

# La revolución tecnológica: los ciborgs

Lina Marcela Ruiz García  
Escuela de Ingeniería de Sistemas  
e Informática  
Universidad Industrial de  
Santander  
Bucaramanga, Colombia  
linaruiz1098@gmail.com

Damar Nicolás Rojas Chacón  
Escuela de Ingeniería de Sistemas  
e Informática  
Universidad Industrial de  
Santander  
Bucaramanga, Colombia  
nicorojas25@hotmail.com

Marianne Solangel Rojas Robles  
Escuela de Ingeniería de Sistemas  
e Informática  
Universidad Industrial de  
Santander  
Bucaramanga, Colombia  
mariannesolaneg16a@gmail.com

**Abstract**— The prostheses in the 21st century are innovating in the market, for they seek to simulate the lost limb they replace through artificial intelligence, whose objective is to gain greater efficacy with the least amount of actively provided information possible. These makes it faceable for "cyborgs" to manifest in our society, a man-machine fusion. An important breakthrough in the field consists of the Luke Skywalker prosthesis, which implements ultrasound to detect muscle signals and allows the movement of the fingers individually, unlike traditional prostheses.

**Keywords**— EMG signals, cyborgs, prosthesis, artificial intelligence, ultrasound, machine learning

**Resumen**— Las prótesis del siglo XXI están innovando en el mercado, pues buscan simular el miembro amputado que reemplazan por medio de la inteligencia artificial, cuyo objetivo es obtener una mayor eficacia con la menor cantidad posible de información provista activamente. Esto permite que se estén presenciando "ciborgs" en la sociedad, una fusión hombre-máquina. Un importante avance en el campo consiste en la prótesis Luke Skywalker, que implementa ultrasonido para detectar señales musculares y permite el movimiento de los dedos individualmente, a diferencia de las prótesis tradicionales.

**Palabras claves**— señales EMG, ciborgs, prótesis, inteligencia artificial, ultrasonido, machine learning

## I. INTRODUCCIÓN

Según las estadísticas, hay alrededor de 3 millones de personas en todo el mundo que sufren de amputación de miembro superior. De hecho, perder algún miembro del cuerpo es algo trágico para cualquier persona que tenga que vivir con ello, causando problemas tanto en lo emocional como en lo funcional, dado que las tareas que puede realizar son mínimas (en el caso de un brazo o pierna).

Gracias a la revolución tecnológica que se está viviendo en el siglo XXI se puede suplantar la funcionalidad de dicho miembro, haciendo que los ciborgs que antes parecían *futuristas* o *de televisión* se están volviendo una realidad, y actualmente,

seres humanos están usando diferentes tipos de prótesis que les permiten superar la pérdida de su miembro.

En este escrito se explorarán las implicaciones que traen los avances tecnológicos en la producción de prótesis de miembros superiores, y principalmente, en el Proyecto Skywalker, desarrollado por un grupo del Center for Music Technology de Georgia Institute of Technology, quienes desarrollaron una mano biónica que posee la capacidad de mover los dedos individualmente implementando ultrasonido, que permite obtener lecturas mucho más acertadas sobre el movimiento muscular que las prótesis tradicionales.

## II. ESTADO DEL ARTE

En el mercado existen diferentes tipos de prótesis mioeléctricas como *la mano biónica CyberHand (prototipo de mano mecánica)*, *la prótesis I-LIMB* y *la prótesis Michelangelo*.

El proyecto CyberHand, es la mano biónica más avanzada del mundo, este proyecto comenzó hace varios años, pero en el 2013 siguió su desarrollo bajo el nombre de NEBIAS (Neurocontrolled Bidirectional Artificial upper limb and hand prosthesis), lo que marca la diferencia de este proyecto a los demás es que permite que la persona pueda tener sentido del tacto hasta el punto de agarrar objetos de manera intuitiva y reconocerlos con los ojos vendados, por medio de una interfaz neuronal que envía la información sensorial de la mano artificial al cuerpo humano (cerebro).

Dennis Aabo perdió su brazo en un accidente y fue la persona en la que se probó el proyecto NEBIAS, él dice "*me pasaron una pelota de béisbol para que lo cogiera y, por primera vez en diez años, pude sentir que estaba sosteniendo algo esférico con mi prótesis de mano.*", esto es posible ya que puede controlar movimientos complejos de la mano y los dedos [1].

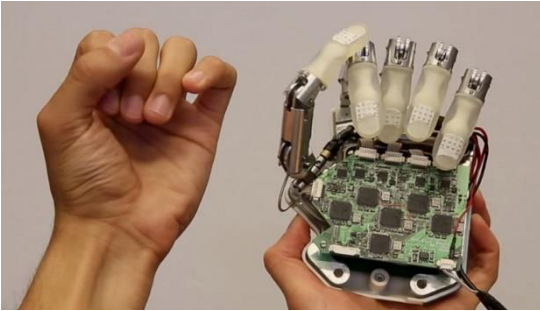


Fig. 1 Proyecto NEBIAS

### III. ¿QUÉ ES UN TRANSHUMANO?

Transhumano, es el término para referirse a un “humano transicional”, un paso potencial hacia la evolución del post-humano. Llamando transhumanos a la “manifestación más temprana de nuevos seres evolutivos”, Los primeros signos del transhumanismo incluyen el refuerzo corporal con implantes, la andrógina, la reproducción asexual, y la identidad repartida. Actualmente muchos humanos empiezan a considerarse a sí mismos como transhumanistas, el concepto de transhumano ha tomado connotaciones de auto identificación y pro-acción, tal y como muestra esta definición extraída del Apartado de Terminología Transhumanista.

**TRANSHUMANO:** Alguien que se prepara de forma activa para convertirse en post-humano. Alguien lo bastante informado como para ver las radicales posibilidades y proyectos que se le ponen delante, y que toma cada opción actual para su propio crecimiento.

