



# INVESTIGACIONES PARA INGENIERÍA BIOMÉDICA Y BIOINGENIERÍA

CONGRESO INTERNACIONAL

CI - IB&BI

2019



# INVESTIGACIONES PARA INGENIERÍA BIOMÉDICA Y BIOINGENIERÍA

CONGRESO INTERNACIONAL



Giraldo Torres, Laura Rocío

Investigaciones para Ingeniería Biomédica y Bioingeniería / compilado por Laura Rocío Giraldo Torres. -- Manizales : UAM, 2020

107 páginas.: ilustraciones, gráficas (Colección Ingenierías)  
ISBN: 978-958-5558-14-4

1. Trastorno del Espectro Autista (TEA). 2. Programación paralela. 3. Electromiografía de superficie. 4. Test de Denver. 5. Nanopartículas. 6. Órtesis robótica. 7. Ingeniería biomédica – Investigaciones.

I. Obando Alzate, Laura V., editora. II. Noreña Vélez, Diego Fernando, editor literario.

UAM 610.28 G516

CO-MaBABC

Fuente: Biblioteca Alfonso Borrero Cabal, S.J.

© Editorial UAM- Universidad Autónoma de Manizales  
Antigua Estación del Ferrocarril  
E-mail: editorial@autonoma.edu.co  
Teléfono: (56+6) 8727272 Ext. 166  
Manizales-Colombia  
Miembro de la Asociación de Editoriales Universitarias de Colombia, ASEUC

Manizales, diciembre de 2020  
ISBN: 978-958-5558-14-4

Título: Investigaciones para Ingeniería Biomédica y Bioingeniería  
Colección: Ingenierías  
Compilación: Laura Rocío Giraldo Torres  
Correo electrónico: laura.giraldot@autonoma.edu.co

Coordinación editorial: Laura V. Obando Alzate  
Edición literaria: Diego Fernando Noreña Vélez  
Diseño y Diagramación: Melissa Zuluaga Hernández  
Ilustraciones: Freepik.com

#### **Comité Científico**

Laura Rocío Giraldo Torres  
Ingrith Carolina Flórez García  
Jose Luis Rodríguez Sotelo  
Alejandro Arboleda Carvajal  
Camilo Ernesto Torres Trujillo

#### **Comité Evaluador**

Carlos Alberto Cortés  
Claudia Patricia Henao Lema  
Consuelo Velez Avarez  
Diana Yomali Ospina Lopez  
Graciela Chalela Álvarez  
Julialba Castellanos Ruiz  
Julio Ernesto Perez Parra  
Karol Bibiana Garcia Solano  
Laura Rocío Giraldo Torres  
Lida Maritza Gil Obando  
Luisa Matilde Salamanca Duque  
Lusvin Javier Amado Forero  
Manuel Hernando Franco Arias  
Maria del Pilar Velazco Uribe  
Monica Yamile Pinzon Bernal  
Norma Yadira Rojas Aguilar  
Silvia Milena Becerra Bayona

## **I Congreso Internacional de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería Universidad Autónoma de Manizales**

**Carlos Eduardo Jaramillo Sanint**  
Rector

**Iván Escobar Escobar**

Vicerrector Académico

**Nancy Liliana Mahecha Bedoya**

Vicerrectora Administrativa y Financiera

**Alberto Cardona Aguirre**

Vicerrector de Desarrollo Humano y Bienestar

**Alba Patricia Arias Orozco**

Decana Facultad de Ingenierías

**Laura Rocío Giraldo Torres**

Coordinadora Programa Ingeniería Biomédica

#### **Dirección General del Congreso**

Laura Rocío Giraldo Torres  
Ingrith Carolina Flórez García  
Cesar Darío Guerrero Santander  
Jose Luis Rodríguez Sotelo

#### **Comité Logístico**

Estefanía Duque Montes  
Ingrith Carolina Flórez García  
Kimberly Zaray Mosquera Palacios  
Laura Rocío Giraldo Torres  
Luz Ángela Franco García  
Uber Ancizar Grajales Villa

## ≡ Índice

Presentación .....	5
Alineamiento gráfico de secuencias a través de programación paralela: un enfoque desde la era postgenómica .....	7
Análisis biomecánico de la zona lumbar en el sector de mantenimiento industrial por medio de electromiografía de superficie .....	13
Análisis de señales electrofisiológicas de sujetos con trastorno del espectro autista y neurotípicos de la ciudad de Manizales .....	17
Aplicativo para pc basado en <i>leap motion</i> para medición de la motricidad fina .....	22
Aplicativo software con musicoterapia para la mejora de la memoria a corto plazo en adultos mayores de 65 años.....	28
Clasificación de cáncer cervical usando redes neuronales convolucionales, transferencia de aprendizaje y aumento de datos .....	34
Conteo automático de colonias de células tumorales .....	40
Desarrollo de nanobioconjugados de BF <sub>2</sub> -magnetita y F <sub>2</sub> .3S-magnetita como terapia para combatir el crecimiento <i>Candida albicans</i> .....	44
Desarrollo de un exoesqueleto de miembro inferior para la asistencia en la locomoción .....	50
Desarrollo e implementación de un simulador de presión arterial no invasiva (NIBP) para uso académico .....	54
Detección de fibrosis aledaña a quistes producidos por neurocisticercosis mediante procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones .....	58
Diseño de un guante terapéutico (exoesqueleto de mano) con control independiente de cada dedo para rehabilitación motora de extensión y flexión para personas con artritis y ACV ..	63
Diseño de una prótesis transtibial con actuador mecánico .....	70
Diseño y construcción de un dispositivo de medición de succión en neonatos.....	75
Estudio comparativo de métodos para el reconocimiento frecuencial de señales de EEG relacionadas a potenciales evocados visuales en estado estacionario .....	79
Estudio del efecto del pH sobre la síntesis biológica de nanopartículas de cobre u óxidos de cobre .....	85
Evaluación de operatividad y calidad de imagen de equipos de mamografía .....	91
Identificación de movimientos de la mano a partir de señales electromiográficas usando <i>Machine Learning</i> y <i>Deep Learning</i> .....	97
Las Competencias del Área de Ingeniería Clínica.....	103

## Presentación

Entre el 7 y el 9 noviembre del año 2019 se llevó a cabo el *I Congreso Internacional de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería*, en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Manizales (UAM), coordinado por el Programa de Ingeniería Biomédica de la UAM y el Doctorado en Ingeniería de la Red Mutis, en alianza con las universidades Autónoma de Bucaramanga y Autónoma de Occidente, y con el apoyo de la Red Colombiana de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería

Para entonces, se contó con la participación de trescientas sesenta personas, provenientes de aproximadamente seis países, quienes expusieron sus avances investigativos en las áreas: Ingeniería Clínica, Biomateriales, Bioinformática, Simulación Clínica, Bioinstrumentación, Biología Computacional, Neurociencia, Interoperabilidad, Procesamiento Digital de Señales, Seguridad al Paciente, Ingeniería de Rehabilitación e Ingeniería de Tejidos.

En las siguientes páginas se encontrará una muestra de los trabajos presentados por los ponentes del evento, evidenciando la calidad de la investigación que se está desarrollando en el área de la biomedicina y haciendo un llamado a trascender el papel, los artículos y las patentes hacia un enfoque en innovación y emprendimiento en la producción científica que permita aunar esfuerzos para cerrar las brechas actuales entre la academia y la industria.

Agradecemos especialmente al Comité Directivo de las Instituciones Organizadoras, a la Asociación de Graduados UAM y al Comité Editorial UAM, por haber hecho posible no solo la realización del evento sino la publicación de las páginas que podrán leer a continuación. ¡Esperamos que las disfruten!

**Ingrith Carolina Flórez García**  
**Laura Rocío Giraldo Torres**





## Alineamiento gráfico de secuencias a través de programación paralela: un enfoque desde la era postgenómica

### Autores

#### **Johan Sebastián Piña Durán**

Estudiante de Ingeniería Biomédica e Ingeniería Electrónica.

*Correo electrónico: johan.pinad@autonoma.edu.co*

#### **Nicolás Tobón Orozco**

Estudiante de Ingeniería Biomédica e Ingeniería Electrónica.

*Correo electrónico: nicolas.tobono@autonoma.edu.co*

#### **Mariana Sofía Candamil Cortés**

Estudiante de Ingeniería Biomédica e Ingeniería Electrónica.

*Correo electrónico: mariana.candamil@autonoma.edu.co*

#### **Andrés Mauricio Buriticá Buriticá**

Tecnólogo en Análisis y Programación de Sistemas de Información.

*Correo electrónico: andres.buriticab@autonoma.edu.co*

#### **Simón Orozco Arias**

Ingeniero de Sistemas y Computación.

*Correo electrónico: simon.orozcoa@autonoma.edu.co*

#### **Reinel Tabares Soto**

Magíster en Automatización Industrial.

*Correo electrónico: rtabares@autonoma.edu.co*

#### **Romain Guyot**

Ph.D. en Genética de Plantas.

*Correo electrónico: romain.guyot@ird.fr*

**Institución:** Universidad Autónoma de Manizales

**Palabras clave:** alineamiento gráfico, bioinformática, era postgenómica, genómica, computación de alto rendimiento, programación paralela.

### Problema a resolver

Los avances en las tecnologías de secuenciación se han incrementado en los últimos años de manera significativa. Consecuencia de esto, la cantidad de información genética disponible en las bases de datos de libre acceso es cada vez mayor. A este periodo se le ha denotado con el nombre de la era



Postgenómica (Lecompte, Thompson, Plewniak, Thierry, & Poch, 2001). Ahora uno de los retos de la bioinformática es el análisis de esta gran cantidad de datos. En este sentido, los softwares comúnmente utilizados para realizar análisis de datos genómicos resultan poco eficientes, debido a la complejidad en los algoritmos que se emplean y los altos tiempos de ejecución. Concretamente, para realizar análisis de similitud de secuencias a nivel genómico, los softwares utilizados tradicionalmente (Sonnhammer & Durbin, 1995), (Krumbsiek, Arnold, & Rattei, 2007) emplean algoritmos de alta complejidad. Realizar investigaciones con ayuda de las herramientas y softwares tradicionalmente utilizados resulta poco eficiente ya que, para analizar de grandes cantidades de información, estos pueden generar retrasos considerables en los experimentos realizados o para el ajuste de los mismos. Por lo tanto, se requiere el desarrollo de una herramienta computacional, utilizando técnicas de computación de alto rendimiento (HPC) (Milone, Azar, & Rufiner, 2002), para mejorar los tiempos de ejecución y resultados obtenidos en la comparación de secuencias a nivel de genomas completos.

### Contexto del estudio

La bioinformática, definida como la aplicación de técnicas computacionales para entender y organizar la información relacionada a las macromoléculas biológicas (Luscombe et al., 2001), tiene como principal reto el análisis de la enorme cantidad de datos disponibles en la actualidad de forma eficiente a través de las ciencias de la computación, las cuales aportan herramientas para analizar la información genética en sus diferentes especialidades (Holmes & Gusfield, 1999). Una de las tareas comunes en la bioinformática es el alineamiento de secuencias, que consiste en una forma de comparar dos o más cadenas de ADN o proteínas con el fin de mostrar las zonas de similitud para indicar relaciones entre genes de especies o individuos que sean objeto de análisis (Chen, Liao, & Li, 2018). Existen varias clases de alineamientos, su clasificación depende de diversos aspectos como el número de secuencias a alinear (pareado o múltiple), la región a alinear (local o global) o la forma en la que se presentan los resultados (plano o gráfico).

Concretamente los alineamientos gráficos son una técnica de alineación de secuencias que se encarga de comparar regiones individuales y globales de secuencias generando finalmente una imagen, denominada “dot plot”, en la que se ubica una secuencia sobre el eje horizontal de una matriz y la otra secuencia se dispone verticalmente; se asignan puntos que representan el grado de similitud de las secciones de las secuencias que se están comparando (Liao & Wang, 2004)

Se han desarrollado diferentes algoritmos y softwares que permiten obtener alineamientos, entre los más utilizados para realizar alineamiento están el algoritmo de Smith and Waterman (Smith & Waterman, 1981) para alineamientos locales y el algoritmo de Needleman Wunsch para alineamientos globales (Needleman & Wunsch, 1970), estos algoritmos utilizan los principios de programación dinámica para generar el puntaje de similitud más óptimo de alineamiento, el cual en los alineamientos gráficos se traduce en la intensidad del punto dibujado en el “dot plot”. Otro método muy conocido para realizar alineamiento es a través de sufijos (Delcher et al., 1999) el cual es un método heurístico para definir el puntaje de alineamiento de las secuencias. Uno de los softwares utilizados en esta tarea es Dotter (1995); otro software utilizado es Gepard (2007). Aunque estos programas son ampliamente utilizados para alineamientos gráficos, no son computacionalmente óptimos. La programación dinámica que utiliza Dotter consume muchos recursos de memoria

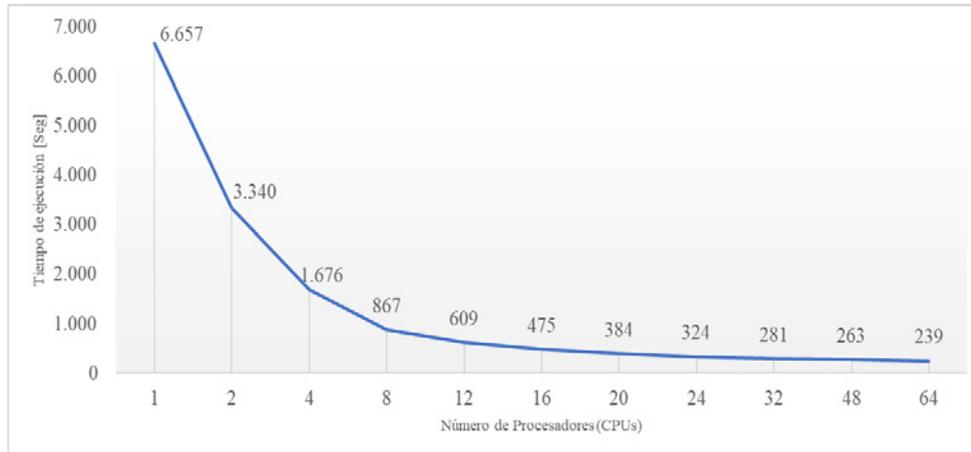


RAM proporcional al tamaño de las secuencias analizadas y utiliza un (1) procesador. Por otro lado, Gepard es más eficiente en tiempo debido a la forma en la que realiza el alineamiento, logrando reducir considerablemente los tiempos de ejecución, aun cuando utiliza un procesador, pero entregando resultados menos detallados que Dotter. En contraste, las técnicas novedosas de computación de alto rendimiento (HPC por sus siglas en inglés) son útiles para procesar esta información de manera precisa y eficiente (Milone et al., 2002), permitiendo así, lograr resultados muy precisos en tiempos muy cortos que faciliten posteriores análisis y comparaciones a escalas genómicas. Dentro de las recientes aplicaciones de HPC en la bioinformática se tienen: BLAST (Altschul, Gish, Miller, Myers, & Lipman, 1990) el cual mide la similitud de dos secuencias; también para analizar LTR retrotransposones en plantas se desarrolló Inpactor (Orozco Arias et al., 2018); Otra herramienta utilizada comúnmente es Bowtie2 (Langmead & Salzberg, 2012), que realiza alineamiento de lecturas de secuenciación contra un genoma de referencia de forma rápida y eficiente.

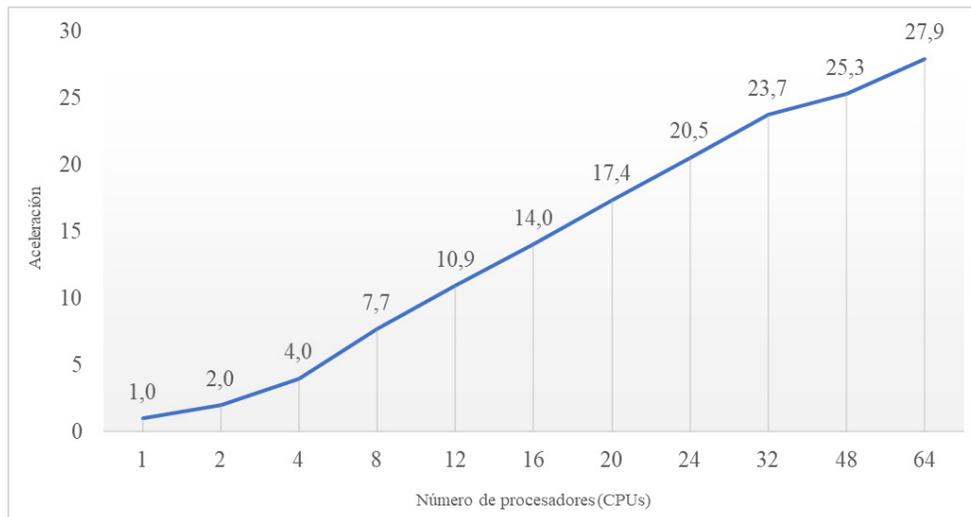
### Conclusiones y recomendaciones

Dirigidas principalmente a la comunidad de investigación en bioinformática, biólogos, médicos, genetistas, ingenieros de sistemas, comunidad universitaria dedicada a estudios genéticos y público en general.

