

# UTILIDAD Y APLICACIÓN DEL MODELADO E IMPRESIÓN 3D EN FRACTURAS COMPLEJAS DE ACETÁBULO. REPORTE DE UN CASO.

Daniel Eduardo Zamudio-Barrera<sup>1</sup>, Rodolfo Morales-Avalos<sup>1</sup>, Adrián Negreros-Osuna<sup>2</sup>, Jessica Karina Cerda-Barbosa<sup>1</sup>, Eduardo Alvarez-Lozano<sup>1</sup>, Víctor Manuel Peña-Martínez<sup>1</sup>.

Servicio de Traumatología y Ortopedia<sup>1</sup>, Departamento de Radiología e Imagen<sup>2</sup>.

Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”, U.A.N.L., Monterrey, Nuevo León, México.

**Resumen**— El propósito de este artículo es valorar el uso de tecnología en impresión 3D con fines educativos y para planeación preoperatoria, mediante un modelo de hemipelvis en el caso de una fractura de acetábulo con indicación de manejo quirúrgico. Se presenta un masculino de 29 años con diagnóstico de fractura de acetábulo izquierdo, espina isquiopúbica derecha, peroné derecho y luxación anterior de cadera derecha. Respecto a la clasificación de Judet y Letournel la fractura se clasifica como tipo G, un trazo transversal asociado a pared posterior en acetábulo izquierdo. Se realiza un modelo impreso de hemipelvis tridimensional y se discute la clasificación de fractura, el abordaje quirúrgico, método de reducción y método de fijación. Se lleva a cabo reducción abierta y osteosíntesis de la fractura, mediante abordaje Kocher–Langenbeck a los 15 días de evolución, con un tiempo quirúrgico de 215 minutos y sangrado de 550 mililitros. Las radiografías postoperatorias demostraron reducción de la fractura y congruencia articular. Como complicación postoperatoria el paciente presentó lesión del nervio ciático. Reportamos el primer caso en nuestro hospital, donde se aplica esta tecnología, consideramos que los modelos 3D son excelentes herramientas en el abordaje de fracturas complejas de acetábulo.

**Palabras clave**— Acetábulo, Fractura, Impresión 3D, Modelado 3D.

## I. INTRODUCCIÓN

Las fracturas de acetábulo se consideran un gran reto en el tratamiento para el cirujano ortopédico, debido a la compleja anatomía de la región, las variaciones morfológicas y el limitado acceso quirúrgico al sitio de fractura.

Estas fracturas son el resultado de traumatismos de alta energía (caídas de gran altura y accidentes vehiculares) y su incidencia varía demográficamente, siendo menor en países con uso de cinturón de seguridad [1, 2].

La tendencia actual consiste en reconstruir quirúrgicamente la superficie articular acetabular, permitir la movilización temprana del paciente y mejorar el pronóstico articular y funcional a largo plazo.

Herramientas tecnológicas como el uso de modelos a partir de impresoras 3D podrían mejorar el entendimiento

viso espacial, la planeación quirúrgica y el pronóstico del paciente. El desarrollo de tecnología de impresión 3D es una contribución de época para el área de medicina, especialmente para la ortopedia. La impresión 3D se está utilizando cada vez más en el tratamiento clínico en ortopedia, incluyendo fracturas, defectos óseos, enfermedades óseas y tumores óseos [3- 6].

El uso de modelos 3D pueden utilizarse con motivos educativos y de aprendizaje, permitiendo al estudiante un objeto tangible para interactuar y aprender de él [7].

En este artículo, discutimos nuestra experiencia al imprimir un modelo de hemipelvis 3D de un caso de fractura acetabular compleja que fue tratado quirúrgicamente en nuestro hospital universitario “Dr. José Eleuterio González”.

## II. CASO CLINICO

Masculino de 29 años sin antecedentes médicos de relevancia, el cual fue trasladado al departamento de urgencias, dos horas posteriores a participar en un accidente automovilístico de tipo choque frontal.

