

# Impresión 3D para la planificación preoperatoria avanzada en cirugía ortopédica y traumatología

## *3D printing for advanced preoperative planning in orthopaedic surgery and traumatology*

Voltes-Martínez, Ana<sup>2</sup>  
De la Concepción-Ruiz, Eva<sup>1</sup>  
López-Puerta, José María<sup>1,2</sup>  
Andrés-Cano, Pablo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital Universitario Virgen del Rocío, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

<sup>2</sup> Trauma3D, I+D+i en Fabricación Aditiva Médica, Unidad Hospitalaria de Impresión 3D en Cirugía Ortopédica y Traumatología, Hospital Universitario Virgen del Rocío, Sevilla, España

[pabloanca@gmail.com](mailto:pabloanca@gmail.com)

Rev. S. And. Traum. y Ort., 2020; 37 (2/4): 58-68

Recepción: 06/09/2020. Aceptación: 13/11/2020

### Resumen

#### Objetivo del trabajo

El objetivo principal del estudio es la revisión de la casuística de modelos impresos en 3D para planificación quirúrgica en el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología del Hospital Universitario Virgen del Rocío (Sevilla).

#### Materiales y métodos

Se realizó un estudio epidemiológico, retrospectivo, descriptivo y analítico a partir de una base de datos encriptada sobre pacientes diagnosticados

### Abstract

#### Purpose

The main aim of this study is the collection and review of information about the application of 3D printed models for surgical planning of complex injuries in the Orthopedic Surgery and Traumatology service of "Virgen del Rocío" University Hospital (Sevilla).

#### Materials and Methods

An epidemiological, retrospective, descriptive and analytical study is carried out from an en-

dos y tratados quirúrgicamente de lesión traumática junto con el uso de un biomodelo 3D.

## Resultados

Se analizaron 173 biomodelos 3D y se clasificaron según tipo de lesión, localización anatómica de la misma y unidad solicitante. El tipo de lesión implicada con mayor frecuencia fue la fractura compleja o secuelas de ésta. La meseta tibial y la pelvis son las localizaciones en las que se utilizó con mayor frecuencia los biomodelos 3D.

## Conclusiones

La impresión 3D en el campo de la Cirugía Ortopédica y Traumatología es una tecnología actual, en rápida evolución y permite a los cirujanos ortopédicos y traumatólogos comprender mejor los casos complejos, ayudando a la planificación quirúrgica de los mismos. Por tanto, podemos considerarla como un complemento para mejorar la atención al paciente por los beneficios que conlleva su uso.

**Palabras clave:** Biomodelo; cirugía ortopédica; impresión 3D; traumatología.

*rypted database of patients diagnosed and treated surgically with complex traumatic injury together with the use of a 3D anatomical biomodel.*

## Results

*The results of 173 patients classified by type of injury, anatomical location of the injury and requesting unit are obtained. The results suggest that the type of injury most frequently involved is complex fracture or its sequelae. The tibial plateau and the pelvis are the locations where 3D printing is most widely used due to its complexity.*

## Conclusions

*3D printing is a rapidly evolving field which allows surgeons to better understand complex cases, aiding in their surgical planning. Therefore, we should consider it as a complement to improve patient care due to the benefits of its use.*

**Key words:** *Biomodel; orthopedic surgery; 3D printing; traumatology.*

## Introducción

La impresión 3D (I3D) es uno de los avances tecnológicos que más se ha desarrollado en los últimos años. Esto se debe al cambio de paradigma en la medicina con la aparición de la industria 4.0, lo que ha supuesto la transformación digital de los procesos, orientando estos procesos asistenciales hacia una medicina personalizada que permite un diagnóstico y tratamiento más específico para cada paciente<sup>1</sup>. Esta tecnología aplicada al sector médico permite materializar las imágenes médicas o de diseño para crear objetos físicos tridimensionales con diversas aplicaciones. La aparición de impresoras domésticas o semi-profesionales con tecnología de fabricación aditiva ha hecho más accesible esta tecnología por su menor coste y mayor disponibilidad<sup>2,3</sup>.

La gran versatilidad de la I3D ha permitido su uso en medicina gracias a la fabricación de modelos anatómicos reales de diferentes especialida-

des<sup>4,5</sup> como son la otorrinolaringología, la cirugía cardiovascular<sup>6</sup>, la rehabilitación, o la cirugía ortopédica y traumatología<sup>7</sup>.

