

## **Prótesis mioeléctricas de miembro superior**

Diana Katherine Pardo Rodríguez

Asesor

Mauricio Alberto García Martínez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias, Básicas, Tecnología e Ingeniería – ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que han sido fundamentales en este proceso y camino académico y personal. A mis padres, por su amor incondicional, por haberme enseñado el valor del esfuerzo y por su constante apoyo en cada paso de este camino. Su fe en mí ha sido mi mayor motivación. A mis hermanos y amigos, por su compañía y ánimo en los momentos difíciles, por recordarme siempre la importancia de disfrutar el proceso y por estar a mi lado en cada desafío.

A mis instructores y mentores, por compartir sus conocimientos y sabiduría, por orientarme con paciencia y por inspirarme a superar mis límites. Y, finalmente, a todos aquellos que, de alguna forma, han contribuido a este logro, ya sea con una palabra de aliento, una sonrisa o un gesto de apoyo, todo esto me ha ayudado a seguir luchando y no rendirme por cumplir mis sueños.

## Resumen

Este artículo aborda el tema de las prótesis mioeléctricas de miembros superiores, dispositivos que utilizan señales eléctricas generadas por los músculos del tronco para controlar el movimiento del brazo, la muñeca o el codo. Se abordó la pérdida de función, estética y calidad de vida en pacientes con amputación de miembro superior y las limitaciones de las prótesis existentes. La importancia de desarrollar y mejorar las prótesis bioeléctricas se justifica porque ofrecen a los usuarios una mejor integración sensorial y emocional, además de naturalidad, precisión y adaptabilidad. El objetivo general es revisar el estado, el progreso y los desafíos de la tecnología de prótesis bioeléctricas de miembros superiores y sugerir posibles direcciones para futuras investigaciones y desarrollo. Se determinaron objetivos específicos, considerando la clasificación, mecanismo de acción, componentes y tipos de prótesis bioeléctricas. Evaluar los beneficios, desafíos y necesidades de los usuarios de estas prótesis. Identificar tendencias, innovaciones y oportunidades para mejorar las prótesis bioeléctricas. Se presenta el marco conceptual y teórico que subyace al trabajo con base en conceptos de biomecánica, ingeniería, inteligencia artificial, robótica, neurofisiología, psicología y sociología.

**Palabras clave:** Prótesis mioeléctrica, anatomía de la mano, electrónica. Inteligencia artificial.

## Tabla de contenido

Introducción .....	8
Justificación .....	9
Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
Marco Teórico.....	11
Fundamentación Teórica.....	14
Estado del Arte.....	14
Diseños Mecánicos .....	15
Prótesis Pasivas.....	17
Prótesis Puramente Estéticas.....	18
Prótesis con Funcionalidad Mecánica.....	20
Prótesis Activas.....	23
Neumática .....	25
Diagrama de Flujo PRISMA.....	32
Prótesis Mioeléctricas .....	33
Tipología de las Prótesis Mioeléctricas .....	33
Prótesis de Antebrazo.. .....	35
Prótesis de Mano Completa.. .....	36

Prótesis De Manos Parciales.....	38
Mecanismo de Acción.....	39
Componentes de Prótesis Mioeléctricas..	40
Placa Electrónica.....	40
Motor y Servomotor.....	41
Sensores..	42
Análisis .....	45
Conexión Emocional.....	47
Funcionalidad Hacia la Conexión Emocional.....	47
Apoyo Social.....	47
Apoyo Familiar .....	48
Imagen Corporal .....	48
Ajuste Psicosocial .....	49
Análisis .....	51
Avances y Mejoras.....	54
Avances en Prótesis Mioeléctricas.....	54
Covers .....	55
Evaluación de Eficiencia.....	56
Conclusiones.....	63
Referencias Bibliográficas .....	65

## Tabla de Figuras

<b>Figura 1.</b> <i>Hero Arms</i> .....	16
<b>Figura 2.</b> <i>Prótesis Pasivas</i> .....	17
<b>Figura 3.</b> <i>Mano Protésica</i> .....	19
<b>Figura 4.</b> <i>Prótesis de Dedos</i> .....	20
<b>Figura 5.</b> <i>Prótesis Mano Biónica</i> .....	23
<b>Figura 6.</b> <i>Motor Lineal Corto</i> .....	24
<b>Figura 7.</b> <i>Músculos Neumáticos Biomiméticos</i> .....	25
<b>Figura 8.</b> <i>Movimientos de la Mano</i> .....	27
<b>Figura 9.</b> <i>Tabla Estadística</i> .....	27
<b>Figura 10.</b> <i>Tabla Estadística</i> .....	28
<b>Figura 11.</b> <i>Articulaciones de Codo</i> .....	29
<b>Figura 12.</b> <i>Prótesis Biónica Cyberhand</i> .....	30
<b>Figura 13.</b> <i>Diagrama de Flujo PRISMA</i> .....	32
<b>Figura 14.</b> <i>Prótesis por Encima de Codo</i> .....	34
<b>Figura 15.</b> <i>Prótesis de Antebrazo Mioeléctrica</i> .....	35
<b>Figura 16.</b> <i>Prótesis de Antebrazo Michelangelo</i> .....	36
<b>Figura 17.</b> <i>Prótesis de Mano Michelangelo</i> .....	37
<b>Figura 18.</b> <i>Prótesis de Mano I-Quantum</i> .....	38
<b>Figura 19.</b> <i>Diagrama de Controlador</i> .....	39
<b>Figura 20.</b> <i>Servomotor</i> .....	41
<b>Figura 21.</b> <i>Sensor de Superficie EMG MYOWARE</i> .....	43

<b>Figura 22.</b> <i>Encoder</i> .....	44
<b>Figura 23.</b> <i>Circuito Electrónico</i> .....	45
<b>Figura 24.</b> <i>Prótesis Touch Bionics</i> .....	50
<b>Figura 25.</b> <i>Prótesis Mano Biónica</i> .....	55
<b>Figura 26.</b> <i>Prótesis Mioeléctrica</i> .....	57
<b>Figura 27.</b> <i>Prótesis Robótica</i> .....	58
<b>Figura 28.</b> <i>Prótesis Mioeléctrica Transradial</i> .....	59
<b>Figura 29.</b> <i>Prótesis Robótica</i> .....	61

## Introducción

Los registros del ministerio de salud y prosperidad social (MSPS) indican que “en el año 2020 en Colombia 1.3 millones de personas presentaba alguna discapacidad, de esta cifra el 15% de las personas registradas manifestó ser víctima del conflicto armado” (Cubillos Alzate & Perea Caro, 2020). Actualmente estas cifras van en aumento no sólo por pérdida de miembros sino por déficit de motricidad de estos.

La humanidad ha optado por el uso de prótesis para subsanar la ausencia de miembros, se establece que “la primera prótesis de miembro superior registrada data del año 2000 a. C., la cual fue encontrada en una momia egipcia; la prótesis estaba sujeta al antebrazo por medio de un cartucho adaptado al mismo” (González, 2004). El crecimiento de la ingeniería electrónica ha permitido al ser humano crear grandes desarrollos en la instrumentación para aplicaciones en fisiología; tanto así que se ha logrado un reemplazo aceptable de un miembro perdido, ya que por medio de señales electromiografías (EMG) producidas por el musculo, pueden ser captadas por electrodos que entran en contacto con la superficie de la piel y son amplificadas para ser procesadas por un controlador; de aquí el concepto de las prótesis mioeléctricas. En este sentido las prótesis mioeléctricas de miembro superior han permitido a pacientes con algún grado de amputación mejorar su estilo de vida, favoreciendo la realización de todo tipo de tareas de la manera más fiel posible a la que le permitiría una extremidad natural.

## **Justificación**

El desarrollo y mejora de las prótesis mioeléctricas de miembros superiores se posiciona como un área crucial de investigación y desarrollo en el campo de la ingeniería biomédica y la salud pública. Es por esto por lo que, apoyado por su capacidad para mejorar la calidad de vida de los usuarios, satisfacer una demanda tecnológica creciente y fomentar la inclusión social. Así mismo, estas prótesis ofrecen una integración sensorial y emocional mejorada, aprovechando los avances en ingeniería electrónica, robótica e inteligencia artificial para proporcionar funcionalidad, precisión y adaptabilidad. “En Colombia se han desarrollado proyectos para obtener prototipos de prótesis de mano que ejecuten algunas de las funciones principales de esta, pero aún es incipiente la posibilidad de una producción en masa de un prototipo que sea robusto, confiable y económicamente viable” (Loaiza & Arzola, 2011). Además, tienen un impacto positivo en la rehabilitación física y psicológica, promoviendo la participación activa en la vida cotidiana y laboral, y contribuyendo así a una sociedad más equitativa y accesible. Siendo de esta manera, su desarrollo interdisciplinario abre nuevas oportunidades para la innovación, destacando la importancia de seguir avanzando en este campo para satisfacer las necesidades de las personas con discapacidades físicas y mejorar su bienestar general.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Realizar una revisión bibliográfica sobre las prótesis bioeléctricas, el cual incluya tendencias actuales, logros, desafíos.

### **Objetivos Específicos**

Caracterizar las prótesis mioeléctricas actuales en cuanto a su clasificación, mecanismo de acción, componentes y tipos de prótesis mioeléctricas del miembro superior según diferentes niveles de amputación y diferentes métodos de control.

Describir los beneficios, desafíos y necesidades de los usuarios de prótesis mioeléctricas de miembro superior desde las perspectivas funcional, estética, sensorial, emocional, psicológica y social.

Identificar tendencias, innovaciones y oportunidades de mejora en el campo de las prótesis bioeléctricas de miembro superior, considerando aspectos técnicos, científicos, éticos y sociales.

## Marco Teórico

Una prótesis bioeléctrica de miembro superior es un dispositivo artificial que reemplaza la función y apariencia de un miembro perdido controlando el movimiento de la prótesis mediante señales eléctricas generadas por los músculos del tronco. Estas señales son recibidas por sensores colocados en el encaje de la prótesis, y estas señales son procesadas por un sistema electrónico que activa los motores o actuadores de la prótesis.

La base conceptual y teórica de la prótesis bioeléctrica de extremidad superior incluye los siguientes aspectos:

Los principios biomecánicos y fisiológicos que gobiernan la función de las extremidades superiores humanas, especialmente las manos, que son órganos para agarrar, transportar y manipular objetos.

El tipo y nivel de amputación del miembro superior determina las características y necesidades de cada paciente, así como las opciones protésicas disponibles.

Componentes y materiales para prótesis bioeléctricas de miembros superiores, incluidos encajes, sistemas de suspensión, sistemas de control, dispositivos terminales (brazos, ganchos, etc.), codos y muñecas, etc.

Bioeléctrico capaz de identificar las contracciones musculares del paciente y transformarlas en órdenes para la prótesis, cómo se reciben, procesan y clasifican las señales.

Criterios para el diseño, evaluación y colocación de prótesis bioeléctricas de miembro superior encaminados a optimizar el rendimiento, la funcionalidad, la estética, el confort y la satisfacción del usuario.

Las prótesis bioeléctricas de miembro superior son el resultado de la convergencia de varias disciplinas reunidas para dar una solución a personas que han perdido un brazo o parte de él o han nacido con un defecto congénito. Estos campos son:

La biomecánica es una disciplina que estudia los principios físicos y mecánicos que gobiernan el movimiento y la estructura del cuerpo humano, particularmente los miembros superiores en su interacción con el entorno externo. Conocimiento científico y técnico de encajes para prótesis bioeléctricas, sistemas de suspensión, dispositivos terminales, codos y muñecas, etc.

Ingeniería aplicada al diseño, fabricación y evaluación de componentes y materiales. Se trata de una inteligencia artificial que desarrolla un modelo informático que puede controlar el movimiento de la prótesis aprendiendo y reconociendo los patrones de señales bioeléctricas generadas por los músculos del tronco y transformándolos en órdenes.

Robótica, que implementa sistemas electrónicos, mecánicos y de control que aseguran la comunicación entre el usuario y el dispositivo, así como el funcionamiento de la prótesis.

La neurofisiología, estudia los mecanismos biológicos que generan y transmiten señales eléctricas en el sistema nervioso y los efectos de la estimulación eléctrica sobre el tejido nervioso y muscular.

Psicología que examina los aspectos cognitivos, emocionales y sociales que influyen en el ajuste y el uso de prótesis bioeléctricas y estrategias para mejorar la aceptación, confiabilidad y satisfacción del usuario.

Sociología que examina el impacto de las prótesis bioeléctricas en la vida diaria, laboral y familiar de quienes las utilizan, así como los factores culturales, económicos y políticos que determinan la disponibilidad y calidad de estos dispositivos.

