



Impresión tridimensional de prótesis de dedo de bajo costo en paciente con transferencia de dedos del pie a la mano

Low-cost three-dimensional printed finger prosthesis in a toe to hand transferred patient

Dr. José Eduardo Telich-Tarriba,^{*,†,‡,||} Dr. Alberto Moscona-Nissan,[§]
Dr. Osvaldo Iván Guevara-Valmaña,^{*,**} Ing. Edna Rangel-Rangel,^{¶, ‡‡}
Ing. Miguel Ángel Santiago-Gorostieta^{¶, §§}

Palabras clave:

diseño protésico,
impresión
tridimensional,
prótesis de dedo,
amputación traumática,
manufactura aditiva.

Keywords:

prosthetic design,
three-dimensional
printing, finger
prosthesis, traumatic
amputation, additive
manufacturing.

* División de Cirugía Plástica y Reconstructiva, Hospital General «Dr. Manuel Gea González». División de Estudios de Postgrado, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
† Cirujano plástico. Departamento de Cirugía Plástica, Hospital Ángeles Pedregal. Ciudad de México, México.
‡ Escuela de Medicina, Universidad Panamericana. Ciudad de México, México.
ORCID: 0000-0002-0141-7591

RESUMEN

Las amputaciones traumáticas de dedo representan la lesión tratada con mayor frecuencia en los servicios de cirugía de mano. Aunque no suelen poner en riesgo la vida, pueden resultar en discapacidad a corto y largo plazo, deterioro de la calidad de vida e implicaciones psicosociales y económicas para los pacientes. La impresión tridimensional permite diseñar y crear con precisión prótesis personalizadas, ofreciendo la posibilidad de reducir costos de producción y tiempos de manufactura. No obstante, su uso clínico es aún limitado en México. El objetivo de este artículo es exponer nuestra experiencia utilizando una impresora 3D de bajo costo para construir una prótesis de dedo funcional y asequible en un paciente con amputación traumática del pulgar, dedo índice y medio. Se diseñaron distintos prototipos de prótesis que fueron probados en el paciente y ajustados según la retroalimentación obtenida del paciente. Utilizando la impresora *Fused Deposition Modeling Dremel 3D Idea Builder*, y filamentos de ácido poliláctico como material principal, se construyó un modelo a partir de capas de 2 mm en un tiempo total de 3.5 horas. El costo calculado del modelo protésico fue de \$10-15 dólares. Se documentó una alta satisfacción del paciente a través de la escala *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology 2.0* e incremento significativo de funcionalidad y destreza manual con la prueba *Box and Block Test*. La implementación de tecnología para la impresión tridimensional de prótesis de dedo resulta una estrategia altamente costo-efectiva, individualizada y adaptable a gente de escasos recursos.

ABSTRACT

Traumatic finger amputations represent the most frequent lesion treated in hand surgery services. Although, they are not usually life-threatening, they often result in short and long-term disability, impaired quality of life and psychosocial and financial complications for the patients. Three-dimensional (3D) printing allows the precise design and creation of customized prosthetics, offering the possibility of reducing both production costs and manufacturing times. Nevertheless, its clinical use is still limited in Mexico. The objective of this article is to report our experience using a low-cost 3D printer to build a functional and affordable finger prosthesis in a patient with traumatic amputation of the thumb, index and middle finger. We modeled distinct prototypes of the prosthesis and made adjustments according to the feedback we got from the patient. Using the *Fused Deposition Model Dremel 3D Idea Builder* printer, and polylactic acid filaments as the main material, we built a model starting from 2 mm layers in a total time of 3.5 hours. The estimated cost of production was \$10-15 USD. We documented high patient satisfaction through the *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology 2.0* scale and a significant increase in functionality and manual dexterity, according to the *Box and Block Test*. Implementation of three-dimensional printing of fingertip prosthesis is a highly cost-effective, individualized and an adaptable strategy for low-income people.

