

## Introducción

Las amputaciones de miembros superiores son una condición que afecta a millones de personas en todo el mundo. Pueden ser causadas por accidentes, lesiones, enfermedades o malformaciones congénitas. Las personas con amputaciones de miembros superiores pueden enfrentar una serie de desafíos, incluyendo limitaciones funcionales, restricciones sociales y psicológicas. Las prótesis de miembros superiores se han utilizado durante años para reemplazar los miembros perdidos. Las primeras prótesis eran simples y rudimentarias, pero con el tiempo se han vuelto más complejas, sofisticadas y bastante avanzadas.

En los últimos años, ha habido un progreso significativo en el desarrollo de prótesis de miembros superiores. Las prótesis modernas están diseñadas para ser más funcionales y estéticas que las prótesis anteriores. Sin embargo, las prótesis de miembros superiores siguen siendo bastante caras por razones de los materiales que están hechas o por mejores funcionalidades tecnológicas que pueden llegar a brindar.

En la actualidad, existen dos tipos principales de prótesis de miembros superiores: prótesis pasivas y prótesis activas. Las prótesis pasivas son aquellas que no tienen ningún mecanismo de movimiento. Se limitan a proporcionar soporte y estabilidad al miembro amputado. Las prótesis activas, por otro lado, tienen mecanismos de movimiento que permiten a los usuarios controlar la prótesis de manera más natural. En este informe, presentamos el desarrollo de un prototipo de prótesis de mano y antebrazo de bajo costo.

El prototipo está hecho de materiales en impresión 3D que a su vez utiliza un microcontrolador Arduino Uno, ocupando el software de Arduino para codificación y esta a su vez funcionara para ejecutar las diferentes acciones.

## Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas que pueden llegar a pasar los afectados de amputaciones es lo que se le conoce como el “síndrome de miembro fantasma” que por palabras del microbiólogo y divulgador científico Pol Bertrán Prieto nos dice que es un fenómeno que consiste en la percepción de sensaciones en un miembro del cuerpo que ha sido amputado.

Algo que si hay que destacar es que no se trata de un factor psicológico sino neurológico ya que las partes del cerebro que se conectaban con los nervios del miembro amputado siguen manteniendo actividad.

Aunque el miembro ya no se encuentre hay, las sensaciones se pueden sentir a los pocos días de la amputación, semanas, meses, años o hasta incluso nunca presentarse, teniendo consideraciones de 2 de cada 3 personas, siendo la principal sensación el dolor, que para muchos puede llegar a ser demasiado intenso hasta el punto de dejar traumas a los afectados.

Tomando lo anterior dicho, del lado psicológico varias de los afectados pueden tener bajos niveles de autoestima, autonomía y perdida de independencia, exponiendo algunos aspectos que forman parte integral de la rehabilitación psicológica del paciente que ha sufrido una pérdida que afecta su integridad física y su estructura biopsico-social es un componente. Según por palabras del editor Eduardo Vázquez Vela Sánchez y plasmada en la Mesa Directiva de la Academia Nacional de Medicina de México 2015–2016 los problemas de la amputación dependen en gran medida de la edad cronológica de la persona y están relacionados con los atributos psicológicos y físicos correspondientes por su edad o su entorno social.

Y, ahora bien, hay muchas personas en el mundo que no cuenta con los recursos suficientes para poder adquirir varias de las prótesis que se ven hoy en día totalmente avanzadas: también conocidas como prótesis biónicas, o incluso prótesis estéticas que no se mueven, pero por solo el material que están hechos, pueden llegar a costar por lo menos aquí en México entre 15,000 a 100,000 pesos mexicanos.

Entre varias cosas, este es uno de los principales problemas de varias personas ya que, aunque quieran comprarlas para sentirse mucho mejor consigo mismas y le sean útiles en su vida cotidiana, pueden ser demasiado caras en el mercado.

## **Justificación**

La impresión 3D ha tenido un avance importante por el lado de la medicina llegando al punto de considerarse como lo que revolucionara a la fabricación de prótesis al tomar dispositivos e impresiones a la medida. Esto es bastante impresionante ya que gracias a la impresión 3D se han creado modelos de prótesis personalizadas que pueden servir para la vida cotidiana del usuario.

Un factor a reconocer es que en el mercado hay muchas prótesis con basta tecnología, ejemplos de empresas fabricantes como: Open Bionics, DEKA, Exii son las que pueden incluso hacer que el usuario se adapte más rápido gracias a que la gran mayoría cuentan con Inteligencia artificial y Machine Learning. El problema con ellas es que están hechas de materiales bastante caros y muchas personas no cuentan con la economía para poder adquirirlas.

Es aquí donde entra la opción de prótesis hechas por impresión 3D ya que aparte de ser mucho más accesibles para todo tipo de persona a bajo costo, pueden llegar a ser especialmente personalizadas para el usuario en mucho menos tiempo. Nuestra prótesis se basa en ello en hacerla lo más accesible a menor costo y mucho más dinámica al hacerla mioeléctrica.

Por otro lado, nosotros estamos enfocados en querer hacer una prótesis funcional que abra y cierre tomando objetos, ayudando en la vida cotidiana del usuario y hacerla más estética a sus medidas, dándole más seguridad a su portador, pero antes que eso deberá pasar por un proceso de un simulador de retroalimentación o denominado "Feedback háptico" un entorno 3D en el que el usuario podrá actuar libremente sin el miedo de fallar al tirar un objeto y más siendo totalmente rompible.

