

Caso Clínico: Uso de Biomodelos Tridimensionales para la Planificación Preoperatoria de Tumores Craneales Fronto - orbitarios

Pablo Gerardo Peña Tapia ^{1,2}, Jhonatan Heriberto Vázquez Alborno ³, Blasco Danilo Moscoso Orellana ¹, Rene Sebastián Martínez Sánchez ¹, Aldo Mateo Torracchi Carrasco ^{1,4}, Esteban Rolando Figueroa Pazos ^{1,5}, Gabriel Alfonso Delgado Oleas ^{1,6}, Johann Franz Radax ¹.

1. Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador
2. Servicio de Neurocirugía, Hospital Universitario del Río, Cuenca-Ecuador
3. Servicio de Cirugía Plástica, Hospital Universitario del Río, Cuenca-Ecuador y Servicio de Cirugía Plástica, Hospital José Carrasco Arteaga, IESS, Cuenca-Ecuador
4. Servicio de Neumología, Hospital Universitario del Río, Cuenca-Ecuador y Servicio de Neumología, Hospital José Carrasco Arteaga, IESS, Cuenca-Ecuador
5. Departamento de Imágenes, Hospital Universitario del Río, Cuenca-Ecuador
6. Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador

CORRESPONDENCIA

Pablo Gerardo Peña-Tapia
Correo Electrónico: ppena@uazuay.edu.ec
Dirección: Av. 24 de Mayo y Av. de las Américas. Hospital Universitario del Río. Cuenca, Azuay – Ecuador
Código Postal: EC010109
Teléfono: [593] 7 2459553 Ext. 2400

Fecha de Recepción: 27-11-2017
Fecha de Aceptación: 29-11-2017
Fecha de Publicación: 30-11-2017

MEMBRETE BIBLIOGRÁFICO:

Peña P, Vázquez J, Moscoso B, Martínez R, Torracchi A, Figueroa E, Delgado G, Radax J. Caso Clínico: Uso de Biomodelos Tridimensionales para la planificación preoperatoria de Tumores Craneales Fronto-orbitarios. Rev Med HJCA 2017; 9(3): 285-290. DOI: <http://dx.doi.org/10.14410/2017.9.3.cc.46>

ARTÍCULO ACCESO ABIERTO



©2017 Peña P, et al.; Licencia Rev Med HJCA. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de "Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License" (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), la cual permite copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato; mezclar, transformar y crear a partir del material, dando el crédito adecuado al propietario del trabajo original.

El dominio público de transferencia de propiedad (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) aplica a los datos recolectados y disponibles en este artículo, a no ser que exista otra disposición del autor.

* Cada término de los Descriptores de Ciencias de la Salud (DeCS) reportados en este artículo ha sido verificado por el editor en la Biblioteca Virtual de Salud (BVS) de la edición actualizada a marzo de 2016, el cual incluye los términos MESH, MEDLINE y LILACS (<http://decs.bvs.br/E/homepage.htm>).



RESUMEN

INTRODUCCIÓN: La impresión tridimensional de biomodelos ha demostrado en los últimos años ser de gran utilidad para el diagnóstico, tratamiento y planificación preoperatoria en prácticamente todas las especialidades quirúrgicas. En este reporte se presenta la experiencia inicial con el empleo de biomodelos tridimensionales, para la planificación pre quirúrgica de un paciente con displasia fibrosa fronto-orbitaria operado en Cuenca, Ecuador.

CASO CLÍNICO: Paciente de sexo masculino de 11 años de edad que desde hace 4 años presentó una masa frontal derecha dura, inmóvil, no dolorosa, de crecimiento progresivo, que produjo deformidad orbitaria con exoftalmia e hipotropía. La tomografía craneal demostró una lesión ósea de núcleo hipodenso, de 5 cm de diámetro mayor, con compromiso del techo de la órbita, porción lateral del seno paranasal frontal y extensión intracraneal extradural.

EVOLUCIÓN: Para planificar la cirugía se elaboró un modelo óseo tridimensional 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. El paciente y sus familiares se mostraron muy satisfechos con las explicaciones dadas.

CONCLUSIONES: La impresión 3D 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.

PALABRAS CLAVES: IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL, MANEJO DE CASO, ENFERMEDADES DEL DESARROLLO ÓSEO, EXOFTALMIA

ABSTRACT

Case Report: Use of Tridimensional Biomodels for Surgical Planning in Fronto-orbital Bone Tumors.

BACKGROUND: 3D printing of biomodels has shown in recent years to be very useful for diagnosis, treatment and preoperative planning in practically all surgical specialties. In this report is presented the initial experience with the use of tridimensional biomodels, for pre-surgical planning in a patient with fronto-orbital fibrous dysplasia operated in Cuenca, Ecuador.

CASE REPORT: An 11 years old boy presented with a 4-year history of a slow-growing, hard, non-mobile, painless right frontal mass which caused orbital deformity, proptosis, and hypotropia. Cranial Computer Tomography showed a 5 cm bone tumor with hypodense center compromising the orbital roof and the lateral aspect of the frontal paranasal sinus with intracranial extradural expansion.

EVOLUTION: To design the surgery, a tridimensional bone model was elaborated and used to explain the patient and his parents the aim of the procedure and how it will be performed. The day of the intervention, the osteotomies and craniotomy were drawn on the anatomical model, plan that was exactly applied to the patient. The postoperative period was uneventful, control CT scan showed a complete resection of the lesion and an adequate orbital reconstruction. The patient and his relatives were very satisfied with the explanations given.

CONCLUSIONS: 3D printing is a very useful surgical tool with wide applications in planning and education that allows simulate in very accurate biomodels an operative procedure before it was done in the actual patient.

