

Revisión sistemática sobre la impresión 3D personalizada para inmovilización de fracturas pediátricas

Systematic review of customized 3D printing for pediatric fracture immobilization

Recibido: 16/08/2025 - Aceptado: 12/11/2025

Doménica Vanessa Carrera Abarca

<https://orcid.org/0009-0004-1998-5636>

dvca65@gmail.com

Hospital San Juan. Riobamba, Ecuador

Michelle Stephanie Baño Romero

<https://orcid.org/0009-0007-9216-7244>

michelle97.ro@gmail.com

Hospital General Riobamba less. Riobamba, Ecuador

Evelyn Estefanía Morales Taipe

<https://orcid.org/0009-0005-2413-3670>

evemorales.md@gmail.com

Hospital General Latacunga. Latacunga, Ecuador

Lizbeth Carolina Llanga Herrera

<https://orcid.org/0009-0000-0392-3378>

karolestarf@gmail.com

Consultorio de Especialidades Médicas. Riobamba, Ecuador

Resumen

El estudio analizó la evidencia científica reciente sobre la aplicación de la impresión tridimensional (3D) personalizada en la inmovilización de fracturas pediátricas, mediante una revisión sistemática con enfoque cualitativo basada en la metodología PRISMA en la cual se utilizó artículos científicos de los últimos 10 años de bases de datos científicas, obteniendo 26 estudios para el análisis. Los resultados evidenciaron que esta tecnología ofreció una alternativa innovadora a los métodos convencionales, al permitir una inmovilización anatómicamente precisa, ligera y cómoda para los niños. Diversos estudios demostraron mejoras en la ventilación cutánea, la higiene, la aceptación estética y la recuperación funcional, reduciendo complicaciones derivadas del uso de yesos tradicionales. Además, se identificó que la impresión 3D no solo tiene aplicaciones clínicas, sino también pedagógicas y de planificación quirúrgica, fortaleciendo la integración entre medicina, ingeniería y tecnología digital. Sin embargo, se advirtieron limitaciones relacionadas con la falta de estandarización, los costos de producción y la necesidad de marcos normativos claros para su implementación segura. En conclusión, la impresión 3D personalizada se consolidó como una herramienta prometedora para la ortopedia pediátrica, con el potencial de transformar los enfoques terapéuticos tradicionales hacia modelos más personalizados, eficientes y sostenibles, siempre que se continúe investigando su validación clínica y su integración regulatoria en los sistemas de salud.

Palabras clave: impresión 3D, fracturas, pediatría

Abstract

The study analyzed recent scientific evidence on the application of personalized three-dimensional (3D) printing in the immobilization of pediatric fractures, using a systematic review with a qualitative approach based on the PRISMA methodology, which used scientific articles from the last 10 years from scientific databases, obtaining 26 studies for analysis. The results showed that this technology offered an innovative alternative to conventional methods, allowing anatomically accurate, lightweight, and comfortable immobilization for children. Several studies

demonstrated improvements in skin ventilation, hygiene, aesthetic acceptance, and functional recovery, reducing complications associated with the use of traditional casts. In addition, it was identified that 3D printing has not only clinical applications, but also educational and surgical planning applications, strengthening the integration between medicine, engineering, and digital technology. However, limitations were noted related to the lack of standardization, production costs, and the need for clear regulatory frameworks for its safe implementation. In conclusion, customized 3D printing has established itself as a promising tool for pediatric orthopedics, with the potential to transform traditional therapeutic approaches toward more personalized, efficient, and sustainable models, provided that research continues into its clinical validation and regulatory integration into healthcare systems.

Keywords: 3D printing, fractures, pediatrics

Introducción

La inmovilización de fracturas es uno de los pilares esenciales en el tratamiento ortopédico, especialmente en las poblaciones pediátricas en las que la fragilidad ósea debida al crecimiento y la elevada actividad física aumenta la incidencia de lesiones musculoesqueléticas. Los métodos tradicionales, como el uso de yesos o férulas convencionales, son efectivos en la estabilización del hueso, pero tienen importantes limitaciones en términos de comodidad, higiene, ventilación cutánea y precisión anatómica. La impresión tridimensional (3D) ha surgido como una alternativa tecnológica capaz de ofrecer opciones personalizadas que se adaptan a la anatomía del paciente, mejoran el confort y optimizan el proceso de recuperación.