### IV. ¿QUÉ ES UN POSTHUMANO?

“Un post-humano es un descendiente humano que ha sido aumentado hasta tal punto como para haber dejado de ser humano. Muchos transhumanistas quieren convertirse en post-humanos” [2].

### V. LA FUSIÓN ENTRE HUMANOS Y MÁQUINAS

Mientras la aceleración tecnológica o singularidad tecnológica como le llama Vernor Vinge, plantea que el desarrollo tecnológico crece a un ritmo acelerado, donde sus potencialidades se duplican de una año a otro, lo cual lleva a un crecimiento exponencial, que nos acercara a un punto en que su crecimiento será tan vertiginoso que será imposible darle seguimiento, se refiere, a que los humanos no podrán seguir los cambios tan vertiginosos que se avecinan y que a partir de ese punto, la única solución está en pasarle el control a las maquinas o fusionarse con ellas.

Un primer acercamiento a esa fusión, que parece casi inevitable, son las prótesis. Al que pierda un brazo o una pierna que esta se le pueda

sustituir por un organismo cibernético o que a un ciego o un sordo se le pueda implantar un dispositivo que le permita suplir su deficiencia. Así las cosas, podemos seguir hablando de órganos que se pueden sustituir: como el corazón, los riñones, etc. Así, hasta llegar a sustituir partes del cerebro dañadas. Así podemos llegar a un hombre protésico, que producto de sucesivos accidentes, por ejemplo, de tránsito, haya sido reemplazado totalmente por prótesis [3].

#### A. *El ciborg*

La idea de crear una inteligencia artificial partiendo de cero, para muchos resulta una tarea casi imposible, en cambio, parece más lógico aprovechar la creación de la naturaleza y trabajar sobre ella. Resulta obvio. ¿Por qué no aprovechar el camino recorrido por la inteligencia humana en lugar de crear una nueva? Son muchos los que piensan así y prefieren trabajar en aras de una súper inteligencia híbrida donde se combine lo mejor de los humanos con lo mejor de las máquinas.

Con respecto a la súper inteligencia híbrida este se puede alcanzar de dos formas, a través del hombre con prótesis o protésico o del, ya mencionado, ciborg. Al hombre protésico se llegaría de forma más natural, incluso ya está sucediendo, piensen en los implantes cloquear, en los marcapasos, o el caso más significativo, es el del corredor Oscar Pistorius, atleta paralímpico sudafricano. No confundir al hombre protésico, quien, normalmente, ante un accidente o una anomalía, utiliza una prótesis para suplirla, con el ciborg que de forma consciente aspira a la fusión con las maquinas con la aspiraron de aprovechar lo mejor de cada cual [4].

#### B. *Kevin Warwick, el primer ciborg*

En 1998, Warwick, causó revuelo cuando un grupo de médicos hizo una pequeña incisión su brazo izquierdo, deslizó una delgada cápsula de una pulgada de longitud, y lo cosió. Dicha cápsula contenía microchips de sílice que anunciaron la presencia de Warwick a otras computadoras.

En 2002, otro grupo de médicos abrió la muñeca izquierda de Warwick e implantó un aparato mucho más pequeño y sofisticado. Durante tres meses, sus 100 electrodos estuvieron conectados a su nervio mediano, uniendo su sistema nervioso a una computadora. A lo que Warwick declaro: “Cuando hice mi experimento en Nueva York, que consistía en controlar desde allí, con mi sistema nervioso conectado directamente a Internet para controlar una mano en el Reino Unido, en otro continente, eso demuestra que el cuerpo no es sólo esto, lo que ves ahora, sino cualquier cosa que puedas conectarte mediante

cables. Es un concepto muy diferente. Es como ser un Superman, en cierta manera”.

Un poco después, experimentó un rudimentario intercambio de señales entre su cerebro y el de su esposa equipada de un electrodo implantado en un nervio y considera que esta es una primera hacia una comunicación a través del cerebro, su próximo paso. Porque el capitán ciborg como algunos le llaman se ha tomado muy en serio la idea de convertirse en ciborg y se ha propuesto almacenar los pensamientos. Warwick tiene pensado implantarse un elemento en su cerebro que podría terminar permitiendo enviar mensajes telemáticos o incluso grabar nuestras experiencias en la mente y tener acceso a los recuerdos cuando queramos.

Warwick desde hoy se abroga el derecho de decidir el futuro de las próximas generaciones cuando afirma: “A todos los que queráis seguir siendo humanos, tengo que deciros una cosa: en el futuro, seréis una subespecie” [5].

*“Existirán humanos superiores que controlarán la tecnología con su cerebro”, dice Warwick*

En el tratamiento de determinadas patologías, gracias a la estimulación neurológica con implantes electrónicos, los automóviles autónomos y la comunicación entre humanos y robots, la inteligencia artificial está realizando avances hasta hace poco impensables. “La estimulación profunda del cerebro se utiliza sobre todo para la enfermedad del Parkinson, se esta utilizando poco a poco para la epilepsia y ocasionalmente para la depresión”, resume poco después de mostrar un vídeo con el experimento realizado con un enfermo de Parkinson que gracias a los estímulos eléctricos enviados a su cerebro, previos implantes, controla momentáneamente sus temblores e incluso consigue andar [6].