KEYWORDS: PRINTING, THREE-DIMENSIONAL; CASE MANAGEMENT; BONE DISEASES, DEVELOPMENTAL; EXOPHTHALMOS

INTRODUCCIÓN

Históricamente la interpretación de imágenes médicas ha estado limitada al uso de formatos en 2 dimensiones tales como libros de texto, placas radiológicas, y monitores de ordenador. Sin embargo en la actualidad, las tecnologías de impresión tridimensional (3D) permiten la transformación de estas imágenes bidimensionales en objetos tangibles de tamaño real, que ofrecen información visual directa con retroalimentación táctil, que pueden ser manipulados sin riesgo. Al parecer la impresión 3D representa la evolución natural de las tecnologías de imagen diagnóstica y su uso es cada vez mayor en el entrenamiento de los profesionales de la salud [1-3].

En forma parecida a lo que ocurre en la industria aeronáutica, la cirugía es una profesión que exige resultados de altísima calidad combinados con niveles máximos de seguridad. De hecho la aviación ha inspirado la introducción progresiva de la simulación en las diferentes ramas quirúrgicas e intervencionistas, pues es un método probado y seguro que permite mejorar las destrezas del cirujano en un clima controlado y sin riesgos para los pacientes. Es aquí donde el uso de biomodelos 3D juega un papel cada vez mas importante [1,4].

La impresión 3D en medicina puede ser agrupada en 4 categorías: a) modelos anatómicos para enseñanza o planificación quirúrgica; b) bioingeniería de tejidos; c) ortesis externas personalizadas y d) prótesis e implantes [5].

El biomodelado 3D usado en la planificación preoperatoria, le permite al cirujano adquirir una mejor conceptualización espacial de la anatomía normal y patológica, que permite tratar y así elaborar una estrategia de manejo personalizada e incluso probarla antes y durante el procedimiento real [5-7]. En la actualidad son muchas las ramas quirúrgicas que se están beneficiando de las tecnologías de impresión 3D con estos fines alrededor del mundo, entre ellas neurocirugía [5,8-14], cirugía cardíaca [4,15-21], ortopedia [22-27], maxilofacial [28-31], otorrinolaringología [32-34], cirugía hepática [35-37], urológica [3,38,39], pediátrica [6,40-42], ginecológica [43,44], plástica [45], torácica [46], cirugía general [47].

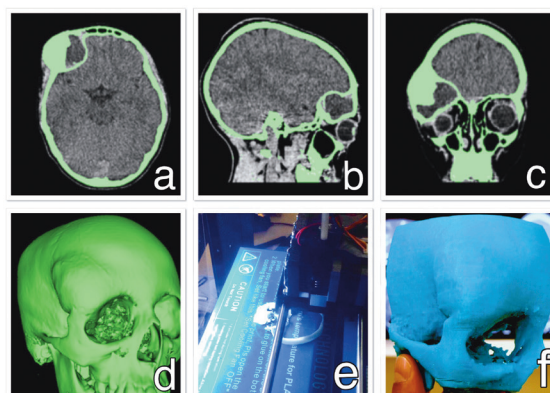
Bases de la Impresión 3D

Los biomodelos tridimensionales pueden elaborarse usando diferentes, materiales e impresoras, a partir de la información que se obtiene al adquirir imágenes volumétricas de alta resolución que tengan contraste suficiente entre los diferentes órganos y tejidos de modo que se los pueda diferenciar entre sí [1]. Usualmente se emplean imágenes de Tomografía Axial Computarizada (TAC) por su relativo fácil acceso, disponibilidad y rapidez en la adquisición, sobre todo para la impresión de modelos óseos, aunque también se ha reportado el uso de imágenes obtenidas con resonancia magnética nuclear, ecografía tridimensional y fluoroscopia. [1,13,19,41]

Una vez que la información se ha obtenido en formato DICOM (las siglas del inglés Digital Imaging and Communication in Medicine), el estándar actual para el almacenamiento de imágenes médicas, se somete a un proceso llamado *segmentación* que consiste en identificar y seleccionar las imágenes y estructuras de interés (Imagen 1a, 1b, 1c), que permitirán elaborar el modelo digital tridimensional a imprimir (Imagen 1d). Dependiendo de cada caso, se realiza un *post-procesado* para mejorar la calidad del objeto que se imprimirá y eliminar probables artefactos, luego de ello se convierte la información a formato STL (del inglés Standard Tessellation Language) que puede ser interpretado por la impresora 3D. Por último usando un proceso de adición que varía un poco según el tipo de impresora, las imágenes se convierten capas bidimensionales sucesivas que se van uniendo entre sí, una sobre otra, para recrear el objeto tridimensional (Imagen. 1e, 1f) [1,7].

El presente reporte de caso ilustra el uso de técnicas de impresión 3D de bajo costo en la planificación preoperatoria de un niño con un tumor fronto orbitario, que fue resecado en bloque y reconstruido con hueso autólogo y material de osteosíntesis reabsorbible.

Imagen 1: Elaboración de biomodelos tridimensionales. a, b y c: Segmentación del área a imprimir, en este caso hueso, a partir de archivos DICOM en los planos axial, sagital y coronal respectivamente. d: Reconstrucción 3D del área de interés que será impresa. e: Impresión del modelo tridimensional mediante capas bidimensionales superpuestas adheridas entre sí. f: Modelo final.