En la última década, la evolución de la impresión tridimensional ha simplificado la creación a medida de soportes ortopédicos, empleando modelos que se adaptan al cuerpo, diseños ligeros que permiten la ventilación y materiales seguros para el organismo, todo ello orientado a las necesidades particulares de cada persona. A pesar de esto, aún no se cuenta con suficientes estudios que demuestren qué tan bien funcionan, cuánto duran y si realmente vale la pena la inversión, sobre todo cuando se trata del área pediátrica. Persisten aún dudas respecto a qué tan fuertes son los materiales, si son fáciles de usar, si los niños y quienes los cuidan los aceptan bien y cómo se pueden incorporar a los servicios de salud. Todo esto resalta la importancia de analizar lo que se ha investigado hasta ahora para entender en qué punto está y cuáles son los desafíos que se deben superar para que se utilicen más en el manejo de fracturas en niños.

El auge de la impresión tridimensional en el ámbito ortopédico se debe a que permite aunar la exactitud digital, la adaptación a cada anatomía y la conciencia ecológica en la práctica médica. La capacidad de crear inmovilizadores que se ajustan como un guante a la forma del miembro afectado minimiza significativamente el peligro de problemas en la piel, mejora la circulación del aire y simplifica la limpieza del aparato, algo crucial sobre todo en niños, a quienes les suele costar mantener los yesos clásicos en condiciones óptimas. Además, la comodidad y el aspecto de los dispositivos hechos con impresión 3D ayudan a que el paciente siga el tratamiento al pie de la letra y contribuyen a una mejor experiencia general. Para las instituciones, esto supone también una ocasión para usar mejor los medios disponibles, acelerar la rehabilitación y evolucionar hacia sistemas sanitarios más personalizados y eficaces.

La literatura científica muestra resultados alentadores. Cano et al. (2021) documentaron el uso clínico de modelos 3D en la planificación quirúrgica y la personalización de dispositivos ortopédicos, mientras que Xu et al. (2025) demostraron que las férulas impresas en 3D ofrecen ventajas en ventilación, peso y aceptación estética en comparación con los yesos convencionales. Chen et al. (2017) reportaron, en pacientes pediátricos, una mejor adaptación del dispositivo y mayor satisfacción familiar, junto con un descenso en el tiempo de recuperación funcional. No obstante, la mayoría de los estudios disponibles se concentran en experiencias aisladas o muestras reducidas, lo que evidencia la necesidad de revisiones amplias y sistemáticas que consoliden los hallazgos y orienten la investigación futura hacia la validación clínica de esta tecnología.

El objetivo de este estudio es ampliar la información disponible sobre las nuevas tecnologías que se están aplicando en la ortopedia infantil y ofrecer un punto de partida para estudios e innovaciones futuras dentro del campo de la medicina.

Metodología

El estudio se desarrolló como una revisión bibliográfica de enfoque cualitativo, orientada a analizar y sintetizar la evidencia científica reciente sobre el uso de la impresión tridimensional aplicada a la inmovilización de fracturas en población pediátrica. El propósito central fue identificar los avances tecnológicos, los beneficios clínicos, las limitaciones observadas y las perspectivas futuras de esta técnica en el ámbito ortopédico infantil. Para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, el proceso de revisión se realizó siguiendo los

lineamientos metodológicos del protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptado al enfoque cualitativo del estudio.

La investigación adoptó un diseño de revisión con orientación sistemática, sustentado en la búsqueda, selección y análisis crítico de estudios publicados durante la última década, comprendida entre los años 2015 y 2025. Este tipo de diseño permitió integrar hallazgos provenientes de distintas fuentes y enfoques metodológicos, con el fin de construir una visión global, actualizada y contextualizada sobre el papel de la impresión 3D en la ortopedia pediátrica.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en bases de datos científicas de amplia difusión y prestigio internacional, entre las que destacan PubMed, ScienceDirect, SciELO y SpringerLink. Para optimizar la localización de estudios relevantes, se emplearon descriptores controlados en español e inglés, combinados mediante operadores booleanos, tales como “3D printing”, “custom immobilization”, “pediatric fractures”, “orthopedic splint”, “additive manufacturing in orthopedics”, “férulas impresas en 3D” y “fracturas pediátricas”.

