desea obtener. Los modos de impresión más utilizados en el campo médico son los siguientes:

**Estereolitografía:** emplea una fuente de luz para solidificar capas sucesivas de polímeros líquidos. Fue la primera forma de impresión 3D utilizada en la historia.<sup>5</sup>

**Sinterizado selectivo por láser:** fusiona capas de material en polvo mediante un láser. Se emplea para crear objetos metálicos, plásticos y cerámicos.<sup>5</sup>

**Modelado por deposición fundida (MDF):** funciona de forma análoga a las impresoras de tinta y utiliza energía térmica generada por un cabezal para depositar pequeñas gotas de plástico sobre una superficie. El tamaño de la gota y la resolución dependen de la temperatura aplicada y la viscosidad de la tinta. Las impresoras FDM son particularmente útiles en la ingeniería de tejidos y en medicina regenerativa.<sup>5</sup>

**Bioimpresión:** emplea máquinas especializadas para aplicar capas de biotinta con el objetivo de crear estructuras similares al tejido vivo.<sup>6</sup>

## Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica

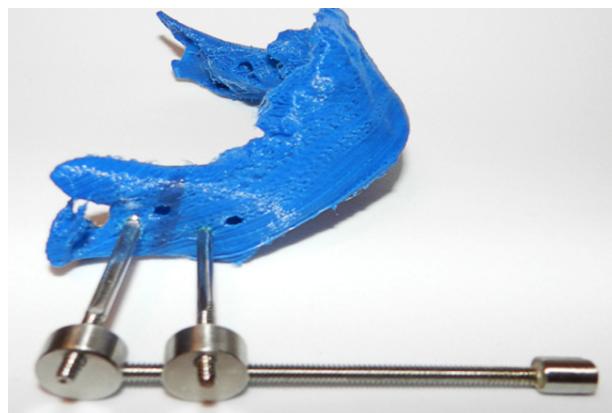
Las potenciales aplicaciones de la impresión 3D en el campo de la cirugía plástica son amplias y van desde la oportunidad de generar nuevas experiencias educativas para los especialistas en entrenamiento, hasta la reproducción fidedigna de la anatomía de los pacientes y la oportunidad de que los cirujanos planifiquen y practiquen procedimientos.<sup>1,2,6</sup>

## Aplicaciones preoperatorias

En la actualidad, los estudios de imagen con reconstrucción tridimensional son ampliamente utilizados en distintas disciplinas quirúrgicas y se han convertido en herramientas indispensables para la planificación preoperatoria. Además, la impresión 3D permite exportar estos estudios a una computadora para generar una representación tangible de las estructuras anatómicas del paciente.<sup>7</sup>

Una de las primeras áreas en implementar esta tecnología fue la cirugía craneofacial,<sup>8</sup> ya que con la ayuda de modelos impresos en 3D es posible determinar las dimensiones, posiciones y angulaciones de distintas estructuras de una forma precisa, lo que permite planificar procedimientos complejos o reconstrucciones en pacientes con padecimientos poco comunes como fisuras faciales, craneosinostosis sindrómicas y otras malformaciones congénitas.<sup>9</sup>

Otra ventaja de la impresión 3D es la capacidad de simular procedimientos sobre los modelos que permite elaborar, lo que potencialmente reduce la incidencia de complicaciones, mejora los desenlaces y permite reducir los tiempos quirúrgicos debido a que los especialistas pueden practicar lo que deben hacer durante la cirugía.<sup>8,10,11</sup> La Figura 1 muestra un modelo de mandíbula construido por medio de impresión 3D que corresponde a un paciente en quien se realizó distracción mandibular; este modelo permitió ajustar el distractor antes de su colocación.



**Figura 1.** Planificación en modelo 3D para la colocación de un distractor mandibular.

Fuente: Documento obtenido durante la realización del estudio.