Estas áreas se complementan y retroalimentan para lograr el objetivo común de mejorar la calidad de vida de las personas que requieren prótesis bioeléctricas de miembro superior.

## **Fundamentación Teórica**

### **Estado del Arte**

De acuerdo con (Bronzino, 2000), una prótesis es un “dispositivo artificial que reemplaza una parte faltante del cuerpo” por lo cual, la elección de la prótesis apropiada desempeña un papel fundamental el nivel de amputación o el tipo de displasia que se requiera tratar.

Dependiendo de los requerimientos de cada paciente, se decide el tipo de dispositivo que mejor se adapte a las características de este (Loaiza & Arzola, 2011).

Los progresos recientes en el desarrollo de prótesis automáticas se deben principalmente a la incorporación de la física y la matemática, tanto a nivel de la descripción del movimiento de la mano como en el análisis de las señales mioeléctricas. La cinemática y la cinética permiten, por medio de la teoría Newtoniana, encontrar una descripción suficientemente precisa del comportamiento de la mano humana, tanto desde el punto de vista de la geometría del movimiento como de la generación y aplicación de la fuerza a través de los músculos, tendones y estructura ósea que conforma la mano. Por otra parte, la transformada de Fourier se ha convertido en la principal herramienta para descifrar, interpretar y reproducirle forma aproximada las señales que por medio de impulsos electroquímicos generan los movimientos de la mano, a través de la red nerviosa y los músculos (Freivalds, 2011).

Siguiendo la línea anterior y revisando la investigación "Evolución y tendencias en el desarrollo de prótesis de mano" realizada por Jair L. Loaiza y Nelson Arzola de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá, se discute sobre las últimas tendencias en la fabricación de prótesis de mano. Se destaca el progreso en los métodos de modelado digital, los cuales han posibilitado la emulación de algunas funciones de las prótesis en comparación con una mano

real. Además, se mencionan los avances en la funcionalidad y el aspecto estético de estas prótesis, con técnicas que permiten alcanzar una similitud casi total con una mano real.

Por otro lado, (Ramírez, 2005) explora la relación entre el ámbito emocional y los aspectos sensoriales (olfato, vista, tacto, oído) en el contexto del diseño industrial. Se analiza cómo el comportamiento humano se proyecta hacia productos inanimados. La autora argumenta que cuando estos objetos son dotados de características humanas, se despierta la implicación de las emociones, lo que permite una representación más emotiva por parte del individuo hacia el "producto sin vida" que está utilizando. Esta respuesta "afectiva" influye en la experiencia cotidiana de la persona con el objeto, como su interacción diaria con una prótesis, y establece una conexión directa entre diseño y emoción. La experiencia de uso del objeto se evalúa de manera positiva o negativa, lo que afecta su apropiación y proyección por parte del usuario.

En este apartado, se abordará la revisión del estado actual del conocimiento, realizando un breve repaso de las materias, dispositivos e investigaciones relevantes para el contexto de este trabajo. Se categorizarán los avances presentados como ejemplos dentro de las clasificaciones propuestas en el proyecto, con el propósito de estructurar el Estado del Arte de forma coherente con el desarrollo de las secciones del prototipo propuesto en este estudio.

### ***Diseños Mecánicos***

La funcionalidad principal de una prótesis se centra en su diseño mecánico, dado que los demás elementos añadidos ofrecen un potencial adicional para mejorar las habilidades del usuario. Existe una amplia gama de diseños y enfoques en el campo de las prótesis, así como numerosas implementaciones de estos diseños que varían según el tipo de amputación, ya sea en extremidades superiores o inferiores.

En la actualidad, hay varios tipos de manos diseñadas para funcionar con señales mioeléctricas, como lo es el Hero Arm de Open Bionics, que es una prótesis ligera y personalizable con capacidades avanzadas de múltiples agarres. La prótesis ofrece un control intuitivo mediante sensores que detectan los movimientos musculares, y proporciona retroalimentación háptica, lo que permite a los usuarios controlar el brazo con alta precisión y recibir retroalimentación háptica. Esto lo hace especialmente fácil de usar y accesible, incluso para niños desde los ocho años (Open Bionics, 2023)

### **Figura 1**

#### *Hero Arm*



*Nota.* Prótesis Transradial. Tomado de. Openbionics. <https://openbionics.com/de/metal-gear-solid-venom-snake-hero-arm-covers/>

Otro avance significativo es en la retroalimentación sensorial, donde las nuevas prótesis están siendo diseñadas para permitir a los usuarios sentir presión y temperatura a través de la

prótesis. Esto se logra mediante innovaciones en la integración sensorial-motora, mejorando la capacidad de la prótesis para imitar las funciones naturales de un miembro.

### ***Prótesis Pasivas***

Se refieren a un tipo de prótesis que se distinguen por la ausencia de actuadores que faciliten su movimiento, por lo que su funcionalidad se basa en mecanismos que aprovechan la movilidad natural del usuario, convirtiéndola en otro tipo de acción que, de lo contrario, el individuo no podría realizar debido a su condición física. Estos diseños constituyen aproximadamente un tercio de las manos protésicas en uso y aplicadas en pacientes, pero son también las menos atendidas en cuanto a innovaciones y nuevos desarrollos. Tomando en cuenta los diseños más habituales y evaluando su aspecto, complejidad y capacidades, procederemos a realizar una breve clasificación de los tipos de prótesis pasivas disponibles.

### **Figura 2**

#### ***Prótesis Pasiva***

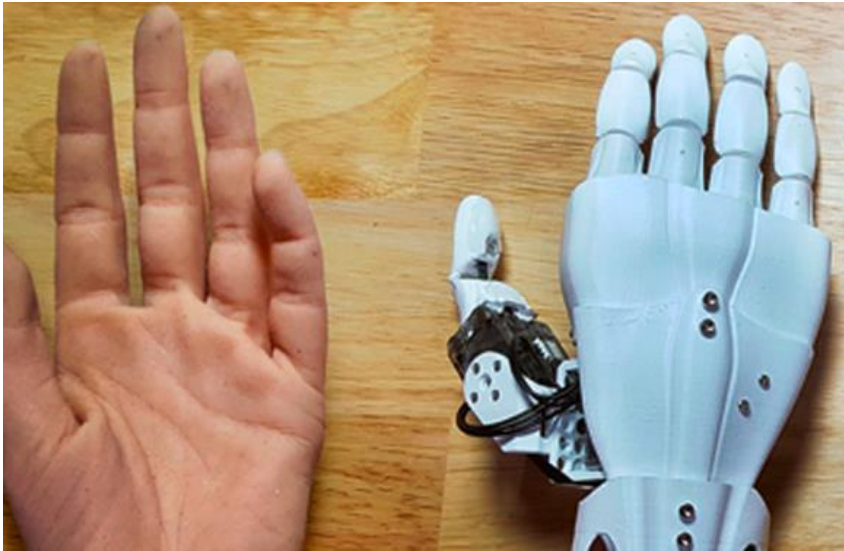


*Nota.* Prótesis puramente estéticas sin ningún mecanismo de acción. Jimdo. Tomado de. Jimdo. <https://soleilortesisyprotesis.jimdofree.com/>

Las prótesis pasivas han experimentado varias actualizaciones recientes, especialmente en términos de materiales y diseño, que han mejorado tanto la funcionalidad como la apariencia estética. En los últimos años, avances en la tecnología de fabricación, como la impresión 3D, han permitido la creación de prótesis más económicas y personalizables. Además, el uso de nuevos materiales, como silicona y componentes más robustos, ha mejorado la durabilidad y comodidad de estas prótesis, permitiendo una integración más natural en la vida diaria del usuario. También se ha trabajado en mejorar la apariencia estética, logrando que las prótesis pasivas se asemejen más a los miembros naturales, lo que contribuye a una mejor autoestima y calidad de vida para los usuarios (Latour, 2022).

### ***Prótesis Puramente Estéticas***

Hacen referencia a diseños que carecen de funcionalidad mecánica y están destinados únicamente a fines estéticos, sin la intención de proporcionar habilidades al usuario. En su mayoría, consisten en una funda simple con una apariencia que se asemeja más o menos a la de un brazo humano, adaptada a la forma de la amputación. Un ejemplo de este tipo de prótesis son las manos personalizadas o las cubiertas de silicona para brazo fabricadas por la empresa Ottobock, entre otros ejemplos disponibles en tiendas ortopédicas. Es importante resaltar que, además de las prótesis completamente estáticas, existen algunos diseños en los que, aunque la posición se mantiene, esta puede ajustarse, ofreciendo un grado leve de funcionalidad además del aspecto estético predominante (Kargov, 2007).

**Figura 3***Mano Protésica*

*Nota.* Prótesis multifuncional. Tomado de. UNAM. <https://www.fundacionunam.org.mx/>

Las prótesis puramente estéticas para miembros superiores han experimentado avances significativos. Estos desarrollos se han enfocado en mejorar tanto el realismo visual como táctil. El uso de silicona médica ha revolucionado la creación de estas prótesis, permitiendo imitar la textura, el color y las características de la piel humana con gran precisión. Los avances en personalización también han sido notables; mediante técnicas de escaneo 3D, es posible crear prótesis que se ajustan perfectamente al tono de piel, la textura y las características únicas como venas y marcas (Medical Art Prosthetics, 2024). La impresión 3D ha facilitado la creación de prótesis completamente personalizadas a un costo más accesible, permitiendo ajustes rápidos y precisos durante la fase de prueba. Además, algunas prótesis incorporan sensores táctiles y tecnologías que simulan la sensación de calor y frío, proporcionando una experiencia más natural al interactuar con el entorno. Estos desarrollos buscan no solo mejorar la apariencia natural de las

prótesis, sino también aumentar la comodidad y funcionalidad para el usuario, haciendo que las prótesis estéticas sean cada vez más indistinguibles de las extremidades naturales.

#### **Figura 4**

##### *Prótesis de Dedos*



*Nota.* Prótesis estética de dedos. Tomado de. Medical. Art Prosthetics.

<https://medicalartprosthetics.com/highly-detailed-prosthetics/finger/>

##### ***Prótesis con Funcionalidad Mecánica***

Estas prótesis están diseñadas para proporcionar al usuario habilidades adicionales que se han perdido debido a la amputación transradial. Según criterios de complejidad y fabricación, podemos distinguir dos tipos. Las prótesis mecánicas para miembros superiores han experimentado avances notables en los últimos años. Según (Cipriani, 2024) estas mejoras se centran en integrar interfaces que permiten un control más intuitivo y preciso de las prótesis, mediante la implantación de electrodos en los músculos o en los nervios residuales. Por ejemplo,

la técnica MyoKinetic utiliza imanes implantados en los músculos para detectar cambios en la longitud muscular, lo que mejora el control de la prótesis, haciéndola más natural y respondiendo mejor a la intención del usuario.

Además, se han desarrollado sistemas de retroalimentación sensorial que permiten a los usuarios experimentar sensaciones táctiles a través de la prótesis. Esto no solo mejora la funcionalidad, sino que también ayuda a los usuarios a percibir la prótesis como una extensión de su propio cuerpo, lo que es fundamental para su integración en la vida diaria (Malešević & Antfolk, 2024).

**Prótesis Convencionales.** En esta categoría se incluyen prótesis ortopédicas comunes, como ganchos, que pueden ser accionadas mediante el movimiento del codo o mediante la extremidad superior funcional. También se encuentran prótesis equipadas con herramientas configurables, como punteros láser, dispositivos de agarre, entre otros. Naturalmente se les conoce como prótesis de exoesqueleto, ya que se construyen a partir de madera o plástico, Sus paredes proporcionan resistencia estructural y forma estética; sin embargo, son menos personalizables que las prótesis de endoesqueleto (Primecare, 2009).

**Prótesis Avanzadas.** Se diferencian del grupo anterior principalmente por las tecnologías de fabricación empleadas. Se utilizan técnicas de visión artificial para adaptar la prótesis y la fabricación aditiva para su elaboración, lo que permite una personalización muy alta y una flexibilidad notable, al tiempo que reduce los costos en comparación con la ortopedia convencional. Un ejemplo destacado de estas ventajas son las prótesis eNable, un proyecto que ofrece una amplia variedad de diseños, impresos en 3D, de bajo costo y escalables, lo que las hace aplicables a personas de cualquier edad.

Entre las prótesis más avanzadas del mundo se encuentra la mano "Luke", creada por Open Bionics. Esta innovadora prótesis incorpora tecnología de sensores y sistemas de control de movimiento, lo que permite a las personas con discapacidades físicas realizar actividades cotidianas con mayor precisión y naturalidad, como agarrar objetos, escribir, y realizar movimientos complejos. Además, la "Luke" está diseñada para adaptarse a las necesidades individuales de cada usuario, mejorando significativamente su calidad de vida y autonomía (Prothesia, 2022).