Al igual que Warwick existen otras personas afectadas por todo esto, a ventaja de ellos claramente, algunas de estas personas son:

### Neil Harbisson



Fig. 2. Neil Harbisson

Se lo reconoce como el primer cyborg de la historia. Este británico de 33 años nació con acromatopsia, una enfermedad que impide distinguir la gama completa de colores: solo observaba los valores blancos, negros y grises. Para equilibrar el déficit, encontró la solución en una antena auditiva, que conectada al cerebro le permite "escuchar" los colores, incluso hasta percibir algunos invisibles como infrarrojos y ultravioletas (lo que, a su vez, le otorga la ventaja de saber si los niveles son adecuados para tomar sol). La antena cuenta con un receptor externo siempre orientado hacia donde Harbisson dirige la mirada. Gracias a un pequeño chip, el aparato es capaz de traducir las distintas frecuencias de la luz, la composición de los colores del mundo real, en frecuencias audibles. Es el primero de su categoría en ser reconocido por un Gobierno: "No estoy usando, ni llevando tecnología, soy tecnología".

### Moon Ribas



Fig. 3 Moon Ribas

Artista española y activista ciborg, es reconocida por tener una conexión con la tierra extrasensorial, gracias a un implante sísmico online en su brazo, que le permite percibir terremotos en tiempo real en cualquier lugar del planeta, mediante vibraciones. Siente desde un movimiento de nivel 1 en la escala de Richter hasta el más grande. Es cofundadora (junto a Harbisson) de la Cyborg Foundation, una organización especializada en facilitar a los humanos el convertirse en cyborgs, defender sus derechos.

### Rob Spence



Fig. 4 Rob Spence

Cineasta y amante de los documentales, se lo llama "Eyeborg". Desde 2009, porta un ojo electrónico, que suplanta al que perdió cuando era niño. El dispositivo no le devolvió la visión, sino que el fin fue osar de una nueva utilidad: siguiendo el enfoque de su mirada, es capaz de grabar gracias a la micro cámara que lleva la prótesis, capaz de enviar de forma inalámbrica la imagen a un receptor. A través de una batería recargable vía USB, el dispositivo dispone de una autonomía de aproximadamente dos horas.

### Chris Dancy



Fig. 5 Chris Dancy

Por medio de cámaras, sensores o aparatos portátiles, este estadounidense monitoriza su cuerpo y controla prácticamente cada actividad de su vida cotidiana. Conocido como "el hombre más conectado del mundo" tiene 11 dispositivos repartidos por el cuerpo que digitalizan los movimientos, la temperatura corporal, la presión sanguínea, el oxígeno, el peso, los alimentos ingeridos, la calidad del aire que respira, el volumen de su voz, la temperatura ambiente, la humedad, la luz y el sonido.

"Todo comenzó en 2007. Me sentía muy infeliz. Estaba a punto de cumplir 40 años y tenía una carrera a mis espaldas creando sistemas informáticos para empresas de software. Entonces, me pregunté si sería posible usar esas habilidades para mejorar mi propia salud", comentó a la *BBC*. Y agregó: "Solía molestarme que me vieran como un robot. Pero ya no espero eso porque ahora todo el mundo anda conectado a smartphones, relojes inteligentes y todo tipo de *wearables*" [7].

## VI. SEÑALES EMG

Dependiendo de la función con la que se desarrollen, las prótesis se pueden dividir en pasivas y activas, las primeras sólo se encargan de la parte estética más no de la funcionalidad, por ejemplo, sirven para ayudar a aquella persona que quiere lucir bien y superar alguna crisis emocional por carecer de un miembro, las segundas se accionan por el cuerpo pudiendo controlar diferentes movimientos, son una función entre lo estético y lo funcional.

Las prótesis activas son las que más se han implementado en los últimos años, logrando que aquellas personas que ya no cuentan con un determinado miembro puedan seguir realizando acciones diarias como coger un huevo sin necesidad de que se rompa, esto es posible gracias a la conexión que se está desarrollando entre el sistema nervioso y los artefactos robóticos (relación hombre-máquina).

Para implementar una prótesis se pueden fusionar diferentes ciencias como la biónica, cibernética, robótica y mecatrónica, las cuales son la base de las prótesis mioeléctricas (*mio*, de músculo), como el mismo nombre lo dice, son prótesis eléctricas que funcionan por medio del control mioeléctrico, basándose en que un músculo se puede contraer o flexionar, para cada movimiento se produce una señal electromiográfica (EMG) creada por la interacción química en el sistema humano, esta señal se trasmite desde los músculos hasta la epidermis. [8]

Las principales características que se tienen en cuenta de la señal son (1) la amplitud, se mide en terminos de voltaje, (2) los cambios de fase, (3) la duración, definida como el tiempo que transcurre desde la deflexión inicial hasta que vuelve a la línea de base y (4) estabilidad, de la cual se obtiene una idea de la constancia de la señal. [9]

Normalmente las señales EMG presentan voltajes muy pequeños [5 a 200  $\mu\text{V}$ ] y un espectro frecuencial entre los 20-500 [Hz], conformando una potencia entre los 50-200 [Hz], que se usa para obtener los registros de la actividad eléctrica de un músculo se necesitan electrodos. [10]

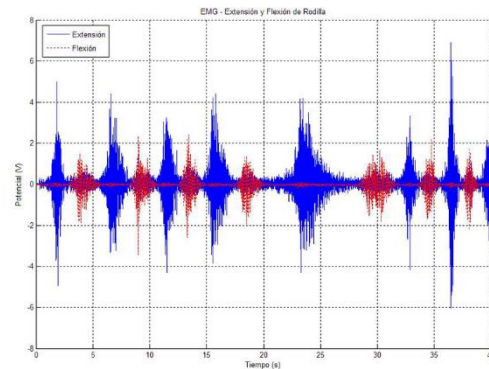


Fig. 6 Señales EMG para extensión y flexión de rodilla

Un electrodo es un dispositivo encargado de conducir las señales eléctricas desde alguna parte del cuerpo humano (músculos, cerebro, corazón) hasta los aparatos de registro, que se encargan de amplificar la señal, el registro obtenido de este análisis se envía a los microprocesadores. [11]

Para captar las señales hay dos métodos, *no invasivo*, si los electrodos se sitúan en la parte superficial de los músculos activos en el cuerpo, o *invasivo* si se emplean electrodos intramusculares. [12]

Dependiendo de qué tipo de electrodo se hará uso se pueden encontrar diferentes electrodos, por ejemplo, los electrodos de aguja son una delgada aguja de metal que se inserta en el músculo entrando en contacto directo mientras que los electrodos superficiales son de diferentes materiales (plata, oro, etc.) y se ubican sobre la piel del músculo que se desea analizar.

