

Diseño ergonómico de prótesis de miembro inferior personalizadas aplicando inteligencia artificial

Ergonomic design of customized lower limb prostheses using artificial intelligence

Nefi-David Pava-Chipol¹, Luis-Héctor Hernández-Gómez¹, Juan-Alfonso Beltrán-Fernández¹, Joel-Francisco Pava-Chipol¹, Pablo Moreno-Garibaldi¹, Alejandro González-Rebattú², Oscar Raya-Romero², Carlos-Horacio Mcnaught-Salguero²

¹ SEPI-IPN (México)
² ISSSTE 1° de Octubre (México)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8663>

Tomando como base las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que el 82% de las amputaciones de miembro inferior están relacionadas con enfermedades vasculares. Además, solo una de cada 10 personas que sufrió alguna amputación logra rehabilitarse, y solo el 30% tiene un buen funcionamiento del miembro protésico. Una de las consecuencias del mal desempeño son que las prótesis no se ajustan completamente a la persona y no cumplen los requisitos ergonómicos. Además, no se adaptan a las necesidades físicas, ocasionando que el ciclo de marcha con una prótesis inadecuada sea doloroso y anormal [1].

El diseño de una prótesis transfemoral personalizada toma en cuenta consideraciones, como el nivel de actividad, flexibilidad, etc. La prótesis debe de estar hecha a medida para asegurar un ajuste apropiado entre componentes protésicos, además de asegurar una buena alineación. Por lo tanto, es necesario la implementación de prótesis modulares, ya que aseguran la capacidad de alineación y ajustes protésicos personalizados [2].

Con base en lo anterior, en este trabajo, se utilizan técnicas de inteligencia artificial para su aplicación biomecánica en beneficio técnico y social. La aplicación ingenieril tiene impacto para resolver un problema que afecta a un sector de la población, en específico a personas que tienen una amputación de miembro inferior. Para lograrlo, se implementa una metodología para la adaptación ergonómica de una prótesis modular de miembro inferior, para ello se emplean las Redes Neuronales Artificiales (RNA).

Los datos experimentales para alimentar la red fueron proporcionados por protesistas especializados del Hospital Regional ISSSTE 1° de Octubre. Del total de los

conjuntos de datos, 70% fueron utilizados para el entrenamiento, 15% para validación del modelo y lo restante para comprobar la red.

La metodología propuesta se desarrolla en el software Matlab. La arquitectura de la red neuronal es un perceptrón multicapa. El algoritmo matemático de entrenamiento es *backpropagation* o de retropropagación basado en *levenberg-marquardt* (función *trainlm*). El modelo de RNA está conformado por 11 variables de entrada que corresponden a las características físicas y *antropométricas* del paciente, la capa de salida se conforma por 6 capas que son los accesorios que ensamblan la prótesis modular de miembro inferior [3].

Para validar la arquitectura, se realizaron simulaciones entre una y 12 neuronas en la capa oculta; se obtuvo que al ir aumentando el número de neuronas, el coeficiente de determinación aumentaba. Aunque, al aumentar más de 12 neuronas en la capa oculta, no había cambios significativos en el valor de R^2 . Por lo anterior, la red neuronal posee una capa oculta con 12 neuronas y el tipo función de activación es sigmoide [4].

En el entrenamiento, se establecieron tres criterios de parada. Para la primera fase se fijaron en un máximo de 50,000 iteraciones, con un Error Cuadrático Medio (ECM) de 0.00001. Adicionalmente, se incluyó, el valor del coeficiente de determinación R^2 mayor a 0.9. Los criterios se establecieron para asegurar que el mínimo del error de validación se cumpla antes de alcanzar alguno de los criterios de parada, para prevenir el sobre-entrenamiento y que se alargue innecesariamente.

Entrenada la RNA, para evaluar la eficiencia del modelo, se realizó la estimación de un caso clínico de un paciente con desarticulación de rodilla., para ello se tomaron las medidas y un análisis de marcha, con los valores obtenidos, se procedió a simular el caso de estudio en la RNA.

Posteriormente, con la información se realizó la adaptación de la prótesis personalizada, logrando una buena ergonomía y alineación de la prótesis, es importante mencionar que los resultados fueron avallados por protesistas, Figura 1 [4].

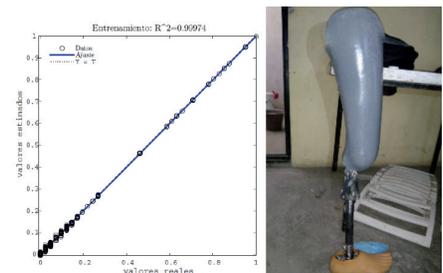


Fig. 1: a) Resultado total del ajuste de la regresión. b) Adaptación ergonómica de la prótesis personalizada

El modelo de red neuronal artificial propuesto fue capaz de lograr un alto nivel de ajuste, con una tasa de éxito del 99%. Por lo cual, se concluye que las RNA pueden aplicarse para reconocer relaciones complejas que posiblemente existan entre variables independientes y dependientes, un desafío típico cuando se trata de valores médicos. También, disminuye el tiempo de producción de la misma, logrando construir prótesis personalizadas con un bajo costo.

REFERENCIAS

- [1] GÓMEZ, Iván José Quintero. DOLOR DE MIEMBRO FANTASMA: FISIOPATOLOGÍA Y TRATAMIENTO. *Rev Esp Méd Quir*, 2014, vol. 19, p. 62-68.
- [2] MORENO-GARIBALDI, Pablo et al. USE OF PHOTOELASTIC MODEL FOR THE DETECTION OF CRITICAL STRUCTURAL ZONES IN THE DESIGN OF A CUSTOMIZED MAXILOFACIAL PROSTHESIS. *DYNA New Technologies*, Enero-Diciembre 2017, vol. 4, no. 1, [8 p.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8286>
- [3] PAVA-CHIPOL, Nefi David et al. IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR SELECTION THE COMPONENTS OF A MODULAR TRANSFEMORAL PROSTHESES. *DYNA New Technologies*, Enero-Diciembre 2017, vol. 4, no. 1, [14 p.]. DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8504>
- [4] Demuth H, Beale M, Hagan M. NEURAL NETWORK TOOLBOX™ 6. User's guide, 2008. 37-55.