- Este tipo de herramientas resultan de gran utilidad en las ciencias biológicas, ya que permiten de manera visual determinar zonas repetitivas, reorganizaciones y mutaciones a nivel de cromosomas; además, facilitan la comparación de genomas entre especies diferentes para distinguir rasgos comunes (Schwartz et al., 2003).
- Los experimentos realizados durante esta investigación incluyen la implementación de un algoritmo usando estrategias de paralelización. Se ejecutó el algoritmo utilizando diferentes números de procesadores (2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 34, 48 y 64) para un mismo archivo genómico comparando este contra él mismo. En la *Figura 1* se evidencian los tiempos de ejecución del algoritmo. Con los experimentos realizados se puede anotar que no se logró establecer la existencia de un punto de saturación o estabilización de la aceleración (Ver Fig. 2.), con lo cual se plantea la posibilidad de que, para mayor número de procesadores, se pueden lograr mayores aceleraciones para el algoritmo y de esta manera disminuir considerablemente los tiempos de ejecución del algoritmo, contribuyendo con uno de los grandes retos de la era postgenómica en el análisis de la enorme cantidad de información disponible, lo que facilitaría, por ejemplo, estudios de genómica comparativa (Chen et al., 2018), reduciendo tiempos de espera de los resultados y posibilitando ajustes posteriores a los experimentos que se estén realizando.



**Figura 1.** Tiempo promedio de ejecución en función del número de CPUs.



**Figura 2.** Aceleración del algoritmo en función del número de CPUs.

## Referencias

- Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403–410. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)
- Chen, W., Liao, B., & Li, W. (2018). Use of image texture analysis to find DNA sequence similarities. *Journal of Theoretical Biology*, 455, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2018.07.001>
- Delcher, A. L., Kasif, S., Fleischmann, R. D., Peterson, J., White, O., & Salzberg, S. L. (1999). Alignment of whole genomes. *Nucleic Acids Research*, 27(11), 2369–2376. <https://doi.org/10.1093/nar/27.11.2369>



- Holmes, S. P., & Gusfield, D. (1999). Algorithms on Strings, Trees, and Sequences: Computer Science and Computational Biology. *Journal of the American Statistical Association*, 94(447), 989. <https://doi.org/10.2307/2670026>
- Krumsiek, J., Arnold, R., & Rattei, T. (2007). Gepard: A rapid and sensitive tool for creating dotplots on genome scale. *Bioinformatics*, 23(8), 1026–1028. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btm039>
- Langmead, B., & Salzberg, S. L. (2012). Fast gapped-read alignment with Bowtie 2. *Nature Methods*, 9(4), 357–359. <https://doi.org/10.1038/nmeth.1923>
- Lecompte, O., Thompson, J. D., Plewniak, F., Thierry, J.-C., & Poch, O. (2001). Multiple alignment of complete sequences (MACS) in the post-genomic era. *Gene*, 270(1), 17–30. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-1119\(01\)00461-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0378-1119(01)00461-9)
- Liao, B., & Wang, T.-M. (2004). New 2D graphical representation of DNA sequences. *Journal of Computational Chemistry*, 25(11), 1364–1368. <https://doi.org/10.1002/jcc.20060>
- Luscombe, N. M., Greenbaum, D., & Gerstein, M. (2001). A Proposed Definition and Overview of the Field. *Methods of Information in Medicine*, 40(4), 346–358. Retrieved from <http://archive.gersteinlab.org/papers/e-print/whatis-mim/text.pdf>
- Milone, D., Azar, A., & Rufiner, H. (2002). Supercomputadoras basadas en “clusters” de PCs. *Revista Ciencia*, 173–208.
- Needleman, S. B., & Wunsch, C. D. (1970). A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins. *Journal of Molecular Biology*, 48(3), 443–453. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2836\(70\)90057-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2836(70)90057-4)
- Orozco Arias, S., Liu, J., Tabares Soto, R., Ceballos, D., Domingues, D., Garavito, A., ... Guyot, R. (2018). Inpactor, Integrated and Parallel Analyzer and Classifier of LTR Retrotransposons and Its Application for Pineapple LTR Retrotransposons Diversity and Dynamics. *Biology*, 7, 32. <https://doi.org/10.3390/biology7020032>
- Schwartz, S., Kent, W. J., Smit, A., Zhang, Z., Baertsch, R., Hardison, R. C., ... Miller, W. (2003). Human-mouse alignments with BLASTZ. *Genome Research*, 13(1), 103–107. <https://doi.org/10.1101/gr.809403>
- Smith, T. F., & Waterman, M. S. (1981). Identification of common molecular subsequences. *Journal of Molecular Biology*, 147(1), 195–197. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2836\(81\)90087-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-2836(81)90087-5)
- Sonnhammer, E. L. L., & Durbin, R. (1995). A dot-matrix program with dynamic threshold control suited for genomic DNA and protein sequence analysis (Reprinted from *Gene Combis*, vol 167, pg GC1-GC10, 1996). *Gene*, 167(1–2), Gc1–Gc10.





## **Análisis biomecánico de la zona lumbar en el sector de mantenimiento industrial por medio de electromiografía de superficie**

### **Autores**

#### **Sara Cecilia Herrera Espitia**

Estudiante de Ingeniería Biomédica.

*Correo electrónico: saraherrera240136@correo.itm.edu.co*

#### **Natali Olaya Mira**

Magíster en Ingeniería Mecánica.

*Correo electrónico: nataliolaya@itm.edu.co*

#### **Isabel Cristina Soto Cardona**

Magíster en Ingeniería Biomédica.

*Correo electrónico: isabelsoto@citm.edu.co*

**Institución:** Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM)

**Palabras clave:** fenómeno de flexión – relajación, electromiografía de superficie, dolor lumbar, ergonomía, índice de flexión – relajación.

### **Problema a resolver**

Durante la realización de actividades relacionadas con el mantenimiento industrial suelen adoptarse malas posturas debido a la manipulación inadecuada de cargas excesivas y posiciones inestables durante largos intervalos de tiempo que comprometen la zona lumbar. También se evidencia que el diagnóstico de alteraciones en esta zona es difícil y poco objetivo. Debido a esto, se busca observar mediante la evaluación del gesto de flexión anterior del tronco la presencia o ausencia del Fenómeno de Flexión - Relajación, que indica si los músculos paraespinales se activan de forma correcta durante la flexión y extensión del tronco. Al existir ausencia de dicho fenómeno se infiere que la activación muscular no es adecuada, por ende, la persona tendrá predisposición al dolor y puede llevar al desarrollo de dolencias lumbares crónicas.

Con este estudio se demuestra que la Electromiografía de superficie es una herramienta que ayuda a determinar la predisposición al dolor en la zona lumbar o diagnosticar dolor lumbar, indicando cuáles son las causas que la genera desde el estudio de la biomecánica del cuerpo.



## Contexto del estudio

La electromiografía de superficie (sEMG), como herramienta no invasiva e indolora, permite realizar el análisis de la actividad muscular durante el reposo o movimiento (Floyd & Silver, 1951). Varios estudios demuestran las diferencias existentes entre la actividad eléctrica de la flexión anterior y la extensión del tronco (Floyd & Silver, 1955; Sarti, 2003; MORIN & PORTNOY, 1956), descubriendo que en pacientes sanos debe existir un periodo de silencio eléctrico de los músculos lumbares cuando el tronco alcanza una posición angular entre 40° y 70° en flexión lumbopélvica, a esto se le conoce como el Fenómeno de Flexión – Relajación (FRP) (Watson, Booker, Main, & Chen, 1997). El FRP es uno de los fenómenos más estudiados en sEMG lumbar, siendo en la actualidad un patrón de medida para el diagnóstico de dolor lumbar crónico (Ahern, Follick, Council, Laser-Wolston, & Litchman, 1988; Ambroz, Scott, Ambroz, & Talbott, 2000; Arena, Sherman, Bruno, & Young, 1989; Hides, Richardson, & Jull, 1996; Hides, 1994; Sihvonen, Partanen, Hanninen, & Soimakallio, 1991).

El índice de Flexión – Relajación (FRR) es la relación entre la energía muscular proporcionada durante la flexión anterior de tronco y la energía residual muscular proporcionada durante la fase de mantenimiento de la posición flexionada anterior del tronco, es decir, en el momento donde se presenta el FRP. Los valores normales de este índice reportados por Watson et al. ayudan a identificar los cambios en el patrón de actividad muscular y, gracias a esto, se realiza un diagnóstico preciso de la predisposición al dolor o dolor lumbar crónico.

## Conclusiones y recomendaciones

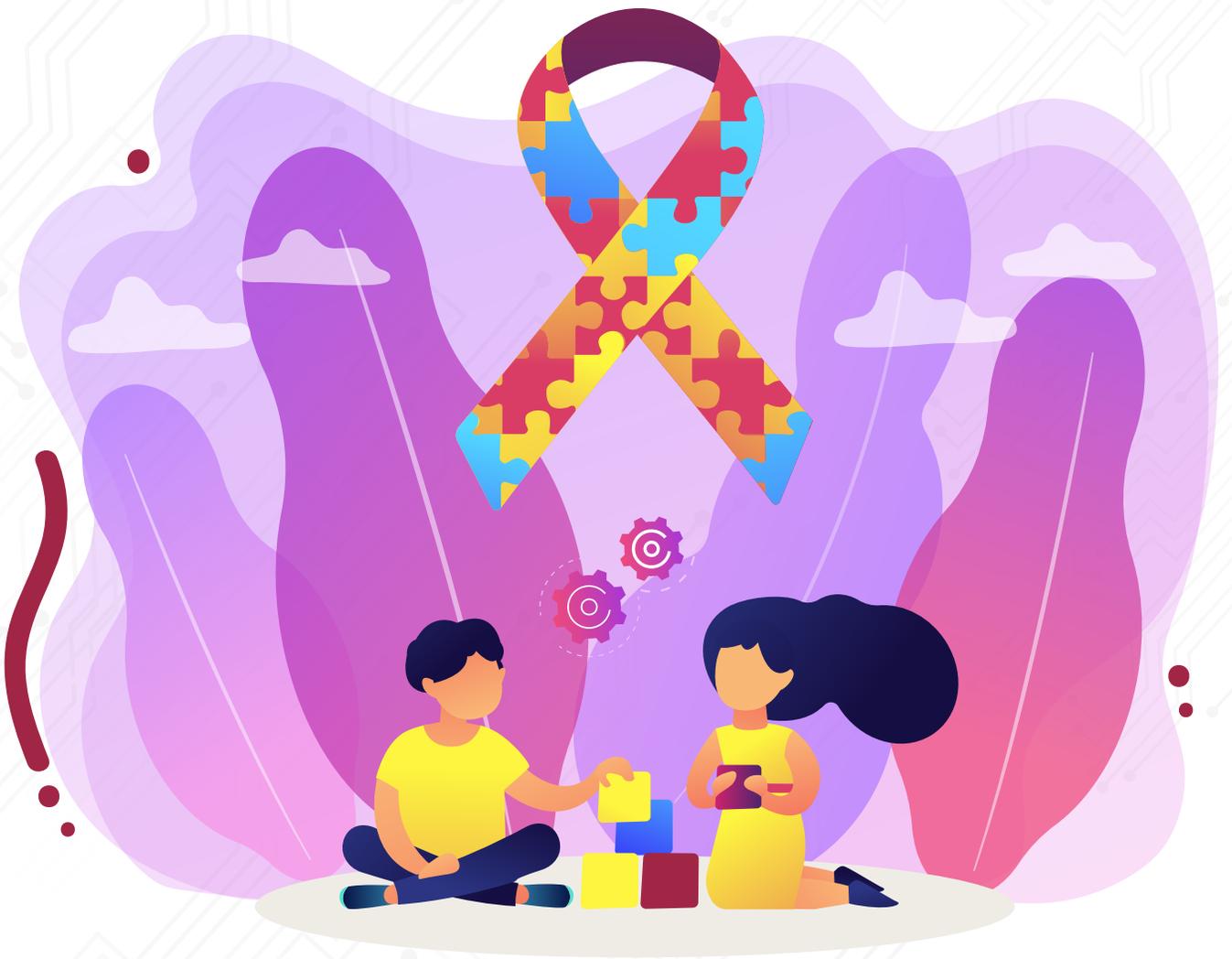
Dirigidas a población en general, empresas y personal del sector de mantenimiento industrial, Administradoras de Riesgos Laborales (ARL).

Para prevenir la predisposición al dolor lumbar y con base en la normativa colombiana, se recomienda evitar el levantamiento de pesos superiores a 25 kilos de carga compactada. Adicionalmente, al momento de realizar levantamientos, tener en cuenta flexionar las rodillas, de esta manera la columna vertebral estará erguida durante la ejecución de la actividad y evitará cualquier tipo de lesión. Es importante tener en cuenta la ayuda de medios auxiliares para prevenir las posturas inestables, ya que comprometen la zona lumbar.



## Referencias

- Ambroz, C., Scott, A., Ambroz, A., & Talbott, E. O. (2000). Chronic low back pain assessment using surface electromyography. *Journal of occupational and environmental medicine*, 42(6), 660-669.
- Arena, J. G., Sherman, R. A., Bruno, G. M., & Young, T. R. (1989). Electromyographic recordings of 5 types of low back pain subjects and non-pain controls in different positions. *Pain*, 37(1), 57-65.
- Floyd, W. F., & Silver, P. H. S. (1951). Function of erectores spinae in flexion of the trunk. *The Lancet*, 257(6647), 133-134.
- Floyd, W. F., & Silver, P. H. S. (1955). The function of the erectores spinae muscles in certain movements and postures in man. *The Journal of physiology*, 129(1), 184-203.
- Portnoy, H., & Morin, F. (1956). Electromyographic study of postural muscles in various positions and movements. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 186(1), 122-126.
- Sarti, M. A., Lisón, J. F., Monfort, M., & Botella, P. (2003). Functional anatomy of the trunk flexion. *Ann Anat*, 28.
- Sihvonen, T., Partanen, J., Hänninen, O., & Soimakallio, S. (1991). Electric behavior of low back muscles during lumbar pelvic rhythm in low back pain patients and healthy controls. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 72(13), 1080-1087.
- Watson, P. J., Booker, C. K., Main, C. J., & Chen, A. C. N. (1997). Surface electromyography in the identification of chronic low back pain patients: the development of the flexion relaxation ratio. *Clinical Biomechanics*, 12(3), 165-171.





## Análisis de señales electrofisiológicas de sujetos con trastorno del espectro autista y neurotípicos de la ciudad de Manizales

### Autores

**Kimberlly Zaray Mosquera Palacios**

Ingeniera Biomédica.

*Correo electrónico: kimberlly.mosquerap@autonoma.edu.co*

**Laura Rocío Giraldo Torres**

Magíster en Bioinformática y Biología Computacional.

*Correo electrónico: laura.giraldot@autonoma.edu.co*

**Francia Restrepo de Mejía**

Doctora en Ciencias Sociales Niñez y Juventud.

*Correo electrónico: francia46@gmail.com*

**Institución:** Universidad Autónoma de Manizales.

**Grupos de Investigación:** Grupo de Investigación en Automática (Procesamiento Digital de Registros 1D, 2D y 3D), Grupo de Investigación en Neuroaprendizaje (Neurociencia Cognitiva).

**Palabras clave:** Electrofisiología, Potenciales Relacionados a Eventos, Neurotípico, Neuronas Espejo, Trastorno del Espectro Autista (TEA).

### Problema a resolver

Se ha reconocido la implicación del TEA en las diferentes áreas del desarrollo, desde manifestaciones biológicas, cognitivas, comunicativas, comportamentales y sociales, de allí que pueda abordarse desde un modelo biopsicosocial de la discapacidad. Es en la actualidad un tema de interés en diferentes ámbitos, dado que su incidencia va en aumento.

En el ámbito nacional, según el Ministerio de Salud y protección social (2015), se estima que aproximadamente un 16% de la población menor de 15 años en Colombia padece algún tipo de trastorno del desarrollo, entre ellos los trastornos del espectro autista (TEA).

En Colombia, a nivel nacional, y en particular en la ciudad de Manizales, según la revisión de la literatura no se encuentran estudios de investigación que caractericen y describan el desarrollo y desempeño psicomotor en esta población, por lo tanto, se evidencia un vacío en el conocimiento que justifica el desarrollo de investigaciones que caractericen este aspecto del funcionamiento humano,



que según lo descrito anteriormente, es determinante para los procesos de desarrollo cognitivo y de desarrollo humano integral.

Por lo tanto, procesos de investigación alrededor del TEA se hacen necesarios en función de obtener datos objetivos en relación a sus diferentes características. Igualmente, el proyecto abrirá nuevas perspectivas para el desarrollo de estrategias de diagnóstico, pronóstico y prevención, abordando diferentes esferas del desarrollo, así como la identificación de nuevas dianas moleculares para realizar intervenciones preventivas y terapéuticas en función de mejores procesos de rehabilitación y adaptación de los niños y las niñas al medio

¿Cuáles son las características multidimensionales en una muestra de niños con Trastornos del Espectro Autista y niños neurotípicos de la ciudad de Manizales?