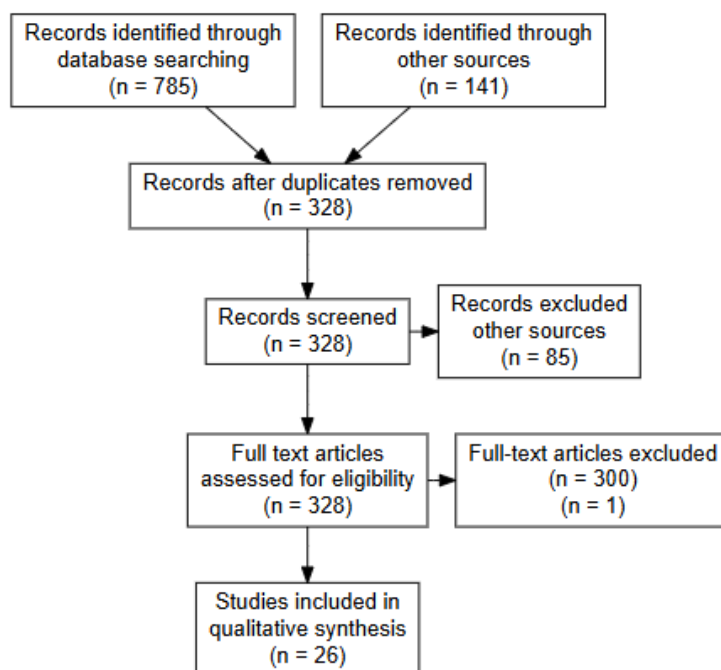
La aplicación de la metodología PRISMA permitió estructurar el proceso de búsqueda en fases claramente definidas: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión. En la primera fase se recopilaban los artículos potencialmente relevantes; en la segunda se eliminaron duplicados y publicaciones que no cumplían los criterios básicos; en la tercera se revisaron títulos y resúmenes para valorar su pertinencia; y, finalmente, se seleccionaron los textos completos que respondían a los objetivos del estudio. Cada publicación seleccionada fue sometida a una lectura analítica y se extrajeron datos relevantes sobre el diseño del estudio, la población participante, el tipo de intervención, los resultados principales y las conclusiones.

Criterios de inclusión: artículos publicados entre enero de 2015 y septiembre de 2025; estudios originales, revisiones sistemáticas o narrativas, reportes de caso y artículos de revisión tecnológica relacionados con la impresión 3D aplicada a la inmovilización o rehabilitación ortopédica pediátrica; publicaciones en español o inglés; investigaciones que incluyeran población pediátrica (0–18 años) o, en su defecto, comparaciones relevantes extrapolables al contexto infantil; documentos que describieran aspectos clínicos, técnicos o materiales asociados al diseño, fabricación o evaluación de férulas impresas en 3D.

Criterios de exclusión: artículos con más de 10 años de antigüedad; publicaciones sin acceso a texto completo o con información insuficiente para el análisis; estudios centrados exclusivamente en aplicaciones quirúrgicas o protésicas sin relación con la inmovilización; documentos duplicados, comunicaciones breves, resúmenes de congresos y literatura no científica; trabajos realizados en población exclusivamente adulta o animal

