

# Uso de modelos de impresión 3D en Ortopedia y Traumatología: Serie de casos

Alin L. Garay, Micaela Cinalli, Lara Fernández, Fermín Inchaurregui, Julia A. Ruesta Alava, Agustín Arrieta, Pedro L. Bazán

Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Interzonal General de Agudos "General José de San Martín", Buenos Aires, Argentina

## RESUMEN

**Introducción:** Comprender y tratar deformidades, defectos y fracturas complejas sigue siendo un desafío en el área de la Ortopedia y Traumatología. La aplicación de modelos de impresión 3D incluye el diagnóstico, la planificación quirúrgica, la creación de guías intraoperatorias e implantes y el entrenamiento quirúrgico. Las deformidades y fracturas articulares complejas representan un reto en el tratamiento quirúrgico debido a la complejidad tridimensional. La tecnología de impresión 3D permite simular la anatomía, la reducción de trazos fracturarios, osteotomías, y la dirección y longitud de los tornillos. El objetivo de este artículo es comunicar una serie de casos en los que se implementó la impresión 3D y presentar una revisión narrativa. Se describen dos casos de fractura de acetábulo, dos de escoliosis idiopática, una fractura del pilón tibial compleja y una fractura de astrágalo en los que se crearon modelos de impresión 3D para la planificación quirúrgica que resultaron beneficiosos tanto para el paciente como para el equipo quirúrgico. **Conclusiones:** Con el auge de la impresión 3D en el área de la Ortopedia y Traumatología, podremos facilitar el entendimiento de fracturas y deformidades complejas y mejorar las planificaciones prequirúrgicas. El tiempo de producción del modelo puede demorarse y ser una limitación para su uso en urgencias. Aún faltan estudios para evaluar los beneficios significativos para el paciente y el equipo médico, como la reducción del tiempo operatorio, la pérdida de sangre intraoperatoria y la exposición a la radiación.

**Palabras clave:** Impresión 3D; planificación quirúrgica; deformidades.

**Nivel de Evidencia:** IV

## Use of 3D Printing Models in Orthopedics and Traumatology: Case Series

### ABSTRACT

**Introduction:** Understanding and treating deformities, defects and complex fractures remains a challenge in the area of orthopedics and traumatology. 3D printing models are used for diagnostics, surgical planning, the manufacturing of intraoperative guides and implants, and surgical training. The objective of our work was to report on a series of cases where 3D printing was implemented in our service and to carry out a narrative review. The case series includes two acetabular fractures, two idiopathic scoliosis, a complex tibial pilon fracture, and a talar fracture. 3D printing models were used for surgery planning, which benefited both the patient and the surgical team. **Conclusions:** With the rise of 3D printing in orthopedics and traumatology, we are able to better understand fractures and complex deformities, as well as improve preoperative planning. The model's production timelines may be delayed, limiting its usefulness in an emergency. There are yet insufficient studies that report substantial benefits to the patient and medical team, such as reduced surgical time, intraoperative blood loss, and radiation exposure.

**Keywords:** 3D printing; surgical planning; deformities.

**Level of Evidence:** IV

Recibido el 26-10-2023. Aceptado luego de la evaluación el 17-2-2024 • Dr. PEDRO L. BAZÁN • pedroluisbazan@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0003-0060-6558>

**Cómo citar este artículo:** Garay AL, Cinalli M, Fernández L, Inchaurregui F, Ruesta Alava JA, Arrieta A, Bazán PL. Uso de modelos de impresión 3D en Ortopedia y Traumatología: Serie de casos. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2024;89(3):266-274. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2024.89.3.1839>

## INTRODUCCIÓN

Comprender y tratar deformidades, defectos y fracturas complejas, especialmente las fracturas articulares, sigue representando un desafío en el campo de la Ortopedia y Traumatología. Se ha demostrado que los modelos 3D permiten visualizar mejor la anatomía y ayudan en la planificación de las cirugías. Sin embargo, no está claro cuál es la mejor manera de utilizar la técnica y si esto produce realmente mejores resultados intraoperatorios y posoperatorios.<sup>1</sup>

Este artículo tiene como objetivo presentar una serie de casos en los que se implementó la impresión 3D en nuestro Servicio y una revisión narrativa del uso en el área de la Ortopedia y Traumatología.