**Figura 5***Prótesis Mano Biónica*

*Nota.* Prótesis diseñada para imitar movimientos naturales. Tomado de. Psyonic.

<https://www.psyonic.io/>

***Prótesis Activas***

Las prótesis activas se caracterizan por su capacidad para asistir al movimiento del usuario mediante actuadores y la predicción de su intención, lo que les permite proporcionar habilidades más similares a las de un brazo humano. Para ofrecer esta asistencia, estas prótesis están equipadas con actuadores mecánicos capaces de desplazar la prótesis. Según el tipo de movimiento que realizan y el principio físico que aprovechan, se pueden distinguir diferentes dispositivos:

**Motores Convencionales.** Se refiere a motores de corriente continua (DC), tanto con escobillas como sin ellas, que suelen estar acompañados de reductores y sistemas de tensores y cabrestantes para transmitir el movimiento a la prótesis.

**Motores Lineales.** Son dispositivos electromagnéticos con forma tubular que tienen la capacidad de desplazar un eje cilíndrico a lo largo de su trayectoria. Se pueden emplear para accionar directamente la mano o bien utilizar sistemas de transmisión que incluyan tensores o enlaces mecánicos rígidos (LinMot, s.f.)

**Figura 6**

*Motor lineal Corto*



*Nota.* Motor diseñado para aplicaciones con restricción de espacio. Tomado de. Lin Mot.

<https://linmot.com/products/linear-motors/>

## *Neumática*

**Neumática convencional.** Se refiere a cilindros que son activados mediante aire comprimido. Son relativamente fáciles de controlar y pueden proporcionar cierta suavidad en el movimiento dependiendo de la presión y la velocidad de actuación utilizadas. Sin embargo, requieren sistemas adicionales grandes y pesados para generar y almacenar el aire comprimido necesario para su funcionamiento.

**Neumática biomimética.** Se trata de actuadores biomiméticos que funcionan con aire comprimido. En este tipo de actuadores se destacan los músculos neumáticos de Festo, que son un producto biónico comercial.

### **Figura 7**

#### *Músculos neumáticos biomiméticos*



*Nota.* Dispositivos que imitan la función del músculo biológico. Tomado de.

Interempresas. <https://www.interempresas.net/>

**Robustez.** Con el propósito de garantizar una confiabilidad adecuada para las actividades cotidianas, estos diseños suelen contar con estructuras sólidas y actuadores lo suficientemente potentes para realizar tareas de agarre y manipulación de objetos.

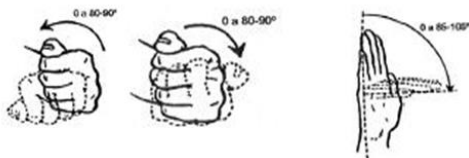
**Autonomía extendida.** Dado que estas prótesis están diseñadas para actividades diarias, están equipadas con baterías que tienen una capacidad adecuada para proporcionar energía durante períodos prolongados de uso. La duración de la batería puede variar desde varias horas hasta un día completo, e incluso en algunos diseños puede extenderse durante varios días.

Un ejemplo destacado de este tipo de prótesis es el brazo protésico Hero Arm de Open Bionics, que ha obtenido certificación para uso médico y ha generado un gran impacto en los medios de comunicación. Este brazo protésico ofrece varias posiciones, detección de intenciones y opciones de personalización en cuanto a tamaño y apariencia.

En el Grupo de Investigación en Biomecánica de la Universidad Nacional de Colombia (GIBM-UNCB No. COL0009476) se ha venido trabajando sobre prótesis para miembro superior desde los años 90. Dentro de los desarrollos en este campo se encuentra el proyecto de investigación. Desarrollo de prótesis mioeléctrica de mano, el cual dio origen a la elaboración de este trabajo. La investigación mencionada fue apoyada por la División de Investigaciones de Bogotá, DIB, Cod. 80814, fases 1 y 2 (2002-2003). En el marco del proyecto aprobado por la DIB, durante el año 2002 se llevó a cabo el proceso de diseño de un prototipo en el trabajo. Sistema mecánico para prótesis mioeléctrica de mano, el cual incluía tres módulos que pretendían suplir tres de las funciones que habría perdido un paciente con amputación proximal de codo.

## Figura 8

### *Movimientos de la Mano*

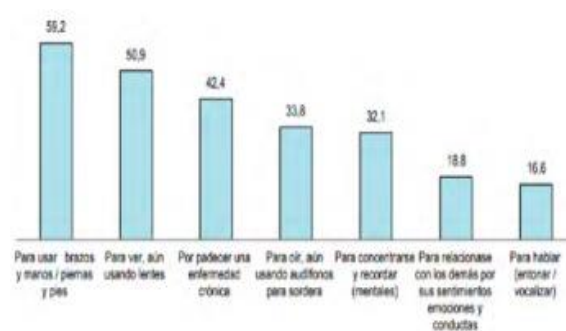


*Nota.* Funciones a sustituir a través del diseño de prototipo. Tomado de. Corte & Niño. (1997). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-56092006000300001](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092006000300001)

El Instituto Nacional de Estadística e Informática ha estimado, para el año 2020, que un total de 3 351 919 personas presentan alguna discapacidad en el Perú, lo cual corresponde al 10.3% de la población nacional (INEI, 2014). Asimismo, la Primera Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad del año 2012, señaló que los tipos más frecuentes de discapacidad se presenta en brazos, manos, piernas y pies, alcanzando un porcentaje de 59.2% (INEI, 2014), como se muestra en la Figura 9.

## Figura 9

### *Tabla Estadística*

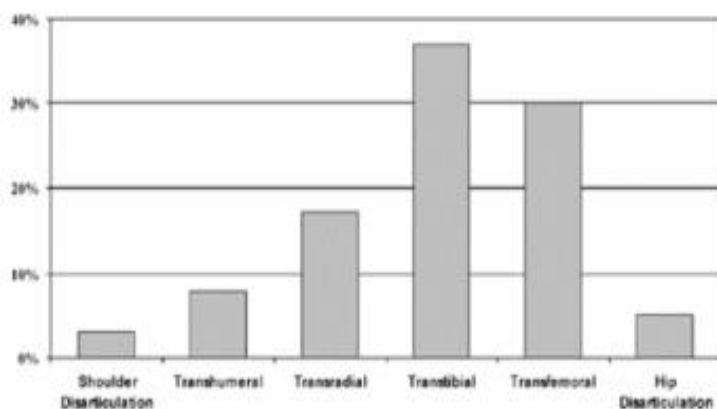


*Nota.* Porcentaje de discapacidad para realizar actividades diarias. Tomado de. INEI. (2014).

Es complicado delimitar el número exacto de personas que han sufrido amputaciones a nivel mundial, sin embargo, el Centro Nacional de Estadísticas Sanitarias estima que aparecen 50 000 nuevas amputaciones anuales en los Estados Unidos. Esquenazi extrapola dicha data con estudios realizados en diferentes países, y afirma que el 8% del total de amputaciones son transhumerales (Esquenazi, 2004), como se muestra en la Figura 10.

**Figura 10**

*Tabla Estadística*

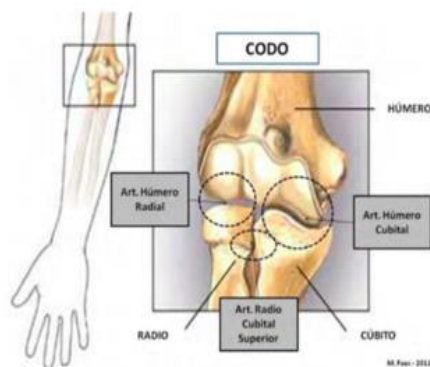


*Nota.* Porcentaje de amputación de miembro superior. Tomado de. Esquinazi. (2004).

El codo es una articulación intermedia del miembro superior, encargada de la unión mecánica entre el brazo y antebrazo. Hace posible que el ser humano se lleve alimentos a la boca gracias a distintos movimientos, haciendo de esta una articulación esencial para la alimentación (Kapandji, 2006). Asimismo, el codo es una articulación en forma de bisagra/pivote, la cual está conformada de tres articulaciones: la humero-cubital, humero-radial y la radio-cubital proximal, como se muestra en la Figura 11.

## Figura 11

### *Articulación de codo*



*Nota.* Partes de articulaciones de codo. Tomado de. Kapandji. (2006).

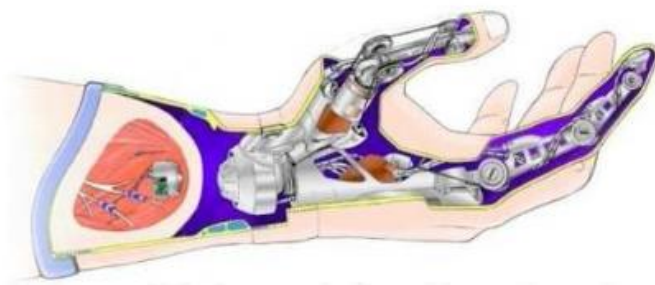
En la Universidad de Tokio, el grupo de investigación conformado por Ito, Kondo y Shibuta, desarrolló el trabajo de investigación “Aprendizaje motor entre el cuerpo, herramientas y sistemas del entorno”. En este trabajo se presenta un nuevo método de aprendizaje basado en el refuerzo que se obtiene con el desarrollo de tareas que relacionan la herramienta a manejar con los patrones de movimiento de la mano para llegar al objetivo. La investigación parte de la posibilidad de aprender nuevas actividades motrices y de ver la repetición de una actividad motora como elemento fundamental para el desarrollo de la práctica o de la destreza motriz. En este sentido, el individuo crea una dinámica entre las emociones, el cuerpo y la herramienta, de tal forma que el control de la herramienta se integra armónicamente al movimiento del cuerpo. Para lograr esto, se requiere de la intervención del sistema nervioso central en los respectivos mecanismos de control del movimiento espacio-temporal, para que se dé un ajuste a la dinámica de los diferentes entornos. Según lo planteado en la investigación, el cuerpo tiene incidencia directa en el sistema de grados de libertad humana. A pesar de esto, su interacción con la herramienta produce, por una parte, una dinámica externa, para el desarrollo de tareas conjuntas

en el me-dio ambiente, y por otra, una dinámica interna para el desarrollo del control. El objetivo que se planteaban era evidenciar que el aprendizaje motor corresponde al ajuste de mecanismos de control, internos y externos, para que el cuerpo, la herramienta y el entorno permitan el desarrollo de problemas y, en esta medida, el empleo de muchos tipos de herramientas para lograr diversas tareas de la vida cotidiana.

La prótesis biónica de CyberHand es una con tecnología moderna y costosa, ya que se conecta los electrodos de la prótesis a las terminaciones nerviosas de la mano de la persona amputada mediante una cirugía (Micera, 2010), permitiéndole recoger la información del cerebro mediante sensores, es por ello que al paciente con amputación puede sentir la presión y la temperatura a la que está sometida la prótesis (Dario, 2005), en la Figura 13 se muestra la prótesis CyberHand. La evolución hacia la fabricación de una prótesis que cumpla todas las expectativas tanto en funcionalidad como en costo, ocurrirá posiblemente en un plazo de pocas décadas; para lograr una prótesis de esa magnitud se requerirán de grandes esfuerzos interdisciplinarios de la ingeniería, que junto con la tecnología permitirán superar debilidades y desventajas presentes en las prótesis actuales.