El paciente ingresó hemodinámicamente estable, sin alteraciones en sus signos vitales con 14 puntos en la escala de coma de Glasgow, presentando dolor a la palpación (8 de 10 en la EVA) e incapacidad de movimiento de cadera derecha, la cual se encontraba en abducción, flexión y rotación externa. Además, presentaba una herida contusocortante de 10 centímetros, en rodilla derecha que no comunica a tejido óseo o capsula articular. El paciente no presentaba alteraciones vasculares o neurológicas.

La radiografía de pelvis evidenció una luxación anterior pura de cadera derecha, fractura de rama iliopúbica derecha no desplazada, fractura oblicua del tercio proximal de peroné y fractura del acetábulo izquierdo desplazada. Se procedió a la reducción de la luxación de la cadera derecha bajo maniobras externas, desbridación, irrigación y limpieza de la herida en la rodilla izquierda y a la realización de los estudios de gabinetes complementarios, los cuales descartaron otras lesiones a las ya descritas (Figura 1 y 2).



Fig. 1 Proyección antero-posterior de pelvis, tomada en el área de urgencias, evidencia la luxación anterior de cadera derecha y fractura de acetábulo izquierdo.



Fig. 2 Proyección antero-posterior de pelvis, tomada en el área de urgencias, evidencia la cadera derecha post reducción y la fractura de acetábulo izquierdo.

La tomografía axial computarizada de pelvis evidenció un trazo de fractura transversa con compromiso de la pared posterior del acetábulo. El paciente ingresó al hospital a cargo del Servicio de Traumatología para su tratamiento definitivo.

La fractura del paciente cumplía indicaciones quirúrgicas al tratarse de una fractura desplazada, con compromiso de la zona de carga del acetábulo y con compromiso articular relevante. Se optó por una reducción

abierta más osteosíntesis del acetábulo con placas de reconstrucción.

El modelo 3D demostró desplazamiento entre el fragmento superior e inferior debido a un trazo trasverso predominante, además de un trazo incompleto no desplazado de la pared posterior (Figura 3).

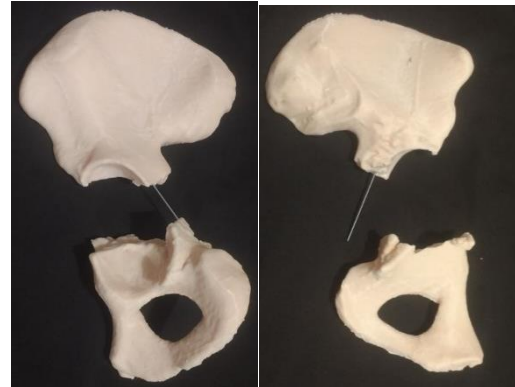


Fig. 3 Modelo hemipélvico evidenciando fractura de acetábulo transversa, con trazo en pared posterior incompleto.

Ante el modelo impreso se discutió realizar un abordaje posterior (Kocher-Langenbeck) y un anterior (ilioinguinal) combinado, versus solamente el posterior y la colocación de tornillos canulados percutáneos.

Se decidió realizar un abordaje de Kocher-Langenbeck, realizar la reducción de los fragmentos y colocar una placa de reconstrucción sobre la columna posterior.

El modelo 3D fue esterilizado y llevado a quirófano, para guiar la situación visoespacial del paciente en decúbito lateral sobre el tablero quirúrgico, previo al procedimiento quirúrgico se moldeó una placa de reconstrucción de 7 orificios simulando el procedimiento a realizar en quirófano (Figura 4)

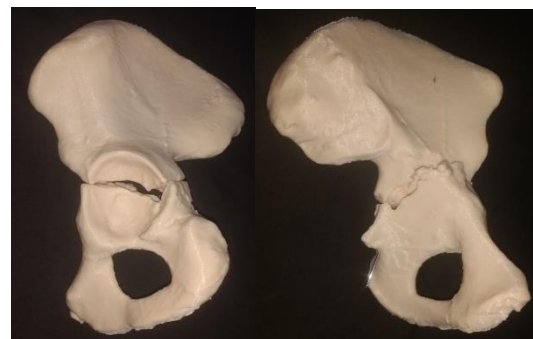


Fig. 4 Modelo hemipélvico de fractura trasversa de acetábulo post reducción anatómica.