### Historia y características de la impresión 3D

El origen de la impresión 3D data de 1859 cuando François Willème desarrolla, en Francia, la primera tecnología de escaneo en 3D que denomina “foto escultura”. A partir de fotografías tomadas en 360° y con la ayuda de un pantógrafo, se dibujaban las siluetas del modelo a la escala deseada y se recortaban perfiles que, al sumarse, componían la escultura en tres dimensiones. En 1892, Joseph Blather patentó, en los Estados Unidos, un sistema de creación de mapas topográficos en 3D utilizando un método de estratificación de principios similares a las impresoras actuales.<sup>2</sup> Finalmente, en 1984, Charles Hall presentó la primera patente para una impresora 3D titulada “Aparato para la producción de objetos 3D mediante estereolitografía”, que fue la primera impresora 3D del mundo.<sup>3</sup> El primer uso informado en Ortopedia fue en 1999 como una ayuda para la planificación preoperatoria de una cirugía espinal compleja.<sup>4</sup>

Para utilizar la impresora 3D, en primer lugar, se requiere de una tomografía computarizada de alta resolución de la deformidad, fractura o defecto. El programa de diseño asistido por computadora crea una representación digitalizada de un objeto que luego se convierte en un archivo de estereolitografía (STL). Los archivos STL “recortan” el modelo digitalizado creado por el programa de diseño asistido por computadora, lo que permite que la impresora 3D imprima el objeto capa por capa. Los materiales de impresión 3D más utilizados son titanio, acrilonitrilo butadieno estireno y ácido poliláctico.

Se describen tres tipos de impresiones:

1. La estereolitografía: primer método que se creó. Se aplica luz ultravioleta a una cubeta que contiene resina. La luz es controlada por una computadora y polimeriza la superficie de la resina en la cubeta dando forma al objeto. Por medio de un pistón que desciende, se va exponiendo más resina a la luz y se van creando las distintas capas sucesivas.

2. La sinterización selectiva por láser: fabrica objetos mediante el prensado de polvos u otras materias que previamente han sido calentadas sin llegar a la fusión. También se aplica una luz ultravioleta, pero, en este caso, actúa sobre un polvo, en lugar de hacerlo sobre resina líquida. Se produce una adición por capas solidificando el material.

3. El modelado por deposición fundida: en este caso, el material utilizado es un filamento de plástico que pasa por una resistencia en una boquilla que lo calienta por encima de los 200 °C y lo funde para depositarlo sobre una plataforma móvil. Esta tecnología es más sencilla y accesible.

### Aplicaciones en Ortopedia y Traumatología

La aplicación de la impresión 3D en el campo de la Medicina incluyen el diagnóstico, la planificación quirúrgica, la creación de guías intraoperatorias e implantes y el entrenamiento quirúrgico.

Las regiones del cuerpo que presentan una anatomía compleja, como la pelvis o la columna vertebral, se comprenden mejor con la impresión 3D y su uso permite mejorar significativamente el aprendizaje.<sup>5</sup> Es útil, por ejemplo, para planificar osteotomías cuando hay deformidades espinales severas o el trayecto de los tornillos pediculares.<sup>6</sup> En fracturas complejas, los cirujanos pueden usar el modelo 3D fracturado para simular su técnica de reducción y usar el modelo 3D ileso para optimizar la selección de placas.<sup>7</sup>

Los informes de casos indican que la planificación quirúrgica puede acortar el tiempo de la cirugía, lo que implica menos pérdida de sangre y menor exposición a la radiación, esto, a su vez, mejora la seguridad del paciente y del equipo quirúrgico.

