

29. Ciencia, Tecnología e Innovación

Impresión 3D y sus aplicaciones en Medicina

Lopez, Roberto Antoni; robertolopez_08@hotmail.com

Universidad Nacional de Tucumán

Resumen

Objetivo: Comparar el avance de la impresión 3D en Argentina con Países del Primer mundo y Latinoamericanos. **Materiales Y Método:** Se realizó un estudio observacional descriptivo de corte transversal, cuyo universo fueron los artículos de divulgación científica o de prensa publicados en los últimos 2 años (2016 a 2018), durante 2010 a 2012 y el trabajo realizado en el Departamento de Bioingeniería – Gabinete de Tecnologías Médicas de la U.N.T. en 2017 usando como método de recolección de datos, la búsqueda activa de material bibliográfico mediante Google académico, aplicando la función de “Búsqueda Avanzada” usando las siguientes palabras claves: Aplicaciones en Medicina “Impresión 3D” ,se verificó que los artículos estén validados y publicados en fuentes confiables preservando la confidencialidad de los datos de los pacientes. **Resultados:** Se observó que en el periodo de 2010 a 2012, el área más incursionada por esta tecnología fue la “Industrial” (50%), seguida de “Medicina” (22%), de un total de 18 resultados. En contra posición, en el periodo de 2016 a 2018 (522 resultados), las áreas donde más se aplicó la impresión 3D fueron: en primer lugar “Medicina” (33.5%), seguida de la “Industrial” (28.5%). También presentó aplicaciones en otras áreas, donde el acceso de la impresión 3D no era notable en 2010 a 2012, tales como: Educación en 1ª, 2ª y 3ª (7.4%), Economía (5.9%), Arquitectura (4.8%), Arte (2.9%), Juguetería (2.1%), Milicia (1.7%), Veterinaria (1.7%) y en Joyería (1.3%). Se evidenció que las áreas más incursionados por la impresión 3D fueron en: Pediatría, Traumatología y Ortopedia (Ingeniería de tejido oseó), Cirugía (Diseño de guías funcionales y modelos prequirúrgicos), Impresión de órganos y en Desarrollo de medicamentos.

Palabras clave : Impresión 3D, Aplicaciones, Medicina.

Introducción

La impresión 3D es un proceso que permite crear objetos tridimensionales sólidos partiendo de un modelo digital utilizando procesos aditivos con aporte de material de modo que el objeto va creándose mediante capas sucesivas de dicho material (Derby B.,2012). Comúnmente se ha utilizado en la [matricería](#) o la prefabricación de piezas o componentes para la [arquitectura](#) y el [diseño industrial](#). En la actualidad se está extendiendo su uso en la fabricación de [prótesis](#) médicas, ya que este tipo de impresión permite adaptar cada pieza fabricada a las características exactas de cada paciente (*Manuel Rus García et al, 2014*).

Respecto a los orígenes de este nuevo recurso tecnológico se puede decir que la impresión en 3D empezó en 1984, cuando Chuck Hull patentó su sistema en los Estados Unidos, con el nombre de stereolithography. En 1986 creó la empresa 3D Systems y otras le siguieron, de forma que en 1987 el prototipado rápido (Rapid Prototyping) ya era una realidad comercial. En 1990 se empieza a aplicar la fabricación aditiva para obtener patrones de fundición (Rapid Casting); en 1995, para obtener herramientas de

producción, especialmente moldes de inyección (Rapid Tooling), y en el 2000, para obtener piezas de producción (Rapid Manufacturing).