En cirugía ortopédica y traumatología, el uso de la I3D ha supuesto una revolución gracias a la posibilidad de fabricar biomodelos de lesiones traumáticas complejas o herramientas quirúrgicas personalizadas. La principal función de estos biomodelos es servir de apoyo para el estudio de la lesión y permitir una planificación quirúrgica avanzada, ya que permiten la simulación de la intervención, realizar mediciones precisas e incluso preparar y moldear los implantes antes de la intervención<sup>8</sup>. Los biomodelos se fabrican con materiales biodegradables que permiten esterilización, siendo los más empleados el ácido poliláctico (PLA) y las resinas biocompatibles.

El presente estudio tiene como objetivo el análisis de las utilidades de los biomodelos 3D en un

servicio de COT tras la implementación de la tecnología de I3D hospitalaria en el propio servicio de COT “in house”, también conocido como en el punto de manufactura “point of care (POC).

## Materiales y Métodos

### Materiales

Estudio epidemiológico retrospectivo, descriptivo y analítico llevado a cabo a partir de una base de datos encriptada sobre pacientes diagnosticados y tratados quirúrgicamente de lesión ortopédica o traumática compleja con segmentación, diseño e I3D previa en el propio servicio de COT.

### Procedimiento para fabricación del biomodelo

*Trauma3D* es una unidad hospitalaria de impresión 3D (UH-I3D) situada en el Hospital de Rehabilitación y Traumatología Virgen del Rocío (Sevilla) (Fig.1). Está formado por un equipo multidisciplinar de ingenieros de la salud (Bioingenieros), ingenieros de diseño industrial, radiólogos y especialistas en COT. En el propio laboratorio los miembros del equipo son los encargados de llevar a cabo la segmentación, diseño e impresión de los biomodelo 3D, así como de los diferentes útiles quirúrgicos (guías quirúrgicas, por ejemplo) atendiendo siempre a las indicaciones del cirujano prescriptor responsable del paciente.



Figura 1. Laboratorio I+D+i en fabricación aditiva médica - Trauma3D. Hospital de Rehabilitación y Traumatología Virgen del Rocío

mediante diseño previo de modelo 3D. Si se considera la cirugía como el tratamiento recomendado, y el paciente la acepta, se solicita el biomodelo de forma informática.

El proceso desde que un paciente es valorado por el cirujano hasta el momento de su cirugía se refleja en la Fig.2.

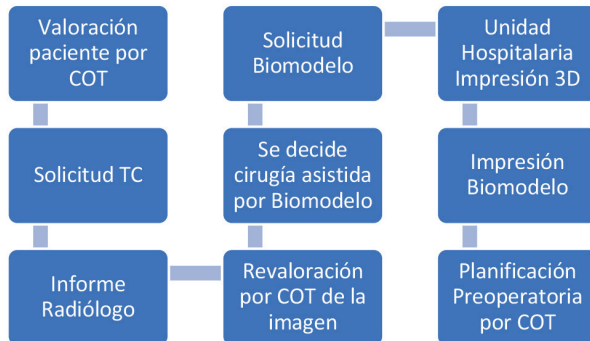


Figura 2. Diagrama del proceso de diseño de un biomodelo. TC: tomografía computerizada

### 1. Diagnóstico del paciente

Para el diagnóstico de lesión traumática compleja y solicitud del biomodelo, el paciente es valorado por el especialista en COT, el cual solicita una prueba de tomografía computerizada (TC) de la zona anatómica afectada. El radiólogo genera un informe radiológico. Dependiendo de los hallazgos radiológicos y las valoraciones hechas al paciente se plantea la posible solución quirúrgica

### 2. Solicitud de biomodelo

El cirujano puede solicitar el biomodelo a través de la página web de *Trauma3D*, a la que se puede acceder a través del enlace [www.trauma3d.com/biomodelo](http://www.trauma3d.com/biomodelo), debiendo rellenar los campos obligatorios para el diseño del biomodelo: nombre, e-mail del solicitante y unidad a la que pertenece, número único de historia de salud de Andalucía (NUHSA) del paciente, fecha límite de entrega y la escala del biomodelo deseada.

### 3. Generación del biomodelo

La generación del biomodelo comienza con la descarga de las imágenes de la prueba TC solicitada previamente desde la historia clínica del paciente, disponible en el PACS. Las imágenes son anonimizadas y descargadas en formato DICOM para un correcto procesado de las mismas a través de diversos softwares de libre distribución.

El flujo de trabajo que se le da a las imágenes DICOM puede agruparse en una serie de pasos como se detalla en la Fig.3.