Esto ayudara que el usuario aprenda a manejar de mejor manera la prótesis de mano y antebrazo superándose por sí mismo en cada entrenamiento y ganando más confianza.

Ahora bien, esto puede contra el síndrome ya que la prótesis de mano y antebrazo funciona por contracciones musculares eléctricas de los nervios del muñón que cuenta aun el usuario, haciendo sentir la sensación de tener una mano o incluso de por medio del simulador sentir la sensación de tomar un objeto lo que ayudara en gran manera a reducir el dolor y las sensaciones fantasmas tales como: hormigueo, entumecimiento, deformidad, frio y calor.

La principal justificación se remonta a querer ayudar a una chica que sufrió un accidente en el que perdió la mano derecha y parte del antebrazo, por eso estamos centrados en ayudarla y, una vez finalizado, el prototipo la donarla para que la ocupe en su vida cotidiana de forma efectiva.

## **Hipótesis**

El desarrollo de un prototipo de prótesis de mano y antebrazo hecha en impresión 3D puede resultar en un bajo costo y muy accesible para personas que no puedan pagar una prótesis comercial.

El simulador de entrenamiento hecho en unity si pudiera ayudar para evitar costos muy altos empleado en diferentes instituciones al instante de tomar terapia y entrenar con su prótesis mioelectrica desde la comodidad de su casa. Posible tener más libertad para tomar objetos y controlarla de manera más eficaz y una vez finalizado la retroalimentación y entrenarse, tener más confianza para usarla en todo momento.

## **Objetivo general**

- El objetivo general de este proyecto es desarrollar un prototipo de prótesis de mano y antebrazo que pueda tomar objetos e interactuar con ellos de forma casi natural.

**Objetivos secundarios**

- Brindar una prótesis a un menor costo
- Controlar el dolor y las sensaciones del síndrome del miembro fantasma
- Por medio del simulador o feedback háptico proponemos retos dependiendo de sus necesidades para aumentar su motivación y compromiso en el aprendizaje de mejor control de la prótesis al tomar objetos.
- Dejar de tomar terapias en instituciones que están muy lejos y tomarlas en su propio tiempo y espacio lo que permitirá una práctica continua más allá de las sesiones de terapia
- Recuperar su independencia y autonomía
- Reducir la depresión y el estrés ya que son más propensos a periodos más prolongados.
- Mejorar sus relaciones sociales.

**Tipo de investigación**

Este proyecto es una investigación aplicada que utiliza un informa mixto. La investigación aplicada se centra en la solución de problemas prácticos. El enfoque mixto utiliza métodos cuantitativos y cualitativos para recopilar datos. Nos permite aplicar la tecnología a los problemas de la sociedad, ayudando a las personas que sufrieron por alguna amputación y volver a tener esa parte del cuerpo que perdieron.

Para eso nos enfocamos a reforzar las enseñanzas de investigación básica tales como ¿De qué materiales están hechas las prótesis de mano hoy en día? Ver que tan costosas era el poder adquirirlas. Algo que nos percatamos que lo de hoy en día es la impresión 3D y exactamente de qué material están hechas.

Uno de ellos que nos interesó, es el filamento PLA que aparte de ser el más ocupado en esta área tiene propiedades que lo hacen poder ser el que mejor se adapte a su portador dando algunos ejemplos tales como su ligereza, resistencia, flexibilidad y es biocompatible al no causar reacciones negativas al cuerpo.

Esta investigación se centra en solucionar problemas que muchas personas al ser despojadas de alguna parte de su cuerpo por amputación llegan a tener problemas en su vida cotidiana, en su vida social, en su vida laboral que esta por consideración podemos decir que dependiendo del trabajo en el que este puede ser el rango mucho más complejo y difícil.

### **Indicé del Marco teórico**

1. Impacto emocional, social y psicológico
2. Impresión 3D en el campo de la medicina
3. Prótesis Mioelectricas dinámicas para el usuario
4. Feedback háptico
5. Sensores de electromiografía
6. Anatomía de la mano
7. Problema neurológico: Síndrome del Miembro Fantasma
8. Inteligencia Artificial en una prótesis
9. Desarrollo de producción

### *1. Impacto emocional, social y psicológico*

Al darse las amputaciones pueden llegar a tener varios problemas emocionales y psicológicos y con mayor razón los afectados no pueden aceptar que una parte de ellos mismos se fue hasta el punto de sentirse incompletos, ya sea por el hecho de enfermedad o peor aún un accidente.

De acuerdo con la página de National Center for Biotechnology Information nos dice un punto muy interesante: La pérdida de una extremidad es similar al dolor provocado por la muerte de un familiar, apareciendo un proceso de duelo. Todo ello repercute en la salud psicológica, especialmente en los primeros 2 años, con un alto porcentaje de ansiedad y depresión.

La institución habla de que los afectados pueden llegar a sentir sentimientos de tristeza, sorpresa, no queriendo aceptar la situación por lo que están pasando y en situaciones extremas pueden llegar al suicidio, sino que se toma como importancia la salud mental de los pacientes. Las estrategias para afrontar este desafío es siempre tener una actitud positiva, la determinación de salir adelante ante la adversidad, apoyo familiar para sentirse seguro, más siendo tus seres queridos y el profesional que se recurre a terapias para llegar al proceso de aceptación.

Y la página Sunrise Medical defiende más este punto de acuerdo a un orden estructurado: siendo el primero la negación que es cuando los pacientes pueden llegar a tener riesgo de sufrir un estrés postraumático, el segundo la rabia que es cuando culpan a los demás por su situación llegando a tener episodios de violencia más concurrentes, el tercero es la depresión causada por la rabia y siendo posiblemente la más complicada de todas y por último la aceptación que gracias a la rehabilitación aceptara la nueva realidad.