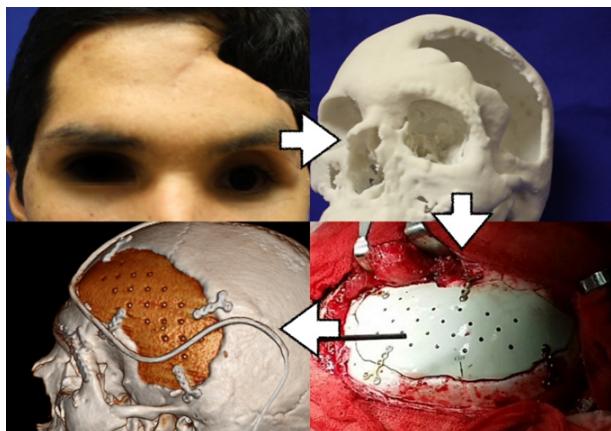
## Aplicaciones transoperatorias

La utilidad de la impresión 3D va más allá de la planificación preoperatoria, ya que se trata de una herramienta que brinda la posibilidad de crear objetos que guíen, y por tanto faciliten y agilicen, la realización de un acto quirúrgico. Un claro ejemplo de lo anterior es la creación de modelos que sirven de guías de oclusión para cirugía ortognática y de guías de corte en reconstrucción mandibular, así como de placas preformadas que son de gran utilidad en la reconstrucción de la órbita ocular.<sup>12,13</sup>

Las malformaciones craneofaciales y las fracturas orbitarias, por su compleja anatomía, son un verdadero reto para que el cirujano logre su adecuada reconstrucción; sin embargo, mediante la creación de implantes 3D de titanio que se ajustan fielmente a la morfología

del defecto, esta limitante ha disminuido. La importancia de dicho avance radica en que al usar implantes personalizados hechos con base en estudios de imagen específicos de cada paciente se logran optimizar los resultados durante el transoperatorio.<sup>12</sup>

En la Figura 2 se observa la secuencia pre y transoperatoria de un paciente con defecto craneal, en quien utilizando un modelo impreso en 3D fue posible planificar el procedimiento correctivo y se obtuvieron excelentes resultados.



**Figura 2.** Secuencia pre y transoperatoria de un paciente con un defecto craneal en cuyo procedimiento se utilizó un modelo impreso en 3D.

Fuente: Documento obtenido durante la realización del estudio.

Las placas para osteosíntesis mandibular que se utilizan en cirugía ortognática tienen tamaños y formas estándar, por lo que el cirujano debe disponer de un tiempo para curvarlas y moldearlas y así ajustarlas al hueso del paciente; no obstante, en la actualidad se puede hacer una reconstrucción mandibular mediante impresión 3D en la que se crean guías de corte para realizar osteotomías antes del procedimiento, lo que acorta su duración.<sup>13</sup>

### Prótesis

La tecnología de impresión 3D permite diseñar y construir dispositivos personalizados a partir de datos tomográficos o de resonancias magnéticas, por lo cual es de gran utilidad para crear prótesis que se adapten totalmente a la anatomía del paciente.<sup>4</sup> Estas prótesis no solo son útiles para reemplazar extremidades, sino que también tienen una gran relevancia en la cirugía estética.

En la última década se han desarrollado prótesis de tejidos blandos de alta calidad de nariz, orejas, ojos, rostro y mano mediante impresión 3D, de tal forma que se proporciona a los pacientes una mejor estética y una sensación más real en comparación con las prótesis tradicionales.<sup>10</sup> Un claro ejemplo de esto es el caso de Eric Monger, un paciente que perdió gran parte del hemirostro izquierdo por un tumor invasor de piel de tipo epidermoide, y a quien mediante impresión 3D se le pudo crear una prótesis para reconstruir esa porción de su rostro; la elaboración del modelo se hizo con base en una serie de estudios de imagen, fotografías y análisis computarizados del lado contralateral de su cara que se encontraba sano.<sup>14</sup>