### **Figura 12**

#### *Prótesis Biónica Cyberhand*



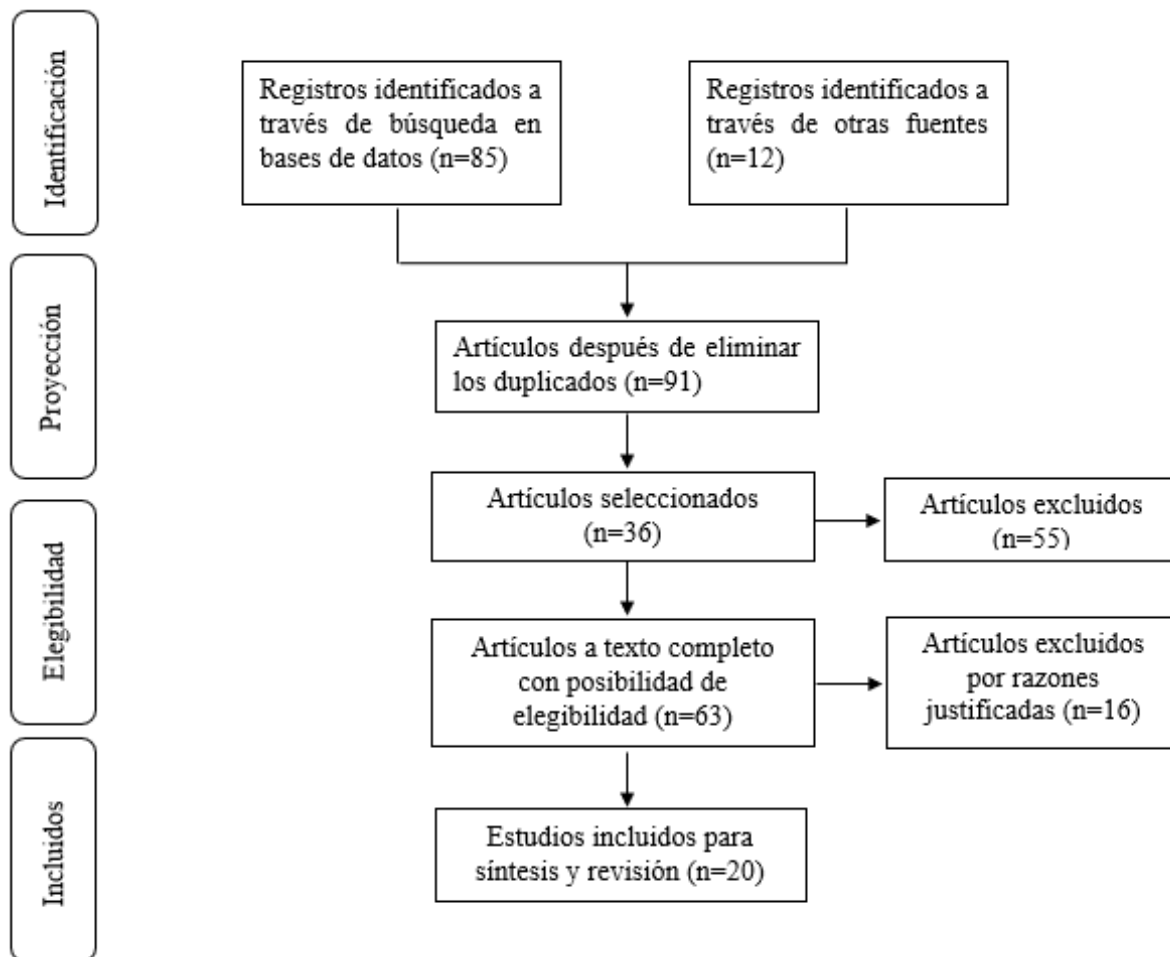
*Nota.* Prótesis que recrea la percepción sensorial natural. Tomado de. Darío. (2005).

La investigación y aplicación el desarrollado por (Galvan & del Milagro, 2019), en el artículo “Análisis de Patrones en Señales Musculares de Extremidad Superior Mediante técnicas de Machine Learning”, este enfoque se centra en mejorar la técnica de análisis de señales de electromiografía (EMG) para controlar prótesis, clasificando las señales en dos grupos principales. Se implementan estudios complementarios y mejoras para el desarrollo de prótesis que permitan un movimiento más natural y preciso de los dispositivos, así encontramos además (Batzianoulis, 2018), el artículo “Decodificación de la intención de agarre a partir de la electromiografía durante los movimientos de alcance”, esta tecnología ofrece una forma más natural e intuitiva de controlar dispositivos protésicos, ya que permite que el cierre del agarre se controle con el movimiento de alcance, lo que reduce los retrasos en la interacción entre la intención del usuario y la respuesta del dispositivo.

## Diagrama de Flujo PRISMA

**Figura 13**

*Diagrama de Flujo PRISMA*



*Nota.* Diagrama para representar el proceso de selección de artículos de estudio.

## Prótesis Mioeléctricas

### Tipología de las Prótesis Mioeléctricas

En la búsqueda de la comodidad, los seres humanos estamos transformando nuestro ambiente tomando los recursos necesarios para producir unos nuevos dependiendo de la finalidad. Crear nuevas herramientas que faciliten la vida de las personas es a lo que llamamos tecnología, lo cual es la medida de nuestro progreso. Actualmente, las prótesis controladas mediante señales mioeléctricas ofrecen una notable mejoría en la rehabilitación de los pacientes en comparación con otras tecnologías disponibles. Además de su aspecto estético mejorado, estas prótesis destacan por su capacidad para ofrecer un control preciso sobre la fuerza y la velocidad de agarre, así como por su capacidad para generar una amplia gama de movimientos y funcionalidades. Lo que conlleva a la creación de diferentes tipos de prótesis mioeléctricas, como lo son las prótesis de mano completa, las prótesis de manos parciales, prótesis de antebrazo y prótesis por encima del codo.

***Prótesis por Encima de Codo.*** Las prótesis superiores al codo (AE) y las prótesis de desarticulación del codo son aparatos protésicos diseñados para reemplazar un brazo amputado por encima del codo. Estos dispositivos son comúnmente empleados en casos de amputaciones causadas por traumatismos, cáncer u otras condiciones médicas. En la figura 14 se observa una prótesis por encima del codo la cual ofrece al usuario un movimiento de 0,5 segundos desde la extensión hasta la flexión completa del mismo. El codo tiene una velocidad proporcional y puede levantar activamente hasta 11 libras. Además de tener una capacidad de retención estática de 50 libras.

**Figura 14***Prótesis por Encima de Codo*

*Nota.* Prótesis para desarticulado de hombro. Tomado de. Ottobock.

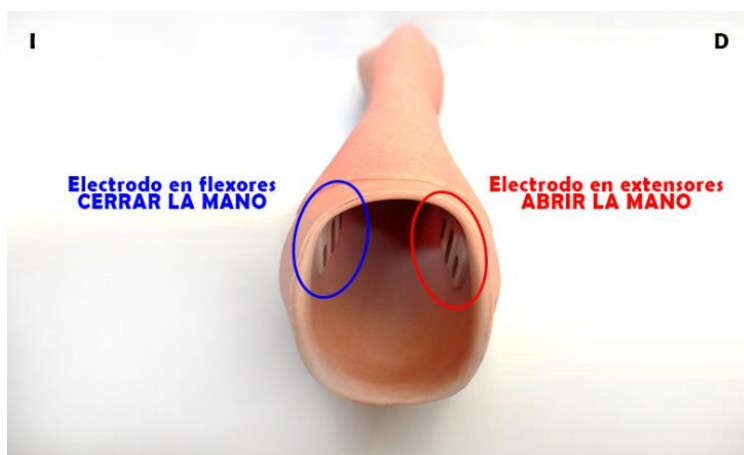
<https://www.ottobock.com/en-us/hom>

Entre sus otras características, tiene una velocidad de 270 °/seg, un suministro de corriente con una batería de LI-Ion 1800 mAh y un rango de ángulo de flexión en 15° - 45°. Lo que le da “el equilibrio automático del antebrazo del codo aprovecha la energía que se almacena cuando el brazo está extendido y la reutiliza para la flexión. Esto le da al codo un movimiento suave y natural al caminar. Posee además La capacidad de controlar la mano mediante señales, permitiendo girar la mano hacia adentro o hacia afuera sin hacer uso de la otra mano” (Ottobock., 2020). La ubicación de los electrodos es importante debido a que los tríceps abren la mano y los bíceps la cierran.

**Prótesis de Antebrazo.** La prótesis de suspensión transradial o prótesis de antebrazo está diseñada para amputados con miembros remanentes más cortos y cercanos al codo. (victoria hand project, 2018). Estas prótesis son manejadas electrónicamente a través de la voluntad del usuario, quien controla su movimiento mediante contracciones musculares. Para este propósito, generalmente se colocan dos electrodos dentro del ajuste de la prótesis, los cuales permanecen en contacto constante con la piel se observa en la figura 15. En su funcionamiento los extensores abren la mano y los flexores la cierran.

**Figura 15**

*Prótesis de Antebrazo mioeléctrica*



*Nota.* Prótesis controlada electrónicamente mediante contracciones musculares. Tomado de.

Ossur. <https://www.ortosur.es/>

Las prótesis mioeléctricas de antebrazo existentes pretenden ser lo más ligeras posible con pesos de hasta un kilo y permitirle al usuario generar giros de 180° en la muñeca; la figura 16, muestra la prótesis Michelangelo, la cual pretende ofrecerle al usuario con sus siete posibilidades de agarre diferentes restaurar numerosas funciones de la mano, pues su fuerza de

agarre está entre las 13 – 15 libras; las cuales se pueden ajustar y controlar la fuerza necesaria para sostener un objeto pesado o liviano.

### **Figura 16**

#### *Prótesis de Antebrazo Michelangelo*



*Nota.* Prótesis que busca restaurar numerosas funciones de la mano natural. Tomado de Ottobock. <https://www.ottobock.com/en-us/product/8E500>

***Prótesis de Mano Completa.*** La estructura de la mano humana se compone de 27 huesos, agrupados en tres categorías principales: el carpo, los metacarpianos y las falanges. Esta compleja articulación se une a la muñeca mediante la palma y ofrece un total de veinte grados de libertad, controlados por alrededor de 31 músculos. Además de esto, la mano humana presenta más de 25 grados de libertad en su conjunto (Ming-Jin Liu, Cai-Hua Xiong, Le, & Xiao-Lin, 2016).

La Figura 17 corresponde al sistema Michelangelo hand, la cual es una prótesis con limitados grados de libertad, donde los dedos están formados por un único segmento rígido, es decir, sin articulaciones intermedias, lo que restringe su capacidad funcional y destreza. Permite

el control activo del movimiento de los dedos pulgar, índice y medio, mientras que el anular y meñique siguen los movimientos de forma pasiva.

**Figura 17**

*Prótesis de Mano Michelangelo*



*Nota.* Prótesis que replica las funciones de la mano natural. Tomado de. Ottobock.

<https://www.ottobock.com/en-us/product/8E500>

Entre sus otras características, Su peso es de 420 gramos, su velocidad alcanza los 324 milímetros por segundo, y puede abrir su mano hasta 120 milímetros. Ejerce una fuerza de agarre en oposición de 70 Newtons, una fuerza de agarre lateral de 60 Newtons y una fuerza de agarre en posición neutral de 15 Newtons. Además, cuenta con la opción de incorporar un sistema de muñeca que permite la flexión, extensión y rotación, así como también la pronación, ya sea de forma pasiva o activa (Calderon, Ramirez, Barros, & Punin, 2017).

**Prótesis De Manos Parciales.** Las amputaciones totales o parciales de mano son frecuentes y suelen deberse a accidentes laborales o actividades en las que interviene maquinaria peligrosa (Primecare, 2009). La figura 18 es una prótesis mioeléctricas desarrollada por la empresa Touch Bionics en el año 2015, la cual presenta mejoras que la caracterizan de otras; como lo son el control de gestos y de proximidad disponible a través de grip chips, además se puede ajustar la velocidad aumentándola hasta en un 30%, tiene componentes mejorados para facilitar la fabricación con un aumento de la duración de la batería en un 50% la cual están ubicadas en el antebrazo para reducir el tamaño de la mano, presenta una nueva forma de encaje que reduce el tamaño del dispositivo en sus dimensiones y los motores están contenidos en los dedos.

### **Figura 18**

#### *Prótesis de Mano I-quantum*



*Nota.* Prótesis que cambia los modos de agarre de la mano con un gesto Tomado de.

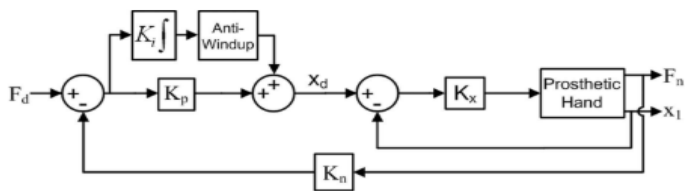
Ossur. <https://www.ossur.com/en-us/prosthetics/arms/i-digits-quantum>

**Mecanismo de Acción.** Las prótesis mioeléctricas son mecanismos accionados por actuadores que se activan mediante señales adquiridas por medio de agujas intramusculares superficiales o mediante electrodos ubicados en el muñón del paciente (Mesa, 2020). Su funcionamiento se basa en la captura y procesamiento de señales electromiográficas (EMG) generadas por los músculos residuales del usuario. Estas señales son detectadas por los electrodos en contacto con la piel sobre los músculos residuales, donde se producen contracciones musculares voluntarias. Luego, el controlador electrónico amplifica y procesa estas señales, interpretándolas para generar comandos que dirigen el movimiento de la prótesis.