### Contexto del estudio

El Trastorno del Espectro Autista se conoce como una alteración relacionada con el desarrollo en el entorno social, esto quiere decir que presentan problemas para expresar y sentir emociones dando como consecuencia el aislamiento de la persona que lo padece hacia la sociedad. “El Trastorno del Espectro Autista (TEA) se caracteriza por deficiencias persistentes en la capacidad de iniciar y mantener la interacción social recíproca y la comunicación social, y por una gama de patrones de comportamiento e intereses restringidos, repetitivos e inflexibles”. (OMS, 2018).

Para abordar este tema lo primero que se debe hacer es empezar por la parte más notoria de la conducta. ¿Qué es lo que diferencia a simple vista una persona control y una persona con TEA? La respuesta a esto es la empatía social: “El cerebro dispone de redes neurales especializadas, que nos permiten crear ingeniosas hipótesis sobre cómo opera la mente de otras personas. A partir de estas hipótesis anticipamos y predecimos con acierto las conductas de los demás. Esta capacidad de mentalización con una base neuronal determinada, se considera de carácter modular, similar a la capacidad lingüística, numérica o espacial” (García, 2008).

Cuando hablamos de empatía nos referimos propiamente a la función de intentar comprender lo que el otro siente o percibe, esta función se puede llevar a cabo por medio de un conjunto de células cerebrales conocidas como las neuronas espejo o el sistema de neuronas espejo (SNE). Dichas neuronas ejercen un papel principal en cómo nos relacionamos en la sociedad partiendo de la Observación-Imitación, lo que nos puede llevar a que nos anticipemos a las reacciones ajenas. “Las neuronas espejo son un circuito de células que, además de estar implicado en el reconocimiento de acciones motoras, permite sentir y comprender como propias las acciones, sensaciones y emociones ajenas, lo cual es determinante en la expresión de la empatía, la cognición social y la vinculación entre un sujeto y otro desde los puntos de vista mental y emocional” (Giraldo Torres, Restrepo de Mejía, & Arboleda Sánchez, 2018; Rizzolatti & Craighero, 2004; Iacoboni, 2009).

Cuando se revisa la literatura sobre neuronas espejo y trastorno del espectro autista se encuentra que hay una teoría postulada que se basa en que las personas que padecen el trastorno del espectro autista (TEA) poseen una disfunción en el sistema de neuronas espejo y esto es lo que conlleva a que tengan limitaciones a la hora de desenvolverse en un entorno social, esto es más conocido como la Teoría del Espejo Roto. “La idea es que, en los autistas, el SNE se desarrolla de manera



inadecuada, determinando una incapacidad de comprender los actos de los demás y, sobre todo, una incapacidad de imaginar que los demás son seres pensantes con intenciones y motivaciones intelectuales semejantes a las suyas” (Nieto, 2009).

La electroencefalografía es una técnica no invasiva, en la cual a la persona en estudio se le conectan una serie de electrodos y se le solicita que ejecute una prueba anteriormente realizada por el grupo a cargo, para realizar la estimulación del área cerebral deseada, donde el equipo registra y guarda los potenciales relacionados a eventos (PRE) que en pocas palabras es la variación de voltaje que se presentan en las ondas cerebrales después de un estímulo (Giraldo Torres, Restrepo de Mejía, & Arboleda Sánchez, 2018). Posterior a la obtención de los potenciales, los cuales se registran en tiempo real, estos se llevan a un análisis para determinar características discriminantes. “La información obtenida a través de la electroencefalografía es de gran utilidad en el área clínica, de ahí la necesidad de conocer detalladamente cuando esta información es normal o anormal” (Martínez Barros & Trout Guardiola, 2006).

### Conclusiones y recomendaciones

Dirigidas a grupos de investigación en neuroaprendizaje, institutos a los cuales pertenecen los niños TEA, padres de familia de niños TEA.

#### Grupos de investigación en neuroaprendizaje

- Definir un horario específico para realizar las pruebas para ambos grupos de estudio.
- Informar al acudiente los requisitos que consideren necesario como en este caso la limpieza del cabello adecuadamente.
- Incentivar a los padres o acudientes del menor y explicarles la importancia de que asistan a la prueba junto con el sujeto.
- Realizar un consentimiento informado donde se explique la prueba a realizar y las consecuencias que pueden ocurrir.

#### Institutos a los cuales pertenecen los niños TEA

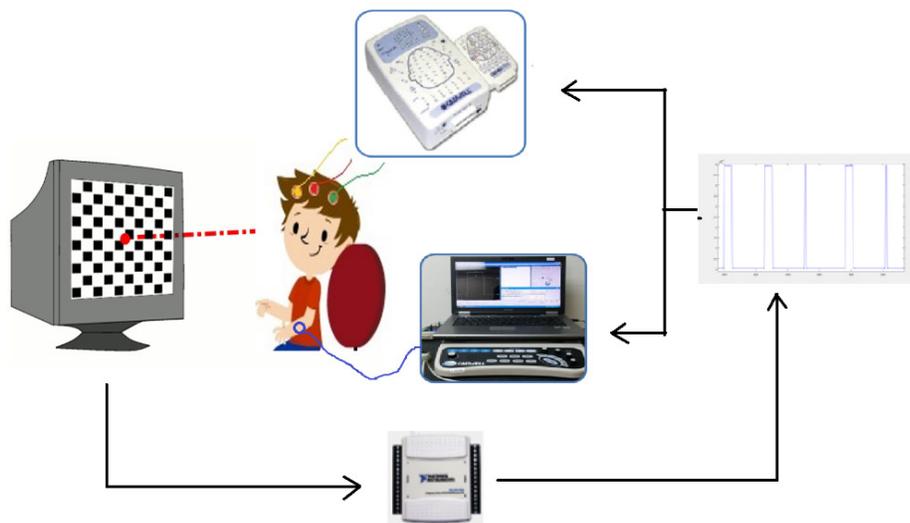
- Aplicar cuestionarios y test a los niños TEA para identificar si su trastorno se está viendo afectado por otros trastornos.
- Colaborar con este tipo de investigaciones para en un futuro llegar a mejorar la calidad de vida de los niños TEA.
- Mostrarles a padres de familia la importancia de que sus hijos asistan a este tipo de estudios.

#### Padres de familia de niños TEA

- Asistir a actividades y eventos donde se hable del TEA para adquirir nuevos conocimientos.
- Inscribir a sus hijos en institutos que por medio de diferentes actividades traten su trastorno e incentiven la escolarización de los niños.



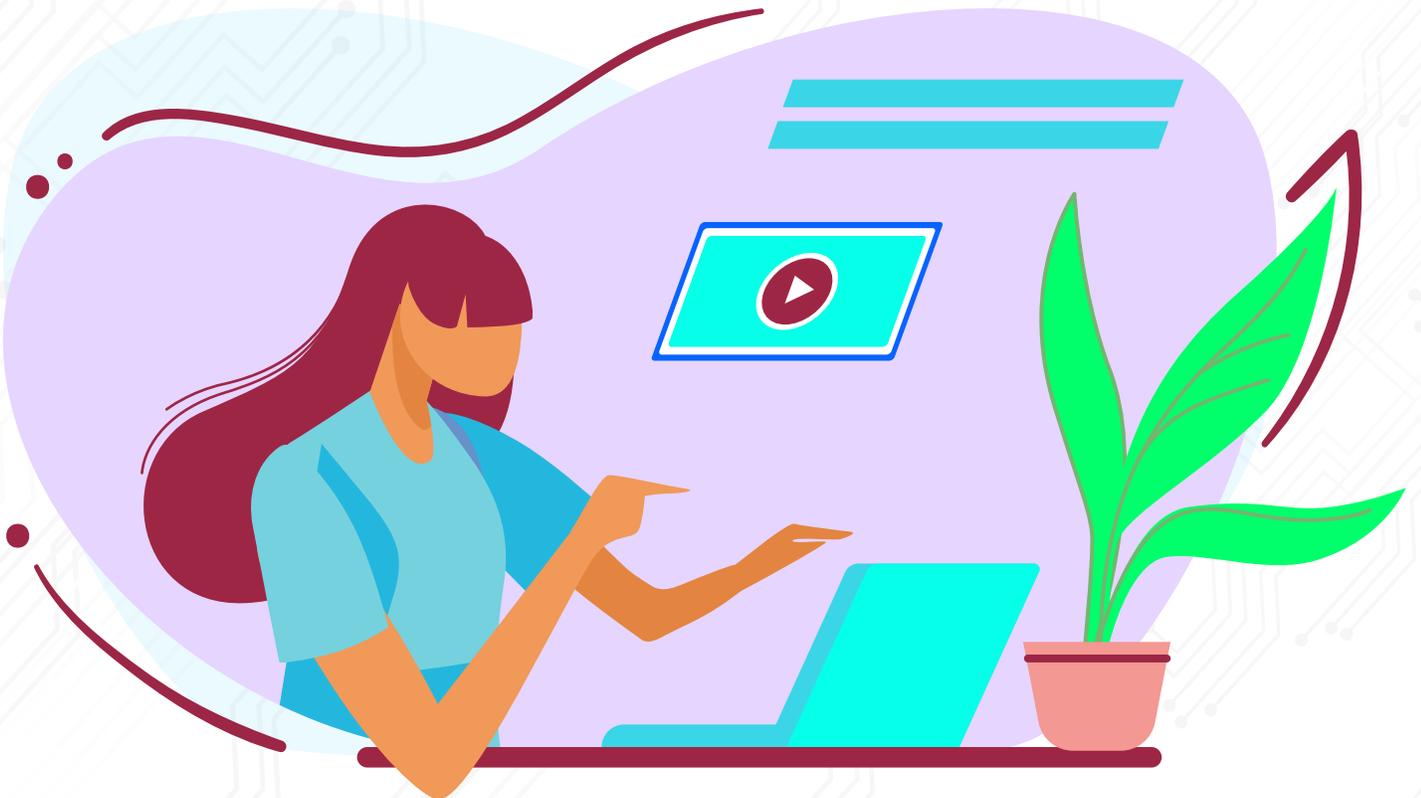
- Preguntar constantemente en los institutos donde asisten sus hijos si existen estudios en los cuales puedan participar para que de estos salga información de posibles tratamientos y diagnósticos del trastorno.
- Colaborar en estudios como estos que pretenden mejorar el diagnóstico de los niños TEA a bajo costo y en tiempo real.



*Figura 1. Adquisición y Procesamiento de señales.*

## Referencias

- Barros, M. I. M., & Guardiola, G. T. (2006). Conceptos básicos de electroencefalografía. *Duazary*, 3(1), 18-23.
- García García, E. (2008). Neuropsicología y educación. De las neuronas espejo a la teoría de la mente. *Revista de psicología y educación*, 1(3), 69-89.
- Giraldo Torres, L. R., Restrepo de Mejía, F., & Arboleda Sánchez, V. A. (2018). Trastorno del espectro autista, electroencefalografía y neuronas espejo. *Acta Neurológica Colombiana*, 34(3), 215-222.
- Lacoboni, M. (2009). *Las neuronas espejo: empatía, neuropolítica, autismo, imitación, o de como entendemos a los otros*. Madrid: Katz Editores.
- Nieto, J. O. (2009). Autismo Infantil y Neuronas en Espejo. *Revista de Neurología*, 27-29.
- OMS. CIE-11 (2013) Para estadísticas de mortalidad y morbilidad. [Online]. Publicado en junio de 2018. Disponible en: <http://www.autismo.org.es/actualidad/articulo/la-oms-actualiza-los-criterios-de-diagnostico-del-tea>.
- Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2004). The mirror-neuron system. *Annu Rev Neurosci*, 27:169-92.





## Aplicativo para pc basado en *leap motion* para medición de la motricidad fina

### Autores

**Daniel Mauricio Tálaga Rodríguez**

Estudiante del programa de Ingeniería en Automática Industrial.

*Correo electrónico: danieltalaga@unicauca.edu.co*

**Diego Enrique Guzmán Villamarín**

Magíster en Automática.

Docente del departamento de Electrónica, Instrumentación y Control.

*Correo electrónico: diegoguzman@unicauca.edu.co*

**Institución:** Universidad del Cauca

**Palabras clave:** test de Denver, desarrollo de la motricidad fina, bioinstrumentación e ingeniería de rehabilitación.

### Problema a resolver

Actualmente existen diferentes métodos o herramientas para valorar la motricidad fina en pacientes, sin embargo, según (Serra Olivares J., Sánchez Pato A., Roque J I A., 2010) no se tiene claridad sobre cuál es el método más efectivo para valorar cierto tipo de pacientes. Por lo tanto, la decisión de cuál de ellos implementar recae en la mayoría de los casos sobre la experiencia que tenga el evaluador utilizándolo, este es uno de los principales problemas mencionados por (Monge Alvarado M A., Meneses Montero M., 2002), ya que la precisión de la evaluación dependerá estrictamente de la experiencia del encargado. No obstante, este mismo debe tener en cuenta la edad del paciente, el tipo de deficiencia que presenta, la intensidad de la actividad a realizar y otras características fundamentales del paciente para apoyar esta decisión.

También se encontró que las mismas herramientas poseen algunas deficiencias, como: la subjetividad de los resultados alcanzados, la calidad de los instrumentos utilizados, los costos de implementación, la necesidad de un entrenamiento previo, las extensas y tediosas actividades rutinarias, las diversas variables que tienen que ser medidas por un solo evaluador, la incapacidad de registrar de manera dinámica los progresos del paciente a lo largo del tiempo, etc.

La importancia de las herramientas antes mencionadas radica en que su implementación a tiempo puede identificar posibles deficiencias motoras tanto en infantes como en adultos, además de permitir evaluar el progreso de la rehabilitación en pacientes y el impacto de los ejercicios.



## Contexto del estudio

Para entender la función de la motricidad en las personas es necesario en primer lugar definirla. Según (Viciano Garófano V., Cano Guirado L., Chacón Cuberos R., Padial Ruz R., Martínez Martínez A., 2009) quienes la definen como la capacidad que posee un individuo para producir movimientos, los cuales son producto de la contracción de diferentes músculos que generan finalmente un desplazamiento. En segundo lugar, se debe entender cuál es su importancia. La motricidad tiene un papel significativo en la educación del infante, pues le permite realizar las tareas propuestas en el ciclo escolar, es decir, la ejecución de las actividades planteadas en el aula de clase, las cuales consisten en movimientos coordinados y controlados, por ejemplo, como la escritura, los dibujos, cortar, tejer, etc. Es necesario recalcar que en este ciclo el infante no solamente aprende conceptos, sino que adquiere experiencias, las cuales contribuyen a su desarrollo corporal y social.

Con la información expuesta en el párrafo anterior se entiende de forma más clara y concreta las consecuencias que pueden llegar a presentar los pacientes con deficiencias en la motricidad. Las investigaciones en esta área se hacen necesarias debido al gran número de personas que presentan deficiencias motoras en Colombia, como lo son los enfermos de Parkinson, quienes, según la asociación colombiana de neurología, son más de 220.000 personas, quienes están seriamente afectados en el sistema nervioso central y en su movilidad.

Se realizó una búsqueda sistemática de herramientas actuales utilizadas para diagnosticar o evaluar el desarrollo de la motricidad fina en personas con presencia de ciertas enfermedades. A continuación se mostrarán las herramientas encontradas divididas en 3 grandes tipos: el primer tipo consiste en algunas herramientas software diseñadas para este fin; el segundo tipo consiste en algunas herramientas teóricas implementadas desde hace muchos años por los especialistas en este campo; y, por último, se mencionará alguna instrumentación o equipo médico utilizado.

En España se han desarrollado aplicaciones especiales para niños con parálisis cerebral (inconveniente económico). Muchas de estas aplicaciones contienen ejercicios motores, ejercicios cognitivos, identificaciones de formas y colores, todo esto con el objetivo de lograr mejoras en las capacidades motrices y cognitivas en los pacientes. En este tipo de aplicaciones es fundamental que se desarrollen actividades de lectoescritura, debido a que esta habilidad brinda la posibilidad al paciente de entrar en la educación inclusiva mejorando a futuro su calidad de vida.

Es necesario aclarar que dentro de los aspectos a trabajar en la lectoescritura se encuentra la **motricidad fina**, la cual está dividida en 4 campos: coordinación viso-manual, coordinación facial, coordinación fonética, coordinación gestual. Dentro de los campos mencionados anteriormente, la coordinación viso-manual es la más importante a nivel educativo, ya que de ella dependerá que el niño pueda trazar y posteriormente desarrollar la escritura, además de ser un área de fácil implementación en este tipo de aplicaciones (Morales, Y. E., Camargo, J. J., 2014).

El caso mencionado anteriormente se centraliza en los pacientes con parálisis cerebral, sin embargo, se hallan diferentes aplicaciones que tienen también como objetivo principal el desarrollo de la coordinación viso-manual a partir de actividades implementadas en tabletas o en juegos en 2D, no solo para personas que presenten un tipo de enfermedad, sino para la población en general. Algunas de estas actividades son: colorear plantillas, dibujar, calcado de imágenes, laberintos, trazar letras, creación de mandalas, etc.