No obstante, el mundo aún no veía cómo usar este revolucionario invento. No fue hasta el año 2005 cuando el Dr Bowyer, de la Universidad de Bath, Reino Unido, desarrolla la primera máquina 3D autorreplicante: la RepRap, que supone un salto adelante en la normalización y acceso a las impresoras tridimensionales. Esto fue una iniciativa de código abierto para construir una impresora 3D que puede imprimir la mayoría de sus propios componentes. A partir de este momento comienzan a salir a la luz noticias e informes sobre usos y posibles aplicaciones de esta tecnología (Timecoast.com,2018, Línea de tiempo – Impresoras 3D, recuperado de: www.timetoast.com/timelines/linea-del-tiempo-impresoras-3d)

Tan solo un año después (2006) se construye la primera máquina del tipo SLS (Sintetización de láser selectivo) viable. Básicamente, este tipo de máquina utiliza un láser para fundir materiales en el proceso de impresión 3D. Este descubrimiento abre las puertas a la personalización masiva y a la demanda de fabricación de piezas industriales, y más tarde, prótesis médicas.

Para remate en el 2009 La empresa [Organovo](#) ingenia la impresora 3D MMX Bioprinter, la primera capaz de fabricar tejidos orgánicos. Sí así mismo el uso de células vivas para la impresión 3D de órganos es una realidad. La bioimpresión 3D, a pesar de ser una ciencia muy nueva y ambigua, está ganando cada vez más territorio en el campo de la medicina.

Desde entonces, en los últimos años la disminución de costes de producción de estas impresoras, y la posibilidad de usar código abierto para el software que emplean estas máquinas está acelerando su expansión y ha despertado en enorme interés en numerosos campos de la ciencia. Las limitaciones en la técnica de impresión 3D vienen dadas por los ingredientes que de momento se pueden utilizar y la velocidad de impresión de la que disponen las impresoras (Mironov V, 2006). Por todo ello, existen equipos numerosos equipos multidisciplinarios de científicos e ingenieros trabajando conjuntamente para mejorar la técnica actual especialmente en el campo de la salud (Mironov V, Reis N, Derby B, 2006).

Objetivo

- Comparar el avance de la impresión 3D en Argentina con

Países del Primer mundo y Latinoamericanos.

Materiales Y Método

Se realizó un estudio observacional descriptivo de corte transversal, cuyo universo está representado por los artículos de divulgación científica o de prensa publicados en los últimos 2 años (2016 a 2018), durante 2010 a 2012 y el trabajo realizado en el Departamento de Bioingeniería – Gabinete de Tecnologías Médicas de la universidad Nacional de Tucumán en 2017 usando como método de recolección de datos, la búsqueda activa de material bibliográfico mediante el metabuscador de Internet, Google académico, aplicando la función de “Búsqueda Avanzada” para los artículos científicos.

Para la búsqueda avanzada se usó las siguientes palabras claves: Aplicaciones en Medicina “Impresión 3D”. Se verifico que los artículos estén validados y publicados en fuentes confiables. Además, se preservó la confidencialidad de los datos de aquellos pacientes en los que se intervino de manera directa o indirectamente en su salud con dicho recurso tecnológico.

Resultados y Discusión

La tabla n° 1 evidencia una diferencia marcada en los resultados obtenidos con el uso de las palabras claves en la búsqueda avanzada de Google Académico, entre los periodos de tiempo mostrados en la misma, siendo notable la cantidad de resultados de búsqueda en los últimos dos años, lo que demuestra que la impresión 3D es una innovación tecnológica que ha avanzado en los últimos años.

Tabla N°1: Resultados de la Búsqueda bibliográfica.

ARTICULOS 2010 - 2012 2016-2018

Arquitectura	0	25
Arte	1	15
Economía	0	31
Educación	1	39
1ª, 2ª, 3ª		
Históricos	0	28
Industriales	9	149
Joyería	0	7
Juguetería	1	11
Legal	0	6
Medicina	4	175
Milicia	0	9
Veterinaria	1	9
Protegidos por derecho del autor	1	18
Total	18	522