La mayoría de las prótesis mioeléctricas utilizan una combinación de control de fuerza y posición, especialmente para realizar actividades que involucran contacto y no contacto con el entorno. Esta estrategia implica una conmutación entre el control de fuerza y el control de posición, activándose secuencialmente según las necesidades. El control de fuerza-posición recibe como entrada las fuerzas deseadas ( $F_d$ ) y las posiciones deseadas ( $X_d$ ) de cada dedo, obtenidas a partir del procesamiento de las señales electromiográficas (EMG) de los músculos del brazo del usuario. Cada sistema de control utiliza sensores de posición y fuerza en cada dedo para proporcionar una retroalimentación al sistema. La figura 19. Corresponde Controlador híbrido de fuerza y velocidad con retroalimentación de posición y fuerza.

**Figura 19**

*Diagrama de Controlador*



*Nota.* Controlador híbrido de fuerza y velocidad. Tomado de. Sanford G. Meek (2008).

En el cual los dos bucles de retroalimentación facilitan el control de la rigidez modulando la fuerza ejercida sobre el entorno mediante un cambio en la posición de la mano. El circuito de control de fuerza exterior utiliza una técnica PI para minimizar el error de fuerza. La salida del bucle de control de fuerza PI es una trayectoria de distancia, que se utiliza para especificar el espacio deseado entre el pulgar y el índice (Meek, Engeberg, & Minor, 2008). Una ventaja de este método de control es su capacidad para resistir fuerzas externas desconocidas y errores en los parámetros del modelo del sistema.

***Componentes de Prótesis Mioeléctricas.*** Las prótesis mioeléctricas representan un avance significativo en la tecnología de asistencia para personas con amputaciones de miembros superiores. Estas ofrecen una restauración de la funcionalidad del miembro perdido al aprovechar la actividad eléctrica de los músculos residuales del usuario por medio de los componentes que están interconectados. Todas las prótesis mioeléctricas comparten algunos componentes básicos, como lo son motores, placa electrónica, baterías y sensores, la forma en que estos componentes se integran y se utilizan puede diferir considerablemente dependiendo del fabricante.

***Placa Electrónica.*** La unidad de control mioeléctrico es en esencia una placa electrónica que contiene circuitos y componentes especializados diseñados para interpretar las señales EMG generadas por los músculos residuales del usuario, que sirven para activar los motores y controlar los actuadores de la prótesis en respuesta a la actividad muscular. Este controlador puede estar integrado directamente en la prótesis o puede ser un dispositivo externo que se conecta a la prótesis a través de cables o inalámbricamente, dependiendo del diseño específico de la prótesis y las necesidades del usuario.

**Motor y Servomotor.** En el ámbito de las prótesis de miembro superior, los motores juegan un papel fundamental al proporcionar el movimiento básico, como la flexión del codo o la apertura y cierre de la mano. La complejidad radica en el espacio limitado disponible para el montaje de estos motores dentro de la mano protésica, lo que exige que sean compactos y eficientes. Además, deben ofrecer un alto torque para poder manipular objetos pesados de manera efectiva. Por otro lado, en este tipo de prótesis se trata de generar movimiento con precisión de aquí la importancia de los servomotores (ver figura 20), pues estos brindan un control preciso y repetible de la posición y la velocidad en la prótesis. Así pues, los servomotores se utilizan para controlar movimientos específicos que demandan precisión, como la apertura y cierre de una mano protésica para agarrar objetos con distintos niveles de fuerza. Integrados con sistemas de retroalimentación, como encoders, los servomotores son capaces de detectar la posición actual del eje y ajustar su movimiento según una señal de control, lo que permite una manipulación más precisa y delicada de la prótesis. La combinación de estas especificaciones técnicas garantiza un funcionamiento óptimo de la prótesis, permitiendo que los usuarios realicen una amplia gama de actividades con facilidad y precisión.

### **Figura 20**

*Servo motor*



*Nota.* Componente para el control de movimientos. Tomado de. Yaxa.

<https://colombia.yaxa.co/products/nofaner-servo-micro-lineal-de-0-05oz-servo-actuador-digital-analogico-servo-carga-lineal-actuador-para-aviones-ultra-micro-3d/?amp=1>

**Sensores.** Las prótesis mioeléctricas están equipadas con una variedad de sensores que tienen la capacidad de detectar el impulso eléctrico de un músculo, y por medio de un acondicionamiento de señal, amplificación y filtrado se interpreta una orden (Torres & Vega, 2019). Estos sensores pueden incluir electrodos de superficie que se colocan sobre la piel, sensores de EMG intramusculares que se insertan directamente en los músculos, sensores de presión que detectan la fuerza ejercida sobre la prótesis, y sensores de posición que registran el movimiento y la posición de la prótesis en el espacio.

**Sensores de Superficie.** Uno de los tipos de sensores utilizados son los electrodos de superficie que se colocan sobre la piel para registrar la actividad eléctrica de los músculos. Estos electrodos detectan los impulsos eléctricos generados por los músculos residuales durante la contracción, permitiendo así controlar la prótesis de manera intuitiva y natural. Estos electrodos presentan diámetros que varían desde 0.3 hasta 0.5 cm y en algunos casos hasta 1 cm. Típicamente, la impedancia normal de la piel, vista por el electrodo, varía desde 0.5 k ohm para piel sudorosa hasta 20 k ohm para piel seca. Problemas de la piel producen un incremento en la impedancia en el rango de 500 k ohm. En cualquier caso, se deberá tratar los electrodos de superficie como una fuente de voltaje con muy alta impedancia, situación que influye en forma decisiva en el diseño del circuito de entrada del amplificador bioeléctrico (Correa, 2016).

**Figura 21**

*Sensor de Superficie EMG MYOWARE*



*Nota.* Registra la actividad eléctrica de los músculos. Tomado de. Naylamp Mechatronics. <https://naylampmechatronics.com>

**Sensores Intramusculares.** Los sensores intramusculares requieren de una aguja electrodo, estas se insertan a través de la piel hasta que entre al tejido muscular (Galvez, 2011). Estos sensores proporcionan una lectura más directa y precisa de la actividad muscular, lo que puede mejorar la calidad del control de la prótesis.

**Encoders.** Por otro lado, Los encoders son sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento, ya sea rotacional o lineal (Servo Motors Adjust, 2023). En las prótesis mioeléctricas, los encoders desempeñan un papel crucial en el control del movimiento y la posición de la prótesis. Permiten medir la posición y la velocidad de los actuadores, proporcionar retroalimentación en tiempo real sobre la posición actual de la prótesis, y ajustar la fuerza de agarre de la mano protésica según la resistencia del objeto que se está manipulando. Esto garantiza un control preciso y adaptable del movimiento de la prótesis, mejorando la calidad de vida de las personas con amputaciones.

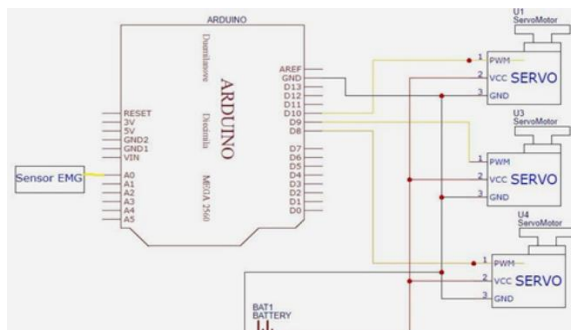
**Figura 22***Encoder*

*Nota.* Sensores que generan señales digitales en respuesta al movimiento. Tomado de. Servo Motors. Adjust. (2023).

Las conexiones electrónicas establecen vínculos entre los diferentes componentes electrónicos de la prótesis que van desde los electrodos de superficie colocados sobre los músculos hasta los amplificadores de señal, así como cables que conectan los amplificadores con los actuadores responsables de producir el movimiento en la prótesis. Estas conexiones (ver figura 23) son esenciales para la comunicación eficaz entre los componentes del sistema, permitiendo que la prótesis interprete correctamente las señales musculares del usuario y responda con los movimientos deseados de la extremidad protésica.

## Figura 23

### *Circuito Electrónico*



*Nota.* Circuito con Arduino para el movimiento de la prótesis. Tomado de. Hurtado. (2017).

El circuito electrónico está conformado por una placa electrónica Arduino, 3 servomotores MG996R que provee el torque y adaptabilidad referente al espacio para su ensamble, así como la precisión en movimientos angulares requeridos; los cuales actúan de forma simultánea, con el mismo torque y desplazamiento angular, por lo que la mano cuenta con un solo grado de libertad (Hurtado, 2017).

### **Análisis**

Las prótesis mioeléctricas representan un avance significativo en la tecnología de asistencia médica, ofreciendo una notable mejora en la rehabilitación y calidad de vida de los pacientes. Este tipo de prótesis se destaca no solo por su estética, sino por su capacidad de proporcionar un control preciso sobre la fuerza y la velocidad del agarre, permitiendo una amplia gama de movimientos y funcionalidades. La tecnología se ha adaptado para crear diversos tipos de prótesis mioeléctricas, como las de mano completa, parcial, de antebrazo y por encima del codo, cada una diseñada para satisfacer necesidades específicas según el nivel de amputación del usuario.

Las prótesis por encima del codo son particularmente complejas debido a la necesidad de reemplazar funciones del codo además de la mano. Estas prótesis pueden mover el codo con rapidez y fuerza, y también ofrecen retención estática considerable. Los modelos más avanzados, como los descritos, utilizan la energía almacenada durante la extensión para ayudar en la flexión, ofreciendo un movimiento más natural y suave. Las prótesis de antebrazo, por su parte, se centran en la ligereza y la funcionalidad, permitiendo una rotación considerable de la muñeca y varios modos de agarre que restauran numerosas funciones de la mano perdida.

Las prótesis de mano completan y de mano parcial abordan desafíos únicos debido a la complejidad de los movimientos de la mano humana. Las prótesis de mano completan, como el sistema Michelangelo, tienen un diseño que permite el movimiento activo de algunos dedos, mientras otros se mueven pasivamente, limitando en cierta medida su funcionalidad comparada con una mano natural. Las prótesis de mano parcial, como las desarrolladas por Touch Bionics, incorporan avances en control de gestos y durabilidad de batería, mejorando significativamente la eficiencia y la comodidad del usuario. La precisión en el control de estas prótesis se logra gracias a los sensores que detectan señales electromiográficas y los motores que ejecutan movimientos con exactitud, proporcionando una solución integrada y avanzada para personas con amputaciones de miembros superiores.

## **Conexión Emocional**

### **Funcionalidad Hacia la Conexión Emocional.**

La amputación posee una particular relevancia médica, pues la discapacidad que genera es consecuencia de un procedimiento terapéutico que erradica una patología. En otras palabras, la amputación actúa como la "cura" o "sanación" de una enfermedad preexistente (Osorio, 2007). Entonces, para que alguien pueda comprender esta información, es crucial tener en cuenta el factor tiempo, ya que puede generar conflictos internos con sus propias ideas. Integrar el papel de una persona con discapacidad y todas las dificultades emocionales, físicas y sociales asociadas es un proceso complejo y prolongado. Las personas con amputaciones en sus extremidades superiores suelen reportar dificultades tanto para aceptar ser observadas por los demás como para explicar las razones de su amputación. Ser observados es una de las situaciones que más ansiedad les provoca (Desmond, 2007); por ende, son diferentes las variables examinadas en el proceso de adaptación psicosocial a una amputación. Cada proceso de amputación presenta desafíos únicos para la persona, por lo que entender estos desafíos ayudará a ofrecer apoyo específico para mitigar su impacto y acelerar el proceso de adaptación a la vida cotidiana y a la nueva realidad física.

### ***Apoyo Social***

Uno de los factores ambientales sociales más importantes que contribuyen al funcionamiento es el apoyo social, que se ha descubierto que tiene funciones tanto directas como amortiguadoras en modelos de dolor crónico; Un estudio encontró que un año después de completar un programa de tratamiento del dolor, los pacientes con dolor crónico provenientes de familias que los apoyaban reportaron una menor intensidad del dolor y una menor dependencia de medicación, mayores niveles de actividad y tenían una mayor probabilidad de estar

trabajando, en comparación con los pacientes de familias que no los apoyaban (Hanley, 2004). Además, En un estudio de factores asociados con el dolor relacionado con la amputación, Gallagher descubrieron que las personas que informaron haber recibido apoyo antes de una amputación tenían menos probabilidades de experimentar dolor del miembro fantasma en comparación con aquellas que no recibieron apoyo.