El paciente fue intervenido quirúrgicamente a los 14 días de ocurrida su fractura. Previo protocolo quirúrgico, paciente en decúbito lateral derecho, bajo bloqueo epidural

continuo y bloqueo subaracnoideo, se realizó asepsia y antisepsia de la zona quirúrgica y se colocaron campos estériles. Se realizó un abordaje posterior de Kocher-Langenbeck para exponer la fractura de la columna y pared posterior del acetábulo en la posición lateral (Figura 5), se realizó la reducción del foco de fractura (Figura 6) y con relación a la planeación preoperatoria se moldeó una placa recta de reconstrucción moldeada de 8 orificios y se fijó con 4 tornillos corticales en el sitio planeado bajo guía fluroscopica.

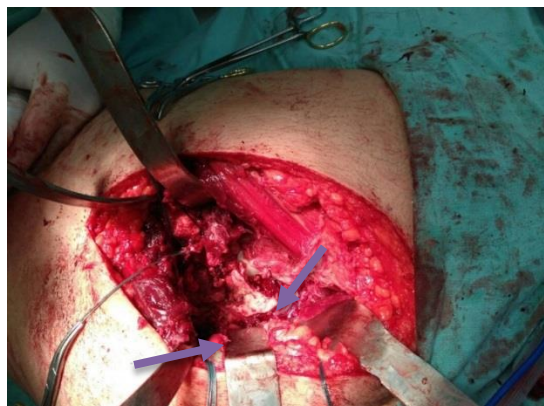


Fig. 5 Vista intraoperatoria a través de abordaje de Kocher–Langenbeck, evidenciando trazo transverso con desplazamiento de 1.5 cm.

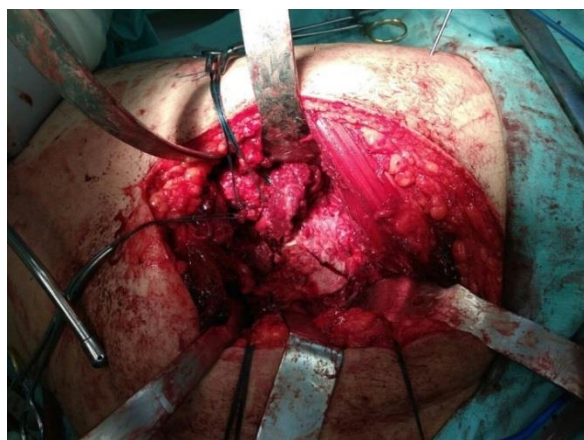


Fig. 6 Vista intraoperatoria a través de abordaje de Kocher–Langenbeck, donde se evidencia reducción anatómica de trazo transverso en acetábulo.

Se tomaron radiografías intraoperatorias previo al cierre de heridas, donde se confirmó la reducción de la columna posterior.

La duración de la cirugía fue de 215 minutos y el sangrado de 550 mililitros. Sin discrepancia de extremidades. Se administraron antibióticos intravenosos por 3 días como parte del protocolo quirúrgico del paciente postoperado. Las radiografías AP, alar y obturatriz demostraron que el acetábulo se redujo anatómicamente y la cadera tenía congruencia articular (Figura 7- 9).

El paciente fue dado de alta, con seguimiento por la consulta a los 15 días y con indicaciones de diferir el apoyo.



Fig. 7 Proyección antero-posterior de pelvis del postoperatorio inmediato.



Fig. 8 Proyección alar de pelvis del postoperatorio inmediato.



Fig. 9 Proyección obturatriz de pelvis del postoperatorio inmediato.

### Modelos 3D

El uso de impresión 3D en diversas aplicaciones médicas continúa ganando reconocimiento como una técnica que transforma el panorama en la práctica quirúrgica.

Hasta el 2015, se encontraron en base de datos un total de 480 artículos relacionados a impresión 3D, solo 93 de relevancia, donde las tres áreas principales de aplicación fueron: modelos anatómicos, instrumentos quirúrgicos e implantes o prótesis. Las consideraciones más importantes antes de considerar el uso generalizado de esta tecnología son el tiempo y los costos asociados. [8].