Figura 1

Metodología PRISMA aplicada



Resultados

Tabla 1

Fuentes de información

Nro.	Autor	Aporte a la investigación
1	(Khorsandi et al., 2021)	Analizaron las técnicas y materiales empleados en la impresión 3D y 4D en cirugía maxilofacial, demostrando que la elección del polímero influyó directamente en la biocompatibilidad y la rigidez del dispositivo. Este hallazgo fue relevante para el diseño de férulas pediátricas seguras y ergonómicas.
2	(Calderone et al., 2024)	Efectuaron una revisión sistemática sobre la aplicación de la impresión 3D en cirugía ortopédica pediátrica, concluyendo que esta herramienta mejoró los resultados quirúrgicos y la calidad de las inmovilizaciones. Asimismo, subrayaron la necesidad de desarrollar protocolos estandarizados para su uso clínico.
3	(Tsai & Greene, 2024)	Analizaron la impresión 3D en cirugía pediátrica general, observando que su aplicación redujo los riesgos operatorios y optimizó la planificación prequirúrgica. Este estudio aportó una visión global sobre el valor terapéutico de la tecnología en la población infantil.
4	(Higgins et al., 2025)	Realizaron un estudio clínico en el que demostraron que los yesos impresos en 3D mejoraron la función y la satisfacción reportada por los pacientes con fracturas estables. Los resultados evidenciaron la eficacia de la inmovilización tridimensional frente a los métodos convencionales
5	(Matteson et al., 2025)	Compararon la efectividad de ortesis impresas en 3D con los métodos tradicionales de inmovilización en fracturas del radio distal pediátrico, demostrando superioridad en confort, higiene y satisfacción del paciente. Los hallazgos aportaron evidencia cuantitativa y cualitativa sobre su efectividad clínica.
6	(Xu et al., 2025)	Realizaron un estudio clínico sobre el uso de férulas impresas en 3D combinadas con análisis de elementos finitos para el tratamiento de fracturas de radio distal pediátrico. Los resultados demostraron mejoras biomecánicas significativas y reducción de presión en zonas críticas, aportando evidencia sobre el diseño optimizado de férulas mediante simulación computacional.
7	(Benady et al., 2025)	Realizaron una revisión integral sobre los avances de la impresión 3D en ortopedia pediátrica, concluyendo que las férulas y moldes personalizados mejoraron la inmovilización ósea, disminuyeron las complicaciones cutáneas y optimizaron la recuperación funcional de los niños con fracturas.
8	(Chen et al., 2017)	Aplicaron yesos impresos en 3D personalizados para el tratamiento de fracturas de radio distal, observando beneficios significativos en ventilación, ligereza y comodidad. Este estudio representó una de las primeras experiencias clínicas que validaron el uso de férulas tridimensionales personalizada
9	(Vukicevic et al., 2017)	Analizaron el desarrollo de la impresión 3D en cardiología, y aunque su enfoque fue distinto, su trabajo aportó bases metodológicas que evidenciaron la evolución de la tecnología hacia aplicaciones clínicas específicas, como la ortopedia infantil.
10	(Hui et al., 2025)	Evaluaron la utilización de plantillas 3D en el tratamiento de fracturas epifisarias tibiales en pacientes pediátricos, concluyendo que esta técnica redujo los errores quirúrgicos y mejoró la alineación ósea. El estudio reforzó la precisión clínica de los dispositivos personalizados.
11	(Naehan & Volkan, 2024)	Revisaron las aplicaciones de la impresión 3D en odontología pediátrica, subrayando su capacidad para crear modelos anatómicamente precisos y adaptados al paciente. Su análisis demostró la versatilidad y adaptabilidad de esta tecnología en distintas áreas médicas infantiles.
12	(Bellia-Munzon et al., 2020)	Demostraron que la reconstrucción tridimensional facilitó la planificación quirúrgica y redujo los riesgos operatorios en procedimientos pediátricos complejos. Su estudio confirmó la utilidad de la impresión 3D como herramienta que permitió trasladar la precisión diagnóstica a la práctica clínica personalizada.
13	(Gobbato et al., 2022)	Desarrollaron una guía práctica sobre la planificación e impresión 3D en ortopedia, en la cual detallaron los pasos técnicos desde la adquisición de imágenes médicas hasta la fabricación del modelo. Este trabajo sirvió como referencia metodológica para la elaboración de férulas personalizadas.