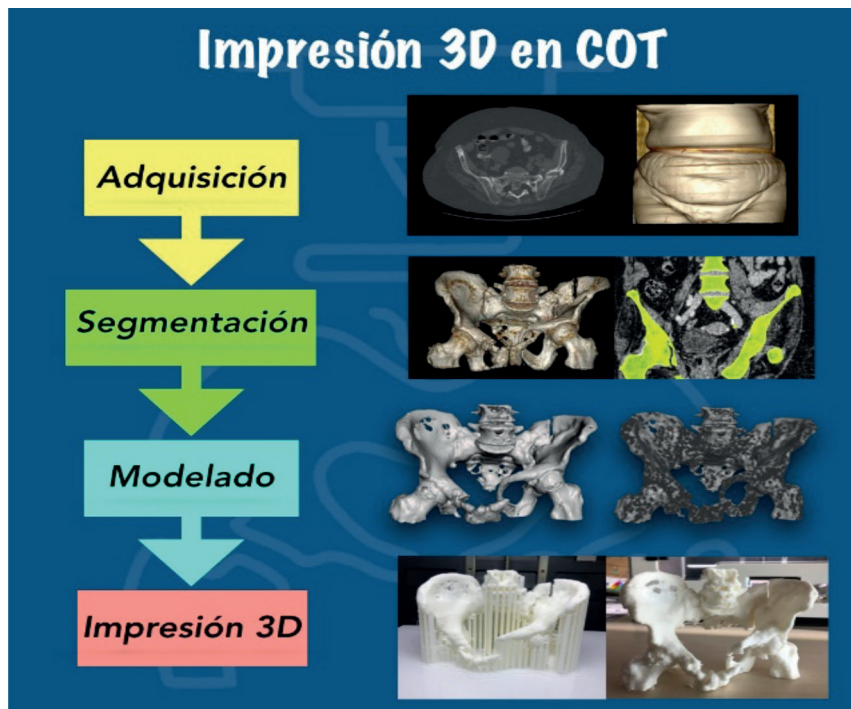


Figura 3. Flujo de trabajo en I3D en COT

Tras la adquisición de las imágenes se utiliza el software *InVesalius* (Centro de Tecnología da Informação Renato Archer, Campinas, SP, Brazil. <https://invesalius.github.io/>) para la segmentación, proceso que consiste en seleccionar y reconstruir en 3D las zonas de interés utilizando todos los cortes de imagen provenientes de los equipos de TC o resonancia magnética (RM).

El modelo 3D resultante pasa ahora a ser editado mediante el software de modelado asistido por ordenador (CAD) *MeshMixer Autodesk Inc, San Rafael, CA, USA*. (<https://www.meshmixer.com/>), en el cual se prepara y mejora el modelo reparando posibles imperfecciones que hayan podido quedar tras la segmentación. El archivo se guarda en formato STL (“StereoLithography”).

El último software necesario antes de imprimir la pieza debe ser un software de laminado que se encargue de adaptar el formato *STL* al lenguaje utilizado por la impresora en la que se vaya a imprimir el biomodelo (Gcode), que contiene las coordenadas en las que la impresora irá depositando el filamento de material en caso de impresoras de filamento (FDM).

En el laboratorio de fabricación hospitalaria *Trauma3D* se dispone de las impresoras FDM Ultimaker 3 Extended, Ultimaker S3 y Ultimaker S5, cuyo precio ronda los 4000€, 5000€ y 7000€ respectivamente y BQ Witbox 2, con un precio aproximado de 2000€. También se dispone de una impresora SLA de resina Anycubic Photon Zero. El software de laminado utilizado es el software gratuito Ultimaker Cura Ultimaker Cura (Ultimaker BV <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>) en el cual se seleccionan las opciones de impresión, como pueden ser el tamaño de la pieza, la temperatura a la que se extruye el filamento, la altura de capa de la pieza, la velocidad de impresión, etc. Todo el proceso está supervisado por los especialistas médicos, aunque los Bioingenieros e Ingenieros de Diseño Industrial son los expertos tecnológicos.

Las impresoras utilizan el método de fabricación aditiva por deposición fundida (FDM)<sup>9,10</sup> en la que el objeto se va creando mediante la superposición de capas del material elegido siguiendo el diseño creado por ordenador.

El material más utilizado en *Trauma3D* es PLA, con un precio medio de 20€ por kilogramo

de material. El precio final de cada biomodelo dependerá del tamaño de la pieza, la configuración de impresión y, por tanto, del tiempo de impresión del biomodelo. Así, para la fabricación de una meseta tibial de un paciente adulto el biomodelo puede tardar en imprimirse unas 4 o 5 horas utilizando unos 60 gramos de material, mientras que, si necesitamos imprimir un biomodelo de pelvis de paciente adulto, la pieza requerirá más de 24 horas de impresión y consumirá, al menos, medio kilogramo de material.

