



Revista Difusiones, ISSN 2314-1662, Núm. 26, 2(1) enero-julio 2024, pp 80-90  
Fecha de recepción: 13-12-2023. Fecha de aceptación: 22-05-2024

# Prototipo de prótesis robótica de mano con impresión 3D

## Prototype of a robotic hand prosthesis with 3D printing

**Germán Eduardo Jerez**<sup>1</sup> [german.jerez@ucse.edu.ar](mailto:german.jerez@ucse.edu.ar)

<https://orcid.org/0009-0007-2458-4660>

Universidad Católica de Santiago del Estero, Departamento Académico San Salvador, Jujuy, Argentina

**Martín Eduardo Figueroa**<sup>2</sup> [martin.figueroa@ucse.edu.ar](mailto:martin.figueroa@ucse.edu.ar)

<https://orcid.org/0009-0002-8768-2413>

Universidad Católica de Santiago del Estero, Departamento Académico San Salvador, Jujuy, Argentina

**Antonello De Santis**<sup>3</sup> [antonello.desantis@alumnos.ucse.edu.ar](mailto:antonello.desantis@alumnos.ucse.edu.ar)

<https://orcid.org/0009-0004-9665-6588>

Universidad Católica de Santiago del Estero, Departamento Académico San Salvador, Jujuy, Argentina

<sup>1</sup> Ingeniero Electrónico. Director de la Tecnicatura Universitaria en Automatización y Robótica del Departamento Académico San Salvador, Universidad Católica de Santiago del Estero (DASS UCSE). Profesor adjunto de las cátedras de Información y Comunicación y Redes de Computadoras de la carrera de Ingeniería en Informática en el DASS UCSE.

<sup>2</sup> Ingeniero Electrónico. Profesor adjunto de Robótica I y Robótica II de la Tecnicatura Universitaria en Automatización y Robótica en el Departamento Académico San Salvador, Universidad Católica de Santiago del Estero.

<sup>3</sup> Licenciado en Comercio Exterior. Estudiante de tercer año de la Tecnicatura Universitaria en Automatización y Robótica en el Departamento Académico San Salvador, Universidad Católica de Santiago del Estero.

## Resumen

Actualmente, existen numerosas empresas y emprendedores en todo el mundo que ofrecen prótesis médicas a partir de impresión 3D.

En nuestro país y en la región, el principal problema con estas soluciones son los costos de adquisición. En promedio, los costos para acceder a estas prótesis rondan las decenas de miles de dólares.

La tecnología de impresión 3D ha facilitado el diseño y la construcción de todo tipo de piezas móviles y prótesis. La evolución de los materiales para impresión 3D permite obtener productos con distintos tipos de resistencia mecánica y respuestas ante la flexión y la torsión, características fundamentales para las prótesis de miembros. Con la masificación de la impresión 3D se observa una importante disminución de los costos de acceso a las impresoras y los materiales para impresión.

Vista la necesidad de muchas personas de contar con prótesis funcionales que les permitan mejorar su calidad de vida, se decidió avanzar en el diseño de un prototipo de prótesis de mano robótica con el objetivo principal de hacerlo con bajo costo. Para ello, se tendrán en cuenta materiales de impresión 3D accesibles y económicos, y hacer uso del equipamiento y herramientas disponibles en los laboratorios de la universidad.

El proyecto constituyó el trabajo final de la asignatura Robótica II de la Tecnicatura Universitaria en Automatización y Robótica del DASS/UCSE.

Este primer prototipo servirá para luego avanzar en modelos más elaborados y, en próximas innovaciones, reemplazar el material de impresión 3D por material obtenido a partir de plástico reciclado, lo que permitirá disminuir aún más el costo de fabricación.

## Palabras clave

Prótesis, Robótica, Impresión 3D, Accesibilidad.

## Abstract

*Currently, numerous companies and entrepreneurs worldwide offer medical prostheses created through 3D printing. In our country and region, the primary issue with these solutions is the high acquisition cost, often amounting to tens of thousands of dollars.*

*The advancement of 3D printing technology has enabled the design and construction of various movable parts and prostheses. The evolution of 3D printing materials now allows for products with different levels of mechanical strength and flexibility—essential characteristics for limb prostheses. The widespread adoption of 3D printing has significantly reduced the costs of both printers and printing materials.*

*Given the need for functional prostheses to improve the quality of life for many individuals, we decided to develop a low-cost robotic hand prosthesis prototype. This involved using affordable and accessible 3D printing materials and leveraging the equipment and tools available in the university's laboratories.*

*The project was the final assignment for the Robotics II course in the University Technical Program in Automation and Robotics at DASS/UCSE. This initial prototype will serve as a foundation for more advanced models. Future innovations will aim to replace 3D printing materials with recycled plastics, further reducing manufacturing costs.*

### *Key Words*

*Prosthesis, Robotic, 3D Printing, Accessibility.*

## Introducción

El proyecto se plantea a partir del trabajo final de la asignatura Robótica II de la Tecnicatura Universitaria en Automatización y Robótica del DASS/UCSE.