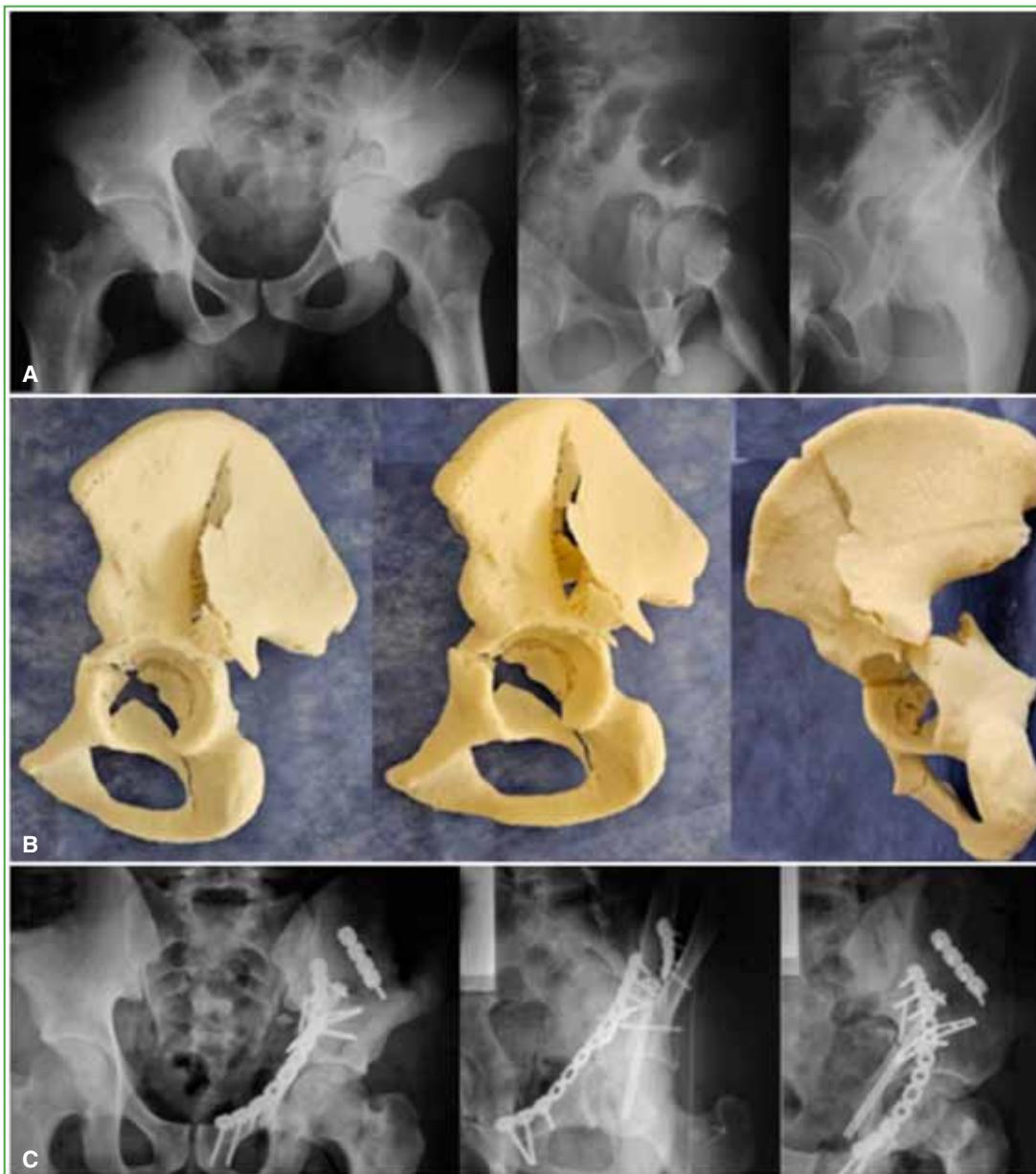
Sumado a esto, se observó que los modelos 3D mejoran la comprensión de la fractura por parte del paciente y la comunicación con el médico, lo que redundó en un mejor cumplimiento de la rehabilitación posoperatoria.<sup>8</sup>

A continuación, se describe una serie de casos de nuestro Servicio en los que se implementó la tecnología de la impresión 3D.

## CASO CLÍNICO 1

Varón de 20 años de edad que ingresó en el Servicio de Urgencia tras sufrir un accidente en la vía pública (motocicleta-automóvil). Tenía una fractura del acetábulo izquierdo, ambas columnas, con un trazo simple a expensas de la columna posterior y un trazo ilíaco en la columna anterior (clasificación AO 6.2-C1.2) (Figura 1A).

Se procedió a la reducción y osteosíntesis con dos placas de reconstrucción de 3,5 mm, un tornillo canulado de 6,5 mm y una placa tercio de tubo. Se diseñó el modelo con impresión 3D para la planificación quirúrgica, y se realizó la cirugía a los cuatro días de la fractura (Figura 1B y C).