#### 4. Esterilización del biomodelo 3D

Una vez finalizado el proceso de fabricación, y en caso de se vaya a dar un uso intraoperatorio al biomodelo, éste debe ser enviado al servicio de esterilización del hospital.

El protocolo de esterilización debe consensuarse en cada centro teniendo en cuenta que si el biomodelo se ha fabricado utilizando un polímero termosensible, como PLA o acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), se emplearán métodos de esterilización sin calor, ya que no soportan las altas temperaturas. El peróxido de hidrógeno o el óxido de etileno son métodos químicos de esterilización que pueden ser utilizados.

## Resultados

Se recogieron y analizaron datos de 173 pacientes diagnosticados de lesión ortopédica o traumática compleja que han sido candidatos a intervención quirúrgica asistida con biomodelos 3D en el Hospital Universitario Virgen del Rocío.

Los datos recogidos comprenden un periodo entre abril de 2017, cuando se introdujo la técnica en el propio Servicio de COT del HU Virgen del Rocío, y diciembre de 2019.

A continuación, se detallan los casos en función del tipo de lesión, localización anatómica de la misma y unidad clínica solicitante del servicio de COT.

De los 173 casos estudiados y clasificados por tipo de lesión se observa que el 49’1% de los biomodelos 3D fueron por fracturas complejas, 32’9% de los biomodelos se utilizaron para replicar secuelas ortopédicas de traumatismos previos,

un 11'6% para deformidades congénitas, un 4% por tumores óseos musculoesqueléticos, y por último, un 2'3% fueron modelos anatómicos utilizados para docencia o comunicación.

Respecto a las regiones anatómicas en las que se utilizó con mayor frecuencia la tecnología de I3D se observó que la región anatómica de la que más biomodelos se realizaron fue la rodilla, representando un 26'6% del total, seguida de la cadera (19'7%), pelvis-acetábulo (12'7%), tibia (8'7%), pie (5'2%), columna (4'0%), hombro (4'0%), codo (2'9%), escápula (2'9%), calcáneo (2'3%), cráneo (2'3%), húmero (2'3%), tobillo (2'3%), fémur (1'7%), y en último lugar con tan solo un 1'2% están los biomodelos de mano y radio.

Las unidades que más han solicitado y utilizado los biomodelos impresos en 3D son las unidades de Trauma y Cirugía Reconstructiva (57'8%), Ortopedia Infantil (19'1%), Miembro Superior (6'4%), Miembro Inferior (5'2%), Pie y tobillo (4'0%), Tumores (4'0%) y Columna (3'5%).

### Casos clínicos de interés

Se describen tres casos clínicos de fracturas, uno de meseta tibial y otro de acetábulo, así como

un caso de ortopedia infantil. Estas lesiones suelen presentar gran complejidad en su abordaje quirúrgico y, como se ha mencionado anteriormente, son las más frecuentes a la hora de requerir apoyo de biomodelo 3D.

### 1. Caso 1: Fractura de Meseta Tibial

Varón de 37 años que sufre una caída desde una escalera de 2 metros de altura con traumatismo sobre la rodilla derecha y diagnóstico de fractura de meseta tibial compleja con afectación posterolateral<sup>11</sup>.

El paciente requirió una actuación quirúrgica en dos fases. En una primera se aplicó la fijación externa para control de la fractura y la lesión de partes blandas alrededor de la misma.

Se decidió intervenir quirúrgicamente apoyándose en un biomodelo 3D para la planificación de la cirugía, elección de la placa de osteosíntesis y diseño de una de guía quirúrgica personalizada para asistir en la elevación del fragmento articular (Fig.4).

A la semana se realiza la segunda fase quirúrgica con reducción abierta y fijación interna (Fig.5).



Figura 4. a) Reconstrucción 3D de hueso y diseño de guía. b) Elección de placa de osteosíntesis utilizando como apoyo biomodelo 3D de la fractura