En el área de ortopedia las aplicaciones incluyen, la fabricación de prototipo rápidos para facilitar el diseño quirúrgico, diseño y aplicación de instrumentos, implantes de metal basados en impresión 3D, investigación básica y educación. [9]

Para llevar a cabo el modelo de hemipelvis, el hospital universitario cuenta con un laboratorio de impresión 3D a cargo del departamento de radiología e imagen, ahí se realizó a partir de una tomografía helicoidal con cortes cada 1.25 mm la reconstrucción del modelo pélvico en el software de segmentación 3D slicer y CAD Meshmixer. Posteriormente se realizó la reconstrucción de datos y se eliminaron la cabeza femoral y fragmentos libres. El tiempo total de impresión fue de 24 horas. Se utilizó una impresora Rostock Max Delta V3, con un costo en el mercado aproximado de \$38,500 pesos, la cual cuenta con una resolución de 0.1 a 0.4 mm, velocidad de movimiento de 300mm/s y hasta un volumen de impresión de 27.5 x 27.5 x 40 cm

Se utilizaron 174 g y 58 metros de monofilamento de plástico ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), el mismo material usado en las piezas LEGO, el cual se funde entre 200 y 250°, y soporta temperaturas de -20° a 80°, tiene alta resistencia, y puede ser soldado con procesos químicos

además de calor, sin embargo, no es biodegradable, y se encoje en contacto con el aire, por lo cual la plataforma de impresión debe precalentarse, para evitar el despliegue de las piezas [10]. Se ha asociado a toxicidad por emisión de compuestos orgánicos volátiles durante el proceso de impresión [11].

El costo parcial aproximado para la fabricación del modelo fue de \$2880 pesos mexicanos, ya que se excluyeron los costos de honorarios del diseñador.

Todas las impresoras 3D, requieren un software CAD 3D, que mide miles de secciones transversales de cada producto para determinar cómo debe ser construido. Dos aspectos importantes distinguen la tecnología 3D de otras, mientras un impresora 3D puede costar 10,000 dólares, una máquina de prototipo rápido puede costar hasta 50,000 dólares. La segunda gran diferencia es que las impresoras 3D se integran perfectamente con el diseño asistido por ordenador (CAD) y otros archivos digitales como la RMN, al final del proceso los diseños pueden ser guardados como archivos STL (un formato de estéreo-litografía estándar de la industria) o archivo similar [12].

## II. DISCUSIÓN

Nuestro servicio de traumatología es un centro médico de referencia de tercer nivel en el noreste de México el cual trata de manera rutinaria pacientes politraumatizados con fracturas complejas, lesiones serias del sistema musculoesquelético o deformidades ortopédicas de difícil manejo. Realizando alrededor de 5 a 7 cirugías por fracturas de acetábulo por año.

La incidencia de las fracturas de acetábulo es de 3 por cada 100 000 habitantes y año. Hasta en el 20% de los casos se producen lesiones neurológicas y generalmente parciales del nervio ciático, que afectan con más frecuencia a la división peronea que a la tibial [13].

Clásicamente el tratamiento puede ser conservador con reposo absoluto del paciente, apoyo diferido y un seguimiento clínico y radiográfico por varios meses hasta lograr la consolidación de la fractura y una rehabilitación temprana. Sin embargo, este tratamiento es reservado para aquellos pacientes con fracturas no desplazadas, con nula o leve afección articular e involucro de solo un elemento del acetábulo. Las fracturas con gran involucro articular, afección de ambas columnas o paredes del acetábulo así como aquellos con un gran desplazamiento requieren para su manejo una reducción abierta y su fijación con material de osteosíntesis [14].

Antes del desarrollo de tecnologías que permitieran modelos idénticos con relación 1:1 de estructuras anatómicas, la planeación preoperatoria se llevaba a cabo sobre radiografías o computadoras con reconstrucciones 3D.

Debido a la situación anatómica de la pelvis y acetábulo, con otras estructuras y cavidades, en diferentes

planos anatómicos, así como a la gran cantidad de estructuras neurovasculares en el sitio quirúrgico, es difícil enfrentar una reducción abierta y osteosíntesis de acetábulo solo con imágenes en dos dimensiones [15].