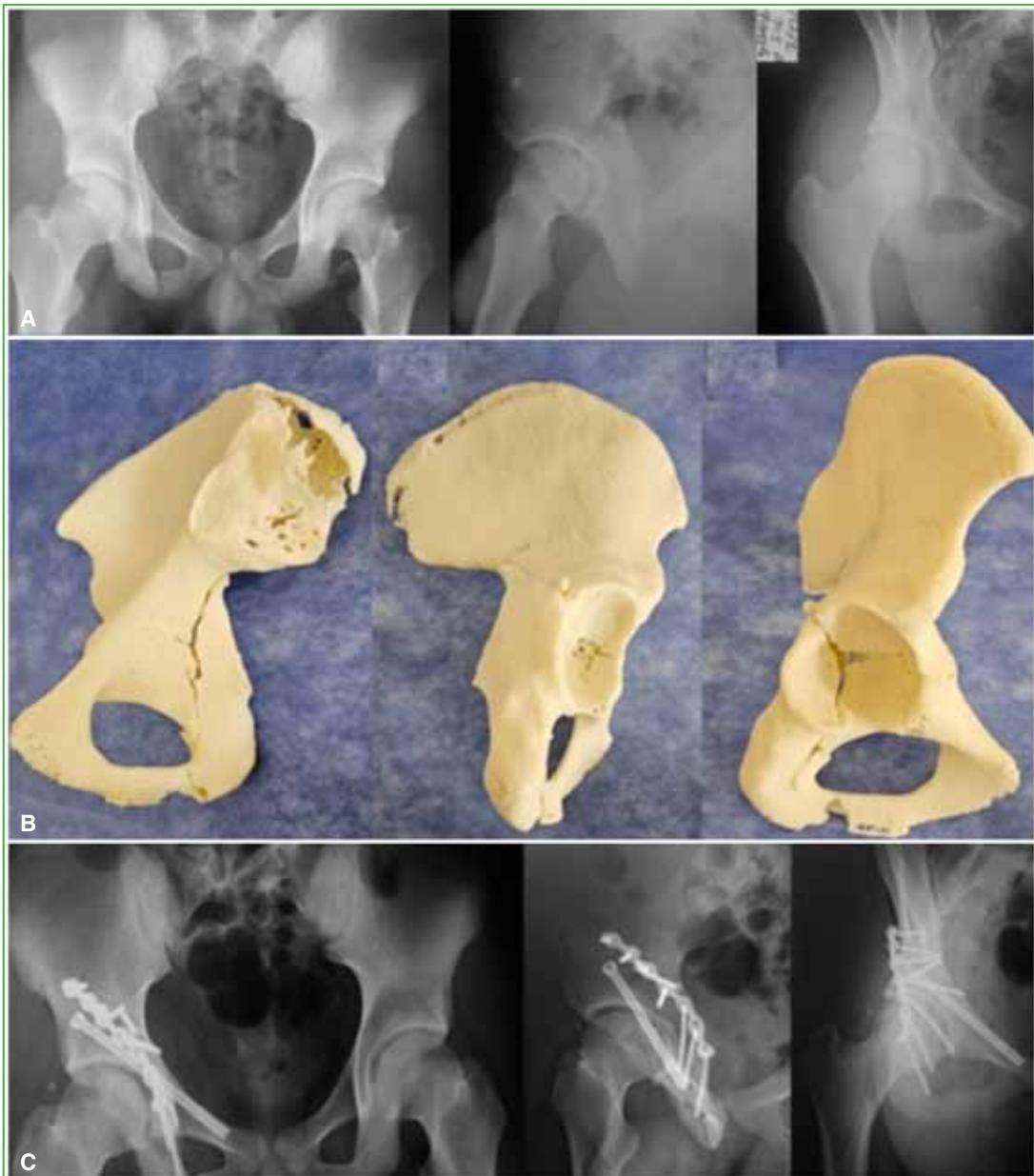


**Figura 1.** Caso clínico 1. **A.** Estudio radiográfico. Se observa la fractura del acetábulo derecho con compromiso de ambas columnas. **B.** Modelo de impresión 3D. **C.** Estudio radiográfico de control en el posoperatorio inmediato.

La réplica del acetábulo fracturado nos proporcionó una impresión precisa del volumen, el tamaño y la orientación de los fragmentos óseos de las columnas comprometidas, sirvió para medir la longitud de las placas por colocar y sus respectivos tornillos. El equipo quirúrgico refirió haber optimizado el tiempo quirúrgico y que no se habían producido complicaciones en la colocación de los implantes.

## CASO CLÍNICO 2

Varón de 16 años de edad que ingresó en el Servicio de Urgencia luego de sufrir un accidente en la vía pública (motocicleta). Tenía una fractura del acetábulo derecho con un trazo en "T" transverso yuxtatectal con trazo de fractura alto en la columna anterior (clasificación AO 6.2-B.2) (Figura 2A). Se procedió a la reducción y osteosíntesis con placa de reconstrucción de 3,5 mm y un tornillo canulado de 6,5 mm, y se diseñó el modelo de impresión 3D para la planificación quirúrgica. La cirugía se realizó a los nueve días de la fractura (Figura 2B y C).