Citar como: Telich-Tarriba JE, Moscona-Nissan A, Guevara-Valmaña OI, Rangel-Rangel E, Santiago-Gorostieta MÁ. Impresión tridimensional de prótesis de dedo de bajo costo en paciente con transferencia de dedos del pie a la mano. *Cir Plast.* 2023; 33 (4): 181-186. <https://dx.doi.org/10.35366/113885>



† Centro de Innovación Médica Aplicada, Hospital General «Dr. Manuel Gea González». Ciudad de México, México.

ORCID:

|| 0000-0002-3348-2216

** 0000-0003-4329-3774

‡‡ 0009-0009-3974-1264

§§ 0000-0003-0062-6874

Recibido: 24 agosto 2023

Aceptado: 02 octubre 2023

INTRODUCCIÓN

Los dedos de la mano son las estructuras con mayor frecuencia de lesiones en la extremidad superior.¹ Su posición distal, amplio rango de movimiento y falta de protección los tornan vulnerables a accidentes, lo que resulta en una incidencia significativa de aproximadamente 45,000 casos anuales en Estados Unidos y la pérdida de 165.5 años acumulados de vida productiva en México, convirtiéndose en una de las principales causas de discapacidad permanente.^{2,3}

Aunque las amputaciones digitales rara vez ponen en peligro la vida, es fundamental realizar una evaluación y manejo adecuados para evitar el desarrollo de dolor crónico, discapacidad, limitación en actividades laborales y sociales y estrés psicológico.²⁻⁴ Además, estas amputaciones representan un desafío de salud pública debido a los costos directos e indirectos significativos que conllevan, afectando principalmente a la población económicamente activa.⁴⁻⁶

El tratamiento estándar para aquellos pacientes no candidatos a un reimplante generalmente implica la remodelación del muñón o, en casos seleccionados, la amputación del rayo afectado.⁷ El uso de prótesis ha demostrado mejorar la capacidad de los pacientes para realizar actividades cotidianas, coordinación y aumentar su autoestima y autoimagen.^{7,8}

A pesar de los beneficios demostrados de las prótesis estéticas o funcionales, su uso es escaso en nuestro entorno debido a la baja disponibilidad de insumos, altos costos de manufactura y desafíos asociados a la rehabilitación posterior, lo cual limita su aplicación en países en vías de desarrollo.^{7,8}

El prototipado rápido o impresión 3D, es una tecnología que permite generar modelos físicos basados en diseños digitales mediante la adición secuencial de capas de materia.^{9,10} Este ha ganado prominencia en la cirugía plástica en la última década en áreas como la cirugía craneofacial, las reconstrucciones microquirúrgicas e incluso en el desarrollo de implantes o guías de trabajo transoperatorias.⁹

La disponibilidad de impresoras 3D comerciales de bajo costo y el uso de *software* de diseño digital de código abierto han facilitado la

incorporación de estas tecnologías en la práctica clínica diaria de los equipos quirúrgicos.¹⁰⁻¹³

En este trabajo presentamos nuestra experiencia en la creación de una prótesis digital funcional utilizando tecnología de impresión tridimensional de bajo costo.

CASO CLÍNICO

Hombre de 40 años que sufrió accidente pirotécnico que derivó en la amputación traumática del pulgar, índice y dedo medio de la mano izquierda. Manejado inicialmente con remodelación de los muñones y posteriormente se llevó a cabo la transferencia del primer dedo del pie al pulgar; sin embargo, el paciente rechazó someterse a una segunda transferencia para reconstruir el segundo y tercer dedo. Por lo tanto, se propuso la fabricación de una prótesis funcional para el dedo índice.

Bajo consentimiento informado del paciente y aprobación del Comité de Ética Institucional, se obtuvieron medidas y fotografías para el diseño de la prótesis y se evaluó la funcionalidad de la mano del paciente mediante diversas actividades cotidianas.