Además de lo anteriormente mencionado, se observó que en el periodo de 2010 a 2012, el área más incursionada por esta tecnología fue la “Industrial”, seguida de “Medicina”, representando del total de los resultados obtenidos (18), un 50 % y un 22% respectivamente. En contra posición, en el periodo de 2016 a 2018 (522 resultados), las áreas donde más se aplicó la impresión 3D fueron: en primer lugar “Medicina”, seguida de la “Industrial”, representando un 33.5% y un 28.5% respectivamente. Sin embargo, también presentó aplicaciones en otras áreas,

donde el acceso de la impresión 3D no era notable en 2010 a 2012, tales como: Educación en 1^a, 2^a y 3^a (7.4%), Economía (5.9%), Arquitectura (4.8%), Arte (2.9%), Juguetería (2.1%), Milicia (1.7%), Veterinaria (1.7%) y en Joyería (1.3%); sin tener en cuenta los artículos referidos a la Historia y el aspecto legal de dicha tecnología.

A partir de la búsqueda también se evidencio que las áreas más incursionados por la impresión 3D fueron en:

- Pediatría
- Traumatología y Ortopedia:
Ingeniería de tejido oseó
- Cirugía: Diseño de guías funcionales y modelos prequirúrgicos
- Impresión de órganos.
- Desarrollo de medicamentos

Además de ello, se observó que en estos dos últimos años la impresión 3D presento más aplicaciones en medicina con repercusiones positivas en forma directa o indirecta en la atención de los pacientes, en contraposición, se vio que en el periodo de 2010 – 2012 esta tecnológica apenas se utilizaba con fines técnicos e industriales.

Pediatría.

Es notable el impacto de la impresión 3D en esta área clínica. En Inglaterra, en septiembre de 2012, donde se llevó a cabo una intervención quirúrgica a un niño de 1 año que nació con traqueomalacia, una deficiencia congénita, que generó una dificultad respiratoria severa y con la ayuda de un equipo de ingenieros se desarrolló una Prótesis 3D hecha de un biopolímero llamado policaprolactona. Esta se implanto quirúrgicamente al bronquio deficiente del niño, lo que permitió la permeabilización del mismo y la posterior expansión pulmonar. El niño tuvo una evolución favorable los 14 meses posteriores a la cirugía, esto fue posible gracias al material de la prótesis, ya que no obstaculiza el crecimiento del tejido y por ende, el paciente no requirió de una nueva intervención invasiva. (Smithsonian.com [2018]. Doctors Use a Dissolvable 3D-Printed Tracheal Splint to Save a Baby. Disponible en: www.smithsonianmag.com/science-nature/doctors-use-a-dissolvable-3d-printed-tracheal-splint-to-save-a-babys-life-77862492/)

Mientras que en Argentina, en el año 2017, en Córdoba se llevó a cabo en el marco de un caso clínico de un niño de un año de edad con síndrome de dificultad respiratoria se desarrolló un modelo confeccionado en material plástico (ABS),

replicando exactamente los defectos hallados en la tomografía y endoscopía, confirmando la presencia de una malformación vascular y su repercusión sobre el aparato respiratorio. Las mediciones del prototipo comparadas con el modelo virtual 3D proporcionó una construcción a escala 1:1 de diferentes órganos y sistemas de la estructura torácica generados en forma independiente. El sistema óseo conformado por las vértebras y sus respectivas costillas permitió el ensamble del sistema cardiovascular y la vía aérea dentro de la cavidad torácica. En base a la información obtenida, se analizaron las diferentes formas de abordar el caso y la posibilidad de la docencia anatómica de estructuras patológicas (Víctor H Defagó, Santiago Fernandez, et al.,2017).

Analizando estos eventos y el resto de la información recolectada a través de la búsqueda aun en nuestro país se sigue investigando los riesgos de los materiales usados para ser implantados de por vida en el paciente, es por ello, que aun se emplean para el desarrollo de prototipos prequirúrgicos para las correcciones de defectos anatómicos en Argentina.

Traumatología y Ortopedia: Ingeniería de tejido oseo.