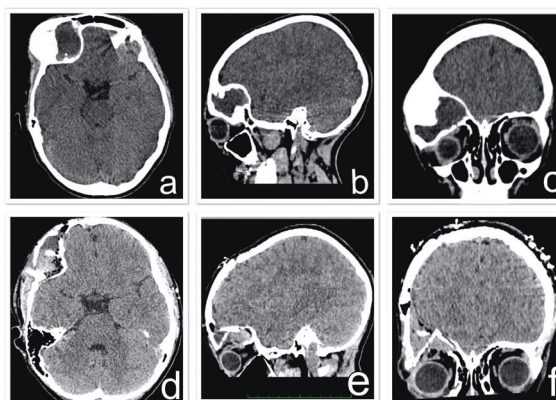


CASO CLÍNICO

Se trata de un niño de 11 años de edad que desde hace 4 años presentó en una masa frontal derecha dura, inmóvil, no dolorosa, de crecimiento progresivo que lentamente produjo deformidad orbitaria con proptosis e hipotropía. La agudeza visual, reflejos pupilares y movimientos oculares no estaban alterados.

La TAC volumétrica sin medio de contraste, adquirida con cero grados de angulación y con un espesor de corte de 1 mm, demostró una lesión ósea de núcleo hipodenso, con compromiso del techo de la órbita, porción lateral del seno paranasal frontal y extensión intracraneal extradural, de 5 cm de diámetro mayor (Imagen 2a, 2b, 2c).

Imagen 2: a, b, c: Tomografía Computarizada preoperatoria del caso presentado, en reconstrucciones axial, sagital y coronal respectivamente, que muestra una lesión ósea fronto-orbitaria derecha de 5 cm de diámetro mayor con una porción central hipodenso que deforma la órbita y comprime el globo ocular. d, e, f: Tomografía postoperatoria que evidencia resección completa del tumor y una adecuada reconstrucción orbitaria observándose además una mejor posición del ojo dentro de la órbita.



EVOLUCIÓN

Para planificar mejor la cirugía se decidió elaborar un modelo óseo tridimensional con el procedimiento que se detalla a continuación: Los archivos en formato DICOM fueron reconstruidos y el tejido óseo segmentado usando el programa InVesalius versión 3.1.1 [48].

Esta información segmentada fue luego post procesada utilizando el programa de código abierto para producción 3D, BLENDER versión 2.79 [49], escogiéndose un área de impresión con escala 1:1 que abarcó el cuadrante craneal anterosuperior derecho, de manera que se adapte al área de impresión de los equipos, e incluyó el tumor, toda la órbita derecha y parte de la lámina vertical del frontal y la escama del temporal.

La imagen 3D fue convertida a formato STL e impresa en un equipo QIDI TECH I (Qidi Technology Co., Ltd, Ruian, China) con el programa para impresión 3D, ReplicatorG versión 0040 [50], usando filamentos de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS) de 1.75 mm de espesor (Imagen 1.).

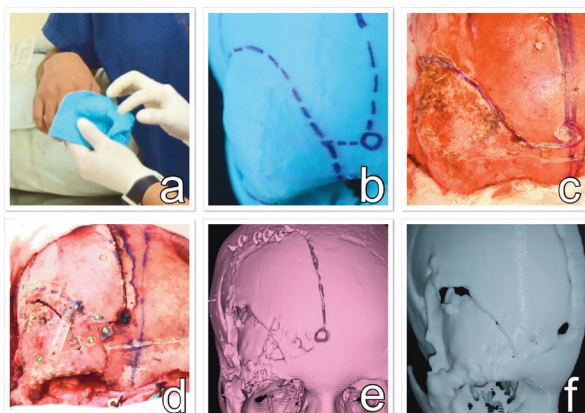
El proceso de segmentación y post procesamiento tomó 2 horas, la impresión demoró 6 horas.

El día previo a la cirugía usando el modelo 3D se explicó al paciente y al padre el procedimiento que se realizaría y sus objetivos. El día de la intervención, antes de la inducción anestésica, se planificaron y dibujaron las osteotomías y craneotomía en el modelo anatómico (Imagen 3a, 3b).

Siguiendo el mismo procedimiento descrito, se elaboró un modelo 3D del resultado postoperatorio para comparación (Imagen 3e, 3f). El modelo anatómico fue de gran utilidad para explicar el procedimiento quirúrgico al paciente y sus familiares, quienes pudieron manipularlo, realizaron varias preguntas y estuvieron muy satisfechos con la información detallada del procedimiento.

Las osteotomías y craneotomía se realizaron según la planificación, sin demoras (Imagen 3c). El tumor se resecó en bloque y la órbita fue reconstruida con hueso autólogo y material de osteosíntesis reabsorbible (Imagen 3d). El tiempo quirúrgico fue de 180 minutos.

Imagen 3: Uso del biomodelo 3D en la planificación quirúrgica y resultados. **a y b:** Definición de la estrategia operatoria y marcado de las trepanaciones, craneotomía y osteotomías en el modelo. **c:** Transcripción del plan quirúrgico en el paciente, obsérvese la excelente concordancia con los trazos realizados en el modelo. **d:** Reconstrucción orbitaria con hueso autólogo y material de osteosíntesis reabsorbible. **e:** Modelo tridimensional creado a partir de la tomografía postoperatoria. **f:** Impresión 3D del resultado postoperatorio.



El postoperatorio transcurrió sin novedades, la tomografía de control mostró una resección completa de la lesión y una adecuada reconstrucción orbitaria (Imagen 2d, 2e, 2f). El diagnóstico histopatológico fue una displasia fibrosa.

DISCUSIÓN

Aunque la impresión 3D fue inventada en la década de los 80, su mayor apogeo se ha dado en el siglo 21 a medida que se ha vuelto más accesible para la industria y el público en general. Su uso en medicina también ha crecido mucho en los últimos 5 años, abarcando desde la elaboración de modelos para educación y diagnóstico, hasta la creación de biomodelos individualizados para planificación preoperatoria e incluso prótesis e implantes médicos personalizados con simetría y dimensiones exactas [51,52].