El segundo tipo de herramientas encontradas son las teóricas, por ejemplo: las escalas, los test, las pruebas o baterías. Todas las herramientas antes mencionadas fueron y son diseñadas por especialistas en el área de la salud y su implementación consiste en seguir un escrito o manual donde se describe cómo aplicar la herramienta sobre un tipo de paciente o población. A continuación se mencionarán algunas de estas herramientas: la escala de McCarthy, la cual proporciona una puntuación típica del desarrollo psicomotor global, es decir, permite contrastar el desarrollo de un niño con el resto de la población de su misma edad; también se encontró el inventario de desarrollo battelle, la cual es otra herramienta utilizada frecuentemente que permite valorar el desarrollo motriz analizando el área de la motricidad fina, gruesa y perceptiva, dentro de este tipo de herramientas se encuentra el test de Denver, el cual se puede aplicar entre las dos semanas de vida y los seis años, en este test se evalúan las habilidades finas y gruesas más el lenguaje, permitiendo la detección de retrasos en el desarrollo y la utilización de diferentes técnicas de intervención (Baena Extremera, A., Granero Gallegos., Ruiz Montero, P.J., 2010).

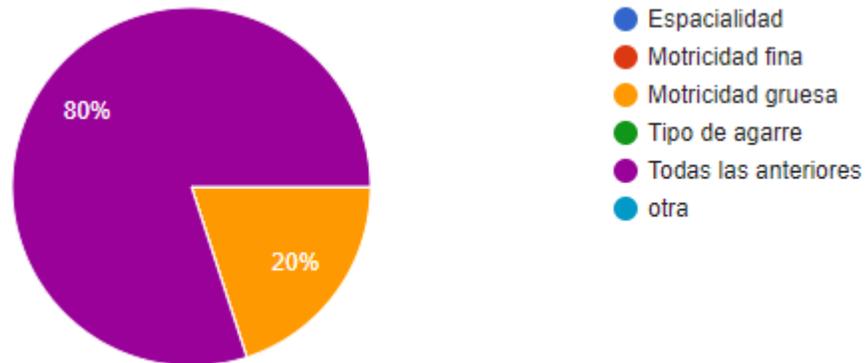
En el anterior párrafo solo se mencionan tres de estas herramientas, ya que existen diversas y cada una difiere de la otra, tanto en la forma de implementación como en los resultados que arroja. Pero en la actualidad no se tiene claridad de cuál es la herramienta más efectiva y apropiada de utilizar en cada caso de paciente, pues esto depende de la opinión del especialista que la implemente.

El último tipo de herramientas halladas realizan una medición cuantitativa y cualitativa de aspectos biológicos, motores, cognitivos y sociales de las personas. Entendiendo que una persona con baja densidad ósea, atrofas musculares o retrasos mentales no va a tener el normal desarrollo de su habilidad motriz. Los especialistas en estos casos deben evaluar el estado físico del paciente utilizando técnicas somatométricas para valorar el crecimiento de los tejidos; también toman índices cualitativos de maduración para saber el grado de desarrollo biológico del sujeto, el índice fisiológico sirve para tener una referencia del estado de salud de la persona y otros tipos de exámenes.

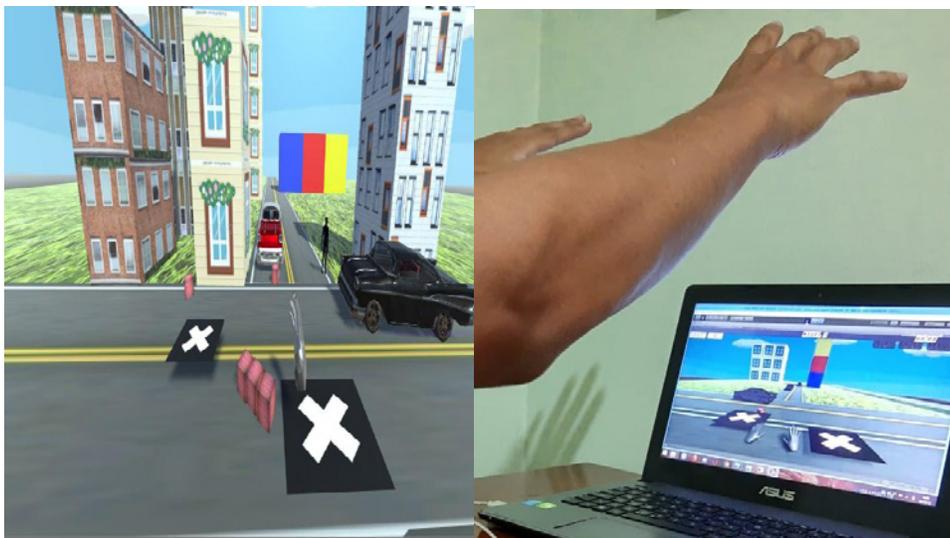
## **Conclusiones y recomendaciones**

### **Dirigidas a la comunidad científica**

- Si bien el objetivo de esta investigación es el desarrollo de un aplicativo pc que sirva como apoyo a todos los fisioterapeutas o especialistas en el área de la salud que se dedican a valorar la motricidad fina, es al mismo tiempo una herramienta que sirve para la rehabilitación. Por otra parte, los fisioterapeutas que evaluaron el aplicativo recomiendan implementar otro tipo de actividades en el software para así valorar otros aspectos y así analizar mejor la motricidad fina, por ejemplo: enhebrar aguja, agarre de diferentes formas y tamaños, tejer, etc.



*Figura 1. Resultados encuesta sobre qué aspectos permite valorar el aplicativo.*



*Figura 2. Aplicativo pc basado en leap motion para medición de la motricidad fina, Nivel 1.*



## Referencias

- Alvarado, M. D. L. Á. M., & Montero, M. M. (2002). Instrumentos de evaluación del desarrollo motor. *Revista educación*, 26(1), 155-168.
- Baena Extremera, A., Granero Gallegos, A., & Ruiz Montero, P. J. (2010). Procedimientos e instrumentos para la medición y evaluación del desarrollo motor en el sistema educativo. *Associated Editors*, 2(2), 63-76.
- Bracco, J. (2016). Uso del Perfil Sensorial: Distinguiendo los resultados entre los niños con trastorno del espectro autista (TEA) argentinos y estadounidenses. *Revista Chilena de Terapia Ocupacional*, 16(1), 125-132.
- Feliciano Vega, P. j. (2010). *Presentación de 12 pruebas de desempeño motriz para niños de nivel elemental*. (Tesis de maestría). Sistema Universitario Ana G. Méndez Universidad Metropolitana. Disponible en: <https://studylib.es/doc/7630769/sistema-universitario-ana-g.-mendez-universidad-metropoli>
- Heron-Flores, M., Gil-Madrona, P., & Sáez-Sánchez, M. B. (2018). Contribución de la terapia psicomotriz al progreso de niños con discapacidades. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 75-81. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v66n1/0120-0011-rfmun-66-01-00075.pdf>
- Morales, Y. E., & Camargo, J. J. (2014). Caracterización de aplicaciones de motricidad fina en ambientes móviles para niños con parálisis cerebral. *Revista Colombiana de Computación*, 15(1), 74-88.
- Sánchez, C. C., Luzoro, M. O., Gangas, L. V., & Garbin, F. O. (2016). Entrenamiento de habilidades artroscópicas: desarrollo de un simulador efectivo y de bajo costo. *Revista Chilena De Ortopedia y Traumatología*, 57(1), 9-13. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716454815000388>.
- Serra Olivares, J., Sánchez Pato, A., & Alonso Roque, J. I. (2010). Valoración motriz del enfermo de Parkinson: estudio de revisión. *Revista de Fisioterapia*, 9(2), 7-13. Disponible en: [https://www.ucam.edu/sites/default/files/revista-fisio/revisitafisio-dic2k11\\_7-13.pdf](https://www.ucam.edu/sites/default/files/revista-fisio/revisitafisio-dic2k11_7-13.pdf)
- Zoia S, Biancotto M, Guicciardi M, Lecis R, Luci di F, Pelamatti G M, Carrozzj M, Skabar A, Sugden D A, Barnett A L, Henderson S H. (2019). Una evaluación de la prueba de movimiento ABC-2 para uso en Italia: una comparación de datos de Italia y el Reino Unido. *Investigación en discapacidades del desarrollo* 84, 43-56. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0891422218300908?via%3Dihub>





## Aplicativo software con musicoterapia para la mejora de la memoria a corto plazo en adultos mayores de 65 años

### Autores

**María Alejandra Gutiérrez Peñafiel**

Estudiante de Ingeniería en Automática Industrial.

*Correo electrónico: mariafe@unicauca.edu.co*

**Juan José Rosero Calderón**

Estudiante de Ingeniería en Automática Industrial.

*Correo electrónico: juanjos@unicauca.edu.co*

**Diego Enrique Guzmán Villamarín**

Magíster en Automática.

Docente del departamento de Electrónica, Instrumentación y Control.

*Correo electrónico: diegoguzman@unicauca.edu.co*

**Institución:** Universidad del Cauca.

**Palabras clave:** aplicativo software, memoria a corto plazo, rehabilitación cognitiva, rehabilitación con musicoterapia.

### Problema a resolver

Los problemas de salud mental en las poblaciones que envejecen son una amenaza para la sostenibilidad en diferentes ámbitos como el social, el económico y la calidad de vida de las personas que padecen la enfermedad de Alzheimer (EA) y quienes cuidan de ellos. Las discapacidades cognitivas afectan a una parte significativa de la población mundial; la Organización Mundial de la Salud ha informado que la prevalencia mundial de la enfermedad es de aproximadamente 50 millones de personas (OMS, 2018).

El impacto que tiene esta enfermedad en cada persona tiene un efecto único que a menudo cambia con el tiempo, a veces lenta o a veces rápidamente. Además de los cambios funcionales afectados por el deterioro de la parte cognitiva, las personas sufren también cambios motores, sensoriales, estado de ánimo y de conducta e incluso alteraciones psico-sociales, que a largo plazo afectan la realización de sus actividades básicas y cotidianas, las cuales hacen parte de su rutina básica como bañarse, comer, vestir, tener movilidad funcional, relacionarse con otras personas, entre otras afecciones que a largo plazo impactan de gran manera, no solo la calidad de vida de la persona afectada por la EA, sino también en las personas que se encuentran constantemente en su entorno o cuidan de ellas. Es por ello que nuestro objetivo se centró en diseñar y desarrollar un aplicativo



software con musicoterapia para mejorar la memoria a corto plazo de una mujer de 76 años de edad que padece EA, teniendo en cuenta que en recientes estudios se concluyó que la música es capaz de ayudar a la rehabilitación de cerebros que han sufrido un daño, dando apertura a nuevos caminos en la rehabilitación de los aspectos motores y de sensibilidad, teniendo en cuenta que la música tiene capacidad para relajar, evocar, calmar, emocionar y animar a una persona (Diario Vasco, 2019). El desarrollo de la aplicación fue totalmente personalizado de acuerdo con los gustos musicales de la persona (Bolero, Pasillo, Vals) teniendo en cuenta también aspectos lógicos y visuales (botones, colores, tiempo de espera de respuesta y visualización de resultados) que aportan sencillez y practicidad en el diseño y desarrollo de la interfaz de usuario con el fin de que el aplicativo software fuera intuitivo y fácil de usar.

### Contexto del estudio

La provisión de información de atención médica o salud a través de dispositivos móviles u otros dispositivos como tabletas está actualmente emergiendo y creciendo a pasos agigantados en favor principalmente de los pacientes, asistentes en el cuidado de ellos y profesionales del área a intervenir. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), la tecnología de salud móvil es una “práctica médica y de salud pública apoyada por dispositivos móviles que tiene como propósito promover vidas saludables y bienestar para todos, en todas partes, a todas las edades”. Las aplicaciones están constituidas con características especiales, servicios únicos, gran interactividad y numerosos recursos para acceder y realizar un sinnúmero de funciones a favor del paciente a intervenir a través de una interfaz táctil. De esta manera, las aplicaciones facilitan la finalización de una determinada tarea para el paciente o la ayuda a los asistentes en sus actividades diarias a realizar; asimismo, es importante tener criterios, indicadores y medidores claros por parte de los profesionales, pacientes, familia y cuidadores que permitan no solo seleccionar las mejores aplicaciones para su situación en específico, sino también evaluar y analizar correctamente el progreso, satisfacción y resultados del paciente.



**Figura 1.** Menú principal del aplicativo software con musicoterapia para la mejora de la memoria a corto plazo en adultos mayores de 65 años.



Actualmente, las aplicaciones enfocadas en salud móvil están dirigidas en un 35% a la gestión, mejoramiento de las condiciones y diagnóstico de diferentes enfermedades; el 65% restante, se centra en temas como gestión del estrés, control de dietas y acondicionamiento físico (Aitken y Lyle, 2015). Las aplicaciones de salud mental, particularmente, comprenden casi una tercera parte del área de terapias enfocadas a condiciones comúnmente tratadas como lo son: el autismo que con un 33% corresponde a la categoría más importante dentro de la salud mental, la ansiedad con un porcentaje del 18%, la depresión igualmente con un porcentaje del 18%, el ADHD (Trastorno por déficit de atención e hiperactividad) con un porcentaje del 8% y, finalmente, el Alzheimer con un 4% de importancia dentro de las categorías de salud móvil. El 19% restante corresponde a otro tipo de patologías que son atendidas por salud móvil (Aitken y Lyle, 2015). Los pacientes y proveedores de atención médica, en general, consideran actualmente que las aplicaciones en salud móvil están siendo cada vez más utilizadas en pro de mejorar la salud y el bienestar, y próximamente tal tecnología mejorará la calidad de vida relacionada con la salud, disminuyendo el costo de su atención médica en los próximos 5 años. Asimismo, los especialistas en salud afirman que los pacientes adquirirán más responsabilidad de su propia salud al tener a la mano una herramienta que se ajusta a sus necesidades y que atiende sus problemas de salud mediante diferentes modalidades según la aplicación y la patología (Ramey, et al., 2019). Una revisión sistemática sobre el uso de aplicaciones de salud móvil para personas con deterioro de la memoria concluyó que la tecnología para apoyar la memoria podría mejorar el rendimiento en las actividades diarias, renovando la confianza y la autoestima, aspectos psico-emocionales que son afectados por esta enfermedad (Marcia Scherer, 2005).

Algunas apps móviles y herramientas software enfocadas en el diagnóstico, monitorización o rehabilitación de pacientes con EA se encuentran actualmente en estudio de diseño y evaluación. Tal es el caso de la aplicación móvil llamada “*Alzheed*” para el seguimiento de pacientes con EA; el estudio se centró en la evaluación de prototipos de baja y alta fidelidad por parte de profesionales de la salud y psicólogos (Chávez, et al., 2019). Otra aplicación que se desarrolló en torno a los problemas que desencadena la EA en pacientes fue “*Text It*”, un programa para rastrear caídas en pacientes con EA y demencia, una aplicación prometedora en personas con problemas cognitivos que podría reducir las altas tasas de fractura, hospitalización y muerte que se producen por esta enfermedad. Con el programa se pretende reducir la periodicidad de eventos como estos que afectan gravemente la integridad física y mental del paciente (Kamil et al., 2018). Por otro lado, se encuentra “*Kit de herramientas de asistencias basado en Android para el Alzheimer*”, esta herramienta proporciona funcionalidades como el seguimiento de los movimientos del paciente a través del GPS, suministro de medicamentos y notificaciones de tiempo en cuanto a alimentos; también cuenta con un rastreador diario de rutina y un cuestionario para aumentar el funcionamiento cognitivo del paciente (Pirani, 2016).