Es en esta área donde se obtuvo más información, ya que, se vio que la impresión de biomodelos de tejido oseo resulta sencillo teniendo en cuenta, lo preciso que puede resultar el procesamiento de las imágenes tomográficas corporales, y la fácil identificación de las estructuras oseas en dichas imágenes, debida a sus densidades.

En el año 2011 se llevó a cabo el primer implante de mandíbula impresa hecha de titanio en una paciente de 83 años gracias al trabajo realizado por un grupo de investigadores e ingenieros de las Universidades de Bélgica y Holanda. La impresión de este novedoso implante maxilar corrió a cargo de la empresa belga, LayerWise NV, usando polvo de titanio derretido y moldeado por un láser aditivo de fabricación rápida. Hasta ese momento, las impresoras 3D sólo se habían utilizado para crear objetos sencillos cuya precisión no era fundamental para su operación, pero gracias al avance de este equipo, se dio el primer paso en la aplicación de esta tecnología en la salud de las personas (Unocero.com[2018]. “Se realiza primer trasplante de mandíbula impresa en 3D”. Disponible en: www.unocero.com/noticias/ciencia/se-

realiza-primer-trasplante-de-mandibula-impresa-en-3d/).

En 2016, Ruben Perez – Mañanes et al publicaron un estudio analítico observacional prospectivo de 63 casos intervenidos en el servicio de Traumatología y Ortopedia del Hospital General Universitario Gregorio Marañón en Madrid, España: oncología ortopédica (18 casos), fracturas (15 casos), deformidades angulares torsionales (12 casos), displasias acetabulares (6 casos), deformidades del raquis (5 casos), recambios protésicos (4 casos) y deformidad del antepié (2 casos). donde se utilizaron los modelos impresos en 3D de la localización anatómica como herramienta comunicativa, para planificación quirúrgica o incluso para el premoldeado de placas de osteosíntesis en el caso de las fracturas. Se diseñaron y utilizaron guías quirúrgicas para posicionamiento e introducción de sistemas de fijación en las deformidades del raquis, o realización de osteotomías multiplanares en deformidades angulares, torsionales y en los casos oncológicos. En dicho estudio analizaron la satisfacción de los pacientes, la precisión y el tiempo quirúrgico, cuyos resultados fueron satisfactorios (Pérez-Mañanes R, et al. 2016). El tiempo quirúrgico, el tiempo de fluoroscopia y la precisión de la corrección

axial fueron medidos. El uso de una guía de posicionamiento personalizada redujo la cirugía (31 minutos menos) y tiempos fluoroscópicos (6.9 veces menos) mientras logra una precisión de corrección de eje alto en comparación con la técnica estándar. Demostraron que las osteotomías planificadas y ejecutadas digitalmente debajo de las guías de posicionamiento de osteotomía impresas en 3D ayudan al cirujano a minimizar error al reducir el tiempo quirúrgico. La reproducibilidad de esta técnica es muy robusta, permitiendo una transferencia de los pasos planificados en un entorno virtual a la mesa de operaciones (Pérez-Mañanes R, Burró JA et al.,2016)

En 2017, el servicio de Traumatología y Ortopedia del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio Gonzales” en Monterrey, México; trabajando en forma conjunta con el laboratorio de Impresión 3D a cargo del Departamento de Radiología e Imagen, desarrollaron un modelo preoperatorio de hemipelvis de un paciente masculino de 26 años que ingreso al servicio con diagnóstico de fractura en el acetábulo izquierdo y en la espina isquiopubica derecha mas una luxación en cadera derecha. Este modelo se realizó a partir de una tomografía helicoidal con cortes cada 1,25mm, desarrollando de esta manera una reconstrucción de la pelvis

del paciente en el software de segmentación 3D slicer y CAD Meshmixer. Con ello planificaron la intervención quirúrgica que se abordaría en el paciente y, posteriormente, las radiografías postoperatorias demostraron reducción de la fractura y congruencia articular. Es por ello, que llegaron a la conclusión de que estos modelos 3D son excelentes herramientas en el abordaje de fracturas complejas del acetábulo (Daniel Eduardo Zamudio-Barrera, Rodolfo Morales-Avalos, Et Al.,2017).