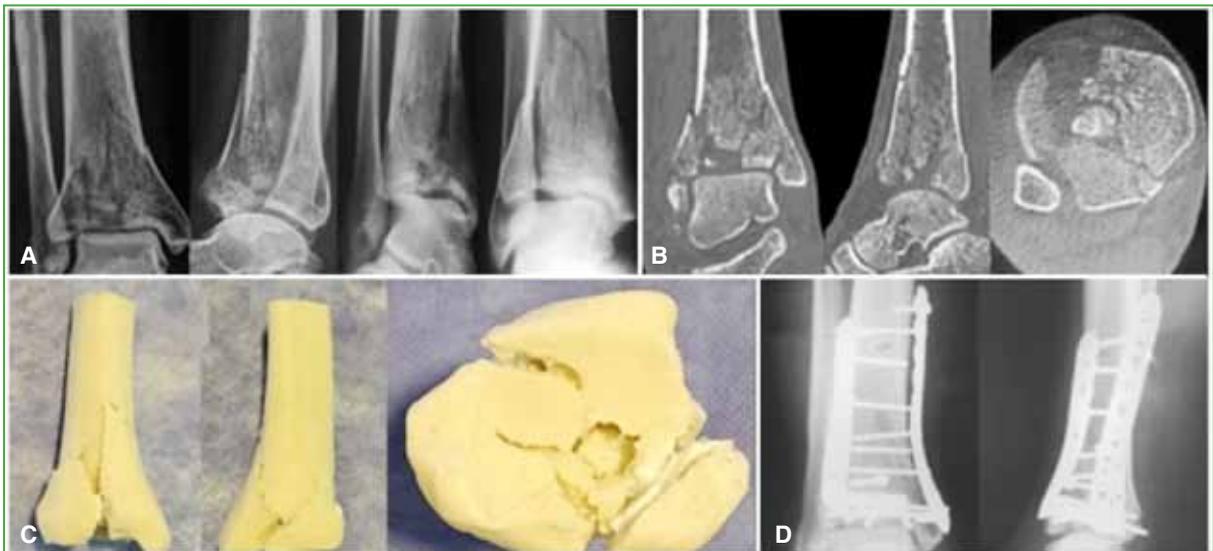
**Figura 2.** Caso clínico 2. **A.** Estudio radiográfico. Se visualiza la fractura del acetábulo derecho con un trazo en "T". **B.** Modelo de impresión 3D. **C.** Estudio radiográfico de control en el posoperatorio inmediato.

La planificación quirúrgica con el modelo 3D permitió evaluar, con precisión, la anatomía de la fractura y planificar la reducción. Durante la operación, ayudó al equipo quirúrgico a guiarse en la anatomía de la fractura y a la correcta colocación de los implantes.

### CASO CLÍNICO 3

Mujer de 39 años de edad que ingresó en el Servicio de Urgencia tras una caída de altura (2 m). Tenía una fractura del pilón tibial derecho con trazo articular completo, metafisario complejo, epifisario complejo (clasificación AO 4.3-C3) (Figura 3A y B).

En el Servicio de Urgencia, se procedió a la reducción y fijación con un tutor externo y se indicó como tratamiento definitivo la reducción y osteosíntesis con dos placas anatómicas para el extremo distal de la tibia, cirugía que se realizó a las dos semanas de la fractura, por la evolución de las partes blandas, con la planificación previa en un modelo 3D (Figura 3C y D).



**Figura 3.** Caso clínico 3. **A y B.** Estudios radiográfico y tomográfico. Se observa la fractura del pilón tibial derecho con un trazo epifisario complejo, metafisario complejo. **C.** Modelo de impresión 3D. **D.** Imágenes radiográficas en el posoperatorio inmediato.

El uso del modelo 3D permitió observar, de manera tridimensional, los trazos de fractura y planificar la reducción; ver, con más precisión, el hundimiento articular y considerar el empleo de injerto óseo y, de esta forma, optimizar los tiempos en la cirugía. Por otro lado, resultó útil a la hora de explicarle al paciente su cuadro y describir la técnica quirúrgica.