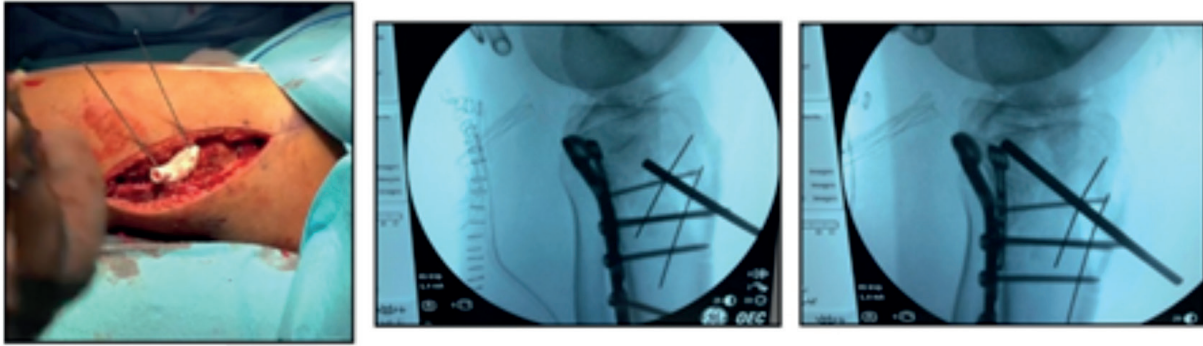


Figura 5. Imágenes intraoperatoria y escopia

## 2. Caso 2: Fractura Acetabular

Varón de 66 años que sufre caída en domicilio desde una altura de 2 metros de altura con diagnóstico de fractura cerrada de acetábulo izquierdo<sup>12</sup> con afectación principal de la columna anterior.

Se realiza una cirugía asistida por el biomodelo 3D el cual se utiliza durante la intervención para premoldear la placa de osteosíntesis, seleccionar los tornillos más adecuados y la longitud de los mismos (Fig.6). Se realiza un abordaje anterior mediante dos ventanas (media y lateral) del abordaje ilioinguinal.

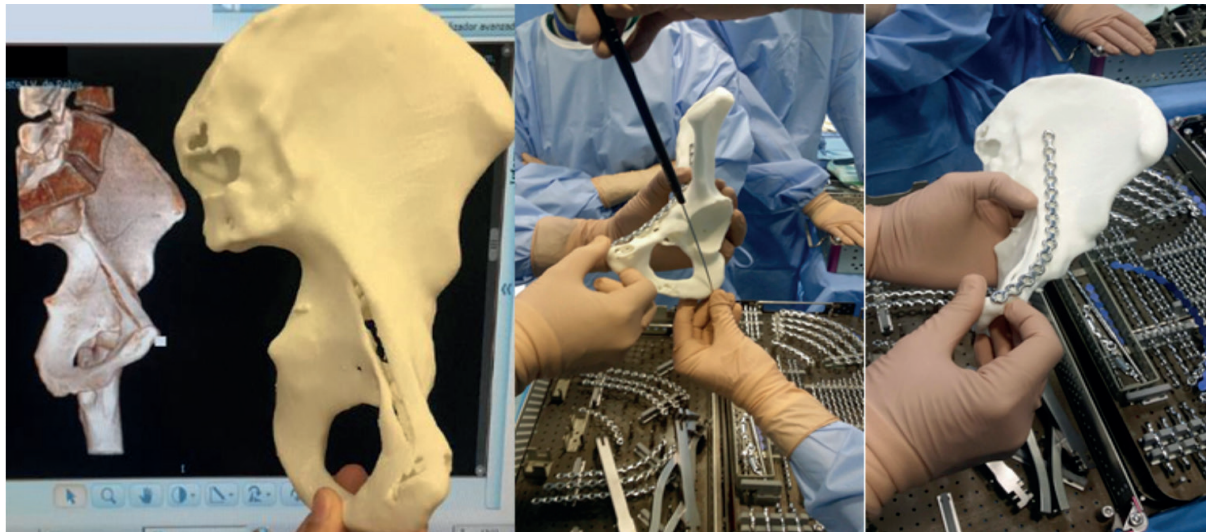


Figura 6. TC y biomodelo 3D. Adaptación de placas y tornillos intraoperatorio

## 2. Caso 3: Osteotomía Femoral Pediátrica

Varón de 14 años afecto de parálisis cerebral infantil tipo tetraparesia espástica y luxación neurológica de cadera izquierda tratada previamente mediante osteomía femoral varizante. Presenta dolor y limitación para el aseo.

Nuevo episodio de luxación indicándose cirugía paliativa mediante osteotomía femoral valguzante y de resección de cabeza femoral (osteotomía de McHale). Se realiza un biomodelo 3D para simulación de la cirugía y premoldeado de la placa de osteotomía (Fig.7).