Cabe destacar que es muy importante la localización del electrodo, esta puede ser longitudinal, el electrodo se ubica en la zona media del músculo, es decir entre la terminación de la neurona que envía el impulso eléctrico al músculo y el tendón distal, o transversal, se ubica el electrodo sobre una zona alejada del borde con otros músculos, obteniendo la máxima distancia entre ellos. [13]

Las aplicaciones de los electrodos invasivos son principalmente para diagnósticos, es decir, definir si hay un músculo lesionado, en rehabilitación o medicina interna ya que se necesita una medida de un músculo en específico y con estos electrodos se entra en contacto con el músculo de interés. En el caso de los no invasivos, son los más adecuados para realizar las prótesis mioeléctricas, por comodidad del paciente.

Una desventaja es que se puede presentar mucho ruido por parte de otros músculos cercanos, para ello, se debe usar más electrodos, también se puede hallar ruido en el ambiente de la radiación, inestabilidad inherente de la señal e incluso, ruido inherente en el equipamiento. Ante este tipo de ruido se debe de usar diferentes filtros, atenuando esas frecuencias ruidosas.

De cada sensor EMG se pueden extraer características del dominio del tiempo o frecuencia, tras combinar los diferentes tipos de primitivas obtenidas, se realiza un vector con esta información, a partir de la cual se identifica la intención del movimiento de la persona.

Países como Estados Unidos, Japón y algunos en Europa son quienes están realizando diversos estudios para interpretar y analizar estas señales, para poder llevar a cabo los significativos avances que se han presenciado hasta el momento.

Las prótesis mioeléctricas no son las únicas que se basan de las señales EMG, una de las prótesis más complicada basada en la información de dicha señal es cuando hay amputaciones transmurales (extremidad superior), en este caso se usan prótesis

híbridas o de energía mixta que combinan los sistemas mecánicos y mioeléctricos. Por ejemplo, el sistema ErgoArm plus o ErgoArm Hybrid contiene mano mioeléctrica y codo controlado por cables. Es muy útil para aplicaciones biorrobóticas.

Para la implementación de este tipo de prótesis se usa la fuerza propia (corpórea) y fuerza externa (extracorpórea), se basan de las señales electroencefalografía (EEG) y EMG. La señal EEG se basa en la información de la actividad bioeléctrica cerebral.

Se dice que son más complejas dado que la prótesis debe reemplazar muchas funciones y no se puede obtener suficiente información de los músculos, sin embargo, se intentan usar los bíceps y tríceps, aunque esto depende de hasta donde esté el miembro amputado del paciente, ya que si es en el hombro no se podrá contar con los registros de estos músculos.

## VII. ARQUITECTURA COMPUTACIONAL USADA EN LAS SEÑALES EMG

Actualmente se han implementado tecnologías como Arduino, que se basa en open source y open hardware, también es una comunidad internacional encargada de diseñar placas de desarrollo de hardware cuyo fin es construir dispositivos interactivos que puedan realizar tareas del mundo real. [14]

Un ejemplo son las placas de expansión más conocidas como shields, placas de circuitos modulares cuya función es aumentar o extender la capacidad de la placa Arduino en cuanto a comunicación, gestión de más sistemas, entre otros.

Se destaca el shield SHIELD-EMG-EKG-PA Arduino Electromiography EMG, capaz de capturar y procesar las señales de electromiografía, cuya función es amplificar la señal, filtrar el ruido en tiempo real y permitir programar las señales para obtener una optimización en su uso. [15]

Los registros que se obtienen de estos shields es muy importante para la implementación de las prótesis mioeléctricas, dado que convierte la señal analógica diferencial EMG generada por los músculos en el flujo de datos de salida. El fabricante es Olimex y usa una arquitectura AVR, PIC, ARM, junto a una interfaz de tipo pass-through headers, funciona con 3.3 [V] y 5 [V]. [16]

Este avance es muy significativo para la tecnología ya que cada vez más la inteligencia artificial, en este caso los miembros robóticos, se van mezclando con la población civil, obteniendo una revolución tecnológica muy grande e innovando para solucionar aquellos problemas que años atrás parecían el fin del mundo para una persona, pues no tener un miembro como brazo o

pierna limitaba sus capacidades y aptitudes para llevar a cabo un trabajo o alguna tarea.



Fig. 7 SHIELD -EMG-EKG-PA

### VIII. SENSOR ULTRASONICO

La prótesis Luke Skywalker, desarrollada por el Center of Music Technology del Georgia Institute of Technology y develada en diciembre de 2017, constituye un proyecto innovador en la medida que permite a la persona amputada controlar los dedos de la mano biónica de manera individual por medio de un sensor de ultrasonido, el cual permite obtener señales más claras que un sensor electromiográfico para la captura de movimiento muscular residual [17].

Históricamente, las ondas de ultrasonido han sido utilizadas como una herramienta por los seres humanos para detectar objetos imposibles de captar mediante la vista, acelerar procesos químicos en las industrias o experimentación para el desarrollo de medios de comunicación más eficientes [18], [19], [20].