## CASO CLÍNICO 4

Mujer de 26 años de edad que ingresó por Consultorio Externo por presentar escoliosis idiopática, con curvatura torácica principal T3-L1 estructurada de 54° y una curva lumbar secundaria de 30° (clasificación de Lenke IA+) (Figura 4A y B).

Se indicó reducción y artrodesis selectiva de la curva principal. Se creó un modelo de impresión 3D para la planificación quirúrgica (Figura 4C-E). El modelo 3D nos permitió entender, con más claridad, la deformidad en las tres dimensiones y poder explicar, de forma más gráfica, la cirugía a la paciente y los familiares. El uso intraquirúrgico permitió ver, con más detalle, el punto de entrada y la orientación de los tornillos. No hubo complicaciones durante la cirugía, ni pérdida de potenciales evocados.

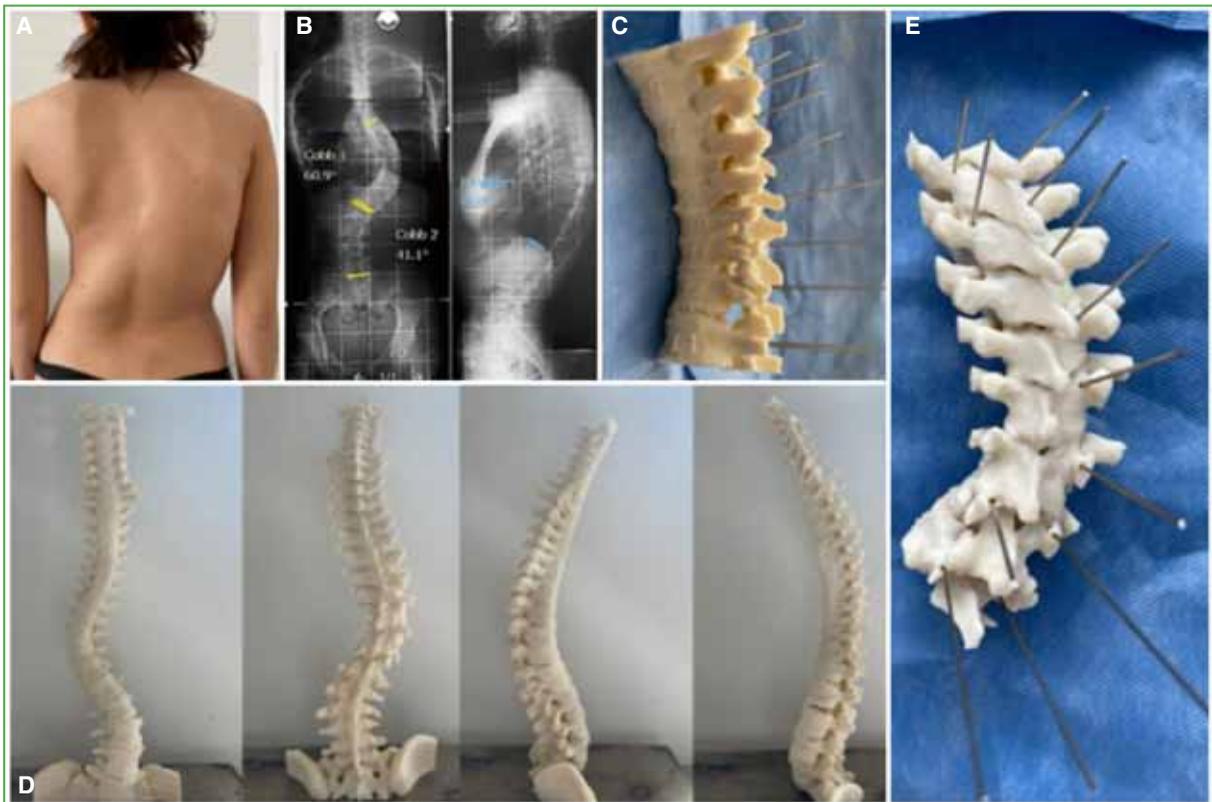


**Figura 4.** Caso clínico 4. **A.** Imagen clínica de la paciente con escoliosis idiopática. **B.** Espinograma de frente y de perfil. **C.** Modelo de impresión 3D. **D.** Control radiográfico en el posoperatorio inmediato. **E.** Imagen clínica a los 21 días de la cirugía.