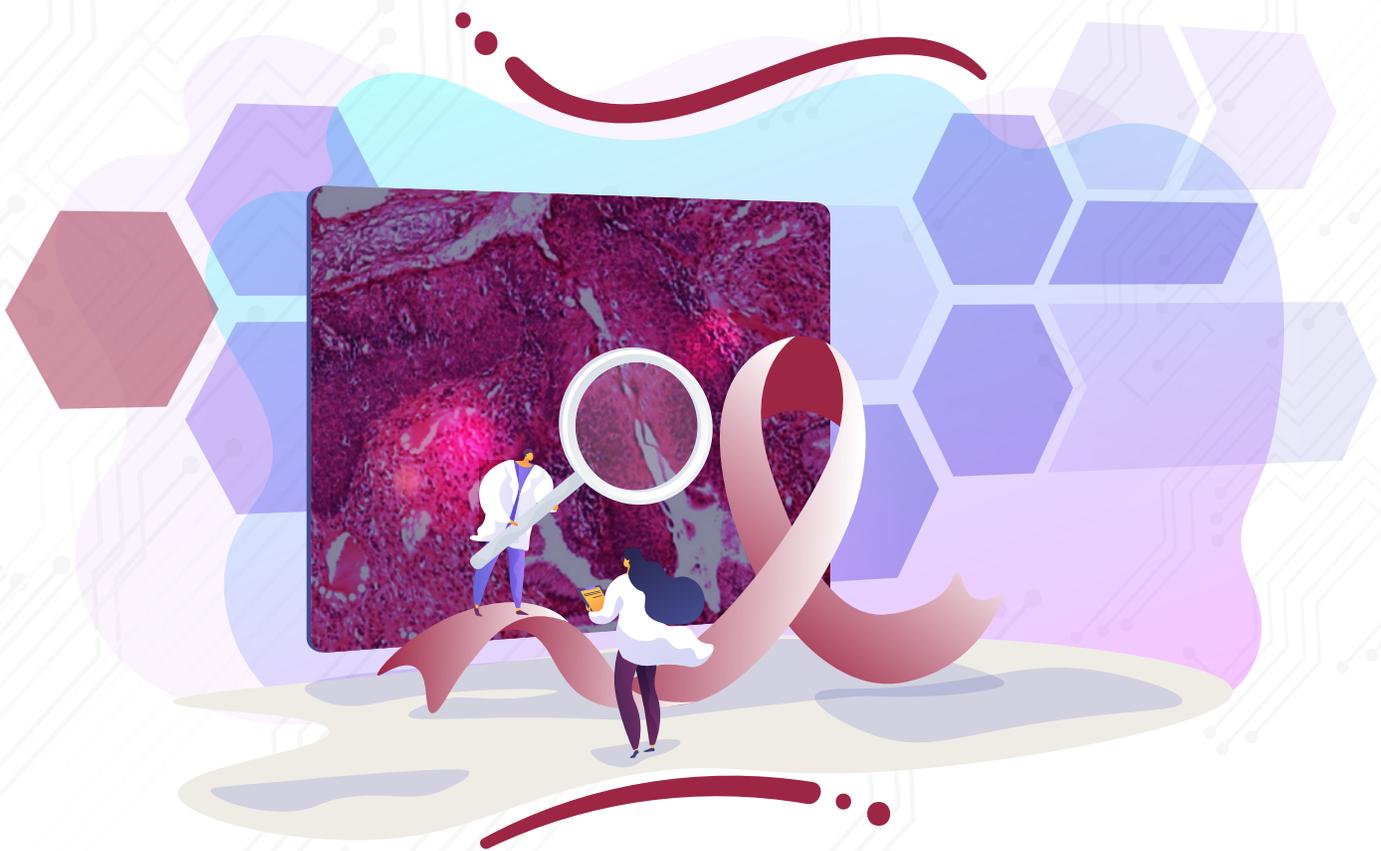
## Conclusiones y recomendaciones

- Teniendo en cuenta que la pérdida de memoria a corto plazo es una de las enfermedades que afecta con mayor frecuencia a personas mayores de 60 años y que se estima que en el mundo hay unos 50 millones de personas que padecen dicha enfermedad, y cada año se registran cerca de 10 millones de nuevos casos, nuestro grupo poblacional está enfocado principalmente en personas mayores de 65 años, hombres y mujeres, que padezcan problemas de memoria a corto plazo, deterioro cognitivo o Alzheimer leve o moderado. En este caso, teniendo en cuenta que se trata de un caso de estudio, el aplicativo software está dirigido a una mujer de 76 años de edad que padece un deterioro cognitivo moderado, la mujer tiene un gusto musical especial por el bolero, el vals y el pasillo, géneros musicales que fueron tenidos en cuenta a la hora de seleccionar las canciones y principalmente las dinámicas propuestas en el aplicativo software.
- De esta manera, son todas las personas dentro de este rango de edad, y con las condiciones de salud anteriormente descritas, quienes serían los beneficiados directos del aplicativo software enfocado en la mejora de la memoria a corto plazo. Por otro lado, asistentes del cuidado de ellos y profesionales del área a intervenir serían grandes beneficiados igualmente de aplicativos como este. Por un lado, los asistentes del cuidado de personas con problemas cognitivos o de memoria a corto plazo obtendrían entretenimiento y al mismo tiempo entrenamiento para sus familiares; paralelo a ello, el mejoramiento de su parte cognitiva, aspectos psico-sociales como un mejor estado de ánimo y, por lo tanto, mejores conductas que vendrían a ser factores radicales y determinantes para el mejoramiento de la realización de sus actividades diarias como recordar qué comió, vestirse por sí mismo, realizar sus labores de higiene y aseo personal de manera independiente, generar y tener mejores relaciones con los demás y tener una mejor ubicación visuo-espacial del lugar donde se encuentra. Los beneficios anteriormente nombrados, no solo impactan en gran medida en la vida del paciente, sino también en la vida de su cuidador, bien sea un familiar (caso más común) u otra persona, puesto que sus labores constantes de cuidado, atención y ayuda en las acciones que la persona con la enfermedad no puede realizar, vendrían a ser tiempos de monitorización y atención que por supuesto son importantes, pero que en comparación con los grandes esfuerzos físicos, vendrían a ser espacios libres o de descanso que el cuidador tendría más a menudo, disminuyendo de esta manera grandes esfuerzos físicos que a largo plazo afectan igualmente su salud, mejorando las expectativas de mejoramiento de su calidad de vida y la de su familiar, y, finalmente, ahorrar tiempo y disminuir costos al reducir la asistencia a entornos clínicos convencionales donde los métodos tradicionales y las largas esperas extenuan aún más la situación médica del paciente.
- Por otro lado, profesionales de la salud especializados en el área vendrían a ser grandes beneficiados del desarrollo de aplicativos software como este, puesto que investigaciones como esta abren la puerta a nuevos estudios, a la exploración de campos no convencionales como métodos alternativos para el mejoramiento de la rehabilitación en pacientes con deterioro cognitivo y, principalmente, a la fractura de estigmas que indican que la rehabilitación de enfermedades de este tipo deben ser tratadas explícitamente mediante fuertes fármacos o terapias en entornos clínicos no cómodos que resultan ser extenuantes y sin generación de gran interés para los pacientes.



## Referencias

- Aitken, M., & Lyle, J. (2015). Patient adoption of mHealth: use, evidence and remaining barriers to mainstream acceptance. *Parsippany, NJ: IMS Institute for Healthcare Informatics*.
- Chávez, A., Borrego, G., Gutiérrez-García, J. O., & Rodríguez, L. F. (2019). Design and evaluation of a mobile application for monitoring patients with Alzheimer's disease: A day center case study. *International Journal of Medical Informatics*, 131, 103972.
- Diario Vasco (2019). Musicoterapia para ayudar a rehabilitar cerebros dañados. Disponible en: <https://www.diariovasco.com/sociedad/salud/experta-defiende-musica-ayuda-danos-cerebrales-20190715132413-nt.html>
- Kamil, R. J., Bakar, D., Ehrenburg, M., Frankenthaler, S., Wei, E. X., Anson, E., ... & Agrawal, Y. (2018). "Text It" program to track falls in patients with Alzheimer's disease and dementia. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*, 4, 137-140.
- Organización Mundial de la Salud (2018). El Informe sobre la salud en el mundo: La salud mental: nuevos conocimientos, nuevas esperanzas, mental y trastornos neurológicos". <http://www.who.int/whr2001/2001/main/en/media/disorders.html>
- Organización Mundial de la salud, (2019), Global Strategy on Digital Health 2020 2024, "Globalstrategyondigitalhealth2020-2024," <https://extranet.who.int/dataform/upload/surveys/183439/files/Draft%20Global%20Strategy%20on%20Digital%20Health.pdf>
- Pirani, E. Z., Bulakiwala, F., Kagalwala, M., Kalolwala, M., & Raina, S. (2016). Android based assistive toolkit for alzheimer. *Procedia Computer Science*, 79, 143-151.
- Ramey, L., Osborne, C., Kasitinon, D., & Juengst, S. (2019). Apps and mobile health technology in rehabilitation: The good, the bad, and the unknown. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics*, 30(2), 485-497.
- Scherer, M. J. (2005). Evaluación de los beneficios del uso de tecnologías de asistencia y otros apoyos para pensar, recordar y aprender. *Discapacidad y rehabilitación*, 27(13), 731-739.





## Clasificación de cáncer cervical usando redes neuronales convolucionales, transferencia de aprendizaje y aumento de datos

### Autores

#### **Mario Alejandro Bravo Ortiz**

Estudiante de Ingeniería Biomédica e Ingeniería Electrónica.

Correo electrónico: [mario.bravoo@autonoma.edu.co](mailto:mario.bravoo@autonoma.edu.co)

#### **Harold Brayan Arteaga Arteaga**

Estudiante de Ingeniería Electrónica.

Correo electrónico: [harold.arteagaa@autonoma.edu.co](mailto:harold.arteagaa@autonoma.edu.co)

#### **Reinel Tabares Soto**

Magíster en Automatización Industrial.

Correo electrónico: [rtabares@autonoma.edu.co](mailto:rtabares@autonoma.edu.co)

#### **Simón Orozco Arias**

Ingeniero de Sistemas y Computación.

Correo electrónico: [simon.orozcoa@autonoma.edu.co](mailto:simon.orozcoa@autonoma.edu.co)

#### **Jorge Iván Padilla Buriticá**

Magíster en Automatización Industrial.

Correo electrónico: [jorgei.padillab@autonoma.edu.co](mailto:jorgei.padillab@autonoma.edu.co)

**Institución:** Universidad Autónoma de Manizales

**Palabras clave:** aumento de datos, cáncer cervical, procesamiento digital de imágenes, redes neuronales convolucionales, transferencia de aprendizaje.

### Problema a resolver

El cáncer cervical se forma en las células que revisten el cuello uterino y la parte inferior del útero. Es la cuarta enfermedad con más muertes a nivel mundial (McGuire S, 2016) generando 528.000 casos al año, según se reportó en el 2018 (Akshaya, et al., 2018), de los cuales 32.000 son en América Latina (Almonte, et al., 2010). En la actualidad, este problema se enfrenta mediante intervenciones quirúrgicas, vacunas como la del virus del papiloma humano (VPH) y un chequeo frecuente mediante citologías (Villate, et al., 2019); pero pese a estos esfuerzos, la tasa de mortalidad sigue siendo muy alta, debido a que la identificación y clasificación del cáncer está dada por la experticia de ginecólogos que normalmente se encuentran en las grandes ciudades generando baja cobertura a nivel nacional en los países en vía de desarrollo (Kaur, et al., 2011).



Por lo tanto, se busca demostrar que las redes neuronales convolucionales (CNN por sus siglas en inglés), la transferencia de aprendizaje (TL por sus siglas en inglés) y el aumento de datos son una buena alternativa de clasificación para esta patología.

### Contexto del estudio

Las CNNs y TF han sido muy utilizadas en la clasificación del cáncer cervical, Akshaya y otros tienen como objetivo crear una herramienta computacional que clasifique el cáncer cervical en leve y agresivo. Ellos proponen una CNN para clasificación de imágenes colposcópicas y obtienen precisiones entre el 92 - 96% sobre el conjunto de imágenes de validación. El problema principal de esta investigación es el número de imágenes, cuentan con 100 imágenes por cada nivel de cáncer cervical. Kaur y otros proponen la detección de los tres tipos de cáncer cervical por medio de TL con las CNNs (VGG16/19). La base de datos que ellos utilizan se encuentra en (Intel & Mobile, 2017). El problema para Kaur y otros es la similitud entre el cáncer cervical tipo 1 y tipo 2, con lo cual obtienen precisión solo del 63% sobre el conjunto de validación. Estas dos investigaciones brindan el punto de partida de esta investigación. Basados en el trabajo de Akshaya y otros se decidió separar la base de datos obtenida de (Intel & Mobile, 2017) en cáncer cervical leve y agresivo. El objetivo es demostrar que las CNNs, TL y aumento de datos son una buena alternativa para la clasificación del cáncer de cuello uterino entre leve y agresivo (Kaur, et al., 2011).

El algoritmo implementado utiliza las CNNs VGG16 (Simonyan y Zisserman, 2015) y VGG19 (Park Chansung, 2019) previamente entrenadas con ImageNet (Stanford University, 2019) permitiendo disponer de un conjunto amplio de características que mejoran el aprendizaje de nuevos patrones en la base de datos objetivo (Intel & Mobile, 2017). La base de datos fue pre-procesada utilizando una segmentación semiautomática, aumento de datos y etiquetada con el tipo de cáncer (leve-agresivo). Las VGG16/19 se re-entrenaron y se adaptaron a la clasificación del cáncer cervical, reemplazando las 3 capas densas por una arquitectura propia de capas completamente conectadas (ver Fig. 1), la cual está compuesta por 4 capas densas de 128 neuronas, 64 neuronas, 32 neuronas y una neurona. En las tres primeras capas densas la función de activación es Relu (Abien, 2018), en la última es Sigmoide (Sridhar, 1997). La función de pérdida que se utilizó es binary crossentropy (Daniel Godoy, 2019) y el optimizador es Stochastic Gradient Descent (SGD) (Zhang et al, 2015), con learning rate (lr) 0.001 y un momentum de 0.9, para disminuir el sobre ajuste (Piotr, 2019) se aplicó dropout (Srivastava et al, 2014) de 0.2 entre la primera y segunda capa y entre la segunda y la tercera capa. Los resultados obtenidos en la investigación muestran precisiones hasta del **97.35%** sobre los datos de validación.

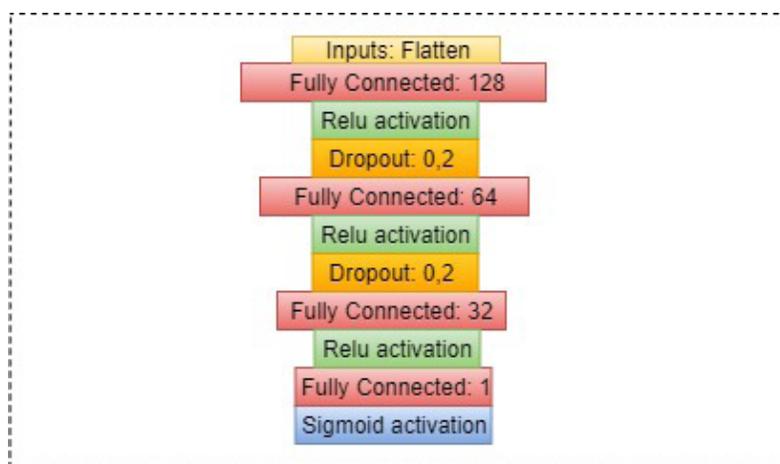
### Conclusiones y recomendaciones

Dirigidas a comunidad de investigación en modelos computacionales, ginecólogos, médicos, científicos de datos, ingenieros biomédicos.

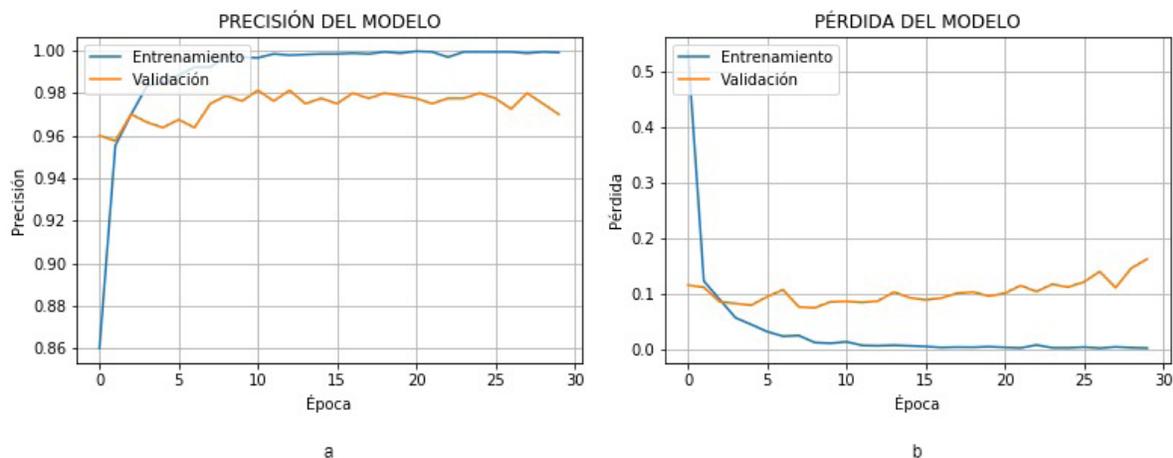
- Se demostró que las CNNs y el TF son una buena herramienta para la clasificación del tipo de cáncer cervical, alcanzando precisiones hasta del **97.35%** utilizando segmentación



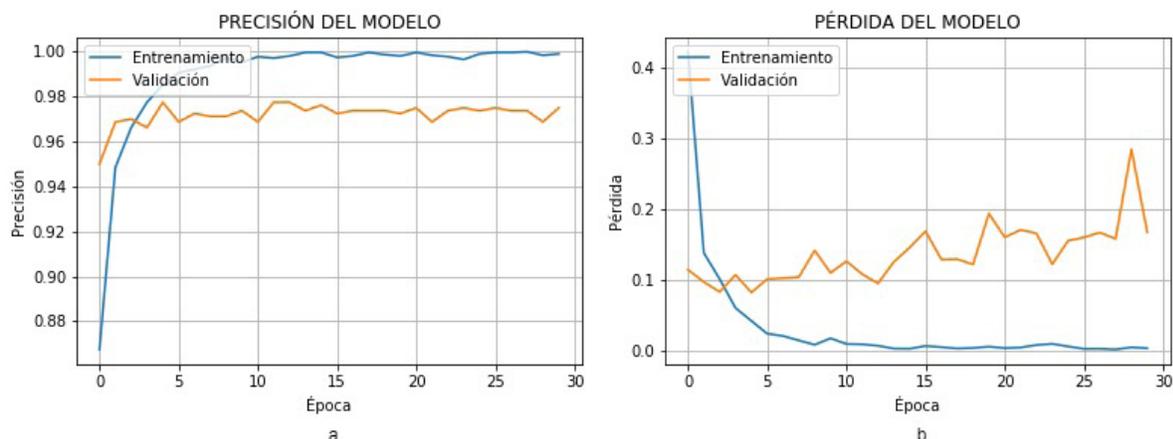
semiautomática, aumento de datos y TL sobre las arquitecturas VGG16/19. La diferencia en los resultados entre estas dos CNNs es el sobre ajuste. La VGG16 obtiene **97,35%** de precisión en validación con **pérdida estable** (ver Fig. 2), mientras la VGG19 obtiene **97,10%** de precisión en validación con **pérdida creciente** (ver Fig. 3). Teniendo en cuenta lo anterior, se observó que, haciendo una correcta segmentación de las imágenes, un buen balance de clases (aumentó de datos) y TL sobre la extracción de características, se obtienen porcentajes que ayudan a tener un diagnóstico más preciso en la clasificación del cáncer cervical. El éxito en este tipo de problemas es segmentar correctamente la imagen centrándose en el área afectada por el cáncer, tener etiquetas balanceadas (igual cantidad de imágenes para cada tipo de cáncer) y un buen número de imágenes (aproximadamente 2000 imágenes para cada tipo) para garantizar la generalización de la CNN. Como trabajo futuro se propone hacer la clasificación sobre los 3 tipos de cáncer cervical (Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3) utilizando como referencia varias de las CNNs diseñadas en esta publicación, pero trabajando de manera secuencial.