Si bien no existen estudios controlados sobre los beneficios de su uso en los resultados clínicos o sobre el ahorro de recursos, la experiencia táctil y la oportunidad de simular la cirugía que permiten al cirujano conocer la anatomía con exactitud antes de realizar la incisión, así como probar implantes, son muy promisorias [18]. En teoría la manipulación preoperatoria de los biomodelos facilita realizar una reconstrucción mental de la anatomía, mejora no solo su comprensión sino también la memorización de detalles esenciales aumentando la seguridad y precisión de la intervención, sobre todo en cirugía mínimamente invasiva donde la percepción sensorial es limitada. Además se trata de objetos portátiles que son fáciles de llevar a la sala de operaciones para facilitar procedimiento y guía intraoperatorias [47].

En Japón cada vez son más comunes la simulación preoperatoria 3D y la elaboración de modelos 3D para planificación de cirugía hepática, tanto así que en ese país, el uso de estas tecnologías es cubierta por el seguro universal de salud desde el 2012 [41].

La utilidad de estos modelos 3D pueden extrapolarse también a personas que no son expertas en interpretación de imágenes bidimensionales como estudiantes, pacientes y familiares, permitiendo una mejor comprensión de su anatomía y patología, permitiendo una mejor comprensión de los objetivos de la cirugía [50- 53].

Una desventaja frecuentemente citada de esta tecnología es el tiempo requerido en la planificación y elaboración del modelo de impresión, según la literatura oscila entre 10 horas a 2 semanas según la complejidad del caso y la calidad de impresión, por lo que su uso en situaciones de emergencia e incluso algunos casos electivos es limitado [53]. En este paciente, al usar una resolución intermedia de impresión se logró reducir el tiempo total a 8 horas.

Otra limitación es el costo adicional generado, que oscila entre \$ 167 y 4000 dólares, la elaboración de un modelo 3D requiere el uso de programas de computación, equipos y materiales especiales que afortunadamente cada vez se vuelven más accesibles al público en general [53]. En este caso el costo de los materiales de impresión fue \$ 50 dólares y para la segmentación y post procesado se usaron programas de distribución gratuita.

La precisión de los objetos impresos es otro aspecto que se debe considerar y verificar, puede depender de muchos factores tales como la resolución al adquirir las imágenes iniciales, el material utilizado en la impresión y la resolución de la impresora. En este caso al tratarse de un modelo para planificación de cirugía craneal ósea no se encontró problemas relacionados con la calidad de impresión, fue media para acelerar el proceso, sin embargo, esto probablemente no es viable al realizar modelos vasculares o de conductos pequeños por ejemplo las vías biliares.

Además, al elaborar modelos no óseos tales como cerebro, hígado, etc., se debe considerar el uso de materiales de impresión deformables que reproduzcan mejor la consistencia real de los tejidos [53,54].

Un limitante adicional que se encontró fue la reducida área de impresión de los equipos empleados, que permitió elaborar un modelo en tamaño real de sólo un cuadrante craneal, que si bien cumplió con su propósito, deberá mejorarse en el futuro empleando impresoras con capacidad para mayores volúmenes.

Al realizar una búsqueda en Pubmed con los términos: “3D printing AND surgical AND planning” se encuentran 363 artículos (al 6 de diciembre del 2017), con un incremento exponencial en el número de publicaciones en los últimos años: año 2002: 1; año 2007: 1; año 2014: 25; año 2015: 71; año 2016: 101; año 2017: 139, lo cual nos da una idea del interés actual que tiene la comunidad científica en esta área.

La mayoría de los trabajos hacen referencia a su uso en cirugía e intervencionismo cardíaco [4,15–21], pero provienen de prácticamente todas las especialidades quirúrgicas, incluso varios artículos reportan su empleo y beneficios para planificar la separación de siameses [6,40,42].

Si bien en la literatura latinoamericana existen publicaciones sobre la aplicación de tecnologías de impresión 3D en cirugía maxilofacial, provenientes de Brasil y Argentina [30,55–57] y un reporte de Chile sobre su uso en docencia médica [58], no se encontraron artículos sobre su aplicación en la planificación quirúrgica de tumores fronto - orbitarios.

En Ecuador, se conoce por notas de prensa la existencia de un centro de impresión 3D en el Hospital Luis Vernaza de Guayaquil que trabaja fundamentalmente con modelos para planificación quirúrgica en cirugía ortopédica y maxilofacial [59,60] y existe también un reporte sobre la impresión 3D de un pabellón auricular que sirvió como modelo para elaborar una prótesis de silicona en Cuenca, Ecuador [61] por lo que a nuestro mejor entender, este es el primer reporte sobre el uso de biomodelos tridimensionales para planificación de cirugía craneal ósea en el país.

A medida que entren al mercado impresoras más rápidas, económicas y la segmentación se haga automática, más hospitales y universidades dedicarán fondos para imprimir sus propios modelos, los

cuales se convertirán en un complemento estándar de los estudios radiológicos convencionales y la docencia. Se necesita una colaboración multidisciplinaria en el más amplio sentido que involucre cirujanos, imagenólogos, ingenieros, especialistas en segmentación e impresión 3D, de manera que involucren anatomía compleja, se elaboraren modelos para planificación preoperatoria en forma eficiente y rápida. Este es precisamente uno de los objetivos del nuevo laboratorio de impresión 3D de la Universidad del Azuay y sus proyectos de investigación que ahora se encuentran a disposición de la comunidad médica y científica del austro ecuatoriano.