## *2. Impresión 3D en el campo de la medicina*

De acuerdo a la página Future healthcare nos da un dato interesante con las estructuras impresas en 3D para el organismo ya que actualmente los materiales impresos en 3D se pueden ocupar en neurocirugías, cirugía ortopédica y maxilofacial, ingeniería de tejidos, fabricación indirecta de dispositivos médicos, cirugía cardíaca o cirugía ortopédica. Los editores nos brindan, la información que en la universidad de Tel Aviv lograron crear un corazón artificial impreso con materiales biológicos. Midiendo unos 3 centímetros y si esto logra ser exitoso, presenciaremos un nuevo avance en medicina. La impresión 3D puede remplazar la falta de órganos y, al mismo tiempo, estos implantes pueden ser menos costosos y accesibles para todos que lo requieran.

## *3. Prótesis Mioeléctricas dinámicas para el usuario*

Según el instituto PRIM Establecimientos Ortopédicos podemos explicar más a profundidad sobre prótesis biónicas siendo mejor que las habituales, tratándose de estructuras que pueden sustituir partes del cuerpo de manera externa imitando sus movimientos naturales. Funcionando mediante diferentes tipos de sensores y procesadores que recogen las señales nerviosas e interpreta con movimientos que llegue a hacer la prótesis. Estos se les puede llegar a conocer como datos de información que el cerebro puede llegar a enviar a las distintas partes del cuerpo y hagan los movimientos esperados

Una de las prótesis biónicas de mano más avanzadas actualmente y que presenta esta página es la Mano Taska de la empresa Taska Prosthetics neozelandesa. Lo que hace diferente a esta prótesis de las demás es que sus movimientos son en todo momento rápidos e intuitivos al tomar una gran variedad de objetos. Y están conscientes de que no es lo mismo tomar un objeto que realizar tareas rutinarias de la vida cotidiana.

Esta prótesis es única en su especie y exactamente cuenta con 19 agarres predefinidos para los movimientos más habituales tales como: el general, la multiherramienta, pinza, relajado, teclado, poner y quitar, apuntador, agarre llave, gancho, agarre de precisión,



trípode, agarre Grab & Go, ratón, activador de 1 dedo, activador de 2 dedos, agarrar y bloquear, manzana, ok y rock. Lo que predomina en esta organización no es solamente su esfuerzo y tecnología, sino que comparte una misma filosofía en el que reflejan el enfoque empático y la búsqueda de lograr que lo complejo se vuelva simple y lo frágil se vuelva resistente.



*Como se observa en la imagen (Anexo A)*

#### *4. Feedback háptico*

Las prótesis de mano están en constante desarrollo tecnológico, pero un problema que presentan la gran mayoría a inicios de haberla portado es poder controlarla mejor. Es por ello que el autor de esta tesis Romero Muñiz, Enzo Fernando de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) explican el desarrollo de un sistema de retroalimentación háptico que permite al usuario obtener la sensación de fuerza y deslizamiento logrando controlar de mejor manera la prótesis para mayor eficacia.

#### *5. Sensores de electromiografía*

De acuerdo a la página de “arriba la salud” nos da una breve e interesante explicación del para que se usa la electromiografía y es para detectar señales eléctricas anormales en los músculos, capaz de determinar el estado de los nervios.

Esto se logra con dispositivos llamados electrodos y conectarse en zonas de mayor contracción muscular. Lugares como en el musculo bíceps braquial, el coracobraquial y el musculo braquial.

## 6. Anatomía de la mano

El equipo de Kenhub brinda un informe bastante completo sobre cómo es que está conformada y cómo funciona una mano humana. Si bien está compuesta de 27 huesos, tiene una red compleja de nervios que la inervan y vascularizan. Los músculos intrínsecos proyectan los tendones hacia la mano a través de una estructura anatómica totalmente flexible, llamada muñeca. El campo de la anatomía de la mano es muy amplio y complejo y necesitaría mucho más que esto para poder explicarlo de mejor forma, pero podría mencionar visitar esta página y conocer a profundidad cada parte que lo conforman.



Como se observa en la imagen (Anexo B)

## 7. Problema neurológico: Síndrome del Miembro Fantasma

Carina Diaz Martínez medica especialista en neurofisiología clínica nos muestra la forma de tomar tratamiento ante los síntomas, con ayuda de medicamentos tales como:

- Analgésicos convencionales: acetaminofén, antiinflamatorios no esteroideos (ibuprofeno, naproxeno, etc.)
- Analgésicos opiodes: tramadol, morfina.
- Antidepresivos: amitriptilina, nortriptilina
- Anticonvulsivos: gabapentina, pregabalina, carbamazepina
- Relajante muscular: Baclofeno
- Anestésicos: ketamina

### *8. Inteligencia Artificial en una prótesis*

Brenda Peralta de la página Business Insider México menciona que el reconocimiento de señales cerebrales puede llegar a algoritmos de inteligencia artificial mejorando así la conexión entre el cerebro con una interfaz robótica o de computadora. Pero no solo queda ahí, sino que por su propia cuenta en un estudio de investigación lograron dar con un proyecto que podría ayudar a miles de personas. El equipo de investigación IBM está ocupando algoritmos de aprendizaje automático o también conocido como Machine Learning para entender la enfermedad de Parkinson, haciendo que la meta sea saber cómo se va comportando la enfermedad a través del tiempo.