### ***Apoyo Familiar***

Así mismo, Las familias con hijos e hijas que presentan amputaciones congénitas en las extremidades superiores muestran características y fortalezas específicas que les ayudan a afrontar la situación y alcanzar un ajuste psicosocial positivo. Estas familias tienen una notable capacidad para aceptar las diferencias en las personas y para identificar redes de apoyo social, como otras familias en circunstancias similares o su familia extendida. Además, se distinguen por su habilidad para usar el humor de manera adecuada en momentos difíciles, expresan y gestionan las emociones de manera efectiva, promueven el desarrollo del niño y demuestran aptitud para tomar decisiones (Murray, 2007).

### ***Imagen Corporal***

La imagen corporal es una de las afectaciones emocionales que influyen en el comportamiento del paciente, la pérdida de la estructura física causa mucho impacto en las personas, llevando un proceso de adaptación de su imagen corporal conforme pasa el tiempo con la amputación. Dicha adaptación se lleva a cabo por medio de tres etapas, El periodo de tiempo que se necesita para atravesar estas etapas es de aproximadamente 18 meses. Estas etapas se definen como: 1) shock, el cual corresponde al impacto que surge luego de la primera observación de su cuerpo mutilado, 2) deseo de restauración, se basa en la utilización de mucha energía para ocultar el cuerpo y el funcionamiento alterado y finalmente, 3) integración de la

nueva imagen corporal, esto se logra cuando se implican más en su pérdida, reconocen la alteración de su cuerpo e incorporan los cambios físicos a su vida y logran aceptarse con esa nueva imagen corporal (Horgan, 2004).

### ***Ajuste Psicosocial***

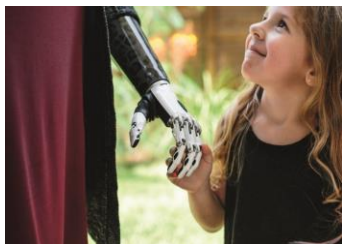
La conexión entre una amputación y la discapacidad tiende a provocar síntomas depresivos en las personas afectadas, y estos síntomas, a su vez, aumentan la percepción del dolor en dichos individuos. Los síntomas de depresión son notablemente altos durante los dos primeros años tras una amputación, pero después de este período, comienzan a disminuir. La sintomatología depresiva se manifiesta generalmente entre los 18 meses y los 2 años posteriores a la amputación, lo que sugiere que el periodo normal de adaptación se encuentra dentro de ese rango de tiempo. Además, las personas amputadas entre 2 y 10 años experimentan una reducción en los síntomas depresivos. Actualmente, no existen investigaciones suficientes para definir un perfil claro sobre la aparición y persistencia de síntomas depresivos en individuos con más de 10 años de amputación, ya que los estudios disponibles no ofrecen resultados concluyentes y significativos (Horgan, 2004). Tras una amputación, las emociones iniciales como la ira y la frustración son comunes, especialmente para aquellos que trabajan de manera independiente. Esto genera interrogantes importantes sobre la posibilidad de volver a encontrar empleo. Durante la hospitalización, las personas disponen de tiempo para reflexionar, centrándose no solo en la pérdida física, sino también en descubrir nuevas capacidades. El respaldo emocional de familiares y amigos juega un papel esencial en este proceso, brindando la fortaleza necesaria para superar los desafíos. La prótesis de mano se convierte en un recurso crucial, restableciendo la confianza y proporcionando independencia en diversas actividades laborales y cotidianas. Su impacto trasciende el ámbito laboral, facilitando también las tareas domésticas y permitiendo una

integración fluida en la vida diaria. En última instancia, la prótesis se convierte en una extensión natural del cuerpo, ayudando a dejar atrás la pérdida del miembro amputado.

La prótesis es una herramienta que facilita el ajuste psicosocial tras una amputación, proporcionando movilidad e independencia funcional. Ayuda a reducir la ansiedad relacionada con la imagen corporal y previene el posible desarrollo de síntomas depresivos. Según Lundberg, Hagberg, & Bullington (2011) la variación en el ajuste psicosocial relacionado con el uso de una prótesis depende del nivel de independencia funcional y la ausencia de síntomas negativos y perturbadores. Cuando esto se logra, los pacientes empiezan a ver la prótesis como parte de sí mismos, lo que representa un avance significativo en su proceso de adaptación. Aunque una prótesis facilita la adaptación y reajuste para alguien que ha sufrido una amputación, su uso conlleva ciertos desafíos. Por ejemplo, una persona con una amputación tiende a fatigarse más fácilmente, ya que caminar con una prótesis requiere más energía que hacerlo con las extremidades naturales. Además, hay una reducción en las habilidades necesarias para algunas actividades, como trabajos que demandan fuerza física o la práctica de deportes, una disminución en la actividad sexual y la presencia de dolor del miembro fantasma (Atherton & Robertson, 2006).

#### **Figura 24**

##### *Prótesis Touch bionics*



*Nota.* Adaptación protésica. Tomado de. Interbionic. <https://interbionic.mx/protesis-mioelectricas/>

Por otro lado, las prótesis van más allá de ser simplemente artefactos funcionales; es crucial explorar las dimensiones emocionales, psicológicas y conductuales que están intrínsecamente ligadas a ellas. (Norman, 2005) sugiere que el aspecto emocional puede ser crucial para el éxito de un producto, incluso más que sus aspectos prácticos. Esta interacción entre la función y la emoción se manifiesta a través de aspectos sensoriales como el olfato, la vista, el oído y el tacto, que permiten a los artefactos inanimados ser percibidos de manera emotiva por las personas. El éxito en la adaptación al uso de una prótesis y la recuperación de la movilidad depende en gran medida del perfil psicológico de la persona. Por lo tanto, se recomienda realizar una evaluación antes de la amputación para entender este perfil y desarrollar estrategias de intervención que aborden estas áreas específicas (Callaghan, 2008).

Petruska (2015) señala cómo los humanos proyectan emociones en los artefactos, dotándolos de una representación emotiva, a pesar de su falta de vida. Aunque se han desarrollado numerosos productos (prótesis) que se acercan cada vez más a la anatomía natural del cuerpo humano, desde elementos puramente estéticos hasta artefactos totalmente funcionales, la Dra. Gloria Emilse Muriel Molina, psicóloga de la Universidad de San Buenaventura, advierte que las personas tienden a rechazar prótesis que difieren demasiado de su propia imagen corporal, incluso si ofrecen mejoras en la movilidad de la extremidad afectada.

### **Análisis**

La amputación, aunque terapéutica en su esencia, implica un complejo proceso de adaptación psicosocial para quienes la sufren. El impacto emocional de perder una extremidad va más allá de lo físico, generando desafíos significativos en la aceptación y adaptación de la nueva realidad corporal. Este proceso puede ser particularmente angustiante debido a la ansiedad que provoca ser observado por otros y la dificultad de explicar las razones de la amputación. Los

estudios sugieren que el apoyo social y familiar desempeña un papel crucial en la mitigación del dolor y la mejora de la calidad de vida post-amputación, facilitando una adaptación más rápida y efectiva. Las familias de personas con amputaciones congénitas también muestran una notable capacidad para enfrentar estas situaciones a través de una red de apoyo y el uso del humor como mecanismo de afrontamiento.

La imagen corporal es un aspecto central en el proceso de adaptación emocional tras una amputación. La pérdida física de una extremidad provoca un gran impacto, y la adaptación de la nueva imagen corporal generalmente transcurre en tres etapas: el shock inicial, el deseo de restauración, y finalmente, la integración de la nueva imagen corporal. Este proceso, que puede durar hasta 18 meses, es crucial para que las personas acepten su nueva realidad física y se reconcilien con su imagen. Además, los síntomas depresivos son comunes durante los primeros dos años tras la amputación, pero tienden a disminuir con el tiempo. La comprensión de estos desafíos emocionales y la provisión de apoyo adecuado son fundamentales para ayudar a los amputados a superar estos obstáculos y mejorar su bienestar general.

Las prótesis desempeñan un papel vital en el ajuste psicosocial tras una amputación, ofreciendo movilidad, independencia funcional y una mejor calidad de vida. Además de su función práctica, las prótesis también ayudan a reducir la ansiedad relacionada con la imagen corporal y a prevenir el desarrollo de síntomas depresivos. No obstante, el uso de prótesis implica desafíos como la fatiga, la disminución en ciertas habilidades físicas y la presencia de dolor del miembro fantasma. La dimensión emocional de las prótesis es igualmente importante, ya que el éxito en su uso está ligado al perfil psicológico del usuario. Evaluaciones pre-amputación pueden ayudar a personalizar las intervenciones para abordar estas necesidades

específicas, facilitando una adaptación más efectiva y una percepción más positiva de la prótesis como parte del propio cuerpo.

## Avances y Mejoras

### Avances en Prótesis Mioeléctricas

Inicialmente en cuanto a la identificación de tendencias e innovación y nuevas oportunidades dentro del campo de las prótesis bioeléctricas tiene como meta de la facilitar la realización de diversas actividades para las personas que utilizan prótesis, teniendo en cuenta que al ser un tema de alto impacto requiere la colaboración crucial entre la investigación en áreas como la mecánica, la electrónica y la inteligencia artificial, ya que las prótesis de última generación se esfuerzan por imitar el movimiento natural y proporcionar la mayor comodidad y libertad posible, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los usuarios (Ortoprono, 2018). Así mismo, cabe resaltar que aunque en ocasiones, la realidad supera la ficción, como es el caso de los avances en prótesis que nos acercan cada vez más a lo que vemos en películas de ciencia ficción, donde los personajes cuentan con miembros robóticos en prótesis de miembros superiores e inferiores avanza de la mano de la inteligencia artificial un claro ejemplo de esto es la Imagine Cup, concurso respaldado por Microsoft para emprendedores tecnológicos, dentro de este concurso el equipo ganador fue SmartARM, que desarrolló una prótesis de mano robótica con capacidades de aprendizaje automático y almacenamiento en la nube, equipada con una cámara en la palma para reconocer objetos y calcular distancias (Yarkoni, 2018).

Por otro lado, como se conoce en Estados Unidos, algunos pacientes ya están utilizando prótesis de brazo que se controlan mediante una interfaz neuronal, es decir, que responden a los pensamientos del usuario. Aunque el proceso es complejo, la investigación tiene como objetivo lograr una integración total entre el usuario y su prótesis, lo que conlleva un gran avance de la innovación en prótesis ha alcanzado un hito significativo con la disponibilidad en el mercado de una mano biónica (Ortoprono, 2018). Así mismo, esta tecnología permite realizar movimientos

independientes con cada dedo, lo que facilita una serie de acciones cotidianas como atarse los cordones, utilizar cubiertos, encender y apagar interruptores o trabajar en un ordenador, por lo cual este gran avance se traduce en una mayor comodidad, seguridad y eficiencia energética al caminar distancias más largas. Además, se promueve la libertad de movimiento para adaptarse a cualquier estilo de vida.

### **Figura 25**

#### *Prótesis Mano Biónica*



*Nota.* Prótesis con movimientos independientes. Tomado de. Ortoprono. (2018).

<https://ortoprono.es/blog/ortopedia-tecnica/innovacion-en-protesis/>

### **Covers**

Otro avance importante en el ámbito de la innovación en prótesis son los covers (Comunidad Fudp, 2017). Estos recubrimientos cumplen dos funciones clave: los modelos discretos ocultan la prótesis, mientras que también se pueden personalizar para reflejar el gusto y la personalidad del usuario. Esto demuestra cómo la innovación no solo busca mejorar la funcionalidad de las prótesis, sino también integrarlas en la vida diaria de manera más estética y personalizada. En cuanto al propósito social, las prótesis han sido creadas con un impacto social significativo ya que dentro de la investigación realizada por la ingeniera (Díaz, 2022) que en su investigación con

estudiantes logró identificar los impulsos bioeléctricos responsables de ejecutar acciones específicas y establecer redes neuronales con datos generalizados, el siguiente paso fue lograr el control total de un dispositivo mediante señales bioeléctricas y transferir este mecanismo a otros medios electrónicos.

Siguiendo la línea anterior, Las prótesis 3D también pueden tener un impacto significativo en el aspecto psicológico y social de niños de 6 a 8 años, y tienen el potencial de mejorar positivamente su calidad de vida y su uso diario. Sin embargo, hasta el momento no se han encontrado estudios que respalden este impacto psicosocial del uso de prótesis 3D.