**Figura 1.** Arquitectura de las capas completamente conectadas.



**Figura 2.** Precisión(a) alcanzada y pérdida(b) del modelo, sobre datos de entrenamiento (color azul) y datos de validación (color naranja) usando VGG16.



**Figura 3.** Precisión(a) alcanzada y pérdida(b) del modelo, sobre datos de entrenamiento (color azul) y datos de validación (color naranja) usando VGG19.



**Figura 4.** Arquitectura de la solución implementada.

## Referencias

- Agarap, A. F. (2018). Deep learning using rectified linear units (relu). *arXiv preprint arXiv:1803.08375*. Consultado el 7 febrero 2019. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/1803.08375>
- Akshaya R., Manie R., Monisha B., Ranichadra V. (2018). Convolutional Neural Networks Aiding Colposcopy Image Classification. *International Journal of Trend in Research and development*, 5, 270-274.
- Almonte M., Sánchez G. I., Jerónimo J., Ferrección C., Lazcano E., Herrera R. (2010). Nuevos Paradigmas en la Prevención y Control de Cáncer de Cuello Uterino en América Latina. *Salud Pública de México*, 52(6).
- Godoy, D. (2018). Understanding binary cross-entropy/log loss: a visual explanation. *Towards datascience*. Disponible en: <https://towardsdatascience.com/understanding-binary-cross-entropy-logloss-a-visual-explanation-a3ac6025181a>.
- Intel & Mobile ODT (2017). Cervical Cancer Screening. Disponible en: <https://www.kaggle.com/c/intel-mobileodt-cervical-cancer-screening/da>



- Kaur N., Panagrahi, N., Mittal A. (2017). Automated Cervical Cancer Screening Using Transfer Learning. *International Journal Of Advanced Research in Science and Engineering*, 6, 2110-2119.
- Mahecha-Gamboa, L., Villate-Soto, S., & Puerto-Jiménez, D. (2019). Conducta frente a la prueba de Papanicolaou: la voz de las pacientes ante la neoplasia de cuello uterino. *Revista Colombiana de Enfermería*, 18(1), e002-e002.
- McGuire, S. (2016). World cancer report 2014. Geneva, Switzerland: World Health Organization, international agency for research on cancer, WHO Press, 2015. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 7, 418-419.
- Narayan, S. (1997). The generalized sigmoid activation function: Competitive supervised learning. *Information sciences*, 99(1-2), 69-82. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025596002009>
- Park Chansung (2018). Transfer Learning in Tensorflow (VGG19 on CIFAR-10): Part 1. Disponible en: <https://towardsdatascience.com/transfer-learning-in-tensorflow-9e4f7eae3bb4>
- Skalski, P. (2018). Preventing Deep Neural Network from Overfitting. *Towards Data Science*, Sep, 7. Disponible en: <https://towardsdatascience.com/preventing-deep-neural-network-from-overfitting-953458db800a>
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. *The journal of machine learning research*, 15(1), 1929-1958. Disponible en: <http://jmlr.org/papers/v15/srivastava14a.html>
- Stanford University, Princeton University (2016). ImageNet. Disponible en: <http://www.image-net.org/>
- Zhang S., Choromanska A., LeCun Y. (2015). Deep learning with Elastic Averaging SGD. *Neural Information Processing Systems Conference (NIPS 2015)*, 28,1-24. Disponible en: <https://papers.nips.cc/paper/5761-deep-learning-with-elastic-averaging-sgd>





## Conteo automático de colonias de células tumorales

### Autores

**Manuel Guillermo Forero Vargas**

Doctor en Ingeniería Biomédica

Universidad de Ibagué.

*Correo electrónico: manuel.forero@unibague.edu.co*

**Laura Andrea Medina Sánchez**

Estudiante de Ingeniería Electrónica

Universidad de Ibagué.

*Correo electrónico: 2420151015@estudiantesunibague.edu.co*

**Juan Manuel López López**

Doctor en Ingeniería.

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

*Correo electrónico: juan.lopezl@escuelaing.edu.co*

**Alejandro Oyono Ondo Méndez**

Doctor en Ciencias de la Vida y la Salud.

Universidad del Rosario.

*Correo electrónico: alejandro.ondo@urosario.edu.co*

**Sandra Liliana Cancino Suárez**

Estudiante de Doctorado en Ingeniería Electrónica.

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

*Correo electrónico: sandra.cancino@escuelaing.edu.co*

**Instituciones:** Universidad del Rosario. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Universidad de Ibagué.

**Palabras clave:** cáncer; supervivencia celular; conteo de colonias; microscopía; procesamiento de imágenes.

### Problema a resolver

La terapia de radiación es un tratamiento del cáncer que usa altas dosis de radiación para destruir células cancerosas y reducir tumores. Esta radiación ionizante provoca un daño biológico en el ADN de la célula, lo cual conlleva a su muerte. Sin embargo, existen células supervivientes que tras un tratamiento de radiación son capaces de conservar su integridad reproductiva, es decir, siguen reproduciéndose. Para optimizar este tratamiento, se realizan estudios de supervivencia celular, los



cuales consisten en medir la sensibilidad celular ante un agente citotóxico y así construir curvas de supervivencia celular que representan la relación entre las dosis de radiación a las que son expuestas las células cultivadas y el efecto que produce en estas.

Para el análisis de estos estudios se requiere del conteo de células formadoras de colonias, este generalmente se realiza de forma manual y resulta lento y agotador. Es por ello que se planteó una técnica que realice este conteo de forma automática. Aunque ya existen algunos sistemas, la mayoría no son en su totalidad automáticos y son de alto costo.

La técnica presentada en este artículo está elaborada con ayuda de distintas técnicas de procesamiento de imágenes que se ejecutan por medio de una macro de ImageJ, la cual extrae las regiones de interés y reduce el ruido de fondo para luego etiquetar y cuantificar el número de las colonias en cada imagen.

### Contexto del estudio

El interés en mejorar los métodos actuales de conteo de formación de colonias de células se debe a que es una tarea laboriosa y lenta. En la microbiología, por ejemplo, es una de las técnicas más utilizadas para cuantificar y aislar diferentes grupos de microorganismos. Sin embargo, la mayoría de soluciones automatizadas que existen actualmente tienen un alto costo de adquisición y, por ello, se han venido desarrollando distintos tipos de softwares como MicroCount, un software gratuito para el recuento automatizado de colonias de microorganismos por computador. Este se desarrolló a través de un rico conjunto de filtros de imágenes y técnicas de visión por computador (Siqueira y Carvalho, 2017). De igual manera, investigadores de los departamentos de Ingeniería Química y Biomolecular y de Oncología de la Universidad Johns Hopkins de los Estados Unidos, diseñaron una herramienta de software que ayuda al proceso de cuantificación de dinámica y tamaño de crecimiento de colonias metastásicas en distribuciones *in vitro* e *in vivo* (Bhoyar, Godet, DiGiacomo y Gilkes, 2018). Esta se basa en el procesamiento de imágenes para obtener datos cuantitativos de secciones de tejido compuesto de múltiples subpoblaciones de células diseminadas localizadas en sitios metastásicos *in vivo*.

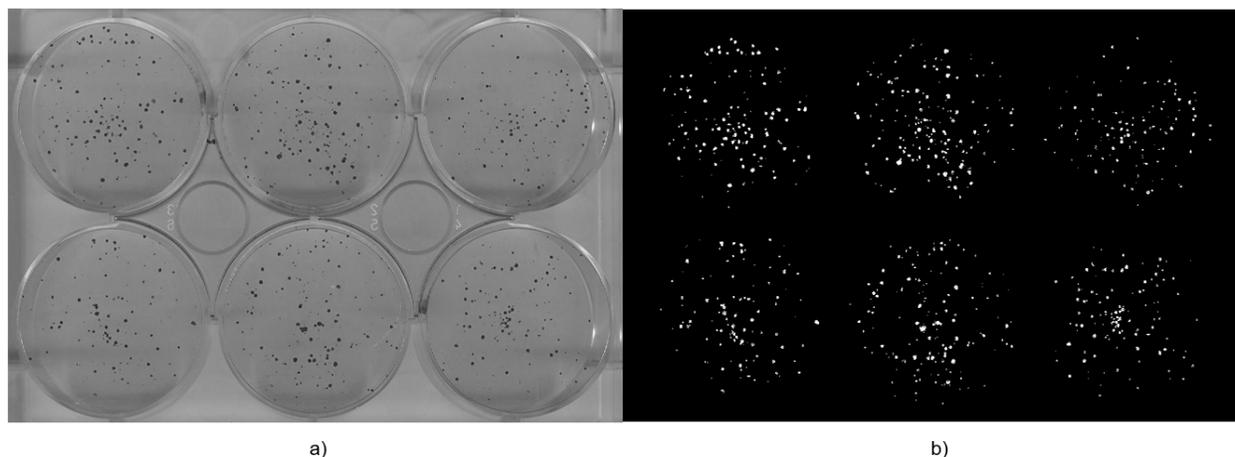
Sin lugar a duda, el procesamiento de imágenes ha sido utilizado recientemente para el desarrollo de aplicaciones que permiten automatizar este tipo de procesos, permitiendo obtener resultados rápidos, reproducibles y no sesgados, mejorando el ecosistema del servicio de análisis de muestras en cancerología (Khan, et al., 2018; Brugger, et al., 2012).

### Conclusiones y recomendaciones

- Esta aplicación aporta al desarrollo de soluciones prácticas en el ámbito radiobiológico, ya que ayuda a mejorar la obtención de datos experimentales conducentes a proponer soluciones desde el laboratorio a problemas de salud en el área de la radio-oncología.
- Por otro lado, es una herramienta que permite aumentar la eficiencia en la construcción de curvas de supervivencia, disminuir el tiempo invertido en la realización del conteo, y convertir la técnica en herramienta de análisis de datos de alto rendimiento.



- Finalmente se debe tener en cuenta que, para lograr un resultado mucho más eficiente, las condiciones de las imágenes deben de ser optimas, con buena iluminación y resolución.



**Figura 1.** a). Células de cáncer de mama (MCF-7) cultivadas en cajas de Petri radiadas con 6 Gy. b). Células identificadas después del procesamiento de la imagen.

## Referencias

- Bhoyar, S., Godet, I., DiGiacomo, J. W., & Gilkes, D. M. (2018). A software tool for the quantification of metastatic colony growth dynamics and size distributions in vitro and in vivo. *PloS one*, *13*(12), e0209591.
- Brugger, S. D., Baumberg, C., Jost, M., Jenni, W., Brugger, U., & Mühlemann, K. (2012). Automated counting of bacterial colony forming units on agar plates. *PloS one*, *7*(3), e33695.
- Siqueira, A. A., & de Carvalho, P. G. S. (2017). MicroCount: free software for automated microorganism colony counting by computer. *IEEE Latin America Transactions*, *15*(10), 2006-2011.
- Torelli, A., Wolf, I., & Gretz, N. (2018). AutoCellSeg: robust automatic colony forming unit (CFU)/ cell analysis using adaptive image segmentation and easy-to-use post-editing techniques. *Scientific reports*, *8*(1), 1-10.





## Desarrollo de nanobioconjugados de BF2-magnetita y F2.3S-magnetita como terapia para combatir el crecimiento *Candida albicans*

### Autores

**María Claudia Castellanos Torres**

Estudiante de Maestría en Ingeniería Biomédica.

Universidad de los Andes.

*Correo electrónico: mc.castellanos10@uniandes.edu.co*

**Paola Ruiz Puentes**

Estudiante de Maestría en Ingeniería Biomédica.

Universidad de los Andes.

*Correo electrónico: p.ruiz@uniandes.edu.co*

**Javier Cifuentes Rueda**

Estudiante de Maestría en Ingeniería Biomédica.

Universidad de los Andes.

*Correo electrónico: jf.cifuentes10@uniandes.edu.co*

**Juan Carlos Cruz Jiménez**

Profesor asistente.

Universidad de los Andes.

*Correo electrónico: jc.cruz@uniandes.edu.co*

**Carolina Muñoz Camargo**

Profesora asistente.

Universidad de los Andes.

*Correo electrónico: c.munoz2016@uniandes.edu.co*

**Ester Boix Borrás**

Profesora agregada.

Universitat Autònoma de Barcelona.

*Correo electrónico: ester.boix@uab.cat*

**Vivian Salazar Montoya**

Investigadora postdoctoral.

Universidad de los Andes.

*Correo electrónico: visalazar@uniandes.edu.co*

**Instituciones:** Universidad de los Andes. Universitat Autònoma de Barcelona.



**Palabras clave:** *Candida albicans*, nanobioconjugados, Buforina II, Frenatina 2.3S, Magnetita, nanopartículas.

### Problema a resolver

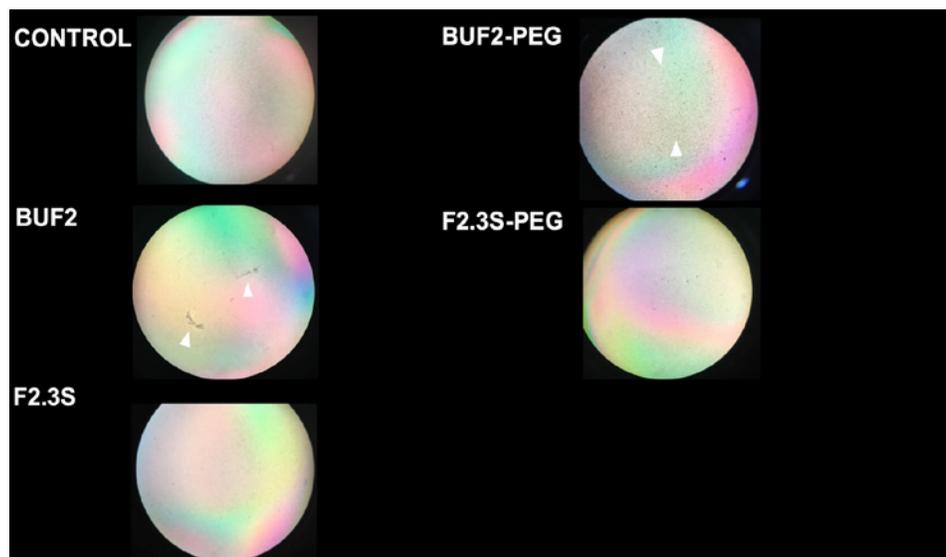
*Candida albicans* es un hongo polimórfico responsable de un alto número de infecciones cutáneas y sistémicas en personas inmunocomprometidas y en pacientes hospitalizados (Cavalheiro y Teixeira, 2018). Aunque en la actualidad se disponen de diversos agentes antimicóticos para el tratamiento de las enfermedades causadas por *Candida albicans*, existe una alta tasa de resistencia a los medicamentos tradicionales, los cuales poseen toxicidad inespecífica. La resistencia farmacológica mostrada por *Candida albicans* es debida principalmente a su capacidad de establecerse en micro-comunidades denominadas biofilms, conformados por células sésiles y una fuerte matriz extracelular capaz de inhibir o minimizar el efecto de la terapia farmacológica (Gulati et al., 2016; Borghi et al., 2016; Kaitlin et al., 2016). Una alternativa a la resistencia mostrada por las células planctónicas y sésiles de *Candida albicans* es el diseño nano-bioconjugados compuestos por magnetita y péptidos antimicrobianos. Los péptidos antimicrobianos se caracterizan por su alto contenido de residuos catiónicos y su capacidad de desestabilización de las membranas microbianas (Paulone et al., 2017; Tsai et al., 2014; Salazar et al., 2019). Teniendo en cuenta estas características, el objetivo del presente estudio es determinar la actividad antifúngica y antibiofilms de los nano-conjugados Buforina2-magnetita y Frenatina 2.3S-Magnetita. Los resultados muestran que los nanoconjugados BF2+Magnetita+PEG y F2.3S-Magnetita-PEG mantienen la misma capacidad antimicótica a la mostrada por los péptidos no inmovilizados y no presentan citotoxicidad ni capacidad hemolítica. Por lo tanto se demuestra que nuestros nanoconjugados podrían erradicar el crecimiento de *Candida albicans* e inhibir la formación de biofilms en superficies inertes; reforzando su rol como posibles agentes antimicóticos.