CONCLUSIONES

La impresión 3D es una valiosa herramienta que cada vez gana más espacio en la docencia y también en la planificación quirúrgica, permitiendo disponer de modelos anatómicos muy precisos y personalizados. Por otro simular el campo operatorio, comprender y memorizar detalles anatómicos críticos y ensayar la intervención quirúrgica antes de ejecutarla en el paciente real.

Los costos agregados así como el tiempo requerido para elaborar un biomodelo 3D son los principales inconvenientes de esta técnica, por lo que se debe trabajar en la fabricación de impresoras más rápidas, de bajo costo y que usen materiales baratos sin sacrificar la calidad de la impresión para facilitar el acceso de esta tecnología a quienes la requieran.

Al tratarse de biomodelos que servirán para fines médicos, debe hacerse un estricto control de calidad en cuanto a la exactitud de la reproducción anatómica, y establecer además en cada laboratorio protocolos propios para la adquisición de imágenes, segmentación y post-procesamiento para cada órgano en particular.

RECOMENDACIONES

Es recomendable medir en el futuro en este medio, mediante estudios controlados, el impacto de utilizar biomodelos 3D individualizados en la docencia y para explicar al paciente y sus familiares su patología, el plan de tratamiento, así como medir su impacto en la práctica quirúrgica en cuanto a costos, tiempo operatorio, reducción de complicaciones, etc.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

PP, JV, BM, RM, AT, EF, GD, JR: Concepción de la idea, diseño, levantamiento bibliográfico.

RM, BM, GD: Elaboración de Modelo 3D.

PP: Elaboración del manuscrito inicial.

PP, JV, BM, RM, AT, EF, GD, JR: Análisis Crítico del manuscrito y aprobación de la versión final.

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

- Pablo Gerardo Peña Tapia  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0006-1925>. Especialista en Neurocirugía, Servicio de Neurocirugía, Hospital Universitario del Río, Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.
- Jhonatan Heriberto Vázquez Alborno  ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5554-4222>. Especialista en Cirugía Plástica, Servicio de Cirugía Plástica, Hospital Universitario del Río y Servicio de Cirugía Plástica, Hospital José Carrasco Arteaga, IESS, Cuenca-Ecuador.
- Blasco Danilo Moscoso Orellana  ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1342-6791>. Master en Arte y Diseño, Investigador Independiente en Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay.
- Rene Sebastián Martínez Sánchez  ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6744-4034>. Diseñador Gráfico, Investigador Independiente en Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.
- Aldo Mateo Torracchi Carrasco  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9213-8597>. Especialista en Medicina Interna, Especialista en Neumología, Servicio de Neumología, Hospital Universitario del Río y Servicio de Neumología, Hospital José Carrasco Arteaga, IESS, Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador
- Esteban Rolando Figueroa Pazos  ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1496-7549>. Especialista en Diagnóstico por Imágenes, Departamento de Imágenes, Hospital Universitario del Río, Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador

- Gabriel Alfonso Delgado Oleas  ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0413-9520>. Master en Robótica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Universidad del Azuay, Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.
- Johann Franz Radax (1)  ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7862-8178>. Doctor en Medicina Veterinaria (Univ. Viena), Médico. Unidad de Morfología y Fisiología, Unidad de Investigación, Laboratorio de Impresión 3D, Facultad de Medicina, Universidad del Azuay, Cuenca-Ecuador.

ABREVIATURAS

ABS: Acrilonitrilo Butadieno Estireno, DICOM: Digital Imaging and Communication in Medicine, cm: centímetros, mm: milímetros, STL: Standard Tessellation Language, TAC: Tomografía Axial Computarizada, 3D: Tridimensional

FINANCIAMIENTO

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de impresión 3D de la facultad de medicina de la Universidad del Azuay como parte del proyecto UDA-2017-194 “Tecnologías de Impresión 3D para la Elaboración de Modelos Anatómicos del Sistema Humano”.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de interés de ningún tipo con respecto a los materiales o métodos usados en este trabajo.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Peña P, Vázquez J, Moscoso B, Martínez R, Torracchi A, Figueroa E, Delgado G, Radax J. Caso Clínico: Uso de Biomodelos Tridimensionales para la Planificación Preoperatoria de Tumores Craneales Fronto-orbitarios. *Rev Med HJCA* 2017; 9(3): 285-290. DOI: <http://dx.doi.org/10.14410/2017.9.3.cc.46>