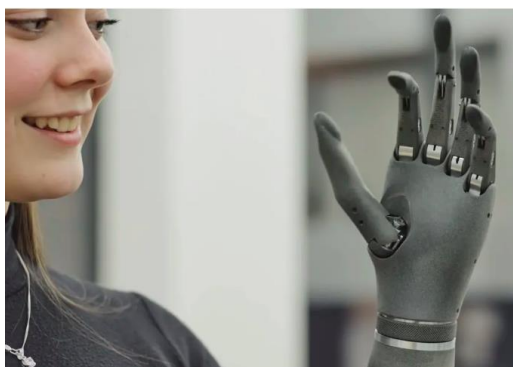
### ***Evaluación de Eficiencia***

Aunque las unidades electrónicas (mioeléctricas) y los dispositivos mecánicos (como los ganchos metálicos) han sido constantemente mejorados para satisfacer las necesidades de los pacientes en términos de comodidad, durabilidad y control, el costo de mantenimiento y reemplazo sigue siendo alto, lo que dificulta su acceso. A pesar de cumplir con ciertos requisitos, su fabricación es complicada y su diseño no mejora aspectos estéticos, lo que aumenta la probabilidad de que sean rechazadas y genere insatisfacción en su uso. Por lo cual, investigaciones recientes a nivel internacional indican que la utilización de dispositivos protésicos tanto eléctricos como mecánicos en pacientes amputados, combinados con programas de apoyo multidisciplinarios, contribuye a mejorar la habilidad en el manejo de la prótesis. Esto se refleja en una mejora del esquema corporal, la lateralidad, la coordinación bimanual y óculo-manual, así como en el desarrollo de la motricidad gruesa y fina. Además, estos dispositivos pueden ayudar en el desarrollo de un ritmo y expresión corporal adecuados. Por otra parte, las prótesis pueden facilitar la aceptación social y servir como herramientas para actividades especializadas (Llorente, 2019).

Esto se refleja en una mejora del esquema corporal, la lateralidad, la coordinación bimanual y óculo-manual, así como en el desarrollo de la motricidad gruesa y fina. Además, estos dispositivos pueden ayudar en el desarrollo de un ritmo y expresión corporal adecuados. Por otra parte, las prótesis pueden facilitar la aceptación social y servir como herramientas para actividades especializadas (Llorente, 2019).

### **Figura 26**

#### *Prótesis Mioeléctrica*



*Nota.* Habilidad y entrenamiento protésico. Tomado de. Maturana. (2021).

Un estudio prospectivo controlado conforma el nivel de evidencia del autocuidado de personas con algún tipo de amputación que hace un comparación con el autocuidado con otras enfermedades crónicas, el autocuidado de los pacientes amputados contribuye al favorecimiento del estado funcional, el síndrome depresivo y también la calidad de vida que hace relación con la salud , se establece un revisión de las necesidades y diferentes expectativas de las personas con el autocuidado de las pacientes amputados ya que ayuda a mejorar el estado emocional, físico y social (Pantera, 2014).

La organización mundial de la salud (OMS), discapacidad hace referencia a las deficiencias, limitaciones y restricciones de diferentes actividades de la participación, en dicha

propuesta académica los pacientes amputados transradiales tienen la limitación en ejecutar las actividades como el ciclismo. Además que numerosos estudios demuestran que realizar 74 ejercicio es beneficioso para el ser humano, tanto a nivel físico como emocional, lamentablemente hay personas que no pueden disfrutar de esta actividad por limitaciones como es la amputación transradial, por ello se propone una elaboración de una prótesis transradial enfocado en el ciclismo, estos dispositivos son individualizados, el cual dará comodidad, seguridad, y multifuncionalidad al paciente que lo utilice, se pretende desarrollar este dispositivo ya que va concretamente para todos los practicantes del ciclismo y enfocado en una sola actividad por lo que el dispositivo no será costoso (Bejarano, 2019).

### **Figura 27**

#### *Prótesis Robótica*



*Nota.* Prótesis con inteligencia artificial. Tomado de *ICCSI*. [https://iccsi.com.ar/brazo-robotico-protesis-con-inteligencia-artificial/#google\\_vignette](https://iccsi.com.ar/brazo-robotico-protesis-con-inteligencia-artificial/#google_vignette)

En la actualidad existen prótesis robóticas y biónicas con grandes avances tecnológicos a través de los años, lo cual ha evidenciado que el manejo de las mismas se vuelve complicado sobre todo para pacientes que no han utilizado ningún tipo de prótesis, realizar movimientos básicos para algunos pacientes se ha vuelto un verdadero suplicio al no saber cómo exactamente enviar señales para poder realizar determinados movimientos. Se ha considerado necesario que

exista una etapa de entrenamiento para los pacientes antes de utilizar las prótesis. Existen datos de prótesis a partir del 950 al 710 AC la que pertenecía a una mujer de la nobleza Egipcia, hasta la actualidad existen prótesis que se asemejan mucho a la extremidad que se está reemplazando, utilizando la tecnología mioeléctrica, se permite el movimiento independiente de los cinco dígitos de la mano, varias posiciones de la muñeca con movimientos precisos, coordinados incluso con sensibilidad, mediante la incorporación de sensores que captan estas señales y las transforman en movimientos (Pazmiño, 2019).

En el Ecuador en la provincia de Chimborazo existen 14886 personas con algún tipo de discapacidad de las cual 5690 son personas con discapacidad física, no se cuenta exactamente con datos de personas con amputación de brazo, el uso de algún tipo de prótesis permitirá a este sector vulnerable mejorar su calidad de vida en aspectos sociales y emocionales (Pazmiño, 2019).

### **Figura 28**

#### *Prótesis Mioeléctrica Transradial*



*Nota.* Prótesis mioeléctrica con algoritmo de control de fuerza independiente. Tomado de. *PUCP.* (2019). <https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/girab/proyecto/desarrollo-protesis-robotica-multifuncional-mano/>

Una amputación en cualquiera de sus niveles, además de impactar de manera física (corporal y sensitiva), también genera gran impacto en el ámbito psicológico y social. Lo anterior, ya que, en la mayoría de las ocasiones, esta pérdida de un segmento corporal o parte de él, repercute en las actividades sociolaborales, escolares, de participación y ocio. Sumado a lo ya mencionado, el factor psicológico y emocional es determinante en la asociación de la pérdida (deficiencia o amputación) siendo este proceso, complejo de sobrellevar en relación a la autopercepción de la propia imagen corporal y la autonomía en el quehacer particular. De acuerdo a la definición de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en su documento “Normas Ortoprotésicas, Parte I, año 2017, las prótesis se pueden definir como:” Dispositivo de aplicación externa que se usa para reemplazar total o parcialmente una parte de un miembro ausente o deficiente.

Una correcta indicación de prótesis junto con el apoyo profesional multidisciplinario, es fundamental para facilitar las funciones (parciales) del miembro o segmento amputado/deficiencia, o como reemplazo estético del segmento ausente, y como elemento que puede facilitar los procesos de reorganización de rutinas, AVD, reincorporación al ámbito laboral o educacional u otro de interés, y principalmente, para favorecer la participación social en igualdad de oportunidades (Zambudio,2009).

Si bien las implicancias que conlleva una amputación traumática se manifiestan en mayor o menor grado en cada persona, el impacto a nivel físico, social y familiar, los sentimientos de tristeza, no aceptación e ira, pueden ser recurrentes en la etapa post quirúrgica de la amputación, lo que puede generar fluctuaciones psico emocionales como actitudes negativas, sensación de inferioridad en comparación a los pares y depresión, lo anterior, enmarcado en la relación de la autopercepción de la imagen corporal y al estigma sobre la pérdida de autonomía en los roles

sociales, educativos, laborales u otro que sean significativos. Estas características pudiesen estar presentes también en aquellas personas con condición congénita (Zambudio,2009).

Es por esto, que la importancia de contar con la prótesis adecuada, además, del apoyo e intervención oportuna y multidisciplinaria en la fase preprotésica y protésica, pueden favorecer la autonomía y confianza en los usuarios/as, facilitando en primera instancia, su reincorporación a las actividades cotidianas y a la reorganización de sus rutinas.

La pérdida de una extremidad puede tener consecuencias significativas en la vida de una persona, afectando sus habilidades físicas y funciones cotidianas, con impacto en el desempeño laboral, actividades de ocio, relaciones sociales y tareas cotidianas. Además, la reacción emocional a esta pérdida puede ser similar al proceso de duelo tras la pérdida de un ser querido. La dificultad para aceptar la pérdida y la evitación de los recuerdos son procesos defensivos que pueden generar ansiedad y depresión, maximizados por los cambios en el sentido de la imagen corporal que se explica como la experiencia consciente, la comprensión del cuerpo y la actitud emocional hacia el cuerpo generando sentimientos de autoconsciencia pública e incomodidad social (Mayal & Posada, 2023).

### **Figura 29**

#### *Prótesis Robótica*



*Nota.* Prótesis con IA. Tomado de. Ico Medical. <https://www.icg-medical.com/ai-in-recruitment-balancing-technology-and-human-labour>

La amputación de los miembros superiores es menos común que la de los miembros inferiores, afectando aproximadamente ocho veces más a hombres en edad laboral que a mujeres. Sin embargo, la amputación de extremidades superiores tiene un mayor impacto que la pérdida de los miembros inferiores, ya que las manos no solo son esenciales para la funcionalidad diaria, sino que también tienen un valor social importante para la comunicación, expresión y afecto. Las manos son consideradas la segunda parte más individual del cuerpo humano después de la cara. La prescripción protésica tiene como objetivo restaurar la imagen corporal y mejorar la funcionalidad de forma estéticamente aceptable. Sin embargo, podría existir una gran discrepancia entre las expectativas de los pacientes y lo que la prótesis puede ofrecer. En comparación con las prótesis de miembros inferiores, las prótesis de miembros superiores son menos satisfactorias tanto psicológica como funcionalmente para los amputados. Además, aunque el uso de una prótesis puede cambiar la naturaleza de las interacciones sociales, esto depende de diversos factores como las características demográficas del paciente, las variables relacionadas con la amputación, los factores psicológicos y el estilo de afrontamiento. La adaptación a la pérdida de una extremidad es un proceso dinámico, complejo e individual (Mayal & Posada, 2023).

## Conclusiones

La continua innovación en prótesis mioeléctricas ha llevado a mejoras significativas en términos de funcionalidad y comodidad para los usuarios. Desde el desarrollo de prótesis con control de gestos y proximidad hasta la integración de motores más eficientes y baterías de mayor duración, estos avances tecnológicos están transformando la vida de las personas con amputaciones al proporcionarles una mayor autonomía y capacidad para realizar una amplia gama de actividades cotidianas y laborales.

Las prótesis no solo son herramientas funcionales, sino que también desempeñan un papel crucial en el aspecto emocional y social de quienes las utilizan. Desde la restauración de la confianza y la independencia hasta la integración en la vida diaria y laboral, las prótesis mioeléctricas permiten a las personas con amputaciones superar los desafíos emocionales y psicológicos asociados con la pérdida de un miembro. Además, los avances en diseño y personalización, como los covers, no solo mejoran la estética de las prótesis, sino que también promueven la autoexpresión y la aceptación social, contribuyendo así a una mayor calidad de vida para los usuarios.

Por otro lado, se destaca la importancia de las prótesis bioeléctricas en la mejora de la calidad de vida de las personas con amputaciones de miembros superiores. Estos dispositivos no solo ofrecen funcionalidad física, sino que también pueden tener un impacto positivo en la salud mental y emocional de los usuarios al promover la participación activa en la vida diaria, laboral y social. Además, el artículo señala la necesidad de seguir avanzando en este campo para satisfacer las demandas tecnológicas crecientes y mejorar la accesibilidad y equidad en el acceso a estas prótesis.

Por último, en el documento se resaltan los avances significativos en el campo de las prótesis mioeléctricas de miembros superiores. Estos dispositivos han evolucionado desde prótesis pasivas y puramente estéticas hasta prótesis activas con funcionalidades mecánicas avanzadas. Por lo cual, se han mejorado los diseños, los materiales y las tecnologías de control, lo que ha permitido una mayor integración sensorial y emocional para los usuarios, así como una mejoría en la precisión, adaptabilidad y naturalidad del movimiento.