14	(Yang et al., 2021)	Efectuaron un metaanálisis sobre las aplicaciones de la impresión 3D en fracturas traumáticas, concluyendo que la tecnología mejoró los resultados clínicos, redujo los tiempos quirúrgicos y aumentó la satisfacción de los pacientes. Sus resultados reforzaron la validez del uso de impresión 3D en traumatología pediátrica.
15	(Mantrana et al., 2018)	Exploraron el uso de modelos tridimensionales en la planificación quirúrgica y enseñanza de fracturas mandibulares, destacando su valor predictivo y educativo. Su trabajo validó el uso de modelos impresos como herramienta didáctica y de precisión anatómica.
16	(Cano et al., 2021)	Describieron el rol del cirujano ortopédico en la impresión 3D y analizaron los aspectos éticos y legales asociados a su implementación. Su investigación aportó un marco normativo que respaldó el uso seguro y responsable de férulas personalizadas en pacientes pediátricos
17	(Ianno et al., 2024)	Revisaron el desarrollo de formulaciones pediátricas mediante impresión 3D por extrusión, resaltando la capacidad de la tecnología para adaptarse a las características anatómicas y fisiológicas del paciente. Su investigación amplió la comprensión sobre la personalización biomédica aplicada a la infancia.
18	(Van Lieshout et al., 2022)	Realizaron una revisión sistemática sobre el uso de férulas impresas en 3D para el antebrazo, demostrando equivalencia clínica con los yesos convencionales, pero con ventajas en confort, ligereza y estética. Este trabajo representó una referencia fundamental para el uso de la impresión 3D en inmovilización pediátrica.
19	(Broggi-Angulo et al., 2023)	Presentaron un caso clínico en el que la planificación e impresión 3D fueron esenciales en la reconstrucción facial pediátrica, demostrando la precisión y la rapidez de la tecnología en el tratamiento de fracturas complejas. Su experiencia clínica reforzó la viabilidad de las férulas anatómicamente adaptadas.
20	(Ahmed et al., 2024)	Evaluaron el uso de la impresión 3D personalizada en la elaboración de medicamentos pediátricos, aportando evidencia sobre la seguridad y adaptabilidad de la tecnología en la atención infantil. Aunque se centró en farmacología, su investigación evidenció el potencial de la impresión 3D para crear soluciones personalizadas según las características fisiológicas de cada paciente
21	(Agarwal et al., 2022)	Analizaron la aplicación de la impresión tridimensional en fracturas y deformidades del pie, demostrando que esta tecnología permitió una mayor precisión anatómica y la fabricación de dispositivos de inmovilización personalizados. Su estudio evidenció que los yesos impresos en 3D mejoraron el ajuste y la comodidad del paciente en comparación con los métodos tradicionales de inmovilización.
22	(Raza et al., 2021)	Efectuaron una revisión sistemática sobre la impresión 3D en osteotomías pediátricas, concluyendo que su uso mejoró la precisión quirúrgica y redujo los tiempos de recuperación. Su evidencia fue extrapolable a la inmovilización ósea personalizada en fracturas infantiles.
23	(Katt et al., 2020)	Describieron dos casos clínicos en los que se emplearon férulas personalizadas impresas en 3D para fracturas del miembro superior en niños. Los resultados mostraron mayor confort, mejor higiene y una recuperación más rápida, confirmando los beneficios prácticos del enfoque personalizado.
24	(Goetstouwers et al., 2022)	Revisaron el uso de la impresión 3D en cirugía ortopédica infantil, destacando su valor en la fabricación de guías quirúrgicas y dispositivos personalizados. Su análisis confirmó la factibilidad de integrar férulas impresas en tratamientos conservadores de fracturas pediátrica
25	(Garay et al., 2024)	Documentaron una serie de casos en ortopedia en los que se emplearon modelos impresos en 3D, demostrando su utilidad tanto en la planificación quirúrgica como en la enseñanza médica. Su trabajo mostró la versatilidad de la impresión 3D en el campo de la ortopedia y traumatología pediátrica
26	(Moya et al., 2022)	Describieron la implementación de la planificación preoperatoria y la impresión 3D en ortopedia, mostrando un impacto positivo en la toma de decisiones y la precisión de los tratamientos. Su aporte metodológico respaldó la personalización de dispositivos y férulas pediátricas.

Discusión

El análisis de la literatura científica permitió evidenciar que la impresión tridimensional (3D) personalizada representó un avance significativo en la inmovilización de fracturas pediátricas, al integrar precisión anatómica, confort y seguridad en el tratamiento ortopédico. Los estudios revisados coincidieron en que la aplicación de esta tecnología mejoró la calidad de la inmovilización y la satisfacción del paciente, al tiempo que redujo complicaciones cutáneas y tiempos de recuperación. Estos hallazgos respaldaron la hipótesis de que la impresión 3D constituyó una alternativa eficaz frente a los métodos convencionales, debido a su capacidad para reproducir estructuras anatómicas específicas y adaptadas al paciente infantil.