En el campo de la salud, principalmente, el uso de las ondas ultrasónicas es amplio. La aplicación más conocida es quizá la sonografía, especialmente las ecografías realizadas a madres en proceso de gestación. La sonografía, sin embargo, es muy aplicada con el fin de observar estructuras internas como tendones, músculos, articulaciones u órganos internos e identificar la causa de alguna patología presentada por el paciente. Dada la escasa observación de efectos negativos sobre la salud por el uso de ultrasonido, muchas áreas lo aplican para la realización de diagnósticos. Estas áreas incluyen oftalmología, ginecología, radiología, urología y cardiología general [21].

Ahora bien, el desarrollo de la aplicación de ultrasonido en medicina no es solo una modalidad de diagnóstico por imágenes sino una modalidad terapéutica en la que la energía puede acumularse en el tejido para aumentar una variedad de efectos

biológicos [22]. El interés en aplicar el ultrasonido a modo de terapia existe desde finales de los años 70. [21] Sin embargo, existe poca evidencia de que la terapia con ultrasonido genere algún resultado mejor al del efecto placebo [23].

En general, las ondas ultrasónicas no difieren de las ondas audibles respecto a sus propiedades físicas, salvo que los seres humanos no pueden oírlos. Sus frecuencias se encuentran desde los 20kHz y superiores. La implementación del ultrasonido a distintos dispositivos para detectar objetos invisibles (sensores) se basa en la propiedad de reflexión de las ondas. Conociendo la intensidad con que las ondas son generadas, es posible detectar el tiempo que estas tardan en ir y regresar al sensor al rebotar en un objeto, permitiendo realizar modelos de dichos objetos, ya sea para determinar tanto su forma como su ubicación, e incluso traducir esta información en una imagen. Su funcionamiento básico es el siguiente:

$$Velocidad = distancia/tiempo$$

“El transmisor ultrasónico transmite una onda ultrasónica, esta onda viaja en el aire y cuando se ve objetada por cualquier material, se refleja hacia el sensor, esta onda reflejada se observa en el módulo receptor ultrasónico, como se muestra en la imagen siguiente.”



Fig. 8 Transmisor ultrasónico

“Ahora, para calcular la distancia usando las fórmulas anteriores, debemos conocer la velocidad y el tiempo. Dado que estamos utilizando la onda ultrasónica, conocemos la velocidad universal de la onda US en condiciones ambientales, que es de 330 m/s. La circuitería incorporada en el módulo calculará el tiempo que tarda la onda US. En volver y enciende el pin de eco durante el mismo período de tiempo, de esta forma también podemos saber el tiempo empleado. Ahora simplemente calcula la distancia usando un microcontrolador o microprocesador” [24].

La agudeza en la detección del sensor puede verse afectada por la temperatura y la viscosidad del medio que estas deban atravesar. Así mismo, algunos objetos pueden no ser detectados por sensores ultrasónicos, debido a que tienen una forma o están posicionados de tal manera que las ondas de sonido rebotan en el objeto, pero se desvían del sensor. También es posible que el

objeto sea demasiado pequeño para reflejar lo suficiente de la onda que se va a detectar. Otros objetos pueden absorber toda la onda de sonido (tela, alfombras, etc.), lo que significa que no hay forma de que el sensor los detecte con precisión [25].

La mayor parte de las prótesis disponibles en el mercado hoy en día constituyen miembros biónicos que van desde lo más básico, como un simple gancho por mano, del cual el usuario no posee ningún control sobre la presión aplicada en el agarre, a manos complejas que permiten el movimiento individual de los dedos. Sin embargo, la mayor parte de ellas posee todos los dedos, que son controlados mediante una serie de botones que cambian el modo de operación, luego ejecutando posiciones preprogramadas [26]. Tradicionalmente, las prótesis de miembros superiores utilizan sensores electromiográficos (EMG) para detectar el movimiento de los músculos residuales en el miembro amputado, los cuales resultan costosos y sufren de ruido eléctrico [27].

“Las prótesis tradicionales, basadas en EMG, sólo detectan si existe actividad eléctrica; si existe un pico. El ultrasonido, por otro lado, tiene la capacidad de detectar la dirección en que se mueve el músculo y, por tanto, puede obtener información mucho más precisa del músculo que se relaciona con el control individual de los dedos”, dice Gil Weinberg, director del Center of Music Technology y profesor líder del proyecto Skywalker. “Mover distintos dedos provoca distintos movimientos del músculo, en distintas direcciones; algunas veces hacia la derecha, algunas hacia la izquierda. Podemos aplicar *machine learning* para detectar estos patrones y así poder predecir cuál es el dedo que el usuario está tratando de mover” [28].

A pesar de la innegable innovación del empleo de sensores ultrasónicos en prótesis con el fin de obtener lecturas más precisas sobre sensores EMG, se han conducido estudios en el pasado sobre la detección de movimiento muscular mediante ultrasonido, demostrando que dicha tarea es posible y viable [27], [29].

Adicionalmente, estudios apoyan la afirmación de que los sensores de ultrasonido tienen la capacidad de obtener lecturas más precisas del movimiento muscular [30].

Puesto que el equipo del proyecto Skywalker no ha publicado ningún artículo oficial respecto a su innovadora prótesis hasta la fecha, fuera de la evidencia videográfica referenciada en [28], es difícil señalar los procesos de experimentación con exactitud. Sin embargo, es posible que estos, si tan

sólo en la recopilación de datos, fueran ligeramente similares a los realizados por estudiantes de Shanghai Jiao Tong University en su estudio sobre el desempeño de sensores EMG y ultrasónicos en el reconocimiento del movimiento de los dedos. En dicho proyecto se experimentó con paradigma de catorce gestos de la mano. Se recopilaron datos de distintas personas realizando varias tomas del paradigma de gestos en orden aleatorio para cada uno de los sensores utilizados. Los resultados apuntan a que el sensor ultrasónico se comporta mejor que el de EMG en reconocimiento discreto del movimiento de los dedos, lo que implica que el US tiene el potencial de lograr lecturas más diestras y precisas [30].