### *9. Desarrollo de producción*

A veces muchos de los pacientes por amputación se llegan a preguntar porque llegan a ser tan caras las prótesis de mano entre las más comunes y la pagina de Doctorius.mx respondió nuestras dudas, mencionando los principales puntos al determinar el costo de un implante:

- Tamaño.
- Tecnología.
- Tipo de prótesis.
- Diseño y forma de la prótesis.
- Materiales utilizados para la fabricación.
- Zona del cuerpo en la que se implemente.
- Funciones especiales de acuerdo a la vida diaria del paciente.

## Descripción del desarrollo e implementación del prototipo

El tiempo que se tomó ocupó la mayor parte la impresión en 3D ya que durante nuestra presencia en clases desde que entramos hasta posiblemente la 1 de la tarde la impresión continuaba para imprimir cada pieza, aunque a veces teníamos el problema que no se imprimió de la manera correcta por motivos de mejorar más la calibración de la impresora 3D. Mientras las impresiones continuaban creímos que lo mejor sería tener listo la parte electrónica y de programación, tuvimos que recurrir a que después de clases, hacer pruebas con el microcontrolador Arduino para ver que tal funcionaba y que tanto era su eficacia. Los recursos de la estructura de la prótesis, como la parte de electrónica y programación se vieron bastante caros y un tanto complicados de conseguir. Los materiales son los siguientes:

### *Hardware*

- Estructura hecha de filamento PLA
- 5 servomotores mg995 y 1 servomotor mg996R
- Microcontrolador Arduino Uno
- Protoboard
- Jumpers, cables caimanes
- Batería de 7v para alimentar servomotores
- 2 baterías de 9v para alimentar sensor EMG
- Kit de electromiografía (incluyendo electrodos)
- Hilo de caña de pescar

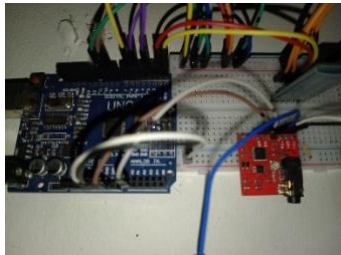
### *Software*

- Simulador de retroalimentación para la prótesis (feedback Háptico)

El proceso de desarrollo del prototipo se llevó a cabo en tres fases:

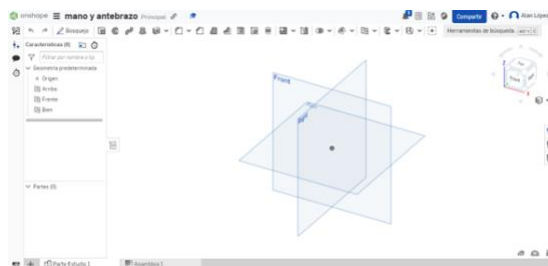
- Fase de diseño: En esta fase, se diseñó el modelado 3D de la prótesis
- Fase de fabricación: En esta fase, se imprimió el prototipo pieza por pieza para posterior seguir con el armado.
- Fase de pruebas: En esta fase, se probaron las características y el rendimiento de la prótesis

La prótesis de mano y antebrazo puede llegar a adaptarse a la medida del muñón de la persona afectada. Los servomotores tomaran el papel de actuadores al momento de jalar cada uno de los dedos, así como el de la muñeca y el codo. El cerebro de este proyecto es el microcontrolador de Arduino quien dará todas las instrucciones de ejecución de acuerdo al código guardado y el sensor EMG quien captará esas señales musculares de contracción.



Como se observa en la imagen (Anexo C)

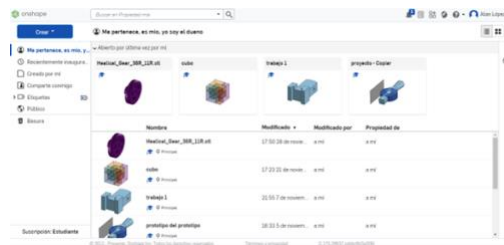
*La prótesis se realizó y construyéndose con programas como onshape, creality e ideas nuestras de cómo podríamos aumentar las probabilidades de éxito, esta se fue diseñando desde bosquejos hasta diseño computarizado al igual que las propuestas del equipo que cada uno aportaba se tomaba en cuenta y veíamos su parte buena al igual la parte mala y se descartaba si no era muy eficiente o buena para el mismo proyecto. El diseño se fue constatando en onshape y creando parte por parte, así como los dedos, palma antebrazo entre otras pequeñas piezas para darle movilidad a la prótesis.*



Como se observa en la imagen (Anexo D)

Ya creadas en 3D en web se imprimieron en la máquina de filamento que cada una tiene un tiempo predeterminado de impresión, ya que los dedos varían las horas, como el meñique aproximadamente fueron 3 horas, el pulgar 2 horas, anular un aproximado de 4 horas, como son los más parecidos, como están más cerca uno de otro.

El que más tiempo se llevó en esta impresión fue de 7 horas que fue el antebrazo consecutivamente de la palma de 6 horas de impresión que en total fueron 30 horas aproximadamente ahora bien el ensamblaje también se llevó un tiempo predeterminado, pero no exagerado como los antes mencionados.