Figura 7. Moldeado de placa de osteomía previo a cirugía gracias a biomodelo 3D

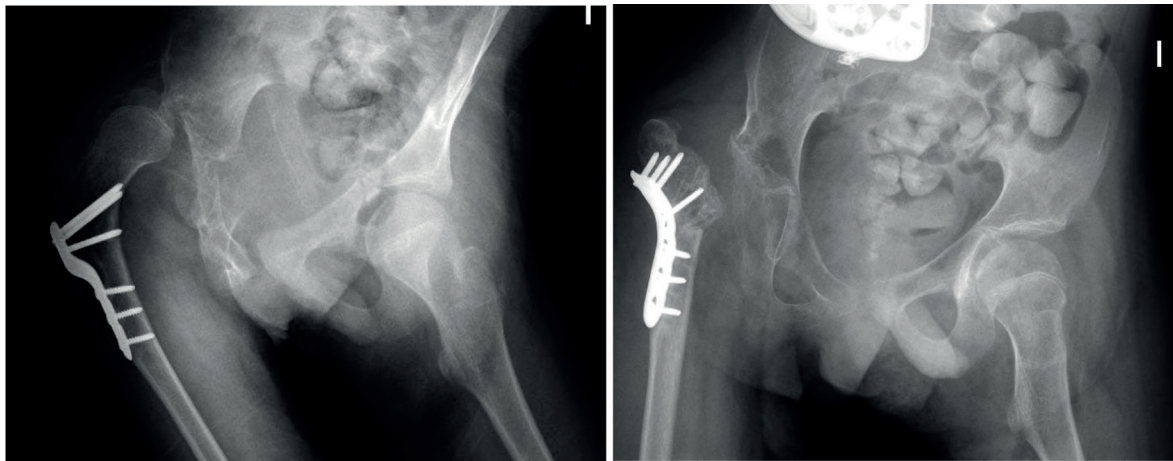


Figura 8. Control radiológico antes y tras la intervención

#### 4. Discusión

En el presente estudio, se hace una revisión de la aplicación de la tecnología de I3D para lesiones traumáticas complejas en un servicio de COT analizando 173 casos consecutivos.

En el artículo publicado por *Morgan et al.*<sup>13</sup> se realiza un meta-análisis sobre el empleo de la I3D en COT en una serie de 922 casos, llegando a sugerir que el uso de la I3D en la planificación preoperatoria reduce el tiempo quirúrgico, la pér-

didada de sangre intraoperatoria y la cantidad de radiación. Recomiendan hacer subgrupos dentro de las especialidades de la COT para sucesivos análisis usando como variables el tipo de patología y la demografía del paciente.

Por otro lado, en un estudio observacional con una muestra de 91 pacientes publicado por *Mishra et al.*<sup>14</sup> se valoró la satisfacción de los cirujanos con el uso de la I3D en la planificación quirúrgica empleando unas encuestas de satisfacción. Siendo la puntuación máxima un 6, el grado de satisfac-



ción de los cirujanos fue de 4'5, lo que sugiere un papel positivo de la técnica en COT. La curva de aprendizaje inicial para comprender y ejecutar la planificación preoperatoria virtual y la I3D fue el aspecto en el que más dificultades encontraron los especialistas.

El estudio desarrollado por *Lou et al.*<sup>15</sup> se basa en un estudio comparativo entre la cirugía tradicional y la cirugía asistida por tecnología de I3D para el tratamiento de fracturas en la meseta tibial. Para ello, un total de 72 pacientes se dividieron en dos grupos de forma aleatoria; 38 se incluyeron en el grupo de cirugía tradicional y 34 en el grupo que utilizaba biomodelos 3D. El tiempo de operación, la pérdida de sangre y la cantidad de fluoroscopia intraoperatoria fueron registrados. Se observó diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) con disminución de las tres variables en el grupo que usó los biomodelos con respecto al de cirugía tradicional. El resultado de la encuesta de satisfacción, siendo 0 la puntuación mínima y 10 la máxima, obtuvo una puntuación media de  $8'5 \pm 0'1$  por parte de los cirujanos y de  $7'3 \pm 0'1$  por parte de los pacientes, por lo que llegaron a la conclusión de que el uso de la I3D en el tratamiento de fracturas de meseta tibial aporta numerosas ventajas clínicas y mejora la comunicación médico-paciente.

La impresión de biomodelos 3D en COT permite una reducción de los riesgos inherentes a procedimientos quirúrgicos complejos, las placas necesarias en la cirugía se pueden moldear y adaptar el hueso del paciente, se puede medir el material de osteosíntesis que se vaya a utilizar en la cirugía, se puede fabricar material quirúrgico personalizado adaptándolo a las necesidades de cada caso, facilitando la comunicación médico-paciente e incluso se pueden usar en docencia para formación y entrenamiento de los cirujanos.