Otro ejemplo de la utilización de implantes personalizados mediante impresión 3D es el caso reportado por Chacón-Moya *et al.*,<sup>15</sup> en donde utilizando un material llamado PEEK (poli-éter-éter-cetona) se logró crear un implante de hueso frontal para reconstruir la bóveda craneana de una paciente de 63 años a quien se le había realizado una resección del hueso frontal por infiltración de un estesioneuroblastoma. Este material aloplástico rígido le brinda al encéfalo una protección contra traumatismos y tiene la ventaja de que si es necesario retirar el implante para algún procedimiento, se puede esterilizar y reutilizar en el paciente, además el resultado estético con PEEK es muy natural.<sup>15</sup>

En la actualidad, distintas empresas están desarrollando mediante impresión 3D prótesis de extremidades superiores e inferiores de excelente calidad, más ligeras y mucho menos costosas que las prótesis tradicionales; estos modelos son una excelente opción, sobre todo en pacientes pediátricos ya que por su crecimiento acelerado superan rápidamente el tamaño de la prótesis y deben cambiarlas constantemente.<sup>14</sup> En síntesis, las características de la impresión 3D permiten que esta tecnología se utilice para crear férulas de alta calidad totalmente personalizables.

### Enseñanza

Por su fidelidad, los modelos impresos en 3D pueden ayudar a comprender mejor la anatomía humana, lo que resulta muy útil para los médicos en formación ya que es más fácil aprender y entender las estructuras y los tejidos humanos analizando impresiones de este tipo que simplemente viendo ilustraciones o imágenes en 2D (1). Estos modelos logran ser tan específicos que se pueden utilizar en la enseñanza de residentes de cirugía para que se entrenen en la realización de un procedimiento en particular e incluso para educar y explicar a los pacientes sobre su padecimiento.<sup>2</sup>

Dentro de la cirugía reconstructiva se ha utilizado la impresión 3D para reproducir modelos de malformaciones de labio y paladar con el objetivo de que los residentes de cirugía plástica y reconstructiva tengan una mejor noción de estas alteraciones<sup>7</sup> y para que sobre estos puedan entrenarse para realizar queiloplastias de tal manera que entiendan cuál es el mejor abordaje y puedan evaluar cómo sería el resultado estético después de la intervención.<sup>16</sup>

Asimismo, los modelos de impresión 3D son un gran aporte en la enseñanza en términos bioéticos, ya que permiten practicar procedimientos en un molde fiel de un paciente en lugar de un cadáver o animal.<sup>17</sup>

### Impresión 3D e instrumental quirúrgico

Otra innovación de la impresión 3D que tiene múltiples áreas de aplicación es el diseño e impresión de instrumental quirúrgico, el cual puede modificarse y adaptarse en función de las exigencias del procedimiento para el cual fue creado. Además, debido a su economía y facilidad, existe la posibilidad de instalar impresoras 3D en lugares donde el acceso al equipo quirúrgico es muy difícil, tales como hospitales en zonas de combate, vehículos espaciales, e incluso países con bajos recursos en materia de salud.<sup>18</sup>

## Visión a futuro

La impresión 3D tiene mucho potencial en la medicina, ya que se puede utilizar en diversas áreas debido a que permite crear desde andamios y modelos de tejidos simples, hasta estructuras muy complejas. La investigación a futuro contempla la posibilidad de imprimir directamente agregados celulares sobre hidrogeles con materiales sensibles a estímulos del organismo para crear bioinjertos fisiológicamente adaptados.<sup>19</sup>

Esta tecnología también ha permitido crear y personalizar digitalmente implantes auriculares y nasales<sup>6</sup> a partir de andamios microporosos impregnados con factores de crecimiento de cartílago; además, mediante análisis histológico *in vivo* se ha demostrado un crecimiento cartilaginoso de aspecto nativo que respeta los límites de estos andamios creados mediante impresión 3D.<sup>6,20</sup>

Actualmente se investiga la posibilidad de utilizar impresión de sustitutos de piel llamados biotinta directamente sobre áreas de quemaduras con resultados muy favorables,<sup>21</sup> al tiempo que se trabaja en la creación de micro guías nerviosas a partir de polímeros fotocurables para ayudar a la reparación de lesiones del nervio periférico; en un futuro, este enfoque podría tener ventajas para la producción de dispositivos clínicamente relevantes dentro de la medicina regenerativa.<sup>22</sup>