### Contexto del estudio

*Candida albicans* es la especie de hongo más común en las infecciones reportadas en pacientes sanos e inmunocomprometidos causadas por la especie *Candida*. Esta especie de hongo polimórfico es la cuarta causa más común de infección nosocomial en el torrente sanguíneo en los Estados Unidos, y en las unidades de cuidado intensivos en Colombia es la causa más frecuente de infección sanguínea representando el 88% de infecciones por hongo con una mortalidad entre el 36 y el 78% (Biswaro et al., 2018; Cortés et al., 2020). La formación de biofilms es un problema adicional, ya que generalmente se encuentran asociados al implante de dispositivos médicos, como prótesis, catéteres urinarios y vasculares y dispositivos cardíacos, lo que dificulta la erradicación de las infecciones por *Candida*. Estudios basados en nanotecnología han demostrado que algunos nanocompuestos son capaces de inhibir la adhesión de *Candida* a superficies inertes y subsecuente formación de biofilms (Chififuc et al., 2012; Marková et al., 2012). Basados en la actividad antimicótica reportada por algunas nanopartículas y la capacidad antimicrobiana reportada para los péptidos Buforina II (BF2) y Frenatina 2.3S (F2.3S) (Cuellar et al., 2018; Muñoz, 2018), el objetivo del presente estudio es determinar la presencia de actividad inhibitoria del crecimiento de *Candida albicans* tanto en células sésiles como planctónicas. Buforina II es un péptido de 21 aminoácidos



con amplio espectro antimicrobiano frente a bacterias gram positivas, gram negativas, bacterias multirresistentes, hongos y células cancerígenas. Se ha demostrado que este péptido antimicrobiano presenta capacidad de translocación sin alterar la membrana celular e interactuar directamente con el ADN e inhibir mecanismos intracelulares (Park et al., 2000). Por su parte, Frenatina 2.3S péptido catiónico aislado de la especie de rana *Sphaenorhynchus lacteus*, se caracteriza por tener capacidad inmunomoduladora y actividad frente a bacterias y virus (Muñoz et al., 2016; Muñoz et al., 2018; Conlon et al., 2014). Basados en esta evidencia y en estudios realizados por nuestro grupo de investigación donde se determina que los nanoconjugados preservan la actividad antimicrobiana y no exhiben citotoxicidad en líneas celulares eucarióticas, queremos determinar su funcionalidad como posible herramienta terapéutica en *Candida albicans*. En el mismo sentido se ha reportado que péptidos antimicrobianos en nanoestructuras presentaron una citotoxicidad más baja, una degradación reducida y una mayor eficiencia en las células target (Wang et al., 2017; Sun et al., 2017). Por lo tanto, estas nanoestructuras pueden contribuir a la producción de biomoléculas en la industria farmacéutica y su implementación en el mercado. Los nano-vehículos son sistemas de administración de medicamentos que presentan una serie de ventajas, como la protección de los péptidos, vacunas y medicamentos deseados contra la degradación extracelular, así como la selectividad del tratamiento objetivo y la mejora del perfil farmacocinético del medicamento (Sadat et al., 2016). Resultados preliminares demuestran la capacidad antifúngica de las nanopartículas de magnetita (MNPS) funcionalizadas con APTES, Glutaraldehído, polietilenglicol (PEG) y los péptidos BF2 o F2.3S inhiben el crecimiento de *Candida albicans*. Potencialmente, esta actividad puede deberse a la capacidad de aglutinación celular que tienen el péptido BF2 y la actividad desestabilizante de membrana de F2.3S (Figura 1). Finalmente, estos nanobioconjugados inhiben la adhesión de las células fúngicas en superficie inertes como el Poliestireno y tiene acción directa en biofilm formados.



**Figura 1.** *Candida albicans* tratadas con los péptidos antimicrobianos BF2, F2.3S y los nano-bioconjugados BUF2-PEG y F2.3S-PEG durante 24 horas de incubación a 30°C. Las flechas blancas muestran la capacidad de agregación celular de péptido nativo y del nanoconjugado BUF2-PEG-Magnetit.



## Conclusiones y recomendaciones

### Dirigidas a la comunidad en general

Los resultados obtenidos demuestran la importancia de nanocompuestos como potencial herramienta terapéutica en infecciones de origen fúngico, ya que tiene la capacidad de eliminar la resistencia de estos microorganismos a los tratamientos convencionales, eliminando su forma más común de resistencia microbiana

## Referencias

- Biswaro, L. S.; da Costa Sousa, M. G.; Rezende, T.; Dias, S. C., & Franco, O. L. (2018). Antimicrobial peptides and nanotechnology, recent advances and challenges. *Frontiers in Microbiology*, 9, 855. doi:10.3389/fmicb.2018.00855
- Borghì, E.; Borgo, F.; Morace, G. (2016). Fungal Biofilms : Update on Resistance. In: *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 931, 37-47. doi:10.1007/5584\_2016\_7
- Cavalheiro, M.; Teixeira, M. C. (2018). Candida Biofilms: Threats, Challenges, and Promising Strategies. *Front Med*, 5(28). doi:10.3389/fmed.2018.00028
- Chifriuc, C.; Grumezescu, V.; Grumezescu, A. M.; Saviuc, C.; Lazăr, V., & Andronescu, E. (2012). Hybrid magnetite nanoparticles/Rosmarinus officinalis essential oil nanobiosystem with antibiofilm activity. *Nanoscale research letters*, 7(1), 209. doi:10.1186/1556-276X-7-209
- Conlon, J. M.; Mechkarska, M.; Lukic, M. L.; Flatt, P. R. (2014). Potential therapeutic applications of multifunctional host-defense peptides from frog skin as anti-cancer, anti-viral, immunomodulatory, and anti-diabetic agents. *Peptides*, 57, 67-77. doi:10.1016/j.peptides.2014.04.019
- Cortés, J. A.; Ruiz, J. F.; Melgarejo-Moreno, L. N.; Lemos, E. V. (2020). Candidemia en Colombia. *Biomédica*, 40(1). doi:10.7705/BIOMEDICA.4400
- Cuellar, M.; Cifuentes, J.; Pérez, J.; et al. (2018). Novel BUF2-magnetite nanobioconjugates with cell-penetrating abilities. *Int J Nanomedicine*, 3, 8087-8094. doi:10.2147/IJN.S188074
- Gulati, M.; Nobile, C. J. (2016). Candida albicans biofilms: development, regulation, and molecular mechanisms. *Microbes Infect*, 18(5), 310-321.
- Mitchell, K. F., Zarnowski, R., & Andes, D. R. (2016). The Extracellular Matrix of Fungal Biofilms. *Adv Exp Med Biol - Adv Microbiol Infect Dis Public Heal*, 657-66. doi:10.1007/5584
- Marková, Z.; Šišková, K.; Filip, J.; Šafařová, K.; Pucek, R.; Panáček, A. (2012). Chitosan-based synthesis of magnetically-driven nanocomposites with biogenic magnetite core, controlled silver size, and high antimicrobial activity. *Green Chem*, 14(9), 2550. doi:10.1039/b000000x
- Muñoz-Camargo C, Méndez MC, Salazar V, et al. Frog skin cultures secrete anti-yellow fever compounds. *J Antibiot*. 2016;69(January):1-8. doi:10.1038/ja.2016.16



- Muñoz-Camargo, C.; Salazar, V.; Barrero, L., et al. (2018) Unveiling the multifaceted mechanisms of antibacterial activity of Buforin II and Frenatin 2.3S peptides from skin micro-organs of *Sphaenorhynchus lacteus* (Hylidae). *Int J Mol Sci*, (8), 2170. doi:10.3390/ijms19082170
- Park, C. B.; Yi, K-S; Matsuzaki, K.; Kim, M. S.; Kim, S. C. (2000). Structure-activity analysis of buforin II, a histone H2A-derived antimicrobial peptide: The proline hinge is responsible for the cell-penetrating ability of buforin II. *Proc Natl Acad Sci*, 97(15), 8245-8250. doi:10.1073/pnas.150518097
- Paulone, S.; Ardizzoni, A.; Tavanti, A., et al. (2017). The synthetic killer peptide KP impairs *Candida albicans* biofilm in vitro. *PLoS One*, 12(7), 1-16. doi:10.1371/journal.pone.0181278
- Sadat, S. M. A.; Jahan, S. T.; Haddadi, A. (2016). Effects of Size and Surface Charge of Polymeric Nanoparticles on *in Vitro* and *in Vivo* Applications. *J Biomater Nanobiotechnol*, 07(02), 91-108. doi:10.4236/jbnb.2016.72011
- Salazar, V. A.; Arranz-Trullén, J.; Prats-Ejarque, G., et al. (2019). Insight into the antifungal mechanism of action at the N-terminus of the human RNases. Antimicrobial peptides against *Candida albicans* biofilms. *Submitted*.
- Sun, L.; Zheng, C.; Webster T. J. (2017). Self-assembled peptide nanomaterials for biomedical applications: Promises and pitfalls. *Int J Nanomedicine*, 12, 73-86. doi:10.2147/IJN.S117501
- Tsai, P. W.; Cheng, Y. L.; Hsieh, W. P.; Lan, C. Y. (2014). Responses of *Candida albicans* to the human antimicrobial peptide LL-37. *J Microbiol*, 52(7), 581-589. doi:10.1007/s12275-014-3630-2
- Wang, L.; Hu, C.; Shao, L. (2017). The antimicrobial activity of nanoparticles: Present situation and prospects for the future. *Int J Nanomedicine*, 12, 1227-1249. doi:10.2147/IJN.S121956





## Desarrollo de un exoesqueleto de miembro inferior para la asistencia en la locomoción

### Autores

#### **Alexander Rincón Jiménez**

Estudiante Doctorado en Ingeniería.

Universidad Autónoma de Manizales.

*Correo electrónico: alexander.rinconj@autonoma.edu.co*

#### **Catalina Aguirre Grisales**

Estudiante del Doctorado en Ingeniería.

Universidad Autónoma de Manizales.

*Correo electrónico: catalina.aguirreg@autonoma.edu.co*

#### **Martín Escamilla Rodríguez**

Estudiante Ingeniería Electrónica.

Instituto Tecnológico de Toluca.

*Correo electrónico: mescamillar@toluca.tecnm.mx*

#### **José Luis Rodríguez Sotelo**

Director general del Doctorado en Ingeniería.

Universidad Autónoma de Manizales.

*Correo electrónico: jlrodriguez@autonoma.edu.co*

**Instituciones:** Universidad Autónoma de Manizales. Instituto Tecnológico de Toluca.

**Palabras clave:** exoesqueleto, órtesis robótica, asistencia a la rehabilitación, miembro inferior.

### Problema a resolver

La lesión medular es uno de los mayores problemas de trastorno motriz, sus causas se dan por diferentes factores como los accidentes, las enfermedades degenerativas, entre otros; un 44% de estos casos termina en paraplejia (Farris et al., 2011), cuya mayor consecuencia es la pérdida de movimiento en los miembros inferiores. Actualmente, existe una tecnología ampliamente utilizada para recuperar la movilidad que corresponde a las sillas de ruedas, sin embargo, estas generan un efecto psicológico negativo en las personas con limitaciones en la movilidad, ya que su desplazamiento se ve restringido a diferentes características que los obligan a depender de terceras personas. Adicionalmente, presentan limitaciones para ciertos tipos de desplazamiento como escaleras (Franco, 2017). Conforme a lo anterior, se ve la necesidad de mejorar la calidad de vida de pacientes con problemas motores de miembro inferior a través del diseño de un mecanismo o estructura que permita su locomoción y que asista el proceso de la marcha que sean de bajo costo, tanto para las entidades prestadoras de salud como para la población en general.



## Contexto del estudio

A menudo los seres humanos viven situaciones en los ámbitos cotidianos donde pueden sufrir accidentes de los cuales es difícil recuperarse, como las lesiones medulares (Ríos, 1985), ocasionando en las personas afectadas una serie de problemas físicos, psicológicos y socio-económicos (Neuhaus et al., 2011). Sin embargo, en los últimos años se han desarrollado una serie de proyectos tecnológicos que buscan recuperar la independencia perdida, aliviando las dificultades generadas, como los exoesqueletos.

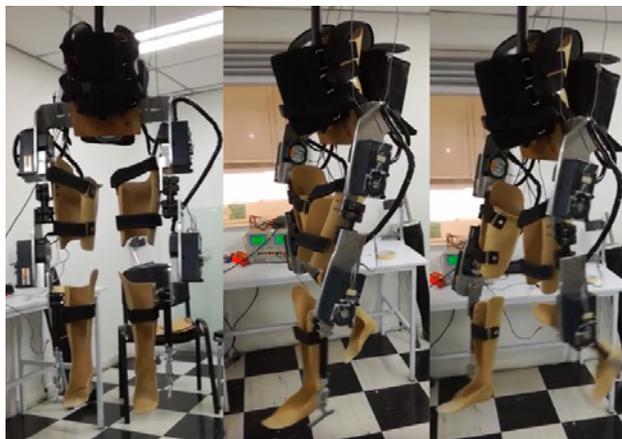
Estos dispositivos son básicamente estructuras para ser usadas sobre el cuerpo a manera de prenda de vestir, siendo mecánicamente compatibles con la anatomía del usuario para permitir un movimiento seguro y no obstruir u oponer resistencia al mismo (Pons, 2008). Actualmente existen desarrollos dirigidos a los miembros superiores y los miembros inferiores, siendo las investigaciones hacia estas últimas las de mayores avances, entre estas se encuentran el *ReWalk* (Goffer & Zilberstein, 2012), el cual es un dispositivo que realiza varias rutinas como sentarse, pararse, caminar, subir escaleras y bajar escaleras.

También Unluhisarcikli referencia el *Active knee rehabilitation orthotic system (ANdROS)* (Unluhisarcikli et al., 2015), el cual es un exoesqueleto para pacientes en recuperación de ACV, que todavía conservan cierta cantidad de fuerza en sus miembros. Asimismo, existen otros dispositivos como el *Anklebot* (Roy et al., 2007) y el *Interactive Motion* (Krebs et al., 2008), cuya finalidad es controlar la posición y el movimiento del tobillo, compensar la debilidad y/o corregir deformidades. Estos sistemas son una evolución de las ortesis pasivas tradicionales de miembros inferiores con capacidades adicionales para promover la dinámica de la marcha apropiada para la rehabilitación (López et al., 2014), donde se requieren mecanismos de control para la posición y la velocidad de sus eslabones con el fin de desarrollar ejercicios de terapia que pueden ser adaptados a la necesidad particular de cada paciente, permitiéndoles tener una recuperación autónoma e independiente.

## Conclusiones y recomendaciones

Dirigidas a grupos de investigación de instituciones de educación superior, entes gubernamentales y población con afección de movilidad locomotora de miembro inferior.