Estudios previos han analizado el estado en el que se encuentra la aplicación de la I3D en COT. Las posibilidades son extensas tanto en docencia<sup>16,17</sup> como a nivel hospitalario, con la fabricación de biomodelos, guías quirúrgicas<sup>18,19,20,21</sup>, instrumental<sup>19</sup>, órtesis<sup>22,23,24</sup>, implantes<sup>19,21,25</sup>, o la bioimpresión para ingeniería tisular<sup>26,27</sup>. La colaboración con equipos de investigación pertenecientes tanto a entidades públicas, como son algunas universidades, como con empresas privadas es fundamental para continuar desarrollando y

puliendo esta técnica. Su inclusión en el modelo de trabajo habitual en el servicio de COT presenta grandes beneficios a los hospitales, grupos de investigación y, sobre todo, a los pacientes.

Es importante contar con el apoyo de ingenieros de la salud e ingenieros de diseño con conocimientos de anatomía que sean los encargados de la parte técnica del procedimiento como son la segmentación, el diseño y la impresión 3D del modelo. La ventaja que aportan los ingenieros en el grupo multidisciplinar es que poseen conocimiento suficiente para poder comunicarse y adaptarse a las indicaciones del profesional sanitario, consiguiendo así la fabricación de biomodelos lo más exactos posible, y de instrumentación y guías quirúrgicas con la angulación y resistencia adecuadas para un uso eficaz de las mismas. Una correcta comunicación médico-ingeniero facilita y acelera la planificación quirúrgica.

Las limitaciones o inconvenientes de la I3D que se destacan son la necesidad de estudios previos de TC o RM, la excesiva complejidad de algunos modelos anatómicos, los errores de impresión que se pueden ocasionar, el coste de implementación en el ámbito médico, el tiempo elevado necesario para determinados biomodelos, y la necesidad de una regulación legal para este tipo de productos sanitarios.

Como futura línea de investigación en el servicio de COT y a raíz de los resultados del presente estudio, se puede plantear el análisis de estas mismas variables (tiempo quirúrgico, pérdida de sangre intraoperatoria y uso de fluoroscopia) con el objetivo de cuantificarlas, así como proporcionar encuestas de valoración a los cirujanos que utilicen la técnica y encuestas de satisfacción a los pacientes intervenidos con modelo 3D.

## Conclusiones

Como respuesta al objetivo de describir la experiencia con el uso de modelos 3D en el Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatológica del Hospital Universitario Virgen del Rocío se concluye que la implantación de la técnica está demostrando una mejora en la calidad de la atención médica y facilita al cirujano el abordaje en patologías complejas.

El tipo de lesión dónde más frecuentemente se ha utilizado la I3D en COT sido la fractura alrededor de la rodilla y la pelvis, seguida de las deformidades ortopédicas, especialmente en patología de ortopedia infantil y los tumores musculoesqueléticos.

Las localizaciones anatómicas que han presentado una frecuencia más elevada de uso del biomodelo 3D previo a cirugía han sido la meseta tibial, acetábulo y cadera. Las fracturas en estas localizaciones son por lo general de elevada complejidad y la planificación preoperatoria avanzada con biomodelos 3D proporciona un valor añadido a la cirugía.

En el uso para la planificación quirúrgica hay cada vez más evidencias de que estos biomodelos 3D pueden mejorar los resultados quirúrgicos, permitiendo al cirujano adelantarse de manera eficaz a la toma de decisiones intraoperatoria, por lo que se puede concluir que la impresión 3D se ha convertido en una herramienta útil y precisa para un cambio de paradigma en la medicina actual, más orientada a un tratamiento personalizado y basado en las necesidades de cada paciente.