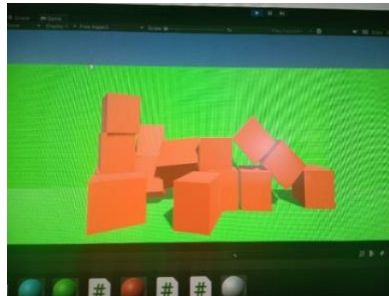
Como se observa en la imagen (Anexo E)

Este ensamblaje se llevó a cabo de forma responsable ya que las piezas son resistentes pero no lo suficiente trabajándolas irresponsablemente al igual que se podrían perder ya que hay piezas muy pequeñas, y un movimiento en falso podría afectar todo el progreso del equipo y volver a imprimir la pieza antes perdida, el ensamblaje se comenzaba desde la palma hacia los dedos con unos mini tornillos después se trabajaba en la muñeca y el antebrazo para allí moldear el protector del antebrazo para después colocar en su lugar establecido sin que haya problema alguno.



Como se observa en la imagen (Anexo F)

Al final de haber acabado la parte de diseño, ensamblaje, electrónica y codificación se hizo un avance importante con un simulador también denominado feedback háptico que va a tomar un avance importante en la retroalimentación de la prótesis con diferentes movimientos que pueda a llegar hacer con ella y controlando el dolor que como bien antes dicho del síndrome del miembro fantasma puede hacer pensar una vez poniéndose la prótesis el brazo amputado aún sigue hay.



*Como se observa en la imagen (Anexo G)*

Para hacer posible este prototipo tuvimos que recurrir a hacer pruebas con la señorita María Juana, quien una vez estén por finalizar los concursos se le donara para que la pueda usar en su vida cotidiana. Aunque debemos de trabajar en hacer que sus fibras musculares vuelvan a activarse y encontremos el umbral perfecto que se adapte con ella.

### **Propuesta de valor del prototipo**

La propuesta de valor del prototipo de prótesis de brazo es la siguiente:

- **Funcionalidad:** El prototipo tiene una IA que aún estamos trabajando en ella para que la prótesis se pueda llegar adaptar a su usuario y sea posible más rápido su entendimiento por medio del aprendizaje de Datasets en señales electromiograficas
- Entregamos un simulador para que el usuario pueda entrenar la prótesis tomado diferentes objetos y hacer que se acostumbre de mejor manera a su vida cotidiana.

- Seguridad: El material PLA por el que está hecho la prótesis no es un material que pueda afectar la salud del usuario
- Accesibilidad: El costo puede encontrarse entre 2500 pesos por su fabricación

### **Estudio de viabilidad para la implementación del prototipo**

El estudio de viabilidad para la implementación del prototipo se hizo con un enfoque cualitativo. El estudio involucró entrevistas de personas con amputaciones de miembros superiores, así como expertos en el campo. Una de las instituciones que nos apoyó para encontrar a la persona adecuada y que portara la prótesis fue el Centro de Rehabilitación Integral (CRI) que una vez investigando nos dimos cuenta de que la mayor cantidad de pacientes son las amputaciones en la pierna y tal vez piensen del porque mejor no nos enfocamos en prótesis de pierna y es muy simple, las impresiones 3D no son tan resistentes como para poder cargar todo el peso de un ser humano.

Al final encontramos a la persona correcta gracias al personal de la salud. Lográndonos ver en la plaza de Tlahuapan y charlando las complicaciones que tiene por no tener una mano. Expreso interés en el prototipo y considero que sería asequible y accesible poder usarla en su vida diaria.

### **Estudio de factibilidad técnica**

La oportunidad que nosotros destacamos para poder sacar a flote el proyecto fue el hecho de que la impresión 3D en el área de la medicina es lo de hoy, ayudando a los pacientes con un bajo costo de producción y analizando diferentes materiales de filamento, dimos a la conclusión que es tan importante la seguridad y la comodidad del paciente.

Es por ello que la pagina Bitfab nos brinda información de diferentes propiedades que tiene el PLA y porque el usarlo puede favorecer de gran medida. Las siguientes propiedades son:



- Rigidez
- Calidad superficial:
- Salubridad
- Compatibilidad con otros polímeros.

Sabiendo esto el material PLA es la mejor opción. pero no sin antes mencionar las implicaciones que puede tener y es que lamentablemente propenso a altas temperaturas y es importante saberlo si el paciente trabaja o vive en estas condiciones. Es recomendable que no se exponga a altas temperaturas para evitar posibles daños en la estructura de la prótesis.

### **Estudio de Factibilidad financiera**

Los materiales por los que está compuesto la prótesis son de buena calidad, así como lo que constituye la estructura, la electrónica, el tiempo de codificación, el tiempo que se le invirtió a crear una aplicación de simulador y también el tiempo de investigación en el que tomamos a la tarea de ver que tan factibles eran las prótesis hechas en impresión 3D. Tomando como punto de referencia la página de Mordor Intelligence nos muestra como incrementara los próximos 5 años la compra de prótesis en el mercado que llegan a hacer desde 14,000 pesos mexicanos a 300,000 pesos mexicanos. Y esperando un registro de CAGR de 5.5% en su pronóstico. El estudio de investigación financiero de las prótesis de hoy en día son radicalmente costosos por su material y más siendo que algunas en su mayoría son estáticas. 1 kg de filamento PLA se encuentra en unos 350 pesos mexicanos, suficiente para hacer la estructura.