El modelo digital de la prótesis se desarrolló utilizando el *software* Rhinoceros 6.0[®], considerando las medidas clínicas y radiografías en formato DICOM (*Figura 1*). El diseño final de la prótesis se muestra en la *Figura 2*. La impresión 3D se realizó utilizando una impresora FDM Dremel 3D Idea Builder, utilizando filamentos de ácido poliláctico como material principal. La

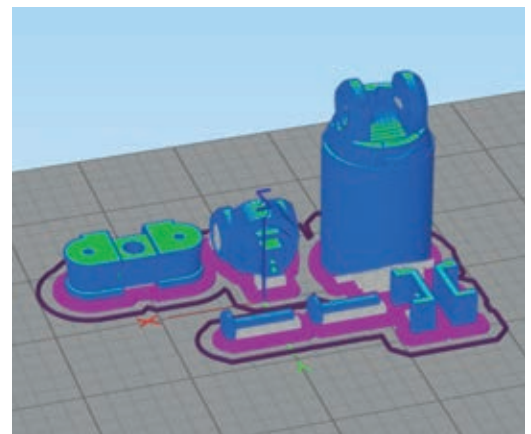


Figura 1: Prototipo digital de la prótesis.

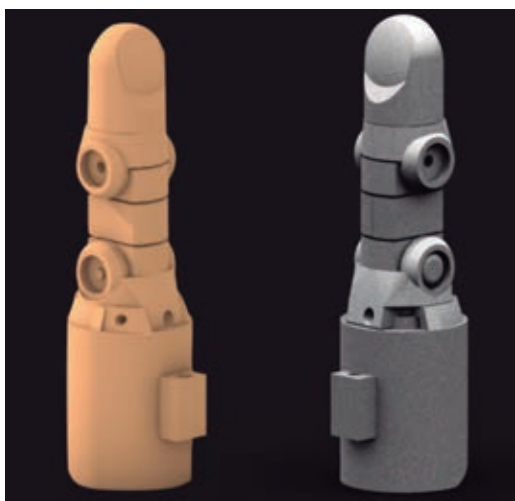


Figura 2: Prototipos digitales de la prótesis final.

impresión se llevó a cabo en capas de 2 mm de grosor, a una temperatura de extrusión de 230 °C y en una cama a 60 °C. El proceso completo de impresión duró 3.5 horas y se requirieron 25 gramos de ácido poliláctico.

Tras la impresión, se llevó a cabo un proceso de manufactura que implicó la remoción de la placa de impresión, lijado de bordes y ensamble de piezas. Se añadió un revestimiento de plástico texturizado en la punta de la prótesis para mejorar la superficie de contacto y facilitar el agarre de objetos.

La colocación de la prótesis se logró mediante la utilización de cinta adhesiva que cubrió 1.2 cm de la punta digital para aumentar la comodidad del paciente. Además, se suturó hilo de nylon a una cubierta de plástico con una correa de velcro alrededor de la muñeca del paciente (Figura 3). De esta manera, la prótesis se activaba mediante la flexión voluntaria de la muñeca, lo que permitía la flexión de la articulación interfalángica.

En el proceso de diseño, se elaboraron tres prototipos, ajustándose según las sugerencias proporcionadas por el paciente. Se evaluó la satisfacción del paciente utilizando la escala *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology 2.0* (QUEST 2.0) después de utilizar la prótesis durante tres semanas con un uso mínimo diario de 3 horas.¹⁴ Los ítems fueron evaluados en una escala de 1 a 5, siendo 5 máxima satisfacción del paciente.

Se obtuvo un promedio de 4.7 (4.3-5.0) en los ítems evaluados (Tabla 1).

Para evaluar la funcionalidad y destreza manual del paciente, se empleó la prueba estandarizada *Box and Block Test* (BBT).¹⁵ Antes de la colocación de la prótesis, el paciente pudo desplazar 16 bloques por minuto, cifra que aumentó a 25 con el uso de la prótesis (Figura 4 y Tabla 2).