## Bibliografía

1. Feußner H, Park A. *Surgery 4.0: the natural culmination of the industrial revolution?* J Innov Surg Sci. 2017;2(3):105–8. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6754015/>
2. Dipaola M. *3D Printing in Orthopaedic Surgery*. Elsevier. 2019. <https://www.elsevier.com/books/3d-printing-in-orthopaedic-surgery/dipaola/978-0-323-58118-9>
3. Javaid M, Haleem A. *Additive manufacturing applications in orthopaedics: A review*. J Clin Orthop Trauma [Internet]. 2018;9(3):202–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2018.04.008>
4. Vaish A, Vaish R. *3D printing and its applications in Orthopedics*. J Clin Orthop Trauma [Internet]. 2018;9:S74–5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2018.02.003>
5. Lal H, Patralekh MK. *3D printing and its applications in orthopaedic trauma: A technological marvel*. J Clin Orthop Trauma. 2018;9(3):260–8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30202159/>
6. I GGV. *Carta al editor*. Rev Española Cardiol [Internet]. 2019;72(3):275. Available from: <https://www.revespcardiol.org/es-impresion-3d-revista-espanola-cardiologia-articulo-S0300893218305578>
7. Garg B, Mehta N. *Current status of 3D printing in spine surgery*. J Clin Orthop Trauma. 2018;9(3):218–25. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30202152/>
8. Levesque JN, Shah A, Ekhtiari S, et al. *Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: a scoping review*. EFORT Open Rev. 2020;5(7):430–441. Published 2020 Aug 1. doi:10.1302/2058-5241.5.190024. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32818070/>
9. Michalski MH, Ross JS. *The shape of things to come: 3D printing in medicine*. JAMA - J Am Med Assoc. 2014;312(21):2213–4. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25461994/>
10. Skelley NW, Smith MJ, Ma R, et al. *Three-dimensional Printing Technology in Orthopaedics*. J Am Acad Orthop Surg. 2019;27(24):918–25. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31268868/>
11. Markhardt BK, Gross JM, Monu JU. *Schatzker classification of tibial plateau fractures: use of CT and MR imaging improves assessment*. Radiographics. 2009;29(2):585–597. doi:10.1148/rg.292085078. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19325067/>
12. Estrems-Díaz V. *Tratamiento Quirúrgico De Las Fracturas De Acetábulo : Resultados clínicos y radiológicos a corto y mediano plazo*. [Tesis de Doctorado] Universidad Autónoma de Barcelona. 2010. [https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl\\_2072\\_172943/TR\\_EstremsDiaz.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_172943/TR_EstremsDiaz.pdf)
13. Morgan C, Khatri C, Hanna SA, et al. *Use of three-dimensional printing in preoperative planning in orthopaedic trauma surgery: A systematic review and meta-analysis*. World J Orthop. 2020;11(1):57–67. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6960300/>
14. Mishra A, Verma T, Vaish A, et al. *Virtual preoperative planning and 3D printing are valuable for the management of complex orthopaedic trauma*. Chinese J Traumatol - English Ed [Internet]. 2019;22(6):350–5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2019.07.006>
15. Lou Y, Cai L, Wang C, et al. *Comparison of traditional surgery and surgery assisted by three dimensional printing technology in the treatment of tibial plateau fractures*. Int Orthop. 2017;41(9):1875–80. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28396929/>
16. Lim PK, Stephenson GS, Keown TW, et al. *Use of 3D printed models in resident education for the classification of acetabulum fractures*. Journal of Surgical Education. 2018;75(6):1679–1684. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29929817/>
17. Weidert S, Andress S, Suero E, et al. *3D-Druck in der unfallchirurgischen Fort- und Weiterbildung: Möglichkeiten und Anwendungsbereiche [3D printing in orthopedic and trauma surgery education and training: Possibilities and fields of application]*. Unfallchirurg. 2019;122(6):444–451. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31053925/>
18. Chana-Rodríguez F, Pérez-Mañanes R, Rojo-Mañante, J, et al. *3D surgical printing and pre contoured plates for acetabular fractures*. Injury. 2016;47(11):2507–2511. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27599393/>
19. Wong TM, Jin J, Lau TW, et al. *The use of three-dimensional printing technology in orthopaedic surgery*. J

Orthop Surg. 2017;25(1):230949901668407. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28142354/>

20. Kim JW, Lee Y, Seo J, et al. *Clinical experience with three-dimensional printing techniques in orthopedic trauma*. J Orthop Sci. 2018;23(2):383-388. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29325763/>

21. Fang C, Cai H, Kuong E, et al. *Surgical applications of three-dimensional printing in the pelvis and acetabulum: from models and tools to implants*. Unfallchirurg. 2019;122(4):278-285. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30887060/>

22. Abreu de Souza M, Schmitz C, Marega Pinhel M, et al. *Proposal of custom made wrist orthoses based on 3D modelling and 3D printing*. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2017;3789-3792. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29060723/>

23. Wojciechowski E, Chang AY, Balassone D, et al. *Feasibility of designing, manufacturing and delivering 3D printed ankle-foot orthoses: a systematic review*. J Foot Ankle Res. 2019;12(1):11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30774718/>

24. Wu PK, Shih YC, Chen CM, et al. *Printing a 3-dimensional, Patient-specific Splint for Wound Immobilization: A Case Demonstration*. Ostomy Wound Manage. 2018;64(7):28-33. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30059337/>

25. Wu AM, Lin JL, Kwan KYH, et al. *3D-printing techniques in spine surgery: the future prospects and current challenges*. Expert Rev Med Devices. 2018;15(6):399-401. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29848086/>

26. Huang Huang Y, Zhang X, Gao G, et al. *3D bioprinting and the current applications in tissue engineering*. Biotechnol J. 2017;12(8):1600734-n/a. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28675678/>

27. Roseti L, Parisi V, Petretta M, et al. *Scaffolds for Bone Tissue Engineering: State of the art and new perspectives*. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl. 2017;78:1246-1262. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28575964/>