PUBLONS

 Contribuye con tu revisión en: <https://publons.com/review/1475069/>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Langridge B, Momin S, Coumbe B, Woin E, Griffin M, Butler P. Systematic Review of the Use of 3-Dimensional Printing in Surgical Teaching and Assessment. *J Surg Educ* [Internet]. 2017 Jul; Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1931720417301836>
- Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online* [Internet]. 2016 Dec 21;15(1):115. Available from: <http://biomedical-engineering-online.biomed-central.com/articles/10.1186/s12938-016-0236-4>
- Adams F, Qiu T, Mark A, Fritz B, Kramer L, Schlager D, et al. Soft 3D-Printed Phantom of the Human Kidney with Collecting System. *Ann Biomed Eng* [Internet]. 2017 Apr 9;45(4):963–72. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s10439-016-1757-5>
- Valverde I. Three-dimensional Printed Cardiac Models: Applications in the Field of Medical Education, Cardiovascular Surgery, and Structural Heart Interventions. *Rev Española Cardiol (English Ed)* [Internet]. 2017 Apr;70(4):282–91. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1885585717300440>
- Choy WJ, Mobbs RJ, Wilcox B, Phan S, Phan K, Sutterlin CE. Reconstruction of Thoracic Spine Using a Personalized 3D-Printed Vertebral Body in Adolescent with T9 Primary Bone Tumor. *World Neurosurg* [Internet]. 2017 Sep;105:1032.e13-1032.e17. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878875017308355>
- Cromeens BP, Ray WC, Hoehne B, Abayneh F, Adler B, Besner GE. Facilitating surgeon understanding of complex anatomy using a three-dimensional printed model. *J Surg Res* [Internet]. 2017 Aug;216:18–25. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022480417302019>
- Matsumoto JS, Morris JM, Foley TA, Williamson EE, Leng S, McGee KP, et al. Three-dimensional Physical Modeling: Applications and Experience at Mayo Clinic. *RadioGraphics* [Internet]. 2015 Nov;35(7):1989–2006. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.2015140260>
- LoPresti M, Daniels B, Buchanan EP, Monson L, Lam S. Virtual surgical planning and 3D printing in repeat calvarial vault reconstruction for craniosynostosis: technical note. *J Neurosurg Pediatr* [Internet]. 2017 Apr;19(4):490–4. Available from: <http://thejns.org/doi/10.3171/2016.10.PEDS16301>
- Mobbs RJ, Coughlan M, Thompson R, Sutterlin CE, Phan K. The utility of 3D printing for surgical planning and patient-specific implant design for complex spinal pathologies: case report. *J Neurosurg Spine* [Internet]. 2017 Apr;26(4):513–8. Available from: <http://thejns.org/doi/10.3171/2016.9.SPINE16371>
- Wang L, Ye X, Hao Q, Chen Y, Chen X, Wang H, et al. Comparison of Two Three-Dimensional Printed Models of Complex Intracranial Aneurysms for Surgical Simulation. *World Neurosurg* [Internet]. 2017 Jul;103:671–9. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S187887501730606X>
- Eisenmenger LB, Wiggins RH, Fuels DW, Huo EJ. Application of 3-Dimensional Printing in a Case of Osteogenesis Imperfecta for Patient Education, Anatomic Understanding, Preoperative Planning, and Intraoperative Evaluation. *World Neurosurg* [Internet]. 2017 Nov;107:1049.e1-1049.e7. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878875017313232>
- Jiménez Ormabera B, Díez Valle R, Zaratiegui Fernández J, Llorente Ortega M, Unamuno Iñurritegui X, Tejada Solís S. Impresión 3 D en neurocirugía: modelo específico para pacientes con craneosinostosis. *Neurocirugía* [Internet]. 2017 Jun; Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1130147317300684>
- Naftulin JS, Kimchi EY, Cash SS. Streamlined, Inexpensive 3D Printing of the Brain and Skull. Martens L, editor. *PLoS One* [Internet]. 2015 Aug 21;10(8):e0136198. Available from: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0136198>
- Randazzo M, Pisapia J, Singh N, Thawani J. 3D printing in neurosurgery: A systematic review. *Surg Neurol Int* [Internet]. 2016;7(34):801. Available from: http://surgicalneurologyint.com/surgicalint_articles/3d-printing-in-neurosurgery-a-systematic-review/
- Kappanayil M, Koneti N, Kannan R, Kottayil B, Kumar K. Three-dimensional-printed cardiac prototypes aid surgical decision-making and preoperative planning in selected cases of complex congenital heart diseases: Early experience and proof of concept in a resource-limited environment. *Ann Pediatr Cardiol* [Internet]. 2017;10(2):117. Available from: <http://www.annalspc.com/text.asp?2017/10/2/117/205148>
- McGovern E, Kelleher E, Snow A, Walsh K, Gadallah B, Kutty S, et al. Clinical application of three-dimensional printing to the management of complex univentricular hearts with abnormal systemic or pulmonary venous drainage. *Cardiol Young* [Internet]. 2017 Sep 6;27(7):1248–56. Available from: http://www.cambridge.org/core/product/identifier/S104795111600281X/type/journal_article
- Bhatla P, Tretter JT, Chikkabyrappa S, Chakravarti S, Mosca RS. Surgical planning for a complex double-outlet right ventricle using 3D printing. *Echocardiography* [Internet]. 2017 May;34(5):802–4. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/echo.13512>
- Bartel T, Rivard A, Jimenez A, Mestres CA, Müller S. Medical three-dimensional printing opens up new opportunities in cardiology and cardiac surgery. *Eur Heart J* [Internet]. 2017 Feb 16; Available from: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/38/1/1581/1581>
- Muraru D, Veronesi F, Maddalozzo A, Dequal D, Frajhof L, Rabischovsky A, et al. 3D printing of normal and pathologic tricuspid valves from transthoracic 3D echocardiography data sets. *Eur Heart J – Cardiovasc Imaging* [Internet]. 2016 Dec 26;18(7):jew215. Available from: <https://academic.oup.com/ehjcmimaging/article-lookup/doi/10.1093/ehjci/jew215>
- Valverde I, Gomez-Ciriza G, Hussain T, Suarez-Mejias C, Velasco-Forte MN, Byrne N, et al. Three-dimensional printed models for surgical planning of complex congenital heart defects: an international multicentre study. *Eur J Cardio-Thoracic Surg* [Internet]. 2017 Jul 12; Available from: <https://academic.oup.com/ejcts/article-lookup/doi/10.1093/ejcts/ezx208>
- Morais P, Tavares JMRS, Queirós S, Veloso F, D'hooge J, Vilaça JL. Development of a patient-specific atrial phantom model for planning and training of inter-atrial interventions. *Med Phys* [Internet]. 2017 Oct 9; Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/mp.12559>
- Osagie L, Shaunak S, Murtaza A, Cerovac S, Umarji S. Advances in 3D Modeling: Preoperative Templating for Revision Wrist Surgery. *HAND* [Internet]. 2017 Sep 29;12(5):NP68-NP72. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1558944716681973>