DISCUSIÓN

Las soluciones protésicas para sustitución de los dedos de la mano son poco conocidas por la mayoría de la población, a pesar de su potencial para mejorar la calidad de vida de las personas.¹⁶ La naturaleza intrincada de estos dispositivos demanda un enfoque especializado en su manufactura y producción, requiriendo instalaciones equipadas con maquinaria avanzada y un equipo altamente capacitado para llevar a cabo su manufactura.^{17,18}

En este contexto, la impresión 3D ha emergido como una herramienta revolucionaria en el ámbito de la cirugía plástica.¹⁹ Su capacidad para generar modelos anatómicos personalizados ha representado un avance significativo en la planificación preoperatoria, la educación médica y creación de material de osteosíntesis prefabricado, así como en la manufactura de implantes y guías quirúrgicas a la medida de cada paciente.¹⁶⁻¹⁹

Históricamente, los modelos impresos en 3D con fines médicos solían incurrir en costos



Figura 3: Prótesis colocada en dedo índice izquierdo del paciente.

Tabla 1: Puntuación en la escala *Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology 2.0 (QUEST 2.0)* para medir satisfacción del paciente.

Ítems evaluados	Nivel de satisfacción
Seguridad	4.8
Ajustes (fijación, sujeción)	4.3
Dimensiones (tamaño, altura, longitud, ancho)	5.0
Peso	4.7
Satisfacción	4.6
Durabilidad (resistencia al uso)	4.3
Confort	4.8
Facilidad de uso	5.0
Efectividad (grado en que satisface las necesidades)	4.8

considerables, y la puesta en marcha de laboratorios de impresión requería una inversión significativa.^{19,20} Sin embargo, la expiración reciente de varias patentes clave ha resultado en la disponibilidad de impresoras 3D asequibles en el mercado.^{19,20} Aunque hasta el momento muchas de estas impresoras y los materiales que emplean no han obtenido la aprobación de organismos reguladores como la FDA o COFEPRIS su accesibilidad y costo reducido podrían brindar ventajas tanto a los médicos como a los pacientes en ciertos contextos.^{19,20}

En nuestro caso, logramos desarrollar prótesis a un costo estimado de \$10-15 dólares por modelo, además de una inversión inicial de \$1,000 dólares para adquirir la impresora 3D. La creación de un laboratorio especializado en impresión 3D dentro de nuestra institución permitió aún mayores ahorros al evitar externalizar el proceso. Al comparar estos costos con los de prótesis de silicona cosmética (que varían entre \$900 y \$3,000 USD) o prótesis funcionales (con precios desde \$9,000 hasta \$19,000 USD),¹⁷ nuestro enfoque se destaca por permitir la producción de múltiples modelos, la realización de ajustes y reemplazo de prótesis a una fracción del costo convencional.¹⁷ Esta propuesta es especialmente relevante en sistemas de salud, donde cerca de 50% de la población carece de acceso a servicios de seguridad social y los pacientes asumen directamente los costos de atención médica.

Actualmente no existen publicaciones en México sobre el desarrollo de prótesis digitales 3D. Presentamos un modelo sencillo que requiere únicamente flexión metacarpofalángica del paciente, que suele preservarse en caso de amputaciones digitales parciales o totales.

Con relación al material empleado, el polipropileno amorfo (APL) se posiciona como una alternativa costo-efectiva, demostrando ser adecuado para la fabricación de prótesis.^{21,22} Es esencial tener en cuenta que su temperatura de extrusión debe superar los 121 °C y se recomienda su esterilización mediante vapor a temperaturas mayores a 170 °C, utilizando calor seco en lugar de autoclave, ya que esta última opción modificaría las propiedades del material.²¹⁻²³ Además, la FDA ha respaldado las propiedades hipoalergénicas y el alto perfil de seguridad del APL, utilizándolo como material de sutura y relleno dérmico semipermanente.^{22,23}

Los resultados obtenidos a través de la escala de evaluación QUEST 14 nos permitieron ob-



Figura 4: Aplicación de la prueba *Box and Block Test (BBT)*.