Evidentemente, las aplicaciones médicas de la impresión 3D han progresado rápidamente en los últimos años; sin embargo, una limitante sigue siendo el costo que puede llegar a tener, por lo que se espera que con el tiempo y el aumento de su uso en el área de la salud los gastos que implica disminuyan y sea más accesible, incluso para los países con bajos recursos económicos.<sup>23</sup>

Antes de terminar, es importante mencionar que el desarrollo de la tecnología avanza exponencialmente y ha rebasado por completo la creación de lineamientos y leyes que permitan su aplicación en la medicina; la impresión 3D no es la excepción a esto, por lo que lograr que las distintas agencias que regulan la normativa relacionada con el ámbito médico validen ampliamente su utilización es un reto. Sin embargo, con la creación de protocolos de investigación y la mejora continua de materiales y biomateriales esta situación dejará de ser un inconveniente en un futuro próximo.

## Conclusiones

Como se ha visto a través de la historia, la ciencia médica va de la mano con el desarrollo científico y tecnológico. Por lo tanto, a medida que van surgiendo estos avances es posible desarrollar técnicas que mejoren la forma en que se practica la medicina, ya sea con la creación de métodos diagnósticos enfocados cada vez más a niveles moleculares, o con el diseño de materiales y dispositivos que permitan trabajar a un nivel macroscópico y tangible.

La impresión 3D pertenece a este nuevo capítulo de la era industrial y tecnológica y tiene un elevado potencial de ser utilizada en una amplia gama de áreas en la medicina. Como se ha explicado a lo largo del presente documento, la aplicación de esta tecnología en cirugía plástica y reconstructiva va mucho más allá de la creación de estructuras aplicables al paciente en las distintas etapas de su valoración y tratamiento, ya que también se ha convertido en una herramienta muy útil en la enseñanza. Además, esta es

una tecnología revolucionaria que, si bien no está regulada al cien por ciento, resulta ser accesible y económicamente sustentable, características a las que se atribuye el creciente interés de los investigadores y el gran avance que se ha logrado en la generación de nuevos materiales y técnicas de impresión y en la aplicación en el área médica.

La tecnología de impresión 3D llegó para solucionar muchas de las necesidades que los cirujanos tuvieron que afrontar durante muchos años, por lo que se espera que en un futuro cercano el inconveniente que supone la regulación para su uso en la práctica médica quede atrás.

## Conflictos de intereses

Ninguno declarado por los autores.

## Financiación

Ninguna declarada por los autores.

## Agradecimientos

Ninguno declarado por los autores.

## Referencias

- Ibrahim AM, Jose RR, Rabie AN, Gerstle TL, Lee BT, Lin SJ. Three-dimensional Printing in Developing Countries. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2015;3(7):e443. <https://doi.org/d758>.
- AlAli AB, Griffin MF, Butler PE. Three-Dimensional Printing Surgical Applications. *Eplasty*. 2015;15:e37.
- Matias M, Zenha H, Costa H. Three-Dimensional Printing: Custom-Made Implants for Craniomaxillofacial Reconstructive Surgery. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr*. 2017;10(2):89-98. <https://doi.org/f9729>.
- Gerstle TL, Ibrahim AM, Kim PS, Lee BT, Lin SJ. A plastic surgery application in evolution: three-dimensional printing. *Plast Reconstr Surg*. 2014;133(2):446-51. <https://doi.org/f542fk>.
- Ventola CL. Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses. *P T*. 2014;39(10):704-711.
- Hoang D, Perrault D, Stevanovic M, Ghiassi A. Surgical applications of three-dimensional printing: a review of the current literature & how to get started. *Ann Transl Med*. 2016;4(23):456. <https://doi.org/f9nkzp>.
- Lioufas PA, Quayle MR, Leong JC, McMenamin PG. 3D Printed Models of Cleft Palate Pathology for Surgical Education. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2016;4(9):e1029. <https://doi.org/d759>.
- Huang YH, Seelaus R, Zhao L, Patel PK, Cohen M. Virtual surgical planning and 3D printing in prosthetic orbital reconstruction with percutaneous implants: a technical case report. *Int Med Case Rep J*. 2016;9:341-5. <https://doi.org/d76b>.
- Malagon-Hidalgo H, Wong-Romo G, Rivera-Estolano RT. Stereolithography: a method for planning the surgical correction of hypertelorism. *J Craniofac Surg*. 2009;20(5):1473-7. <https://doi.org/csj926>.
- Chae MP, Rozen WM, McMenamin PG, Findlay MW, Spychal RT, Hunter-Smith DJ. Emerging Applications of Bedside 3D Printing in Plastic Surgery. *Front Surg*. 2015;2:25. <https://doi.org/d76c>.
- Bauermeister AJ, Zuriarrain A, Newman MI. Three-dimensional printing in plastic and reconstructive surgery: a systematic review. *Ann Plast Surg*. 2016;77(5):569-76. <https://doi.org/f89xfm>.
- Choi JW, Kim N. Clinical application of three-dimensional printing technology in craniofacial plastic surgery. *Arch Plast Surg*. 2015;42(3):267-77. <https://doi.org/gcbpgb>.