### **Impacto social, ecológico, tecnológico y/o desarrollo sustentable**

- Impacto social: En todas las partes del mundo han surgido historias conmovedoras de como las prótesis 3D pueden ayudar a cambiar la vida de muchas personas en el ámbito social. Pueden hacer que el paciente se sienta más seguro de sí mismo, lo que favorece que pueda llegar a participar en actividades anteriormente limitadas y una felicidad general

- Impacto ecológico: La impresión 3D ha avanzado bastante, es que podemos incluso reciclar diferentes materiales, como el plástico que están hecho las botellas de refresco. Esto implica el no tener necesidad de desechar y más bien reciclar para nuevas impresiones 3D.
- Impacto tecnológico: Las prótesis hechas en impresión 3D han revolucionado la medicina ya que los diseños hechos pueden imprimirse con materiales que puedan acoplarse al organismo de un ser vivo. Sin olvidar que la inteligencia artificial ha sido muy nombrada estos últimos días y se ha ocupado para el mejoramiento de movimientos y hacerlas más versátiles de forma natural
- Impacto sustentable: Las prótesis hechas con impresión 3D pueden llegar a ser más sostenibles si nos enfocamos en un buen filamento, hechas de materiales como plásticos biodegradables o a base de plantas.

### **Estrategia para la protección de la propiedad intelectual del prototipo**

Este proyecto fue creado por alumnos del Centro de Estudios Tecnológicos Industriales y Servicios Num.17 de las carreras de Programación y Mecánica.

- ❖ Tulian Roldan José Arturo
- ❖ Vázquez Pérez Ángel Gabriel
- ❖ Juárez Santamaria Andrea Mariana
- ❖ López Vázquez Alan
- ❖ Pérez López Daniel
- ❖ Gois Ramírez Andrés

Acciones del IMPI en materia de protección a la propiedad intelectual: Otorgar protección a través de Patentes, registros de Modelos de Utilidad. Diseños Industriales, Marcas y Avisos Comerciales, la publicación de Nombres Comerciales y autorizar el uso de Denominaciones de Origen y proteger los Secretos Industriales.

La prótesis de mano y antebrazo consta de 7 grados de libertad: Movimiento de los 5 dedos de la mano, la muñeca y el codo. El Arduino uno puede ser por el momento alimentado por el puerto de la entrada de laptop o pc de escritorio, pero la estimación es de una batería de 7v, también otra fuente de energía para los 5 servomotores mg995 y 1 mg996R que son más pesados y levantan más ocupan un voltaje de 5v a 7.2 y por último el sensor Electromiografico ocupa de 2 baterías de 9v para detectar señales.

El funcionamiento de este prototipo se basa en poder tomar objetos por medio de un agarre predefinido para sujetar, haciendo que más adelante pueda mover cada dedo de manera independiente pudiendo realizar otros agarres predefinidos para diferentes tareas diarias abarcando en sí en la construcción de una IA de Machine Learning para poder interpretar cada una de las señales electromiograficas en movimientos rápidos y precisos. La prótesis hecha en material PLA está adaptada a la paciente de acuerdo a las medidas de su umbral para poder usarla con comodidad y siendo lo más posible estética y a la medida del brazo izquierdo. La idea planteada para la retroalimentación y posterior mejora de control de la prótesis tiene que ver con que la prótesis este sincronizada con el simulador de unity en tiempo real y resuelva retos con ella para generar confianza en su persona, así como tomar objetos en el simulador conociendo su masa y sus características que la constituyen también conocido como Feedback Háptico

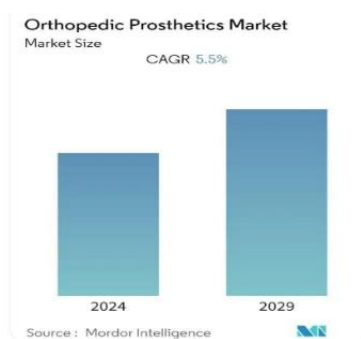
## Análisis de resultados

Hemos hecho un avance bastante significativo para ayudar a pacientes de amputaciones de mano y antebrazo a volver a recobrar su independencia y felicidad. La paciente a quien se le donará la prótesis será la primera en probar que tan eficiente es al momento de usarla en su vida cotidiana. Y para ser el primer diseño funcional, vamos por un buen camino.



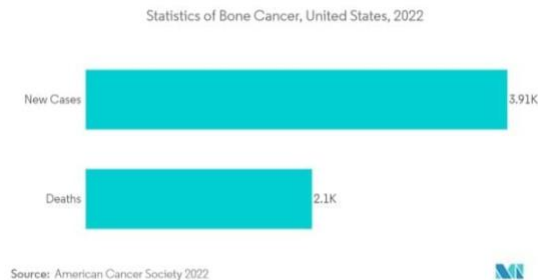
*Como se observa en la imagen (Anexo H)*

De acuerdo a la página de MordorIntelligence nos brinda un informe de cuanto será el aumento en los siguientes 5 años de prótesis ortopédicas en el mercado, incluyéndonos graficas que pueden ser de suma importancia para conocer más a profundidad. En si se espera que las prótesis mioelectricas cuenten con una cuota de mercado significativa, pero en años posteriores por la pandemia del covid-19 se observó un mínimo retroceso en la compra de prótesis que hasta el día de hoy se está volviendo a desarrollar de manera más activa. Tal y como lo menciona la siguiente grafica.



*Como se observa en la imagen (Anexo I)*

Lastimosamente las gráficas incrementan de mayor manera por motivos de accidentes de tráfico que a menudo hacen lesiones bastante graves o incluso irreparables llegando a la amputación. Por tales motivos se espera que el numero aumente en tiempo de pronóstico. De acuerdo a la siguiente gráfica:



Como se observa en la imagen (Anexo J)

Estamos convencidos de que nuestro diseño es de grado funcional, pero necesitamos esforzarnos para poder mejorarlo aún más y hacerlo mucho más competitivo en el mercado. En el que varias empresas líderes de prótesis a nivel mundial avanzan cada vez más su complejidad en tecnología, estamos enfocados en mejorarla y en eso trabajamos para entregar un producto más completo, con mejoras tecnológicas que puedan adquirir pacientes sin recursos suficientes.