Tabla 2: Resultados de la prueba *Box and Block Test (BBT)*.

<i>Box and Block Test</i>	Número de bloques desplazados por minuto
Con prótesis (4 ensayos)	25 ± 1
Sin prótesis (4 ensayos)	16 ± 2

jetivar la comodidad y satisfacción del paciente con el uso de la prótesis.¹⁴ De manera similar, los resultados de la prueba BBT demostraron una mejora en la destreza manual del paciente con el uso del dispositivo.¹⁵

Es fundamental considerar que aproximadamente 80% de personas con discapacidades a nivel global residen en países con ingresos bajos y medianos.²⁴ En consecuencia, es imperativo desarrollar estrategias altamente eficientes en términos de costos, capaces de adaptarse a contextos con recursos limitados, estando orientadas a mejorar la funcionalidad, calidad de vida y bienestar psicosocial de las personas afectadas.²⁴

Una limitación importante de este estudio radica en el número reducido de pacientes analizados. No obstante, este trabajo representa el primer caso de impresión tridimensional y colocación exitosa de una prótesis de dedo en nuestra región, con una relación costo-beneficio notable. Las perspectivas futuras apuntan hacia la producción en masa de prótesis tridimensionales para pacientes atendidos en nuestra institución y mejorar la apariencia externa de las prótesis, permitiendo elegir el color de acuerdo con las preferencias o tono de piel del paciente. Este avance podría aumentar la comodidad y bienestar psicosocial de los usuarios y, por ende, mejorar su calidad de vida.²⁵

CONCLUSIÓN

La implementación de tecnología para la impresión tridimensional de prótesis de dedo resulta una estrategia costo-efectiva que puede otorgar beneficio clínico a los pacientes. A su vez, permite el diseño y manufactura de prótesis adaptadas a las necesidades y preferencias del paciente, siendo adaptable a un contexto con recursos limitados.

REFERENCIAS

1. Barmparas G, Inaba K, Teixeira PG et al. Epidemiology of post-traumatic limb amputation: a National Trauma Databank analysis. *Am Surg* 2010; 76 (11): 1214-1222.
2. Reid DBC, Shah KN, Eltorai AEM, Got CC, Daniels AH. Epidemiology of finger amputations in the United States from 1997 to 2016. *JHS GO* 2019; 1 (2): 45-51.
3. Camacho-Conchucos HT. Pacientes amputados por accidentes de trabajo: características y años

acumulados de vida productiva potencial perdidos. *An Fac Med* [Internet]. 2010; 71 (4): 271-275. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832010000400011&lng=es