En comparación con los enfoques tradicionales, las investigaciones analizadas demostraron una clara tendencia hacia la superioridad clínica y funcional de los dispositivos impresos en 3D. Mientras los yesos convencionales presentaron limitaciones en ventilación, higiene y ergonomía, las férulas tridimensionales ofrecieron ligereza, transpirabilidad y un ajuste anatómico que favoreció la movilidad temprana. Este patrón fue consistente con lo planteado por Higgins et al. (2025) y Matteson et al. (2025), quienes demostraron que los dispositivos personalizados no solo incrementaron el confort, sino que también facilitaron la recuperación funcional. En este sentido, los resultados se alinearon con la teoría del diseño biomédico adaptativo, la cual sostiene que la personalización estructural mejora la respuesta fisiológica del tejido durante la rehabilitación.

Desde una perspectiva metodológica, la revisión permitió identificar la relevancia de la simulación computacional y el análisis de elementos finitos como herramientas complementarias en la optimización de férulas. Los estudios de Xu et al. (2025) y Calderone et al. (2024) evidenciaron que estos métodos contribuyeron a la validación biomecánica de los modelos, garantizando una distribución uniforme de presiones y reduciendo el riesgo de lesiones por compresión. Estos hallazgos fueron consistentes con los principios de la ingeniería ortopédica moderna, que prioriza la integración entre modelado digital y fabricación aditiva para garantizar resultados clínicos reproducibles.

Asimismo, se observó un consenso en la literatura respecto a la utilidad de la impresión 3D no solo como técnica terapéutica, sino también como recurso de planificación quirúrgica y enseñanza médica. Los aportes de Garay et al. (2024) y Bellia-Munzon et al. (2020) destacaron el papel pedagógico de los modelos tridimensionales, al facilitar la comprensión anatómica y la simulación de procedimientos, lo que reforzó la capacidad de toma de decisiones clínicas en contextos pediátricos. Esta versatilidad fortaleció la pertinencia de la impresión 3D como herramienta transversal entre la educación, la práctica médica y la innovación tecnológica.

No obstante, algunos autores subrayaron limitaciones vinculadas a la estandarización de protocolos clínicos, los costos de producción y la necesidad de validación regulatoria. Calderone et al. (2024) y Cano et al. (2021) advirtieron que la ausencia de guías universales dificultó la implementación rutinaria de férulas impresas, especialmente en entornos hospitalarios con recursos limitados. Este aspecto reflejó la brecha existente entre el desarrollo tecnológico y la aplicación clínica, planteando la necesidad de establecer marcos normativos y éticos que respalden su uso seguro en pacientes pediátricos.

También reveló la existencia de una progresiva diversificación de aplicaciones médicas de la impresión 3D, extendiéndose desde la ortopedia hasta áreas como la odontología y la farmacología pediátrica. Investigaciones como las de Ahmed et al. (2024) y Naehan & Volkan (2024) evidenciaron que la personalización tridimensional permitió adaptar tratamientos y formulaciones a las particularidades fisiológicas del niño, ampliando el alcance terapéutico de la tecnología. Esta tendencia respaldó la hipótesis de que la impresión 3D representó una herramienta de medicina personalizada, con potencial para transformar los paradigmas tradicionales de atención infantil.

Los hallazgos revisados destacaron la pertinencia científica y práctica del uso de la impresión 3D personalizada en la inmovilización de fracturas pediátricas. La integración entre ingeniería, medicina y diseño digital generó soluciones más seguras, funcionales y estéticamente aceptables para los pacientes y sus familias. Aunque persisten desafíos regulatorios y logísticos, la evidencia acumulada demostró que la impresión 3D ofreció una alternativa viable, sustentada en principios de biocompatibilidad, sostenibilidad y precisión clínica. Su aplicación futura dependerá de la consolidación de protocolos estandarizados y del fortalecimiento de la colaboración interdisciplinaria entre ingenieros biomédicos y especialistas ortopédicos.

Conclusiones

El estudio permitió establecer que la impresión tridimensional personalizada representó un recurso de alta precisión con implicaciones directas en la modernización del tratamiento ortopédico infantil. Se concluyó que su valor radicó en la capacidad de integrar ciencia, tecnología y medicina para ofrecer soluciones adaptadas a las necesidades anatómicas y funcionales de cada paciente. Asimismo, se consideró que esta herramienta impulsó una nueva visión de la práctica clínica, orientada hacia la personalización terapéutica y la sostenibilidad

técnica. Finalmente, se reconoció que futuras investigaciones deberán profundizar en la validación clínica y normativa de esta tecnología, a fin de consolidar su incorporación segura y efectiva en el ámbito pediátrico.