Esta carrera se basa en cuatro especialidades principales: electrónica, mecánica, informática y sistemas de control automático. Cada especialidad cuenta con obligaciones académicas que solicitan a sus estudiantes la realización de un proyecto final para poder acreditar el curso. Algunos de estos proyectos continúan en obligaciones sucesivas incorporando mejoras o ampliando los alcances originales, según la disciplina abordada en las nuevas asignaturas.

En un mundo marcado por la tecnología y la innovación, la impresión 3D ha emergido como una herramienta revolucionaria capaz de transformar la vida de las personas de manera asombrosa.

El DASS/UCSE dispone de una impresora 3D que puede ser utilizada por estudiantes y docentes como soporte de actividades prácticas en sus distintas carreras.

La realidad respecto a la creación y acceso de prótesis para seres humanos indica que dichas soluciones suelen ser provistas por empresas dedicadas a servicios de salud, organismos públicos del ámbito de la sanidad y por organizaciones civiles sin fines de lucro o emprendedores privados con fines humanitarios.

Según los casos, la fabricación y posterior distribución de prótesis humanas implican costos que rondan los miles de dólares.

Se pudo identificar la factibilidad de abordar la temática de la discapacidad haciendo uso de tecnologías actuales, tales como la robótica, la impresión 3D, la electrónica, los sensores, la informática y la automatización. La posibilidad de trabajar en esta temática en el ámbito universitario permitirá reducir los costos de diseño y fabricación de un primer prototipo a, aproximadamente, trescientos dólares.

## Antecedentes

Con la difusión de la tecnología de impresión 3D se pueden observar diversos proyectos en internet referidos a prótesis de distintos tipos. Se trata de emprendimientos particulares y, algunos de ellos benéficos, con distinta complejidad tecnológica para lograr el sentido muscular y la traducción de esas señales en movimiento mecánico.

Con respecto a soluciones de mercado, el principal referente en la actualidad son las prótesis desarrolladas por la empresa Open Bionics. En la figura 1 puede observarse uno de los modelos de prótesis ofrecidos por esta empresa.



Figura 1. Prótesis robótica de extremidad superior  
Nota: tomado de <https://openbionics.com>

Open Bionics ofrece un catálogo de soluciones que apuntan a distintos niveles de sofisticación y cuyos costos promedio oscilan entre los 10.000 y 20.000 dólares. En nuestro país el emprendedor Gino Tubaro viene trabajando desde hace años en la fabricación de prótesis mediante impresión 3D con notable éxito y reconocimiento nacional e internacional. El emprendimiento de Tubaro se denomina Atomic Lab (<https://www.atomiclab.org/index.html>) y en su sitio web pueden encontrarse todas las opciones de prótesis disponibles como así también otras líneas de acción, todas basadas en la impresión 3d. Las figuras 2 y 3 se refieren al inventor y su emprendimiento.



Figura 2. Gino Tubaro, inventor de prótesis con impresión 3D  
Nota: tomado de <http://www.ginotubaro.com>



Figura 3. Prótesis de extremidades superiores de AtomicLab  
Nota: tomado de <https://www.atomiclab.org>

En el ámbito universitario de nuestro país también existen antecedentes sobre prótesis mediante impresión 3D, tal el caso del desarrollo del Instituto Balseiro de la Universidad Nacional de Cuyo, trabajo de María López Morillo (2018) para la carrera de Ingeniería Mecánica.

También en la Universidad Nacional de Cuyo, los estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica William Alfaro y Diego Alvarado (2020) presentaron su proyecto de mano robótica mediante impresión 3d de bajo costo. En la figura 4 puede verse el resultado de este proyecto universitario.



Figura 4. Prótesis de mano Universidad Nacional de Cuyo  
Nota: tomado de <https://ingenieria.uncuyo.edu.ar/estudiantes-desarrollaron-prototipos-de-protesis-roboticas-de-mano>

Se traen estos antecedentes en particular debido a que fueron desarrollados en ámbitos universitarios de nuestro país por estudiantes de carreras tecnológicas, de manera similar al presente proyecto del DASS/UCSE.

Existen muchos otros antecedentes tanto en ámbitos académicos, comerciales y de la sociedad civil en general en todo el mundo. Todo esto gracias a la masificación de la tecnología de impresión 3D y el surgimiento de nuevas carreras universitarias vinculadas a la automatización y la robótica.

## Desarrollo del prototipo

El primer prototipo fue realizado con el objetivo de entender la mecánica del movimiento de una mano y la fuerza necesaria en cada punto de la prótesis.