4. Vázquez Vela Sánchez E. Los amputados y su rehabilitación: un reto para el estado. Ciudad de México (México): Intersistemas; 2016.
5. Ostlie K, Skjeldal OH, Garfelt B, Magnus P. Adult acquired major upper limb amputation in Norway: prevalence, demographic features and amputation specific features. A population-based survey. *Disabil Rehabil* 2011; 33 (17-18): 1636-1649.
6. Sadeghi-Bazargani H. Injury epidemiology and publishing injury research. *J Inj Violence Res* 2012; 4 (1): 1.
7. Kuret Z, Burger H, Vidmar G, Maver T. Adjustment to finger amputation and silicone finger prosthesis use. *Disabil Rehabil* 2019; 41 (11): 1307-1312.
8. Pattanaik B, Pattanaik S. Fabrication of a functional finger prosthesis with simple attachment. *J Indian Prosthodont Soc* 2013; 13 (4): 631-634.
9. Fidanza A, Perinetti T, Logroscino G, Saracco M. 3D printing applications in orthopaedic surgery: clinical experience and opportunities. *Appl Sci* 2022; 12 (7): 3245.
10. Telich-Tarriba JE, Ramírez-Sosa LE, Palafox D, Ortega-Hernández E, Rendón-Medina MA. Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva. *Rev Fac Med* [Internet]. 2020; 68 (4). Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/77862>
11. Difonzo E, Zappatore G, Mantriota G, Reina G. Advances in finger and partial hand prosthetic mechanisms. *Robotics* 2020; 9 (4): 80.
12. Telich-Tarriba JE, Chávez-Serna E, Rangel-Rangel E, Gorostieta-Esperon MA, Andrade Delgado L, Fuente Del Campo A. Surgical planning for mandibular distraction osteogenesis using low-cost three-dimensional-printed anatomic models. *J Craniofac Surg* 2020; 31 (4): e319-e321.
13. Gretsck KF, Lather HD, Peddada KV, Deeken CR, Wall LB, Goldfarb CA. Development of novel 3D-printed robotic prosthetic for transradial amputees. *Prosthet Orthot Int* 2016; 40 (3): 400-403.
14. Demers L, Weiss-Lambrou R, Ska B. Item analysis of the Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology (QUEST). *Assist Technol* 2000; 12 (2): 96-105.
15. Mathiowetz V, Volland G, Kashman N, Weber K. Adult norms for the Box and Block Test of manual dexterity. *Am J Occup Ther* 1985; 39 (6): 386-391.
16. Leonard JA Jr, Esquenazi A, Fisher SV, Hicks JE, Meier RH 3rd, Nelson VS. Prosthetics, orthotics, and assistive devices. 1. General concepts. *Arch Phys Med Rehabil* 1989; 70 (5-S): S195-S201.
17. Young KJ, Pierce JE, Zuniga JM. Assessment of body-powered 3D printed partial finger prostheses: a case study. *3D Print Med* 2019; 5 (1): 7.
18. Hassan M, Shimizu Y, Kikuchi A, Hada Y, Suzuki K. Rapid and flexible 3D printed finger prostheses with soft fingertips: technique and clinical application. *IEEE Access* 2022; 10: 60412-60420.
19. Ballard DH, Mills P, Duszak R, Weisman JA, Rybicki FJ, Woodard PK. Medical 3D printing cost-savings in

- orthopedic and maxillofacial surgery: cost analysis of operating room time saved with 3D printed anatomic models and surgical guides. *Acad Radiol* 2020; 27 (8): 1103-1113.
20. Manero A, Sparkman J, Dombrowski M et al. Evolving 3D-printing strategies for structural and cosmetic components in upper limb prosthesis. *Prosthesis* 2023; 5 (1): 167-181.
 21. Fitzgerald R, Bass LM, Goldberg DJ, Graivier MH, Lorenc ZP. Physicochemical characteristics of poly-L-lactic acid (PLLA). *Aesthet Surg J* 2018; 38 (suppl_1): S13-S17.
 22. Sickles CK, Nassereddin A, Gross GP. Poly-L-lactic acid. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [cited 2023 Jul 3]. Available in: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507871/>
 23. Castro-Aguirre E, Iñiguez-Franco F, Samsudin H, Fang X, Auras R. Poly(lactic acid)-Mass production, processing, industrial applications, and end of life. *Adv Drug Deliv Rev* 2016; 107: 333-366.
 24. Harkins CS, McGarry A, Buis A. Provision of prosthetic and orthotic services in low-income countries: a review of the literature. *Prosthet Orthot Int* 2013; 37(5): 353-361.
 25. Rendón-Medina MA, Andrade-Delgado L, Telich-Tarriba JE, Fuente-Del-Campo A, Altamirano-Arcos CA. Dimensional error in rapid prototyping with open source software and low-cost 3D-printer. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2018; 6 (1): e1646.

Conflicto de intereses: los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Correspondencia:

Dr. José Eduardo Telich-Tarriba

E-mail: josetelich@gmail.com