Cabe destacar que, en Tucumán, en el Departamento de Bioingeniería – Gabinete de Tecnologías Médicas de la universidad Nacional de Tucumán en 2017 se desarrolló en el marco de la beca CIUNT – UNT protocolos de diseño: uno para biomodelos 3D y otro para modelos de scaffolds para defectos óseos. Se imprimieron biomodelos de vertebras en ABS y PLA, a partir de imágenes tomográficas en formato DICOM y por medio del programa ITK – SNAP se segmentaron las estructuras anatómicas para crear modelos virtuales 3D. Estos se exportaron en formato STL para ser procesados a través del Software SLIC3R de la Impresora y definir los parámetros de impresión, de esa manera se crearon archivos G – CODE y se imprimieron los prototipos.

En cuanto a los modelos scaffolds se usó un modelo oseo de fémur ya diseñado obtenido de internet y por medio de SolidWorks se realizó un corte longitudinal en el tercio central de la diáfisis con una profundidad equivalente a la mitad del diámetro para realizar la corrección de dicho defecto oseo con un Scaffold con las dimensiones adecuadas. Dicho modelo fue impreso en material PLA y siguiendo el mismo procedimiento que el anteriormente mencionado para la creación de biomodelo oseo.

El desarrollo de estos últimos modelos está siendo estudiados con el fin de emplearlos como una manera eficaz para corregir dichos defectos en huesos y posibilitar la migración de células oseas a través de estos y generar nuevo tejido oseo.

Cirugía: Desarrollo de guías funcionales y modelos prequirúrgicos.

La impresión tridimensional de biomodelos ha demostrado en los últimos dos años ser de gran utilidad para el diagnóstico, tratamiento y planificación preoperatoria en prácticamente todas las especialidades quirúrgicas. Puesto que es una herramienta que cada vez gana más espacio en la docencia y también en la planificación quirúrgica pues permite disponer de modelos anatómicos muy

precisos y simular el procedimiento operatorio, antes de realizar el procedimiento en el paciente real.

En Ecuador, por ejemplo, en el marco de un caso clínico de un paciente de 11 años con una masa frontal derecha dura, inmóvil, indolora, de crecimiento progresivo, que produjo deformidad orbitaria con exoftalmia e hipotropía se elaboró un modelo tridimensional óseo que se usó para explicar al paciente y sus padres el objetivo del procedimiento y como se realizaría. El día de la intervención, se dibujaron las osteotomías y craneotomía en el modelo anatómico, plan que se aplicó exactamente en el paciente. El postoperatorio transcurrió sin novedades, la tomografía computarizada de control evidenció una resección completa de la lesión y una adecuada reconstrucción orbitaria (Pablo Gerardo Peña Tapia, Jhonatan Heriberto Vázquez Albornoz et al., 2017).

Se vio también que a partir de las representaciones virtuales de la anatomía del paciente que se obtienen de TACs o resonancias, se crean pequeñas piezas de plástico que funcionen como andamiaje y que acoplen perfectamente en la anatomía del paciente y que sirvan de plantilla o guía en una cirugía.

Por ejemplo, sobre el modelo virtual de un hueso del paciente que se tiene que perforar, se crea una funda que encaje perfectamente en el hueso y que cuente con un agujero ubicado en el punto exacto en el que se debe taladrar. De este modo el cirujano, en vez de calcular dónde intervenir mediante referencias anatómicas, coloca la guía sobre el hueso del paciente y sabe perfectamente dónde ha de operar.