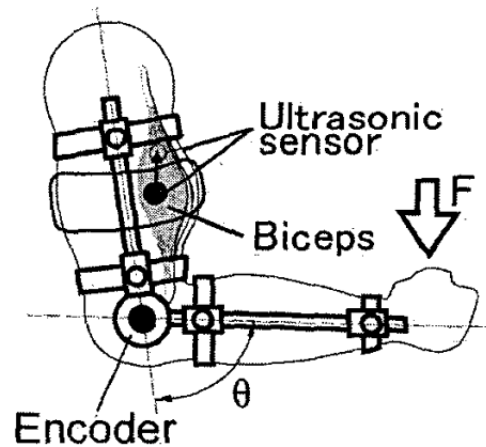


Fig. 9 experimento para medir el movimiento de los músculos con un sensor ultrasónico.

Obtenidos los datos de experimentación, el único proceso previo a la construcción de la prótesis en sí, era el componente software. El equipo del proyecto Skywalker implementó *machine learning* con el fin de reconocer los patrones de los datos de experimentación y así poder programar la respuesta apropiada, traducida en movimiento de los dedos de la mano biónica. El proceso con *machine learning* debió consistir en entrenar un modelo al proporcionarle los datos recopilados y tratar de predecir un resultado apropiado a lo largo de varias iteraciones, ajustando variables para procurar que los resultados en la siguiente iteración sean más acertados [31]. Es posible, incluso, que el equipo haya realizado este proceso proporcionando ecografías de los músculos de la persona amputada a modo de datos; sin embargo, las imágenes observadas en la videografía pueden haber sido proporcionadas únicamente con fines de ilustración.

De acuerdo a la referencia [32], los investigadores de Georgia Tech emplearon una tarjeta gráfica NVIDIA TITAN X y la librería

cuDNN como framework para procurar el *deep learning*. TITAN X utiliza la arquitectura Pascal, la cual brinda hasta tres veces mayor velocidad que GPUs lanzadas al mercado previamente [33].

Pascal está desarrollado especialmente para computadores que aprenden, para los cuales ofrece más de 12 veces de entrenamiento en redes neuronales, reduciendo el tiempo de entrenamiento significativamente, y un aumento de 7 veces en el rendimiento de la inferencia de aprendizaje profundo en comparación con las arquitecturas GPU de la generación actual. Además, Pascal incluye tecnología para escalar aplicaciones a través de múltiples GPUs [34]. Estas herramientas hacen posible que el proceso de aprendizaje para datos complejos como lo son patrones en el movimiento de los dedos viable y exitoso.

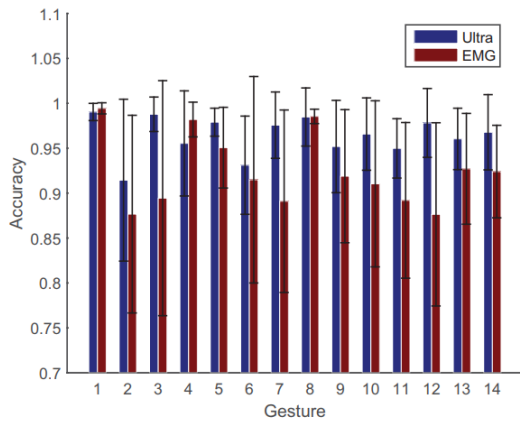


Fig. 10 Resultados de lecturas de EMG y US en em movimiento de la mano humana.

El ultrasonido ha sido implementado en distintas soluciones que permiten mejorar la calidad de vida de pacientes alrededor del mundo, como sistemas que mejoran la navegación de las personas con dificultades visuales o de movilidad [35], [36], [37]. No obstante, no existen otros registros de aplicaciones del ultrasonido en prótesis de miembros superiores. Será necesario aguardar publicaciones del equipo desarrollador para conocer más detalles sobre el proceso de detección del movimiento muscular en la prótesis Skywalker.

## IX. DISCUSIÓN

En cuanto a prótesis robóticas, los países que más se encuentran involucrados son Estados Unidos, Japón y algunos europeos. El propósito de estos proyectos es imitar en un gran porcentaje el funcionamiento, movilidad y aptitudes de los miembros del cuerpo humano en aquellas personas que han padecido amputaciones.

En Colombia, la Asociación Colombiana de Medicina Física y Rehabilitación estima que entre

200 y 300 personas por cada 100 mil habitantes padecen de amputación.

Algunos avances en las prótesis se pueden evidenciar con la primera prótesis antialérgica de rodilla, cuyo respectivo procedimiento quirúrgico se realizó en el Hospital Internacional de Colombia. [38]

Esta prótesis está compuesta de siete capas recubiertas que permiten que los tejidos blandos del cuerpo humano no entren en contacto con los pacientes. Es la única en el mundo con ese tipo de recubrimiento.

Otro caso, es la implementación de una prótesis mioeléctrica usando biotecnología y tecnología de impresión tridimensional desarrollada por ingenieros de la Universidad Nacional de Colombia (U.N.) [39]. Estas prótesis tienen algo característico, pues cuentan con un diseño personalizado de super héroes, ya que son especialmente para niños.

El prototipo mioeléctrico se establece por medio de sensores que se localizan en los músculos, proporcionando un *diseño de aditamentos ortopédicos para dedos y manos*, relata *el hospital*.

En Colombia sí se han desarrollado investigaciones en el campo de las prótesis inteligentes, sólo que no es muy conocido en el mercado. De todas formas, no se niega que el progreso que se tiene en los otros países es mucho más avanzado, pero como ingenieros se puede adoptar la tendencia de invertir en inteligencia artificial para superar las debilidades que existen actualmente.