En la Figura 5 puede verse una imagen del primer prototipo.



**Figura 5. Primer prototipo de prótesis robótica**  
**Nota: imagen propiedad de los autores**

Para la realización de este primer prototipo se utilizó la tecnología de impresión 3D con filamento PLA (ácido poliláctico) que es un termoplástico fabricado en base a recursos renovables (Grilon3, 2020).

El control de la prótesis se logró mediante un controlador Arduino 1 y se empleó para la captura de señales un sensor del tipo flexible tal como el mostrado en la Figura 6.

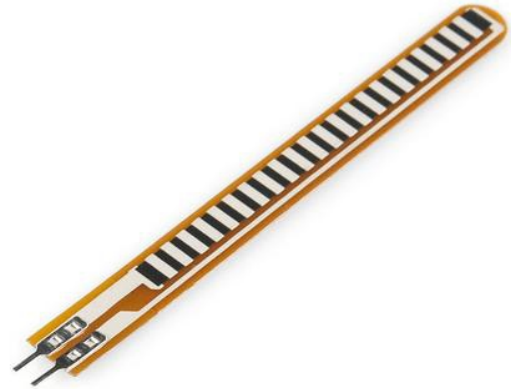


Figura 6. Sensor flexible (Flex Sensor)  
Nota: tomado de <https://www.newbiehack.com>

Este tipo de sensor fue útil para simular las señales provenientes de los músculos del brazo en el prototipo, pero más adelante fue reemplazado por sensores del tipo electro musculares EMG como los que pueden verse en la Figura 7.

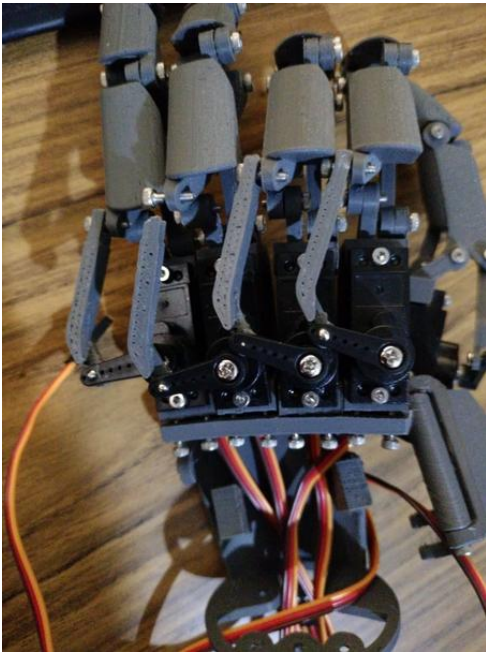


Figura 7. Sensor electro muscular  
Nota: tomado de <https://grupoelectrostore.com>

En el primer prototipo se utilizaron servomotores, los cuales dieron origen al primer inconveniente. Los servomotores son de bajo costo y fácil acceso, pero no tienen la fuerza necesaria para controlar los cinco dedos de una prótesis.

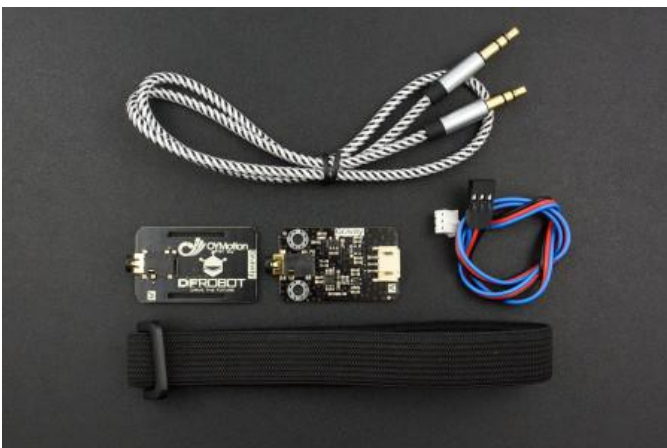


Tomando como referencia el sistema de transmisión de fuerza de algunos modelos de prótesis existentes, se modificó la prótesis para poder albergar un servo motor en cada dedo, esto da más fuerza e independencia en cada movimiento. Esta mejora puede verse en la Figura 8.



**Figura 8. Prótesis con servomotores en cada dedo**  
Nota: imagen propiedad de los autores

En una nueva etapa de mejoras se decidió cambiar el sensor utilizado por otro que permita mejor captura de las señales musculares. Se seleccionó un sensor EMG electro muscular fabricado por la empresa DFROBOT, el cual facilita la colocación de los sensores. El nuevo modelo de sensor puede verse en la Figura 9.