La impresión 3D es un método nuevo que usa imágenes digitales y por medio de un software se ordena a una impresora a crear un modelo anatómico fiel. En diferentes escalas y diversos materiales. En la actualidad la impresión 3D juegan un rol importante en la planeación y entrenamiento de procedimientos quirúrgicos.

Los modelos pélvicos, permiten la visualización multidireccional y multiangular, ayudando a la clasificación de fracturas complejas y son útiles en la planeación prequirúrgica para determinar el mejor abordaje, la técnica de reducción y el material de osteosíntesis a utilizar. Confirmar la secuencia de reducción y fijación, pre-doblar las placas de longitud apropiadas, determinar la posición óptima de las placas, seleccionar el ángulo y longitud de tornillos más efectivos y decidir el plan preoperatorio más deliberado, acortando así el tiempo operatorio [16].

Los modelos pueden ser llevados a quirófano y utilizarse intraoperatoriamente, previa esterilización, o fuera del campo quirúrgico, para ubicar visó espacialmente la posición pélvica del paciente en decúbito lateral.

La exactitud anatómica del modelo de pelvis impreso y del paciente suele ser exacta. Sin embargo, estructuras adyacentes como vasos sanguíneos, nervios u otros tejidos blandos en la cavidad pélvica son difíciles de ubicar intraoperatoriamente, lo que representa una limitación de esta técnica.

La facilidad de la reducción anatómica de una fractura acetabular en un modelo pélvico es sencilla, pero no siempre es reproducible en quirófano, ya que algún tejido puede estar interpuesto entre los fragmentos.

La relación 1:1 de la impresión debe ser verificada previamente. En nuestro caso, consideramos que existía variación milimétrica entre el modelo y la pelvis del paciente, debido a que utilizamos la calibración por defecto del software y no se realizaron pruebas para verificar la exactitud de la relación. De cualquier manera, los errores pueden generarse durante cualquier paso del proceso, incluyendo la adquisición de la imagen, postprocesamiento y durante la impresión [17, 18].

Existen reportes de simulaciones quirúrgicas sobre modelos 3D, donde los implantes son elegidos, premoldeados, medidos y colocados en una dirección específica, posteriormente enviados a esterilizar y utilizados en el paciente [16,19]. El riesgo de presentarse algo diferente a lo planeado, por ejemplo, no lograr una reducción anatómica, modificaría completamente la planeación preoperatoria.

En nuestro caso consideramos que los modelos 3D ofrecen una opción viable a pesar de los costos y el tiempo de producción. Existen opciones para reducir costos, como el ahorro de plástico, al realizar la impresión de una hemipelvis en lugar de su totalidad y esto no interfiere con

el proceso de aprendizaje o planeación. La contratación de un diseñador por honorarios eleva exageradamente los costos, la inversión en capacitación para el uso de software por cuenta propia, la adquisición de una impresora y la producción en mayoreo podría reducir los costos a largo plazo.

Para evidenciar las ventajas de impresión de modelos pélvicos 3D en pacientes con fracturas de acetábulo son necesarios estudios de mayor evidencia científica que incluya una población mayor de pacientes, multicéntricos que incluyan todos los tipos de fracturas descritas por Letournel, con seguimiento a largo plazo y que de manera aleatoria compare el uso de impresión 3D en el proceso educativo y de planeación quirúrgica contra el manejo estándar, para dilucidar diferencias significativas que favorezcan el pronóstico y supervivencia del paciente aunado a un bajo costo.

### III. CONCLUSIONES

El uso de modelos impresos de 3D para el manejo de fracturas complejas de acetábulo es una opción factible, económica y segura para la planificación preoperatoria y aporta datos significativos para la misma.

Limitaciones como la calidad del modelo, el coste de la producción y el tiempo de producción seguirán evolucionando y mejorando.

Consideramos que implementar el uso de impresoras 3D en los servicios quirúrgicos, especialmente en traumatología y ortopedia, mejora la calidad de la atención médica y de facilitar el aprendizaje en patologías raras o complejas, como las fracturas acetabulares.