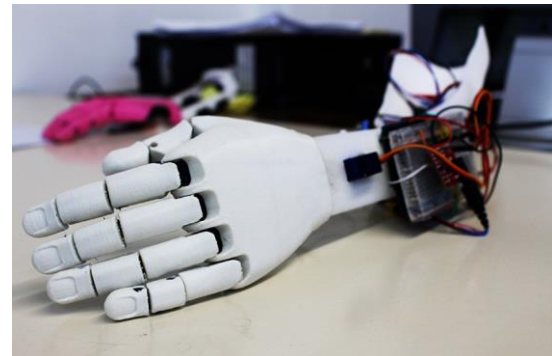


Fig. 11 Modelo de prótesis de mano mioeléctrica

Sabiendo todo esto, aún quedan muchas dudas por resolver con respecto a estos temas. ¿Será cierto que la raza humana se quedará atrás en comparación a los ciborgs? ¿Afectará la moral en la decisión de convertirse en un ciborg? Es importante recalcar que el reciente cese de la guerra con las F.A.R.C. ha dejado enormes saldos de personas afectadas, entre ellas, personas que



perdieron miembros en combate o a causa de las minas antipersonas dispuestas por los grupos ilícitos. Como colombianos, una forma de ayudar es generar mayor conciencia, lograr que una persona que ha sido amputada no sea vista como tabú, y así lograr que más personas se interesen por sus problemas y cómo pueden proponer soluciones.

No solamente podríamos ayudar a las personas que fueron afectadas en la guerra, también a personas que tuvieron accidentes o que tienen dificultades de movilidad, usar sus manos o mejorar su vista significativamente. Quedan muchas dudas por resolver, pero, no debemos olvidar lo que somos y eso es: seres humanos.

#### X. CONCLUSIÓN

En este artículo se exploraron diversos conceptos sobre el desarrollo de prótesis y cómo el rápido avance de la tecnología influye en este campo. Se exploró, también, la aplicación de distintas formas de captar el movimiento de los músculos restantes en el miembro amputado, y se encontró que el ultrasonido es significativamente mejor que los sensores EMG de las prótesis tradicionales, lo que puede brindar mayor libertad de movimiento al paciente.

#### XI. REFERENCIAS

- [1] Rivero, E. (2014). NEBIAS: la mano biónica más avanzada del mundo. UNOCERO. [online] Available at: <https://www.unocero.com/noticias/ciencia/salud/nebias-la-mano-bionica-mas-avanzada-del-mundo/>
- [2] ¿Que es un transhumano? <https://cibernetica.wordpress.com/2008/02/26/%C2%BFque-es-un-transhumano/>
- [3] La fusión entre humanos y maquinas. <https://cibernetica.wordpress.com/2008/10/24/la-fusion-entre-humanos-y-maquinas/>
- [4] Fusión humanos – tecnología, el cyborg. <https://cibernetica.wordpress.com/2012/11/26/la-fusion-humanos-tecnologias-el-cyborg/>
- [5] Kevin Warwick, el primer ciborg. <https://cibernetica.wordpress.com/2008/05/29/kevin-warwick-el-primer-cyborg/>
- [6] Hacía una humanidad ciborg. <http://www.lavanguardia.com/tecnologia/20170704/423881449791/humanos-ciborg-implantes-cerebro.html>
- [7] Cyborgs: cómo viven los sorprendentes “humanos del futuro”. <https://www.infobae.com/tendencias/innovacion/2017/04/29/cyborgs-como-viven-los-sorprendentes-humanos-del-futuro/>
- [8] K. Fisioterapia, "Las Prótesis Mioeléctricas", Fisioterapia.blogspot.com, 2018. [Online]. Available: <http://fisioterapia.blogspot.com/2013/02/las-protesis-mioelectricas.html>.
- [9] E. Masin Luciano and E. Prados Lautaro, "Diseño, construcción y ensayo de un equipo acondicionador de señales mioeléctricas para su empleo como interface de control de actuadores", Universidad Nacional de Córdoba, 2016. Available at: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4286/INFORME%20FINAL.pdf?sequence=1&isAlloWed=y>
- [10] Tolosa, L & Torrealba, Rafael & Silva, R. (2007). Development of algorithm for generation of control signal for myoelectric knee prosthesis. 10.13140/RG.2.1.1441.8081.
- [11] J. Correa Figueroa, E. Morales Sánchez, J. Huerta Ruelas, J. González Barbosa and C. Cárdenas Pérez, "Sistema de Adquisición de Señales SEMG para la Detección de Fatiga Muscular", Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica, no. 37, 1, pp. 17-27, 2015.
- [12] C. A. Quinayás-Burgos y C. A. Gaviria-López, "Sistema de identificación de intención de movimiento para el control mioeléctrico de una prótesis de mano robótica", Ing. Univ., vol. 19, no. 1, pp. 27-50, Enero-Jun., 2015. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.iyu19-1.siiim>
- [13] B. Salas Flórez and Y. Becerra Mora, "ANÁLISIS DE SEÑALES MIOELÉCTRICAS ORIENTADAS A LA ROBÓTICA", Trabajo de grado, UNIVERSIDAD DE LA SALLE, 2007.
- [14] Aprendiendo Arduino, 2018. [Online]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/09/25/que-es-arduino/>
- [15] Bravo, Hugo & Borja, Roberto & Chulde, Klever & Lema, Alex & Flores Pulgar, Tony. (2017). Procesamiento de Señales Mioeléctricas para Control de una Prótesis Robótica. 10.13140/RG.2.2.12156.23682.
- [16] O. LTD., "SHIELD-EKG-EMG OLIMEX LTD. | MOUSER", MOUSER ELECTRONICS, 2018. [ONLINE]. AVAILABLE: [HTTPS://CO.MOUSER.COM/PRODUCTDETAIL/OLIMEX-LTD/SHIELD-EKG-EMG?QS=RR6KE2EV\\$QU0GVHF4RX8W%3D%3D](https://co.mouser.com/ProductDetail/OLIMEX-LTD/SHIELD-EKG-EMG?QS=RR6KE2EV$QU0GVHF4RX8W%3D%3D)
- [17] R. Novelline, «Squire's fundamentals of radiology (5th ed.),» Harvard University Press, 1997, pp. 34-35.