## CASO CLÍNICO 5

Mujer de 19 años de edad con escoliosis idiopática, curva torácica principal T6-L1 de 61° y curva lumbar secundaria L2-L5 de 40° (clasificación de Lenke 1B+) (Figura 5A y B). Se indicó artrodesis selectiva de la curva principal y se creó un modelo de impresión 3D (Figura 5C-E).

Con el modelo pudimos mostrar a la paciente y a su familia la deformidad espinal, y explicarles el procedimiento quirúrgico y sus complicaciones. A su vez, mediante el programa de diseño, identificamos los puntos de entrada y el trayecto de los tornillos pediculares y elaboramos un modelo de impresión más pequeño con orificios para colocar clavijas y poder guiarnos en la cirugía. Aún se aguarda el turno para realizar la cirugía.

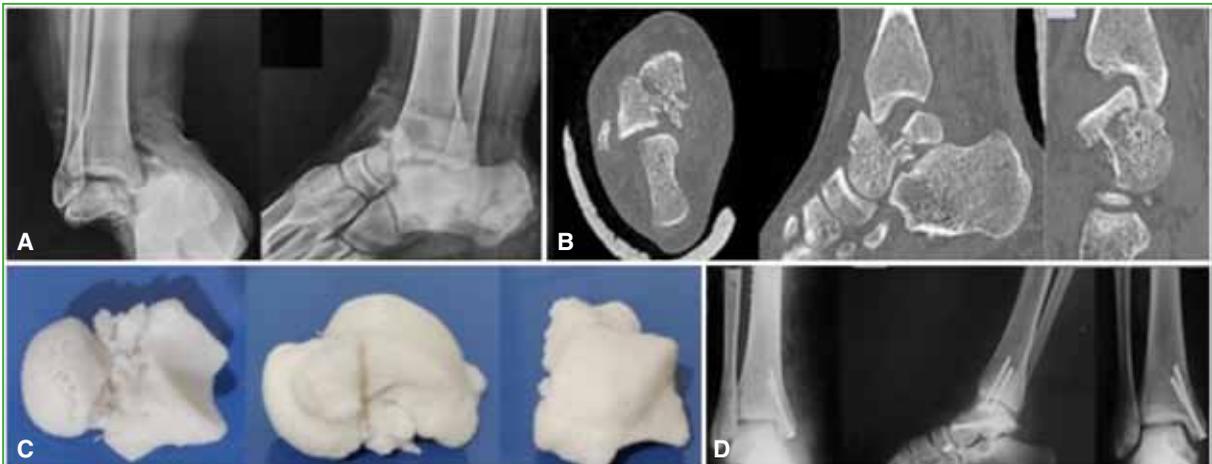


**Figura 5.** Caso clínico 5. **A.** Imagen clínica de la mujer con escoliosis idiopática. **B.** Espinograma de frente y de perfil. **C-E.** Modelos de impresión 3D, donde se observa la deformidad espinal en los tres planos y la simulación del trayecto de los tornillos.

## CASO CLÍNICO 6

Mujer de 22 años de edad que ingresó en el Servicio de Urgencia tras un accidente ecuestre. Se constató una luxofractura expuesta del astrágalo derecho y se procedió a realizar una limpieza mecánico-quirúrgica y la reducción e inmovilización con férula suropedia. En las radiografías y la tomografía, se observó la fractura del astrágalo derecho con un trazo complejo que comprometía el cuello, compatible con el tipo III de la clasificación de Hawkins (Figura 6A y B).

Se indicó inicialmente reducción y osteosíntesis con placa de minifragmento, porque, en los estudios complementarios, se había observado conminución en la pared lateral y posterior. Sin embargo, al tener el modelo 3D impreso y planificar los pasos quirúrgicos, se detectó que el trazo de la pared posterior no era conminuto y se modificó la conducta utilizando dos tornillos canulados de 3 mm y dos de 4 mm (Figura 6C y D).



**Figura 6.** Caso clínico 6. **A y B.** Estudios radiográfico y tomográfico. Se observa la luxofractura subastragalina del pie derecho con un trazo en el cuello compatible con el tipo III de la clasificación de Hawkins. **C.** Modelo de impresión 3D. **D.** Control radiográfico en el posoperatorio inmediato.