Referencias

- Agarwal, R., Malhotra, S., Gupta, V., & Jain, V. (2022). The application of Three-dimensional printing on foot fractures and deformities: A mini-review. *Annals of 3D Printed Medicine*, 5, 100046. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2022.100046>
- Ahmed, M., Tomlin, S., Tuleu, C., & Garfield, S. (2024). Real-World Evidence of 3D Printing of Personalised Paediatric Medicines and Evaluating Its Potential in Children with Cancer: A Scoping Review. *Pharmaceutics*, 16(9), 1212. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16091212>
- Bellia-Munzon, G., Martinez, J., Toselli, L., Nazar Peirano, M., Sanjurjo, D., Vallee, M., & Martinez-Ferro, M. (2020). From bench to bedside: 3D reconstruction and printing as a valuable tool for the chest wall surgeon. *Journal of Pediatric Surgery*, 55(12), 2703-2709. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.07.010>
- Benady, A., Gortzak, Y., Ovadia, D., Golden, E., Sigal, A., Taylor, L. A., Paranjape, C., Solomon, D., & Gigi, R. (2025). Advancements and applications of 3D printing in pediatric orthopedics: A comprehensive review. *Journal of Children's Orthopaedics*, 19(2), 119-138. <https://doi.org/10.1177/18632521251318552>
- Broggi-Angulo, A., Salas-Moscoso, E., Macarlupú-Atarama, J. A., & Broggi-Ruiz, A. G. (2023). Planificación e impresión en 3D en reconstrucción facial por fractura múltiple de alta complejidad en un paciente pediátrico: A propósito, un caso. *Investigación e Innovación Clínica y Quirúrgica Pediátrica*, 1(2), 63-68. <https://doi.org/10.59594/iicqp.2023.v1n2.67>
- Calderone, D., Cesarelli, G., Ricciardi, C., Amato, F., & Clemente, F. (2024). 3D printing application for orthopedic pediatric surgery – a systematic review. *Rapid Prototyping Journal*, 30(11), 276-288. <https://doi.org/10.1108/RPJ-05-2024-0222>
- Cano, P., Calvo-Haro, J. A., Fillat-Gomà, F., Andrés-Cano, I., & Perez-Mañanes, R. (2021). Papel del cirujano ortopédico y traumatólogo en la impresión 3D: Aplicaciones actuales y aspectos legales para una medicina personalizada. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 65(2), 138-151. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2020.06.014>
- Chen, Y.-J., Lin, H., Zhang, X., Huang, W., Shi, L., & Wang, D. (2017). Application of 3D-printed and patient-specific cast for the treatment of distal radius fractures: Initial experience. *3D Printing in Medicine*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s41205-017-0019-y>
- Garay, A. L., Cinalli, M., Fernández, L., Inchaurregui, F., Ruesta Alava, J. A., Arrieta, A., & Bazán, P. L. (2024). Uso de modelos de impresión 3D en Ortopedia y Traumatología: Serie de casos. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, 89(3), 266-274. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2024.89.3.1839>
- Gobbato, B., Moya, D., Menor Fusaro, F., & Valente, S. (2022). Guía práctica de planificación e impresión 3D en Ortopedia y Traumatología. *Revista de la Asociación Argentina de Ortopedia y Traumatología*, 87(1), 122-130. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2022.87.1.1416>
- Goetstouwers, S., Kempink, D., The, B., Eygendaal, D., Van Oirschot, B., & Van Bergen, C. J. (2022). Three-dimensional printing in paediatric orthopaedic surgery. *World Journal of Orthopedics*, 13(1), 1-10. <https://doi.org/10.5312/wjo.v13.i1.1>
- Higgins, M. J., Gomez, R. W., Storino, M., Wang, N., Strouse, A., Zook, Z., Coffield, K., & Greenhill, D. A. (2025). 3D-Printed Casts Improve Patient-Reported Function and Satisfaction in Children With Stable Fracture Patterns. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 45(9), 546-551. <https://doi.org/10.1097/BPO.0000000000003009>
- Hui, T., Wang, J., Yu, Y., Qiang, L., Dong, H., & Lin, W. (2025). Clinical study of 3D printing template in the treatment of pediatric distal tibial epiphyseal fracture. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 26(1), 365. <https://doi.org/10.1186/s12891-025-08632-w>
- Ianno, V., Vurpillot, S., Prillieux, S., & Espeau, P. (2024). Pediatric Formulations Developed by Extrusion-Based 3D Printing: From Past Discoveries to Future Prospects. *Pharmaceutics*, 16(4), 441. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16040441>
- Katt, B., Imbergamo, C., Seigerman, D., Rivlin, M., & Beredjiklian, P. K. (2020). The use of 3D printed customized casts in children with upper extremity fractures: A report of two cases. *The Archives of Bone and Joint Surgery, Online First*. <https://doi.org/10.22038/abjs.2020.47722.2342>
- Khorsandi, D., Fahimipour, A., Abasian, P., Saber, S. S., Seyedi, M., Ghanavati, S., Ahmad, A., De Stephanis, A. A., Taghavinezhaddilami, F., Leonova, A., Mohammadinejad, R., Shabani, M., Mazzolai, B., Mattoli, V.,