- [18] «Acoustic chatter,» *The Economist*, 11 Junio 2015.
- [19] G. Xu, W. Nan, Z. Jingcheng, D. Cong y W. Xingwei, «Ultrasound generation from side wall of optical fibers,» de 16th International Conference on Optical communications and Networks (ICOON), 2017.
- [20] F. J. Fry, «Biological effects of ultrasound - a review,» *Proceedings of the IEEE*, vol. 67, n° 4, p. 604, 1979.
- [21] P. Petchpong y P. Rattanangkul, «Testing guideline for medical measuring devices on ultrasonic physiotherapy equipment in Thailand,» de 56th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2017.
- [22] V. J. Robertson y K. G. Baker, «A review of therapeutic ultrasound: effectiveness studies,» 1995. [En línea]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK68869/>. [Último acceso: 29 mayo 2018].
- [23] «HC-SR04 Ultrasonic Sensor,» [En línea]. Available: <https://components101.com/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet>. [Último acceso: 29 mayo 2018].
- [24] B. McCarthy, «Sound Systems: Design and Optimization: Modern Techniques and Tools for sound systems and alignment,» CRC Press, p. 83, 2016.
- [25] I. P. Clements, «howstuffworks,» *How Stuff Works*, [En línea]. Available: <https://science.howstuffworks.com/prosthetic-limb4.htm>. [Último acceso: 31 mayo 2018].
- [26] T. Tanaka, S. Hori, R. Yamaguchi, M. Q. Feng y S. Moromugi, «Ultrasonic Sensor Disk for Detecting Muscular Force,» de *Proceedings of the 2003 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, California, 2003.
- [27] Georgia Tech, «Luke Skywalker prothesis controls fingers and plays piano,» Georgia Tech, 11 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://youtu.be/HjW1kIt5iQg?t=36s>. [Último acceso: 26 mayo 2018].
- [28] M. A. A. Khan, A. A. Zaman y M. Ferdjallah, «Proposed model for skeletal muscle: Estimation of fiber location using ultrasonic effect,» de *Proceedings 2007 IEEE SoutheastCon*, Richmond, 2007.
- [29] Y. Huang y H. Liu, «Performances of surface EMG and Ultrasound signals in recognizing finger motion,» de 2016 9th International Conference on Human System Interactions (HSI), Portsmouth, UK, 2016.
- [30] Y. Guo, «The 7 Steps of Machine Learning,» 31 agosto 2017. [En línea]. Available: <https://towardsdatascience.com/the-7-steps-of-machine-learning-2877d7e5548e>. [Último acceso: 31 mayo 2018].
- [32] K. Magatani, K. Saka y K. Yanashima, «Development of the navigation system for the visually impaired by using optical beacons,» de 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Istanbul, Turkey, Turkey, 2002.
- [32] NVIDIA, «AI Helps Amputee Play Piano for First Time Since 2012,» NVIDIA, 13 diciembre 2017. [En línea]. Available: [https://news.developer.nvidia.com/ai-helps-amputee-play-piano-for-first-time-since-2012/?ncid=em-ded-ndcgnr-30907&mkt\\_tok=eyJpIjoiWkdNM05XRmhaakZtWXpaaiIsInQiOiIyZDlvXC9nVUNGY1wvQW1zQU9URlICbG9ybnk3cjFNWVp6ZTB0REZMY2l5WXdJTU55NmZPR1JNV0NzZGRQYXVhUE9WOGd4c](https://news.developer.nvidia.com/ai-helps-amputee-play-piano-for-first-time-since-2012/?ncid=em-ded-ndcgnr-30907&mkt_tok=eyJpIjoiWkdNM05XRmhaakZtWXpaaiIsInQiOiIyZDlvXC9nVUNGY1wvQW1zQU9URlICbG9ybnk3cjFNWVp6ZTB0REZMY2l5WXdJTU55NmZPR1JNV0NzZGRQYXVhUE9WOGd4c). [Último acceso: 1 junio 2018].
- [33] NVIDIA, «NVIDIA TITAN X,» NVIDIA, 2016. [En línea]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/products/10series/titan-x-pascal/>. [Último acceso: 1 JUNIO 2018].
- [34] NVIDIA, «NVIDIA PASCAL,» NVIDIA, 2016. [En línea]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/geforce/products/10series/architecture/>. [Último acceso: 1 junio 2018].
- [35] R. K. Megalingam, C. Chacko, B. P. Kumar, A. G. Jacob y P. Gautham, «Gesture controlled wheel chair using IR-LED TSOP pairs along with collision avoidance,» de 2016 International Conference on Robotics and Automation for Humanitarian Applications (RAHA), Kollam, India, 2016.
- [36] I. klabi y M. S. Masmoudi, «Advanced user interfaces for intelligent wheelchair system,» de 2014 1st International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP), Sousse, Tunisia, 2014.
- [37] J. Marderer, «The Force is Strong: Amputee Controls Individual Prosthetic Fingers,» 11 diciembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.news.gatech.edu/2017/12/11/force->

strong-amputee-controls-individual-prosthetic-fingers. [Último acceso: mayo 2018].

[38] "Implantan la primera prótesis antialérgica de rodilla en Colombia", La opinión, 2018.

[39] S. Laverde, "Colombia avanza en el desarrollo de prótesis mioeléctricas", El Hospital, pp. 1-2, 2015.