## DISCUSIÓN

Las deformidades escolióticas y las fracturas articulares complejas, como las del pilón tibial y acetábulo, como las expuestas en este artículo, representan un reto en el tratamiento quirúrgico debido a su complejidad estructural tridimensional. La tecnología de impresión 3D nos permitió realizar una simulación exacta de los cambios anatómicos en el tamaño real, lo que facilitó la planificación con un grado de precisión que no es posible mediante instrumentos convencionales, además de profundizar en el conocimiento anatómico. La reducción lograda fue más precisa al contar con una réplica tridimensional de la región afectada.<sup>9</sup>

Es evidente que el empleo de modelos 3D ahorra tiempo quirúrgico, pero el procesamiento de imágenes y la impresión llevan varias horas. El tiempo necesario para producirlo oscila aproximadamente entre 5 y 72 h, lo que es una limitación potencial para su uso en un entorno de trauma agudo, además de que requiere recursos económicos, humanos y tecnológicos.

En la actualidad, aún faltan estudios científicos prospectivos y comparativos, donde se analice la relación entre el uso de la impresión 3D y los beneficios significativos para el paciente y el equipo quirúrgico, como el acortamiento de los tiempos de cirugía o la disminución de las complicaciones intraquirúrgicas. Sin embargo, creemos que el uso de la impresión 3D en auge en el área de la Ortopedia y Traumatología, traerá consigo útiles avances para la especialidad.

## CONCLUSIÓN

Con el auge de la impresión 3D en el área de la Ortopedia y Traumatología, podremos facilitar el entendimiento de fracturas y deformidades complejas y mejorar las planificaciones prequirúrgicas, como así lo muestra nuestra experiencia. Aún faltan estudios para evaluar los beneficios significativos para el paciente y el equipo médico, como la reducción del tiempo operatorio y la pérdida de sangre intraoperatoria, y la exposición a la radiación.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

ORCID de A. L. Garay: <https://orcid.org/0009-0003-7304-6843>  
 ORCID de M. Cinalli: <https://orcid.org/0000-0003-2057-4469>  
 ORCID de L. Fernández: <https://orcid.org/0009-0007-3165-4540>

ORCID de F. Inchaurregui: <https://orcid.org/0009-0007-7306-5138>  
 ORCID de J. A. Ruesta Alava: <https://orcid.org/0009-0008-3082-5114>  
 ORCID de A. Arrieta: <https://orcid.org/0009-0001-3656-1075>

## BIBLIOGRAFÍA

1. Morgan C, Khatri C, Hanna SA, Ashrafian H, Sarraf KM. 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://doi.org/10.5312/wjo.v11.i1.57>
2. Moya D, Gobbato B, Valente S, Roca R. Uso de planificación preoperatoria e impresión 3D en ortopedia y traumatología: ingresando en una nueva era. *Acta Ortop Mex* 2022;36(1):39-47. PMID: 36099572
3. Skelley NW, Smith MJ, Ma R, Cook JL. Three-dimensional printing technology in Orthopaedics. *J Am Acad Orthop Surg* 2019;27(24):918-25. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-18-00746>
4. D'Urso PS, Askin G, Earwaker JS, Merry GS, Thompson RG, Barker TM, et al. Spinal biomodeling. *Spine* 1999;24(12):1247-51. <https://doi.org/10.1097/00007632-199906150-00013>
5. Weidert S, Andress S, Suero E. 3D-Druck in der unfallchirurgischen Fort- und Weiterbildung. *Unfallchirurg* 2019;122:444-51. <https://doi.org/10.1007/s00113-019-0650-8>
6. Pan A, Ding H, Hai Y, Liu Y, Hai JJ, Yin P, et al. The value of three-dimensional printing spine model in severe spine deformity correction surgery. *Global Spine J* 2023;13(3):787-95. <https://doi.org/10.1177/21925682211008830>
7. Chana Rodríguez F, Pérez Mañanes R, Narbona Cárceles FJ, Gil Martínez P. 3D printing utility for surgical treatment of acetabular fractures. Utilidad de la impresión 3D para el tratamiento quirúrgico de las fracturas acetabulares. Beca proyecto de investigación SECOT 2014. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2018;62(4):231-9. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2018.02.007>
8. Colleen M, Wixted BS, Jonathan R, Peterson MD, Rishin J, Kadakia MD, et al. Three-dimensional printing in Orthopaedic surgery: Current applications and future developments. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 2021;5(4):e20.00230-11. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-20-00230>
9. Mediavilla-Santos L, García-Sevilla M, Calvo-Haro JA, Ruiz Alba MT, Pérez-Mañanes R, Pascau González J, et al. [Translated article] Validation of patient-specific 3D impression models for pelvic oncological orthopedic surgery. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol* 2022;66(5):T403-T409. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2022.07.011>