### REFERENCIAS

- [1] Saeed Al-Qahtani, Gregory O'Connor, MD†, Acetabular fractures before and after the introduction of seatbelt legislation. *Can J Surg.* 1996 Aug; 39(4): 317-320.
- [2] Cyril Mauffrey, Jiandong Hao, W. Smith, The Epidemiology and Injury Patterns of Acetabular Fractures. Are the USA and China Comparable? *Clin Orthop Relat Res.* 2014 Nov; 472(11): 3332-3337.
- [3] Cohen A, Laviv A, Berman P, Nashef R, Abu-Tair J. Mandibular reconstruction using stereolithographic 3-dimensional printing modeling technology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod,* 2009, 108: 661-666.
- [4] Zhou Z, Buchanan F, Mitchell C, Dunne N. Printability of calcium phosphate: calcium sulfate powders for the application of tissue engineered bone scaffolds using the 3D printing technique. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl,* 2014, 38: 1-10.
- [5] Inzana JA, Olvera D, Fuller SM, et al. 3D printing of composite calcium phosphate and collagen scaffolds for bone regeneration. *Biomaterials,* 2014, 35: 4026-4034.
- [6] Starosolski ZA, Kan JH, Rosenfeld SD, Krishnamurthy R, Annapragada A. Application of 3-D printing (rapid prototyping) for creating physical models of pediatric orthopedic disorders. *Pediatr Radiol,* 2014, 44: 216-221.
- [7] Creating Three-dimensional Printed Models of Acetabular Fractures for Use as Educational Tools Manganaro MS, Morag Y, Weadock

- WJ, Yablon CM, Gaetke-Udager K, Stein EB, Radiographics. 2017 May-Jun;37(3):871-880
- [8] Hammad H.Malik, Alastair R.J.Darwood, ShalinShaunak, et. al. Three-dimensional printing in surgery: a review of current surgical applications. *J Surg Res.* 2015 Dec;199(2):512-22
- [9] Hong Cai, Application of 3D printing in orthopedics: status quo and opportunities in China, *Ann Transl Med.* 2015 May; 3(Suppl 1): S12.
- [10] Suarez, H., Barlow, J. W. and Paul, D. R. (1984), Mechanical properties of ABS/polycarbonate blends. *J. Appl. Polym. Sci.*, 29: 3253–3259
- [11] Wojtyła S, Klama P, Baran T, Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon. *J Occup Environ Hyg.* 2017 Jun;14(6):D80-D85
- [12] Barry Berman, 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons* (2012) 55, 155—162
- [13] Bucholz RW, Court-Brown CM, Heckman JD, Tornetta P III, eds. *Rockwood and Green's fractures in adults.* 7th ed. Vol 1. Philadelphia, Pa: Lippincott Williams & Wilkins, 2010; 1465–1522.
- [14] Guyton JL: Fractures of hip, acetabulum and pelvis in Canale (ed) *Campbell's Operative Orthopedics.* Mosby, SL Missouri, 1998: 2224.
- [15] Lawrence DA, Menn K, Baumgaertner M, Haims AH. Acetabular fractures: anatomic and clinical considerations. *AJR Am J Roentgenol* 2013;201(3):W425–W436.
- [16] L. Maini A. Sharma Jha, A. Sharma, A. Tiwari Three-dimensional printing and patient-specific pre-contoured plate: future of acetabulum fracture fixation? *Eur J Trauma Emerg Surg* 2016. DOI 10.1007/s00068-016-0738-6
- [17] Choi JY, Choi JH, Kim NK, et al. Analysis of errors in medical rapid prototyping models. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2002;31(1):23–32.
- [18] Hazeveld A, Huddleston Slater JJ, Ren Y. Accuracy and reproducibility of dental replica models reconstructed by different rapid prototyping techniques. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2014;145(1):108–115.
- [19] Zhao-jie Liu, Jian Jia, Yin-guang Zhang, et al. Internal Fixation of Complicated Acetabular Fractures Directed by Preoperative Surgery with 3D Printing Models. *Orthopaedic Surgery* 2017, 9: 257-260