#### Líderes del mercado de prótesis ortopédicas

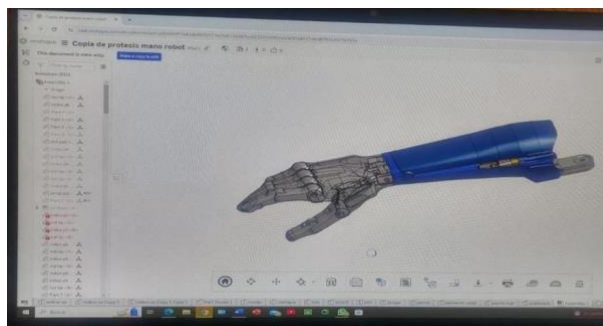
1 Blatchford Ltd

2 Fillauer LLC

3 Willow Wood Global LLC

4 Ossur

5 Mobius Bionics



Como se observa en la imagen (Anexo K)

## **Conclusiones**

Podemos concluir que el prototipo de prótesis de mano y antebrazo es muy complejo, hay muchos temas por tomar en cuenta y mejorar. La prótesis resolvió los problemas de la vida cotidiana tomando objetos que le ayudaran a la paciente en su vida diaria y calmando el dolor común en la mayor cantidad de pacientes que sufren o sufrieron por el síndrome del miembro fantasma.

Hemos finalizado con una prótesis con 5 grados de libertad en el primer diseño y 7 grados de libertad en el segundo, dándole mejoras que pueden beneficiar más al paciente y siendo menos costosa. La paciente se siente conforme con su nueva prótesis y es lo que buscamos desde un principio ayudar para poder lograr mejorar su calidad de vida, autoestima y felicidad.

## Bibliografías

Font-Jiménez, I. Llauro-Serra, M. Pallares- Martí, A. y Garcia-Hedrerera, F. (6 de agosto de 2015). Factores psicosociales implicados en la amputación revisión sistemática de la literatura.

National Library of Medicine. [Factores psicosociales implicados en la amputación. Revisión sistemática de la literatura - PMC \(nih.gov\)](#)

El cambio de vida tras la pérdida de una extremidad.(11 de marzo de 2020). El cambio de vida tras la pérdida de una extremidad. SUNRISE MEDICAL. [El cambio de vida tras la pérdida de una extremidad | Sunrise Medical](#)

Ingeniería Biomédica: la contribución de la impresión 3D en Medicina. (2024). Ingeniería Biomédica: la contribución de la impresión 3D en Medicina. Future healthcare. [Ingeniería Biomédica: la contribución de la impresión 3D en Medicina \(future-healthcare.ec\)](#)

La impresión 3D en la medicina. (19 de febrero de 2020). La impresión 3D en la medicina. RGT CONSULTORES INTERNACIONALES. [La impresión 3D en la medicina \(rgtconsultores.mx\)](#)

C, L. (26 de abril de 2022). La impresión 3D en la medicina, una herramienta para salvar nuestras vidas. 3D natives. [La impresión 3D en la medicina, una herramienta para salvar nuestras vidas - 3Dnatives](#)

Mano Taska: 19 agarres predefinidos para los movimientos más habituales. (2022). Mano Taska: 19 agarres predefinidos para los movimientos más habituales. PRIM establecimientos ortopédicos. [TODO sobre Prótesis Biónicas | PRIM Establecimientos Ortopédicos \(primclnicasortopedicas.es\)](#)

Enzo Fernando, R.M. (16 de noviembre 2018). Diseño de un sistema de retroalimentación háptico para una prótesis mioeléctrica transradial de miembro superior. PUCP. [Diseño de un sistema de retroalimentación háptico para una prótesis mioeléctrica transradial de miembro superior \(pucp.edu.pe\)](#)

Gonzalo Ramírez, Dr. (enero 2023). Electromiografía: que es, para que sirve y como se realiza.

Grupo Rede Dor. [Electromiografía: qué es, para qué sirve y cómo se realiza - Tua Saúde \(tuasaude.com\)](https://tuasaude.com/electromiografia-que-es-para-que-sirve-y-como-se-realiza/)

Electromiografía (EMG): ¿Qué es? ¿Como y Porque se Hace? Limitaciones, Riesgos, Preparación y Resultados. (2019). Electromiografía (EMG): ¿Qué es? ¿Como y Porque se Hace? Limitaciones, Riesgos, Preparación y Resultados. Arriba Salud. [Electromiograma \(EMG\): ¿Qué es? ¿Cómo y Porque se Hace? Limitaciones, Riesgos, Preparación y Resultados - Arriba Salud](https://arribasalud.com/electromiograma-emg-que-es-como-y-porque-se-hace-limitaciones-riesgos-preparacion-y-resultados/)

Vaskovic, J. (3 de noviembre de 2023). Mano y muñeca (Anatomía). KENHUB. [Mano y muñeca: Huesos, músculos, arterias y nervios | Kenhub](https://kenhub.com/es/topic/mano-y-muñeca)