Es así como en la Universidad Politécnica de Valencia se llevó a cabo el diseño de instrumental quirúrgico para operación de ligamento cruzado anterior y prototipado mediante impresión 3D, proyecto realizado por Daniel Gutiérrez Fernández en febrero de 2018, quien desarrolló una metodología de trabajo para resolver un problema de diseño de instrumental quirúrgico mediante el prototipado 3D. Este fue solucionado satisfactoriamente, ya que la guía localizó correctamente el punto de inserción del túnel femoral, siendo la mala localización de este punto la primera causa estadística de fracaso de operación de ligamento cruzado anterior.

Dicho investigador llegó a la conclusión de que el diseño de la guía quirúrgica es sencillo, permitiendo tanto el ahorro de material al imprimir como procesos de fabricación alternativos como el corte láser o el fresado CNC. En la operación, el

tamaño de la guía resulto el adecuado, siendo lo suficientemente pequeña como para no entorpecer la operación, y lo suficientemente grande como para ser claramente interpretable por el cirujano (Daniel Gutiérrez Fernández, 2018).

Impresión de Órganos

Organovo es la empresa líder en este sector y lleva varios años estudiando distintos métodos para la impresión de órganos. Del trabajo continuo de esta empresa con la compañía Invetech surgió en 2008 la primera bioimpresora 3D comercial. Esta impresora cuenta con dos cabezales robotizados de gran precisión. Mientras uno de ellos deposita las células humanas que conformaran el tejido, las otras depositan un hidrogel o matriz de soporte.

Las células se encuentran concentradas en pequeños esferoides cada uno de ellos formados por agregados de miles de células. Primeramente, se deposita una capa de hidrogel y posteriormente se van añadiendo sucesivamente capa a capa las células y más capas de este hidrogel. Posteriormente son las células las que se van fusionando para formar la forma deseada, sin ser necesario imprimir exactamente la forma deseada.

Los avances en impresión de tejidos van encaminados a poder disponer en un

futuro cercano de órganos que se puedan implantar y que sean compatibles en los pacientes que necesiten un trasplante urgente. Anthony Atala en marzo de 2011 presento ante un auditorio entero durante una conferencia en California un riñón impreso en vivo y en directo. El riñón no era funcional, pero estaba hecho de tejido humano (Derby B., 2012). El reto es encontrar el material adecuado, o biotinta que permita completar la creación o impresión de órganos artificiales biocompatibles (Jakab K, Norotte C, et al., 2010).

Desarrollo de Medicamentos

En el ámbito farmacéutico esta novedosa tecnología permitiría en el futuro el desarrollo de terapias personalizadas adaptadas a la necesidad de cada paciente.

Un apaciente podría llegar a una farmacia y allí imprimir sus fármacos prescritos. Además de esto, su aplicación en esta área permitiría el diseño de diferentes formas y estructuras de los medicamentos sin aumentar los costos, como así también, tornar más amigable la apariencia de los mismos para el consumo por parte de los niños.

De momentos las posibilidades de impresión y producción de fármacos con impresoras 3D son a pequeña escala, ya

que además de las dificultades en cuanto a ingredientes, también hay limitaciones en cuanto a la velocidad de impresión que permiten las impresoras actuales.

Conclusión

La impresión 3D es una innovación tecnológica que está dando sus primeros pasos en nuestro país, y en nuestra provincia principalmente, ya que, en la misma aún se está trabajando con biomodelos 3D de tejido óseo y scaffolds, mientras que en los países del primer mundo como Estados Unidos, Inglaterra y España, ya están, aplicando dicho recurso tecnológico a gran escala en Medicina, interviniendo activamente en la salud de las personas, como en el desarrollo de órganos, medicamentos o bien de implantes. Aplicaciones que aun no se pueden desarrollar en nuestra provincia debido a la ausencia de un protocolo legal que marque los lineamientos de trabajo con dicha tecnología, ya que las únicas impresoras que están siendo utilizadas para la investigación en el área de salud, son dos una en el Sistema Provincial de Salud (SI.PRO.SA) y otra en el Departamento de Bioingeniería – Gabinete de Tecnologías Médicas de la universidad Nacional de Tucumán, donde actualmente me encuentro trabajando como becario, donde buscamos establecer protocolos de diseño de

prototipos que puedan aplicarse en el ámbito quirúrgico, principalmente.