**Figura 9. Sensor EMG electro muscular**  
Nota: tomado de <https://www.dfrobot.com/>

De esta manera se obtuvieron mejores resultados en la captura de las señales musculares.

## Próximas mejoras

Hasta este punto pudo obtenerse un prototipo de prótesis robótica funcional a partir de impresión 3D y utilizando materiales comerciales disponibles en el ámbito local a un costo razonable.

Se hace necesario mejorar la etapa de programación de la lógica de control de la prótesis para aislar interferencias externas que hacen reaccionar a los dedos de la prótesis confundiénolas con señales que provienen del sensor electro muscular.

Se contempla la posibilidad de utilizar resina como material para la impresión 3D. De esta forma se pretende mejorar la resistencia mecánica de la prótesis.

De manera similar se proyecta imprimir las partes extremas de los dedos de la prótesis utilizando materiales más flexibles para mejorar su agarre (grip), tal el caso de la silicona inyectada. Otra alternativa sería la incorporación de imanes en el extremo de los dedos. El objetivo es que la prótesis pueda tomar objetos sin mayores dificultades. Esto se logrará regulando adecuadamente la fuerza de acción y el grip.

También existe la posibilidad de generar material para impresión 3D a partir de plásticos obtenidos de envases de bebidas gaseosas. Los equipos que permiten trabajar con estos materiales son cada vez más conocidos e, inclusive, existe la posibilidad de fabricarlos a partir de componentes comerciales.

## Conclusiones

En esta primera etapa del trabajo se logró diseñar un prototipo de prótesis funcional. El prototipo necesita mejoras en el manejo de señales y en las características de los materiales utilizados.

Para el desarrollo del prototipo se adquirieron filamento para impresión 3D, sensores flexibles y electro musculares para el trabajo con las señales, servomotores, controlador programable Arduino y componentes electrónicos básicos por, aproximadamente, 200 dólares. El software de diseño 3D y de programación utilizado fue del tipo open source, por lo tanto, de costo cero para el desarrollo. La mano de obra tampoco tuvo costo por tratarse de un trabajo académico.

El proyecto de prótesis de mano 3D de bajo costo ha demostrado ser una solución viable y accesible para personas que necesitan una prótesis funcional pero no pueden permitirse opciones costosas. Utilizando la plataforma Arduino para controlar los servomotores y un sensor EMG para captar señales musculares, se ha creado un dispositivo que no solo es funcional, sino también económico y personalizable.

La implementación de tecnologías de código abierto (open source) y componentes

asequibles permite que esta prótesis sea replicada y modificada fácilmente por cualquier persona con acceso a una impresora 3D y conocimientos básicos de electrónica y programación. Esto abre nuevas oportunidades para mejorar la calidad de vida de las personas en comunidades de bajos recursos, especialmente en países como la Argentina, donde el costo de las prótesis tradicionales puede ser prohibitivo.

## Referencias

Barreiro, R. (11 de abril de 2017). Gino Tubaro, el padre de miles de prótesis de bajo costo hechas con impresora 3D. El País.

[https://elpais.com/internacional/2017/04/11/argentina/1491929616\\_757606.html](https://elpais.com/internacional/2017/04/11/argentina/1491929616_757606.html)

How does Open Bionics configure a custom robotic prosthetic arm? (4 de noviembre de 2021). Open Bionics. <https://openbionics.com/en/how-does-open-bionics-configure-a-custom-robotic-prosthetic-arm/>

Hola, soy Gino Tubaro. <http://www.ginotubaro.com>

The teenager with a Mercedes hand: Car firm grants £35,000 wish for disabled boy. (16 de agosto de 2011). The Daily Mail. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2025859/Mercedes-car-firm-grants-35k-bionic-hand-wish-Formula-One-fan-Matthew-James.html>

Hanks, H., Sashin, D. (13 de marzo de 2015). Robert Downey Jr. presents child with his own "Iron Man" robotic arm. CNN. <https://edition.cnn.com/2015/03/12/health/robert-downey-jr-robotic-arm-irpt-feat/index.html>

Estudiantes desarrollaron prototipos de prótesis robóticas de mano. (21 de diciembre de 2020). Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo.

<https://ingenieria.uncuyo.edu.ar/estudiantes-desarrollaron-prototipos-de-protesis-roboticas-de-mano>

López Morillo, M. (2018). Diseño de prótesis de mano servoactuada y fabricación de prototipo con técnicas de impresión 3d. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cuyo]. [https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/700/1/1L%C3%B3pez\\_Morillo.pdf](https://ricabib.cab.cnea.gov.ar/700/1/1L%C3%B3pez_Morillo.pdf)

Guía completa: el filamento PLA en la impresión 3D. (2020). Grilon3. <https://grilon3.com.ar/guia-completa-el-filamento-pla-en-la-impresion-3d/>