Díaz Martínez, C. (2023). Síndrome del miembro fantasma: síntomas, causas y alternativas de tratamiento. Infotiti. [Síndrome del miembro fantasma: síntomas, causas y alternativas de tratamiento | Neurología \(infotiti.com\)](https://infotiti.com/sindrome-del-miembro-fantasma-sintomas-causas-y-alternativas-de-tratamiento/)

Peralta, B. (2021). La evolución de las prótesis biónicas y como la inteligencia artificial planea maximizar los sentidos. Business Insider México. [La inteligencia artificial revolucionará las prótesis humanas \(businessinsider.mx\)](https://businessinsider.mx/la-inteligencia-artificial-revolucionara-las-protesis-humanas/)

Prótesis. (junio 2022). Prótesis. Doctorius.mx. [Especialistas en Prótesis - ¿Qué son y Cuáles son sus beneficios? \(doctorius.mx\)](https://doctorius.mx/especialistas-en-protesis-que-son-y-cuales-son-sus-beneficios/)

Prótesis ortopédicas Tamaño del mercado y análisis de acciones tendencias de crecimiento y pronósticos (2023-2028). (2023). Prótesis ortopédicas Tamaño del mercado y análisis de acciones tendencias de crecimiento y pronósticos (2023-2028). Mordor Intelligence. [Prótesis ortopédicas Tamaño del mercado y análisis de acciones - Informe de investigación de la industria - Tendencias de crecimiento \(mordorintelligence.com\)](https://mordorintelligence.com/industry-reports/protesis-ortopedicas-tamano-del-mercado-y-analisis-de-acciones-tendencias-de-crecimiento-y-pronosticos-2023-2028/)

Venta de Prótesis a tu Medida. (2023). Venta de Prótesis a tu Medida. PROTHESIA. [Venta de Prótesis de Alta Calidad a Precios Justos \(prothesia.com\)](https://prothesia.com/venta-de-protesis-de-alta-calidad-a-precios-justos/)



Servicios de impresión 3D online. (2024). Servicios de impresión 3D online. Bitfav. [Bitfab -](#)

[Servicio de impresión 3D online profesional](#)

V. (2022). Impresión 3D en Medicina: Usos y ventajas. Creación 3D. [Impresión 3D en](#)

[Medicina: Usos y ventajas en 2024 \(creacion3d.com\)](#)

Bertrán Prieto, P. (2024). Síndrome del miembro fantasma: ¿qué es y por qué ocurre? Medico+.

[Síndrome del Miembro Fantasma: ¿qué es y por qué ocurre? \(medicoplus.com\)](#)

Ventajas de la impresión 3D de prótesis. (2024). Ventajas de la impresión 3D de prótesis.

Imprimakers. [Ventajas de la impresión 3D de prótesis - Imprimakers](#)

## **Anexos**

### **Anexo A 9**

Las imágenes se muestran como sería el funcionamiento de aprendizaje del software de la prótesis a través del espacio 3D

### **Anexo B .....10**

En esta imagen se muestra los músculos del cuerpo humano y aprender su funcionalidad es primordial para conectar el sensor EMG y este capte mejor las señales que brindamos al mover un músculo

### **Anexo C .....13**

Como se muestran en estas 2 imágenes se ven los componentes electrónicos que se encarga de analizar cada señal que da el músculo al moverlo y lo traduce para que el servomotor mueva la prótesis y cause la movilidad de la prótesis y el encargado de traducirle/mandarle señales son los electrónicos de Arduino y el sensor EMG

### **Anexo D .....13**

Aquí se muestra el programa que se usó para diseñar la prótesis y también cada calcular la duración de cada impresión al igual que agrandar o hacer más pequeña las partes de la prótesis para que se sienta cómodo usarla

Anexo E .....	14
---------------	----

En esta imagen se muestra cómo se verá en el programa antes de ser mandado a imprimir al igual ahí se podría editar el diseño dependiendo del usuario para su comodidad y uso

Anexo F .....	14
---------------	----

Aquí se muestra las piezas para que sea la impresión de la mano y el total de horas de impresión fue de 30 hrs aproximadamente sin contar la posibilidad de que pueda salir mal la impresión y se extienda el proceso

Anexo G .....	15
---------------	----

El simulador Feedback Háptico está creado con el fin para la señorita María Juana y se adapta y de mejores señales para el uso de prótesis o en palabras más simples el simulador es una serie de retos y ejercicio para que reactive parte del músculo que tiene y dándole mayor facilidad de usarlo

Anexo H .....	20
---------------	----

Aquí mostramos la primera creación con esta aprendimos toda la investigación como moverla, como acomodar la para el usuario, como conectarla, etc. con ella supimos el motivo de los precios elevados y como hacerlos más accesibles para las personas pocos recursos

Anexo I .....	20
---------------	----

En esta grafica se muestra el crecimiento de las compras que se ven en los siguientes años y posiblemente algunas de esas personas se estará endeudando para retomar su vida y nuestro proyecto queremos dar el mensaje de después de un accidente no está todo perdido aun puedes intentar retomar tu vida.

Anexo J .....	21
---------------	----

Los accidentes van creciendo por que la gente ha empezado a entrar en trabajos pesados, manejar más, etc. y gracias a esto último las personas que terminan fatal en el accidente pierde una extremidad obligándolos a comprar una prótesis si no quieren deprimirse después de salir del hospital se verían obligados tal vez no endeudase, pero si poniendo un punto y coma en su vida

Anexo K .....	21
---------------	----

Aquí mostramos el diseño más reciente que hemos creado para la creación de la prótesis y haciéndola más sencilla para su uso de la persona que la estamos ayudando