Bibliografía

1. Derby B. Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds. *Science*. 2012; 338(6109):921-926.
2. Manuel Rus García, Alberto Hernando Juanas, Juan Rodríguez-Hernández. "Introducción a la Impresión 3D". *ISSN: 0034-8708, 2014, 108 (691), 13-15 págs.*
3. Timecoast.com[Internet]. Linea de tiempo – Impresoras 3D. Consultado el 22 de mayo de 2018. Disponible en: www.timetoast.com/timelines/linea-del-tiempo-impresoras-3d
4. Mironov V. Toward human organ printing: Charleston Bioprinting Symposium. *ASAIO Journal*. 2006; 52(6):e27-e30.
5. Mironov V, Reis N, Derby B. Review: bioprinting: a beginning. *Tissue engineering*. 2006;12(4):631-634.
6. Smithsonian.com[Internet]. Doctors Use a Dissolvable 3D-Printed Tracheal Splint to Save a Baby.

- Consultado el día 26 de mayo del 2018. Disponible en:
www.smithsonianmag.com/science-nature/doctors-use-a-dissolvable-3d-printed-tracheal-splint-to-save-a-babys-life-77862492/
7. Víctor H Defagó, Santiago Fernandez , Silvio Chaile , Hugo Robledo, Gabriel Massano, et al. Prototipo Rápido Para Docencia Y Estrategias Quirúrgicas En Pediatría. Revista de la Facultad de Ciencias Médicas 2017; 74(1):176-179
 8. Unocero.com[Internet]. “Se realiza primer trasplante de mandíbula impresa en 3D”. Consultado el día 24 de mayo de 2018. Disponible en:
www.unocero.com/noticias/ciencia/se-realiza-primer-trasplante-de-mandibula-impresa-en-3d/
 9. Pérez-Mañanes R, et al. Nuestra experiencia con impresión 3D doméstica en Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hazlo tú mismo. Rev. latinoam. cir. ortop. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rslaot.2016.06.004>
 10. Pérez-Mañanes R, Burró JA et al. 3D Surgical Printing Cutting Guides for Open-Wedge High Tibial Osteotomy: Do It Yourself. J Knee Surg. 2016 Nov;29(8):690-695. Epub 2016 Feb 23.
 11. Daniel Eduardo Zamudio-Barrera, Rodolfo Morales-Avalos, Et Al. Utilidad Y Aplicación Del Modelado E Impresión 3D En Fracturas Complejas De Acetábulo. Reporte De Un Caso. Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, U.A.N.L (2017)., Monterrey, Nuevo León, México.
 12. Pablo Gerardo Peña Tapia, Jhonatan Heriberto Vázquez Albornoz et al. Caso Clínico: Uso de Biomodelos Tridimensionales para la Planificación Preoperatoria de Tumores Craneales Fronto – orbitarios. Revista Medica HJCA 2017 Vol. 9, Núm. 3 .
 13. Daniel Gutiérrez Fernández. Diseño de instrumental quirúrgico para operación de ligamento cruzado anterior y prototipado mediante impresión 3D para su validación clínica. Universidad Politécnica de Valencia Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño Ballester febrero 2018.

14. Derby B. Printing and Prototyping of Tissues and Scaffolds. Science. 2012; 338(6109):921-926

15. Jakab K, Norotte C, Marga F, Murphy K, Vunjak-Novakovic G, Forgacs G. (2010). Tissue engineering by self-assembly and bio-printing of living cells. Biofabrication. 2010;2(2):022001.