23. Bagaria V, Chaudhary K. A paradigm shift in surgical planning and simulation using 3Dgraphy: Experience of first 50 surgeries done using 3D-printed biomodels. *Injury* [Internet]. 2017 Nov;48(11):2501–8. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0020138317305776>
24. Chen C, Cai L, Zhang C, Wang J, Guo X, Zhou Y. Treatment of Die-Punch Fractures with 3D Printing Technology. *J Invest Surg* [Internet]. 2017 Jul 19;1–8. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08941939.2017.1339150>
25. Karlin L, Weinstock P, Hedequist D, Prabhu SP. The surgical treatment of spinal deformity in children with myelomeningocele. *J Pediatr Orthop B* [Internet]. 2017 Jul;26(4):375–82. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27902634>
26. Sys G, Eykens H, Lenaerts G, Shumelinsky F, Robbrecht C, Poffyn B. Accuracy assessment of surgical planning and three-dimensional-printed patient-specific guides for orthopaedic osteotomies. *Proc Inst Mech Eng Part H J Eng Med* [Internet]. 2017 Jun 22;231(6):499–508. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0954411917702177>
27. Tetsworth K, Block S, Glatt V. Putting 3D modelling and 3D printing into practice: virtual surgery and preoperative planning to reconstruct complex post-traumatic skeletal deformities and defects. *SICOT-J* [Internet]. 2017 Feb 21;3:16. Available from: <http://www.sicot-j.org/10.1051/sicotj/2016043>
28. Matias M, Zenha H, Costa H. Three-Dimensional Printing: Custom-Made Implants for Craniomaxillofacial Reconstructive Surgery. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr* [Internet]. 2017 Jan 3;10(2):089–98. Available from: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0036-1594277>
29. Eley KA, Watt-Smith SR, Golding SJ. “Black Bone” MRI: a novel imaging technique for 3D printing. *Dentomaxillofac Radiol* [Internet]. 2017 Mar;46(3):20160407. Available from: <http://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr.20160407>
30. de Moraes PH, Olate S, Cantin M, Assis AF, Santos E, Silva F de O, et al. Anatomical Reproducibility through 3D Printing in Cranio-Maxillo-Facial Defects. *Int J Morphol* [Internet]. 2015 Sep;33(3):826–30. Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84943398926&partnerID=tZOTx3y1>
31. Legocki AT, Duffy-Peter A, Scott AR. Benefits and Limitations of Entry-Level 3-Dimensional Printing of Maxillofacial Skeletal Models. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg* [Internet]. 2017 Apr 1;143(4):389–94. Available from: <http://archotol.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jamaoto.2016.3673>
32. Hsieh T-Y, Dedhia R, Cervenka B, Tollefson TT. 3D Printing. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg* [Internet]. 2017 Aug;25(4):291–9. Available from: <http://insights.ovid.com/crossref?an=00020840-201708000-00008>
33. Zhong N, Zhao X. 3D printing for clinical application in otorhinolaryngology. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology* [Internet]. 2017 Sep 19; Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00405-017-4743-0>
34. Mukherjee P, Cheng K, Flanagan S, Greenberg S. Utility of 3D printed temporal bones in pre-surgical planning for complex BoneBridge cases. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology* [Internet]. 2017 Aug 24;274(8):3021–8. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00405-017-4618-4>
35. Rui Y, Gang X, Shuang-Shuang M, Hua-Yu Y, Xin-Ting S, Wei S, et al. Three-dimensional printing: review of application in medicine and hepatic surgery. *Cancer Biol Med* [Internet]. 2016 Dec;13(4):443. Available from: <http://www.cancerbiomed.org/index.php/cocr/article/view/980>
36. Madurska MJ, Poyade M, Eason D, Rea P, Watson AJM. Development of a Patient-Specific 3D-Printed Liver Model for Preoperative Planning. *Surg Innov* [Internet]. 2017 Apr 28;24(2):145–50. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1553350616689414>
37. Oshiro Y, Ohkohchi N. Three-Dimensional Liver Surgery Simulation: Computer-Assisted Surgical Planning with Three-Dimensional Simulation Software and Three-Dimensional Printing. *Tissue Eng Part A* [Internet]. 2017 Jun;23(11–12):474–80. Available from: <http://online.liebertpub.com/doi/10.1089/ten.tea.2016.0528>
38. Wake N, Rude T, Kang SK, Stifelman MD, Borin JF, Sodickson DK, et al. 3D printed renal cancer models derived from MRI data: application in pre-surgical planning. *Abdom Radiol (New York)* [Internet]. 2017 May 7;42(5):1501–9. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00261-016-1022-2>
39. Westerman ME, Matsumoto JM, Morris JM, Leibovich BC. Three-dimensional Printing for Renal Cancer and Surgical Planning. *Eur Urol Focus* [Internet]. 2016 Dec;2(6):574–6. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405456917300032>
40. Wood BC, Sher SR, Mitchell BJ, Oh AK, Rogers GF, Boyajian MJ. Conjoined Twin Separation. *J Craniofac Surg* [Internet]. 2017 Jan;28(1):4–10. Available from: <http://content.wkhealth.com/linkback/openurl?sid=WKPTLP:landingpage&an=00001665-201701000-00003>