### Referencias Bibliográficas

- Arias, N. (2017). *Control Mioeléctrico De Una Prótesis De Miembro Superior - Mano*. Bogota: Universidad Militar Nueva Granada.
- Atherton, & Robertson. (2006). Psychological Adjustment To Lower Limb Amputation Amongst. *Disability And Rehabilitation*, 1201-1209.
- Batzianoulis, I. (2018). Decoding The Grasping Intention From Electromyography During Reaching Motions. *Journal Of Neuroengineering And Rehabilitation*, 15.
- Bejarano. (2019). Diseño De Un Objeto Ludico Para La Rehabilitacion De Pacientes Con Amputación Transradial. *E. B. Ayala. Santiago De Cali: Universidad Del Valle*.
- Blanchar, N. (2020). *Sistema Electrónico Para La Realización De Funciones Básicas De La Mano Humana En Prótesis De Bajo Costo Para Miembro Superior*. Barranquilla: Universidad De La Costa - Cuc.
- Bronzino, J. (2000). *The Biomedical Engineering Handbook, Second Edition*. Boca Ratón: Crc Press Llc.
- Calderon, C., Ramirez, C., Barros, V., & Punin, G. (2017). Design And Deployment Of Grasp Control System Applied To Robotic Hand Prosthesis. *Ieee Latin America Transactions*, 181-188.
- Callaghan. (2008). Using The Common Sense Self-Regulation Model To Determine Psychological Predictors Of Prosthetic Use And Activity Limitations In Lower Limbs Amputees. *Prosthetics And Orthotics International*, 324-336.
- Cipriani, C. (2024). Hacia Miembros Protésicos Y Dispositivos De Asistencia Controlados A Través De La Interfaz Miocinética. *Nat Rev Electr Eng 1*, 282-283.

- Comunidad Fadp. (06 De Octubre De 2017). *El Proyecto Covers: Héroes Con Estilo*. Obtenido De Fundación Academia De Dibujo Profesional: [Https://Www.Fadp.Edu.Co/Proyecto-Covers-Heroes-Estilo/](https://Www.Fadp.Edu.Co/Proyecto-Covers-Heroes-Estilo/)
- Condori, R. (13 De Marzo De 2013). *Diseño E Implementación De Una Prótesis Mioeléctrica De Miembro Superior. Abi-Unsa*. Obtenido De Slideshare: [Https://Es.Slideshare.Net/Slideshow/Diseo-E-Implementacin-De-Una-Prtesis-Mioelctrica-De-Miembro-Superior-Abiunsa/17171711](https://Es.Slideshare.Net/Slideshow/Diseo-E-Implementacin-De-Una-Prtesis-Mioelctrica-De-Miembro-Superior-Abiunsa/17171711)
- Correa, E. (01 De Abril De 2016). *Electrodos*. Obtenido De Slideshare: [Https://Es.Slideshare.Net/Skiltt/Tipos-De-Electrodos](https://Es.Slideshare.Net/Skiltt/Tipos-De-Electrodos)
- Cubillos Alzate, J., & Perea Caro, S. (Dicembre De 2020). *Boletines Poblacionales: Personas Con Discapacidad - Pcd*. Obtenido De Oficina De Promoción Social I-2020: [Https://Www.Minsalud.Gov.Co/Sites/Rid/Lists/Bibliotecadigital/Ride/De/Ps/Boletines-Poblacionales-Personas-Discapacidadi-2020.Pdf](https://Www.Minsalud.Gov.Co/Sites/Rid/Lists/Bibliotecadigital/Ride/De/Ps/Boletines-Poblacionales-Personas-Discapacidadi-2020.Pdf)
- Dario, P. (2005). Robotics As A Future And Emerging Technology: Biomimetics, Cybernetics, And Neuro-Robotics In European Projects. *Ieee Robotics And Automation Society, Vol. 12*, 29-45.
- Desmond. (2007). Coping, Affective Distress, And Psychological Adjustment Among People With Traumatic Upper Limb Amputations. *Journal Of Psychosomatic Research*, 15-21.
- Díaz, M. (2022). Ingenieros Diseñan Protesis Que Funciona Con Impulsos Bioeléctricos. *Fes Cuautitlán*, 18-20.
- Esquenazi. (2004). Amputation Rehabilitation And Prosthetic Restoration. *From Surgery To Community Reintegration. Disability And Rehabilitation*, 7.
- Freivalds, A. (2011). *Biomecánica De Las Extremidades Superiores*. Boca Ratón: 2ª Edición.

- Galvan, A., & Del Milagro, D. (2019). Análisis De Patrones En Señales Musculares De Extremidad Superior Mediante Técnicas De Machine Learning.
- Galvez, J. (2011). Electromiografía. *Journal De Fisiatria*.
- González, J. M. (2004). Robótica Y Prótesis Inteligentes. *Revista Digital Universitaria*, 4-5.
- Hanley, M. (2004). Psychosocial Predictors Of Long-Term Adjustment To Lower-Limb Amputation And Phantom Limb Pain. *Taylor And Francis Health Sciences*, 882-893.
- Horgan, O. (2004). Psychosocial Adjustment To Lower-Limb Amputation: A Review. *Taylor And Francis Health Sciences*, 837-850.
- Hurtado, P. (2017). Diseño Y Construcción De Un Prototipo De Prótesis Mioeléctrica. *Mundo Fesc*, 14-25.
- Inei. (2014). Primera Ecueta Nacional Especializada Sobre Discapacidad. *Instituto Nacional De Estadistica E Informatica*.
- Ito, K., Kondo, T., & Shibuta, M. (S.F.). Aprendizaje Motor Entre El Cuerpo, Herramientas Y Sistemas Del Entorno. *Ito@Dis.Titech.Ac.Jp*.
- Kapandji. (2006). Fisiología Articular. *Madrid: Medica Panamericana*.
- Kargov, A. (2007). Development Of A Multifunctional Cosmetic Prosthetic Hand. *Ieee*.
- Latour, D. (2022). Avances En La Tecnología Protésica De Las Extremidades Superiores: Rehabilitación Y Equipo Interprofesional. *Curr Phys Med Rehabil Rep* 10, 71-76.
- Linmot. (S.F.). *Motores Lineales Industriales*. Obtenido De Linmot.Com: [Https://Linmot.Com/](https://Linmot.Com/)
- Llorente, L. (2019). Impacto Funcional Y Psicosocial Del Uso De Prótesis De Bajo Costo En Impresión 3d En Amputado Unilateral De Antebrazo: Estudio De Un Caso. *Rehabil. Integral*, 16-21.

- Loaiza, J., & Arzola, N. (2011). Evolución Y Tendencias En El Desarrollo De Prótesis De Mano. *Scielo*, 191-199.
- Lundberg, M., Hagberg, K., & Bullington, J. (2011). My Prosthesis As A Part Of Me: A Quality Analysis Of Living With Osseointegrated Prosthetic Limb. *Prothetics And Orthotics International*, 207-214.
- Malešević, N., & Antfolk, C. (2024). Sensory Feedback In Upper Limb Prosthetics: Advances And Challenges. *Nat Rev Neurol* 20, 449-450.
- Mayal, A., & Posada, A. (2023). *Experiencias De Los Usuarios De Una Prótesis Mioeléctrica De Mano: Un Estudio Cualitativo*. Obtenido De Bibliotecadigital:  
[https://Bibliotecadigital.Udea.Edu.Co/Bitstream/10495/35833/5/Mayamaria\\_2023\\_Usuariosprotesismioelectricamano.Pdf](https://Bibliotecadigital.Udea.Edu.Co/Bitstream/10495/35833/5/Mayamaria_2023_Usuariosprotesismioelectricamano.Pdf)
- Medical Art Prosthetics. (23 De 01 De 2024). *Una Nueva Prótesis Nasal Y Una Nueva Perspectiva De Vida Para 2024*. Obtenido De <https://www.Medicalartprosthetics.Com/>:  
<https://www.Medicalartprosthetics.Com/News/A-New-Nose-Prosthesis-And-A-New-Life-Outlook-For-2024/>
- Meek, S., Engeberg, E., & Minor, M. (2008). Hybrid Force–Velocity Sliding Mode Control Of A Prosthetic Hand. *Ieee Xplore*, 1572-1581.
- Mesa, A. R. (2020). *Desarrollo De Una Prótesis Transradial Externa Para Miembro Superior Basada En Impresión 3d*. Obtenido De Trabajo De Grado Ingeniería Electrónica, Universidad De San Buenaventura Medellín, Facultad De Ingenierías.
- Micera, S. (2010). Control Of Hand Prostheses Using Peripheral Information. *Ieee Consumer Electronics Society Technical Co-Sponsor, Vol. 3*, 48-68.

- Ming-Jin Liu, L., Cai-Hua Xiong, X., Le, X., & Xiao-Lin, H. (2016). Biomechanical Characteristics Of Hand Coordination In Grasping Activities Of Daily Living. *Plos One*, Vol. 11, No. 3, Doi.Org/10.1371/Journal.Pone.015168.
- Müller, J. (2007). *Protesis Mioelectrica*. Obtenido De Jens Müller Opc S.L.: <https://ortopediajensmuller.com/>
- Murray, C. (2007). Strengths, Challenges, And Relational Processes In Families Of Children With Congenital Upper Limb Differences. *American Psychological Association*, 276-292.
- Norman, D. A. (2005). *El Diseño Emocional*. Ediciones Paidós.
- Open Bionics. (2023). *Conozca Hero Arm: Un Brazo Protésico Para Adultos Y Niños*. Obtenido De Openbionic.Com: <https://openbionics.com/hero-arm/>
- Ortoprono. (05 De Diciembre De 2018). *Innovación En Prótesis, Investigación Al Servicio De La Autonomía*. Obtenido De <https://ortoprono.es/blog/ortopedia-tecnica/innovacion-en-protesis/>
- Osorio, L. (03 De Septiembre De 2007). *Módulo De Amputados*. Obtenido De Elportaldelasalud.Com: [https://www.elportaldelasalud.com/index2.php?option=com\\_content&do\\_pdf=1&id=81](https://www.elportaldelasalud.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=81)
- Ottobock. (2020). *Prótesis Por Encima Del Codo Con Dynamicarm*. Obtenido De Ottobockus.Com: <https://www.ottobockus.com/prosthetics/upper-limb-prosthetics/solution-overview/above-elbow-prosthesis-featuring-dynamicarm/>
- Pantera. (2014). Educación Del Paciente Despues De La Amputación. *Annals Of Physical And Rehabilitation Medicine*, 16.

- Pazmiño. (Diciembre De 2019). Sistema De Entrenamiento Para Uso De Prótesis Mioelétricas De Brazo A Través De Señales Electromiografías. *Ciencias Tecnicas Y Aplicadas*.
- Primecare. (2009). *Primecare Orthotics & Prosthetics*. Obtenido De Primecareprosthetics.Com: <https://primecareprosthetics.com/es/prosthetics/above-the-elbow-arm-transhumeral-prothesis>.
- Prothesia. (15 De Diciembre De 2022). *7 Datos Sobre Prótesis Avanzadas*. Obtenido De Prothesia.Com: <https://www.prothesia.com/encuentra-la-protesis-ideal-para-ti/>
- Ramírez, P. P. (2005). *Diseño Y Emoción. La Vinculación De Dos Conceptos Como Propuesta Cultural*. España: Universitat De Barcelona.
- Roche. (23 De Junio De 2021). *Atlas 2030: El Primer Exoesqueleto Pediátrico Del Mundo*. Obtenido De Rocheplus.Es: <https://www.rocheplus.es/innovacion/tecnologia/exoesqueleto-pediatrico.html>
- Sánchez, P. (2020). *Construcción Y Evaluación De Una Portesis De Mano De Bajo Coste*. Alicante: Universitat D' Alicant.
- Servo Motors Adjust. (29 De Enero De 2023). *Encoders: Qué Son, Tipos Y Ejemplos*. Obtenido De Servomotorsadjust.Com: <https://www.servomotorsadjust.com/empresa/>
- Torres, A., & Vega, W. (2019). *Sistema De Reconocimiento Y Captura De Señales Mioelétricas Para Teleoperación De Mano Robótica*. Cartagena De Indias: Universidad Del Sinu Seccional Cartagena.
- Torres-San-Miguel. (2011). Diseño Personalizado De Una Interfaz Mioelétrica Para Una Prótesis De Miembro Superior. *Revista Colombiana De Biotecnología*, 70-83.
- Victoria Hand Project. (2018). *Las Manos*. Obtenido De Victoriandproject.Com: [https://www.victoriandproject.com/?\\_gl=1\\*Kncwuq\\*\\_Up\\*Mq..&Gclid=Cjwkcajwu](https://www.victoriandproject.com/?_gl=1*Kncwuq*_Up*Mq..&Gclid=Cjwkcajwu)

j2xbha3eiwamvjkvdxidoab94u3ulnbvbh117nvknzyogyfyru6z7hxmvi4vxw\_Nxhocmh  
kqavd\_Bwe

Yarkoni, C. (25 De Julio De 2018). *Conozcan Al Campeón De Imagine Cup 2018: ¡Smartarm De Canadá!* Obtenido De Microsoft.Com: <https://News.Microsoft.Com/Es-XI/Conozcan-Al-Campeon-De-Imagine-Cup-2018-Smartarm-De-Canada/>