- Tay, F. R., & Makvandi, P. (2021). 3D and 4D printing in dentistry and maxillofacial surgery: Printing techniques, materials, and applications. *Acta Biomaterialia*, 122, 26-49. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2020.12.044>
- Mantrana, G., Jacobo, O., Hartwing, D., & Giachero, V. (2018). Modelos de impresión tridimensional en la planificación preoperatoria y en la enseñanza académica de las fracturas mandibulares. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*, 44(2), 193-201. <https://doi.org/10.4321/S0376-78922018000200012>
- Matteson, E., Blackburn, J., Vincent, C., Carter, H., Quinn, M., Paull, F., Hare, A., Sims, M., & Schmitt, D. M. (2025). 3D-Printed Orthoses vs Conventional Immobilization Methods for Pediatric Distal Radius Fractures. *JBJS Journal of Orthopaedics for Physician Assistants*, 13(3), e25.00006. <https://doi.org/10.2106/JBJS.JOPA.25.00006>
- Moya, D., Gobbato, B., Valente, S., & Roca, R. (2022). Uso de planificación preoperatoria e impresión 3D en ortopedia y traumatología: Ingresando en una nueva era. *Acta Ortopédica Mexicana*, 36(1), 39-47. <https://doi.org/10.35366/106758>
- Naehan, A., & Volkan, C. (2024). Current applications of three-dimensional (3D) printing in pediatric dentistry: A literature review. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*, 48(5), 4. <https://doi.org/10.22514/jocpd.2024.099>
- Raza, M., Murphy, D., & Gelfer, Y. (2021). The effect of three-dimensional (3D) printing on quantitative and qualitative outcomes in paediatric orthopaedic osteotomies: A systematic review. *EFORT Open Reviews*, 6(2), 130-138. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.200092>
- Tsai, A. Y., & Greene, A. C. (2024). 3D printing in pediatric surgery. *Seminars in Pediatric Surgery*, 33(1), 151385. <https://doi.org/10.1016/j.sempedsurg.2024.151385>
- Van Lieshout, E. M. M., Verhofstad, M. H. J., Beens, L. M., Van Bakkum, J. J. J., Willemsen, F., Janzing, H. M. J., & Van Vledder, M. G. (2022). Personalized 3D-printed forearm braces as an alternative for a traditional plaster cast or splint; A systematic review. *Injury*, 53, S47-S52. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2022.07.020>
- Vukicevic, M., Mosadegh, B., Min, J. K., & Little, S. H. (2017). Cardiac 3D Printing and its Future Directions. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 10(2), 171-184. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.12.001>
- Xu, C., Wang, L., Zhang, M., Li, X., & Li, K. (2025). A clinical study on the application of three-dimensionally printed splints combined with finite element analysis in paediatric distal radius fractures. *Frontiers in Pediatrics*, 13, 1559762. <https://doi.org/10.3389/fped.2025.1559762>
- Yang, S., Lin, H., & Luo, C. (2021). Meta-Analysis of 3D Printing Applications in Traumatic Fractures. *Frontiers in Surgery*, 8, 696391. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.696391>