13. Kamali P, Dean D, Skoracki R, Koolen PG, Paul MA, Ibrahim AM, et al. The current role of three-dimensional printing in plastic surgery. *Plast Reconstr Surg.* 2016;137(3):1045-55. <https://doi.org/d76d>.
14. Dodziuk H. Applications of 3D printing in healthcare. *Kardiochir Torakochirurgia Pol.* 2016;13(3):283-93. <https://doi.org/d76f>.
15. Chacón-Moya E, Gallegos-Hernández JF, Piña-Cabralles S, Cohn-Zurita F, Goné-Fernández A. Reconstrucción de la bóveda craneana con implante de poli-éter-éter-cetona diseñado por computadora. Informe de un caso. *Cir Ciruj.* 2009;77(7):469-72.
16. Zheng Y, Lu B, Zhang J, Wu G. CAD/CAM silicone simulator for teaching cheiloplasty: description of the technique. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2015;53(2):194-6. <https://doi.org/f62h5r>.
17. VVermeulen N, Haddow G, Seymour T, Faulner-Jones A, Shu W. 3D bioprint me: a socioethical view of bioprinting human organs and tissues. *J Med Ethics.* 2017;43:618-24. <https://doi.org/d76g>.
18. George M, Aroom KR, Hawes HG, Gill BS, Love J. 3D Printed Surgical Instruments: The Design and Fabrication Process. *World J Surg.* 2017;41(1):314-9. <https://doi.org/f9w3cz>.
19. Ji S, Guvendiren M. Recent Advances in Bioink Design for 3D Bioprinting of Tissues and Organs. *Front Bioeng Biotechnol.* 2017;5:23. <https://doi.org/d76h>.
20. Zopf DA, Mitsak AG, Flanagan CL, Wheeler M, Green GE, Hollister SJ. Computer aided-designed, 3-dimensionally printed porous tissue bioscaffolds for craniofacial soft tissue reconstruction. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2014;152(1):57-62. <https://doi.org/f6vndp>.
21. Michael S, Sorg H, Peck CT, Hoch L, Deiwick A, Chichkov B, et al. Tissue engineered skin substitutes created by laser-assisted bioprinting form skin-like structures in the dorsal skin fold chamber in mice. *PLoS One.* 2013;8(3):e57741. <https://doi.org/f4pnvh>.
22. Pateman CJ, Harding AJ, Glen A, Taylor CS, Christmas CR, Robinson PP, et al. Nerve guides manufactured from photocurable polymers to aid peripheral nerve repair. *Biomaterials.* 2015;49:77-89. <https://doi.org/f66vb8>.
23. Chang JB, Small KH, Choi M, Karp NS. Three-dimensional surface imaging in plastic surgery: foundation, practical applications, and beyond. *Plast Reconstr Surg.* 2015;135(5):1295-304. <https://doi.org/f7brh5>.