41. Ahn JJ, Shnorhavorian M, Amies Oelschlager A-ME, Ripley B, Shivaram GM, Avansino JR, et al. Use of 3D reconstruction cloacagrams and 3D printing in cloacal malformations. *J Pediatr Urol* [Internet]. 2017 Aug;13(4):395.e1–395.e6. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1477513117302577>
42. Shen S, Wang H, Xue Y, Yuan L, Zhou X, Zhao Z, et al. Freeform fabrication of tissue-simulating phantom for potential use of surgical planning in conjoined twins separation surgery. *Sci Rep* [Internet]. 2017 Dec 8;7(1):11048. Available from: <http://www.nature.com/articles/s41598-017-08579-6>
43. Sayed Aluwee SAZ Bin, Zhou X, Kato H, Makino H, Muramatsu C, Hara T, et al. Evaluation of pre-surgical models for uterine surgery by use of three-dimensional printing and mold casting. *Radiol Phys Technol* [Internet]. 2017 Sep 12;10(3):279–85. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s12194-017-0397-2>
44. Ajao MO, Clark N V, Kelil T, Cohen SL, Einarsson JI. Case Report: Three-Dimensional Printed Model for Deep Infiltrating Endometriosis. *J Minim Invasive Gynecol* [Internet]. 2017 Nov;24(7):1239–42. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1553465017303515>
45. Chen H-Y, Ng L-S, Chang C-S, Lu T-C, Chen N-H, Chen Z-C. Pursuing Mirror Image Reconstruction in Unilateral Microtia. *Plast Reconstr Surg* [Internet]. 2017 Jun;139(6):1433–43. Available from: <http://insights.ovid.com/crossref?an=00006534-201706000-00033>
46. George E, Barile M, Tang A, Wiesel O, Coppolino A, Giannopoulos A, et al. Utility and reproducibility of 3-dimensional printed models in pre-operative planning of complex thoracic tumors. *J Surg Oncol* [Internet]. 2017 Sep;116(3):407–15. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/jso.24684>
47. Marconi S, Pugliese L, Botti M, Peri A, Cavazzi E, Latteri S, et al. Value of 3D printing for the comprehension of surgical anatomy. *Surg Endosc* [Internet]. 2017 Oct 9;31(10):4102–10. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00464-017-5457-5>
48. InVesalius [Internet]. Sao Paulo: Centro de Tecnologia da Informacao Renato Archer; Available from: <https://www.cti.gov.br/pt-br/invesalius>
49. Blender [Internet]. Amsterdam: Stichting Blender Foundation; Available from: <https://www.blender.org>
50. ReplicatorG [Internet]. GNU; Available from: <http://replicat.org/download>
51. Jacobs CA, Lin AY. A New Classification of Three-Dimensional Printing Technologies. *Plast Reconstr Surg* [Internet]. 2017 May;139(5):1211–20. Available from: <http://insights.ovid.com/crossref?an=00006534-201705000-00036>
52. Hull CW. Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography. *US Pat* 4,575,330 [Internet]. 1986;1–16. Available from: <http://www.google.com/patents/US4575330>
53. Li C, Cheung TF, Fan VC, Sin KM, Wong CWY, Leung GKK. Applications of Three-Dimensional Printing in Surgery. *Surg Innov* [Internet]. 2017 Feb;24(1):82–8. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1553350616681889>
54. George E, Liacouras P, Rybicki FJ, Mitsouras D. Measuring and Establishing the Accuracy and Reproducibility of 3D Printed Medical Models. *RadioGraphics* [Internet]. 2017 Sep;37(5):1424–50. Available from: <http://pubs.rsna.org/doi/10.1148/rg.2017160165>
55. Bass R. Imágenes digitales, planificación virtual e impresión tridimensional para tratamientos combinados de ortodoncia y cirugía ortognática / Digital images, virtual planning and 3D impression for combined orthodontic and orthognathic surgery treatments. *Rev Asoc Odontol Argent*. 2016;104(2):86–90.
56. Loiola, Marlos; Cotrim-Ferreira, Flavio; Shibasaki, Wendel; Dutra J. Aplicações da impressão 3D na Ortodontia e Cirurgia bucomaxilofacial / Applications of 3D printing technology in Orthodontics and Oral and Maxillofacial Surgery. *Ortodontia*. 2016;49(1):73–7.
57. Martins, Paulo Henrique Fonseca; Vasconcellos, Walison Arthuso; Oliveira Jr, Célio Soares de; Guimarães MM. Uso da tecnologia CAD/CAM na Odontologia: do encerramento diagnóstico ao desenho digital integrado. A mudança de um paradigma / The use of CAD/CAM technology in dentistry: from the diagnostic wax-up to the integrated digital design. *A paradigm shift. ImplantNewsPerio*. 2016;1(1):105–17.
58. Inzunza O, Caro I, Mondragón G, Baeza F, Burdiles Á, Salgado G. Impresiones 3D, Nueva Tecnología que Apoya la Docencia Anatómica. *Int J Morphol* [Internet]. 2015 Sep;33(3):1176–82. Available from: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022015000300059&lng=en&nrm=iso&tlng=en
59. Sotomayor D. El Luis Vernaza crea prótesis artificiales con impresion 3D. *Diario Expreso* [Internet]. 2017 Jun 22; Available from: <http://www.expreso.ec/guayaquil/el-luis-vernaza-crea-protesis-artificiales-con-impresion-3d-MN1483248>
60. Coello C. El Vernaza implementa un laboratorio de impresión 3D. *Redacción Médica* [Internet]. 2017 Jun 21; Available from: <https://www.redaccionmedica.ec/secciones/gestion/el-vernaza-implementa-un-laboratorio-de-impresion-3d-90472>
61. Merchán del Hierro PA, Vazquez Albornoz JH. Carta al Editor: Impresión 3D en la Medicina Reconstructiva a Nivel Local. *Rev Médica del Hosp José Carrasco Arteaga* [Internet]. 2016 Nov 30;8(3):307–8. Available from: <http://revistamedicahjca.med.ec/ojs/index.php/RevHJCA/article/view/211/192>