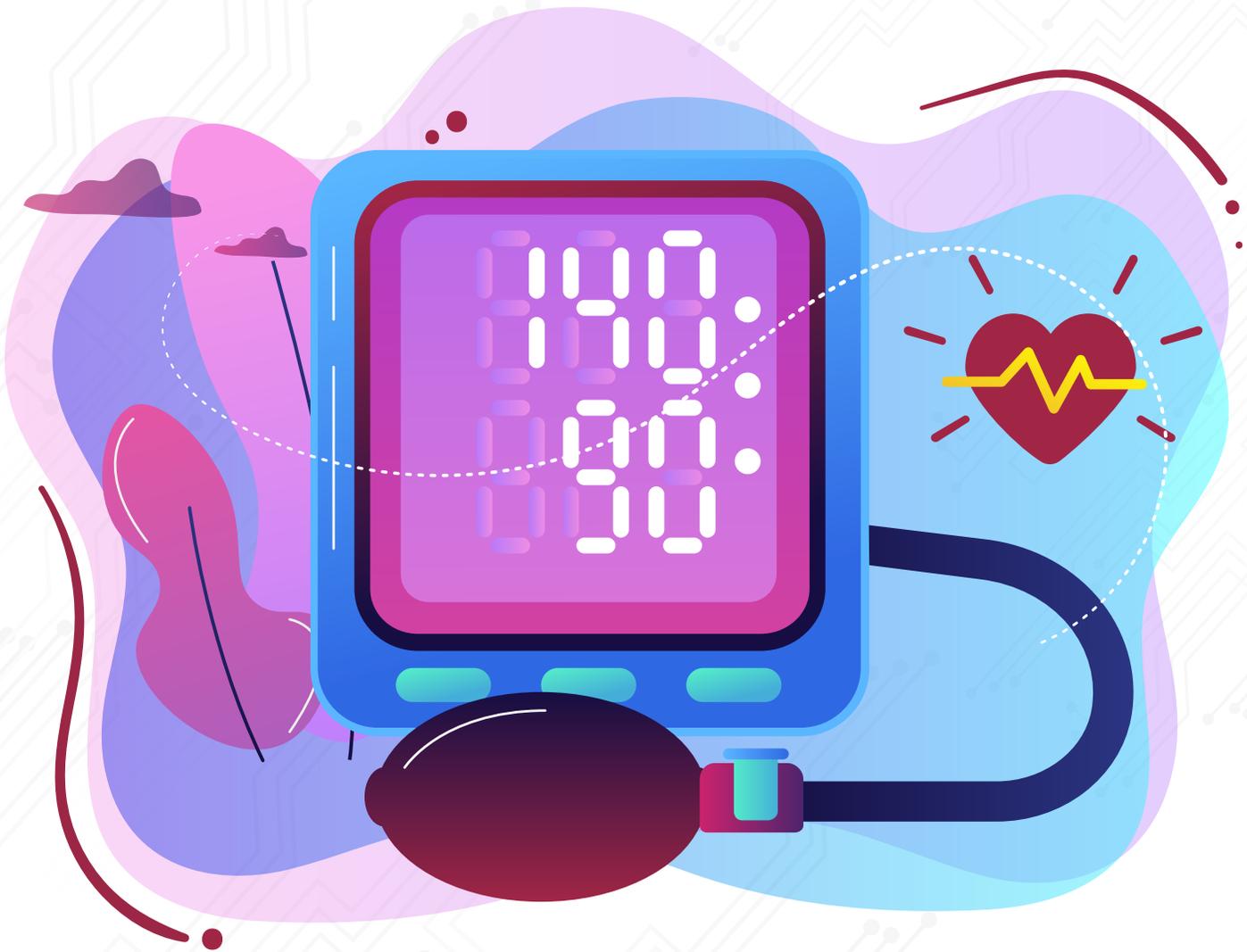
- En materia de acceso a nuevas tecnologías para la asistencia de la marcha en personas con paraplejia flácida, se debe garantizar que los nuevos mecanismos de tratamiento cumplan con los estándares médicos internacionales, así como el bajo costo monetario de dichos dispositivos. Es por esto que, desde el grupo de investigación de automática de la Universidad Autónoma de Manizales, se propone un prototipo de exoesqueleto de bajo costo para la asistencia de la marcha que impacte a la población de la región de Caldas y a Colombia en general.
- Es necesario que desde las entidades gubernamentales y las instituciones de educación superior se propongan proyectos de investigación que beneficien la salud física, mental, social y económica de la población con discapacidad motora de miembro inferior, y que, a su vez, les permita tener condiciones de movilidad dignas e igualitarias que posibiliten el ejercicio de sus rutinas diarias.



*Imagen 1. Reproducción de marcha humana en exoesqueleto.*

## Referencias

- Farris, R. J., Quintero, H. A., & Goldfarb, M. (2011). Preliminary Evaluation of a Powered Lower Limb Orthosis to Aid Walking in Paraplegic Individuals. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 19(6), 652-659.
- Franco Márquez, H. (2017). Diseño y construcción de un exoesqueleto para la asistencia en la marcha a pacientes con paraplejia flácida.
- Goffer, A., & Zilberstein, C. (2012). *U.S. Patent No. 8,096,965*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Krebs, H. I., Dipietro, L., Levy-Tzedek, S., Fasoli, S. E., Rykman-Berland, A., Zipse, J., ... & Volpe, B. T. (2008). A paradigm shift for rehabilitation robotics. *IEEE engineering in medicine and biology magazine*, 27(4), 61-70.
- López, R., Torres, J., Salazar, S., & Lózano, R. (2014). Desarrollo de un Exoesqueleto para Rehabilitación de Tobillo y Rodilla. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 35(1), 13-28.
- Neuhaus, P. D., Noorden, J. H., Craig, T. J., Torres, T., Kirschbaum, J., & Pratt, J. E. (2011, June). Design and evaluation of Mina: A robotic orthosis for paraplegics. In *2011 IEEE international conference on rehabilitation robotics* (pp. 1-8). IEEE.
- Pons, J. L. (2008). *Wearable robots: biomechatronic exoskeletons*. John Wiley & Sons.
- Ríos Carrera, B. E. (1985). *El licenciado en trabajo social y el incapacitado parapléjico*, Centro de Rehabilitación y Educación Especial (Toluca, Edo. de México) (Doctoral dissertation).
- Roy, A., Krebs, H. I., Patterson, S. L., Judkins, T. N., Khanna, I., Forrester, L. W., ... & Hogan, N. (2007, June). Measurement of human ankle stiffness using the anklebot. In *2007 IEEE 10th International Conference on Rehabilitation Robotics* (pp. 356-363). IEEE.
- Unluhisarcikli, O., Mavroidis, C., Bonato, P., Pietrusisnki, M., & Weinberg, B. (2015). *U.S. Patent No. 9,198,821*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.





## Desarrollo e implementación de un simulador de presión arterial no invasiva (NIBP) para uso académico

### Autores

#### **Julián Camilo Varela Guzmán**

Ingeniero Biomédico.

*Correo electrónico: julian.varela@uao.edu.co*

#### **Andrés Mauricio Gonzáles**

Doctor en Electrónica, Informática e Ingeniería Eléctrica.

*Correo electrónico: amgonzalezv@uao.edu.co*

#### **John Jairo Cabrera López**

Doctor en Ingeniería.

*Correo electrónico: jjcabrera@uao.edu.co*

**Institución:** Universidad Autónoma de Occidente.

**Palabras clave:** simulador, presión arterial (PA), presión arterial no invasiva (PNI), instrumentación médica, técnica oscilométrica.

### Problema a resolver

Para los estudiantes de Ingeniería Biomédica es de gran importancia conocer y entender las principales variables fisiológicas del cuerpo humano y su forma de adquisición mediante equipos biomédicos como, por ejemplo, la presión arterial. Este signo representa una manifestación del estado de salud de una persona y la falta de identificación de una anomalía relacionada con la presión arterial puede permitir la evolución de múltiples alteraciones sistémicas en los denominados órganos diana, como corazón, cerebro, riñón y retina, y aumentar la morbimortalidad de los pacientes hipertensos (Poyatos, Alonso, Chiclana, Barbadillo, y Calvillo, 2011). Para lograr este objetivo, el alumno se ve inmerso en diferentes cursos que lo ayudan en su formación tanto de la rama de la medicina como de la ingeniería.

Dentro de los cursos de bioinstrumentación existe una limitación académica de los simuladores NIBP para la enseñanza de conceptos claves sobre presión arterial. Esto se debe a que el acceso a la tecnología de simulación es limitado por el alto costo de adquisición de dichas herramientas. Además, son equipos que no cuentan con la característica de ser hardware y software libre, por tanto, no es posible conocer en detalle los bloques funcionales que lo componen ni la estructura del programa. Por otra parte, los simuladores NIBP comerciales se remiten a solucionar problemas en el entorno hospitalario, restringiendo al estudiante por las prestaciones que ofrece el fabricante. Esto conlleva a que las herramientas de simulación existentes no cuenten con un enfoque académico para la comprensión del monitoreo de la presión arterial no invasiva por el método oscilométrico,



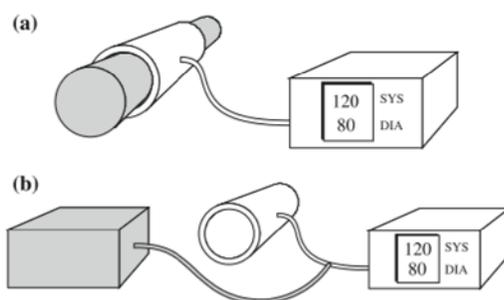
siendo este el método más usado en la práctica clínica (Alpert, Quinn, y Gallick, 2014). Todo con el fin de mejorar la experiencia de aprendizaje de la bioinstrumentación comprendiendo la teoría e implementar en la práctica para desarrollar dispositivos de manera competente dentro de los cursos.

### Contexto del estudio

Junto con la necesidad de controles internos, reparaciones y mantenimiento de esfigmomanómetros, la complejidad y los altos costos de las validaciones clínicas fueron las principales razones detrás de la introducción al mercado de simuladores de prueba de presión arterial no invasiva comercial (NIBP) a inicios de los años 90. Se desarrollaron dos tipos básicos de simuladores:

- Los simuladores de extremidades, que modelan las extremidades artificiales.
- Los simuladores de forma de onda que generan formas de onda, alimentados al monitor NIBP que se somete a la prueba.

Los simuladores de extremidades (*Figura 1. a*) incluyen una extremidad artificial (brazo) que incorpora una arteria artificial con fluido pulsátil. El manguito del monitor NIBP bajo prueba se enrolla alrededor de la extremidad artificial y se prueba el monitor. Un simulador de forma de onda (*Figura 1. b*) genera una forma de onda oscilométrica que se alimenta al tubo del manguito del monitor probado. Este tipo de simulador se usa predominantemente en la actualidad. Actualmente, los modelos más exitosos en el mercado son los simuladores comerciales BP Pump 2 y Cufflink de Fluke Biomedical, SmartArm y AccuPulse de Clinical Dynamics, QA-1290 de Metron y SimCube SC-5 de Pronk Technologies.



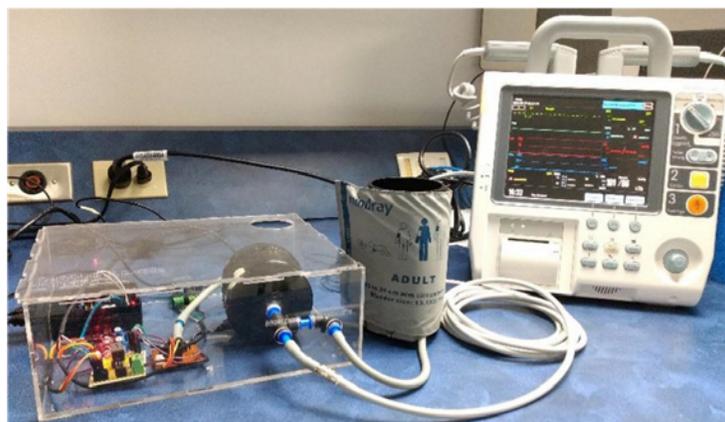
**Figura 1.** Tipos de simuladores de NIBP. (a) Simulador de extremidad y (b) Simulador de forma de onda.  
Fuente: Geršak (2009)

Para abordar el desarrollo del simulador NIBP es necesario tener en cuenta los conceptos fisiológicos del corazón y el sistema circulatorio, y, en general, los de bioinstrumentación, para comprender los sistemas de adquisición y medición de la presión arterial, sus parámetros y la manera de interpretarlos, la naturaleza de la señal oscilométrica con su análisis en frecuencia y, últimamente, comprender, bajo un modelo, el comportamiento pulsátil del flujo que genera el corazón y cómo este se ve reflejado en los vasos sanguíneos para producir los pulsos de presión y ser capaz, mediante un sistema mecánico, de emular dichos pulsos para construir la señal oscilométrica de un paciente.



## Conclusiones y recomendaciones

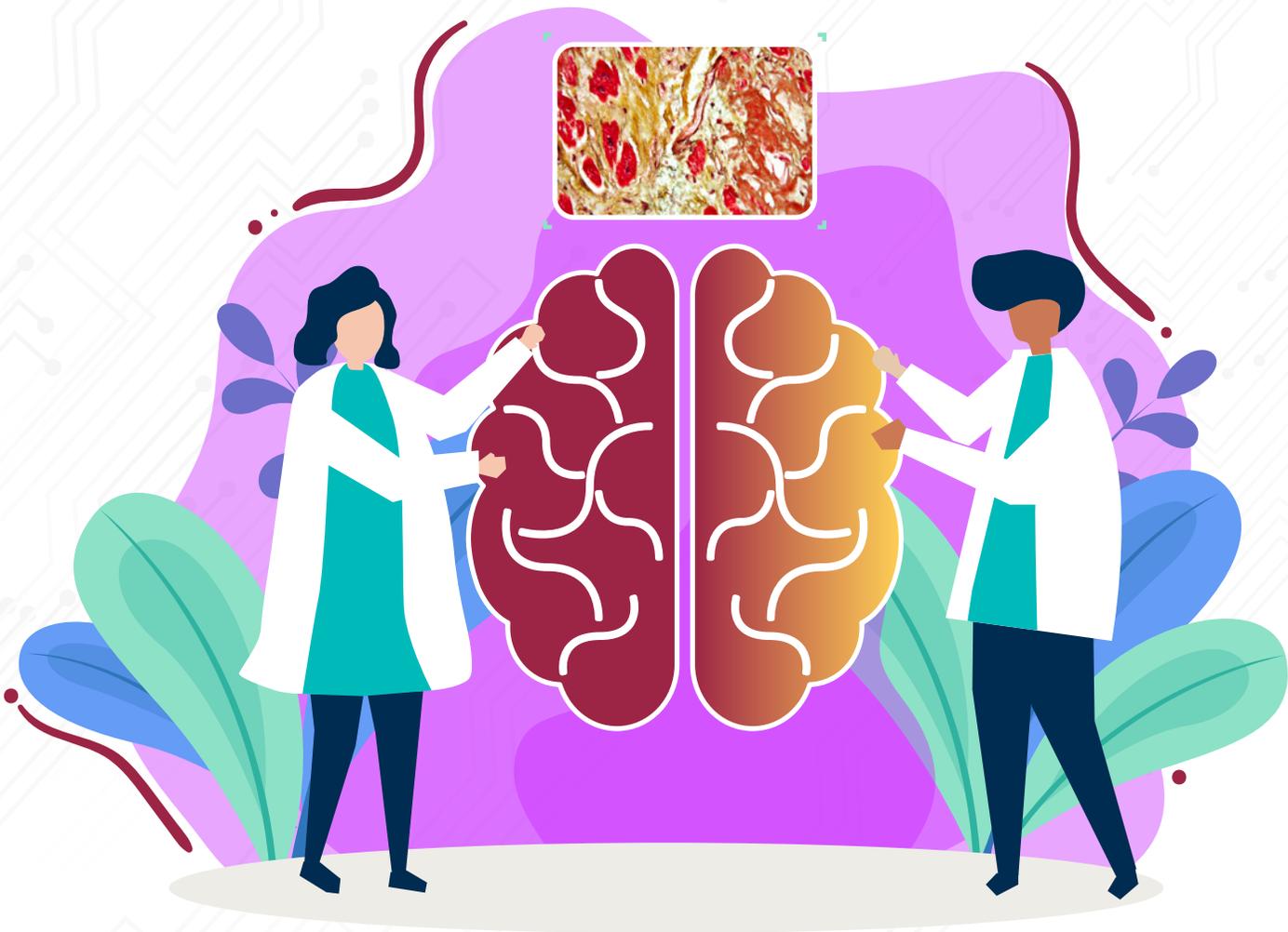
- El desarrollo del simulador NIBP es importante para los estudiantes en formación de Ingeniería Biomédica, ya que mejora la experiencia de aprendizaje dentro de los cursos al contar con una herramienta con enfoque académico. Esto permitiría comprender de una mejor manera los conceptos fundamentales de la presión arterial y su medición por el método oscilométrico. Además, se lograría que los estudiantes aborden la construcción de dispositivos como monitores de presión arterial de una manera objetiva, ya que, al entender mejor los conceptos, sabrían cómo se genera la señal de presión por medio del simulador y así ser capaces de prever las posibles fallas en la construcción de su equipo biomédico realizando un diseño e implementación con criterio. Por otra parte, el simulador NIBP sería una herramienta que tendría por características ser de bajo costo y de open *hardwaresoftware*, para lograr su replicación en los cursos de bioinstrumentación. Esto no solo aumentaría la cantidad y disponibilidad de simuladores NIBP para las prácticas académicas, sino que también aportaría a la formación del ingeniero, ya que en el proceso de construcción del simulador se conseguiría que el estudiante pueda identificar y saber los bloques funcionales necesarios para el desarrollo de un equipo biomédico en general.



*Imagen 1. Simulador NIBP y su implementación con el monitor de signos vitales.  
Fuente: Julián Varela.*

## Referencias

- Alpert, B. S., Quinn, D., y Gallick, D. (2014). Presión arterial oscilométrica: una revisión para médicos. *Revista de la Sociedad Americana de Hipertensión*, 8(12), 930–938. <https://doi.org/10.1016/j.jash.2014.08.014>
- Geršak, G., Žemva, A., y Drnovšek, J. (2009). Un procedimiento para la evaluación de simuladores de presión arterial no invasivos. *Ingeniería y Computación Médica y Biológica*, 47(12), 1221–1228. <https://doi.org/10.1007/s11517-009-0532-2>
- Poyatos, B. P., Alonso, F. E., Chiclana, A. M. P., Barbadillo, A. C., & Calvillo, R. S. (2011). Importancia de la toma de la presión arterial: a propósito de un caso clínico. *Hipertensión arterial secundaria*, 37(10), 576–579. <https://doi.org/10.1016/j.semerng.2011.05.011>





## **Detección de fibrosis aledaña a quistes producidos por neurocisticercosis mediante procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones**

### **Autores**

#### **Manuel Guillermo Forero Vargas**

Doctor en Ingeniería Biomédica.

Universidad de Ibagué.

*Correo electrónico: manuel.forero@unibague.edu.co*

#### **Juan José Betancourt Lozano**

Estudiante de Ingeniería Electrónica

Universidad de Ibagué.

*Correo electrónico: 2420151030@estudiantesunibague.edu.co*

#### **Laura Estefanía Baquedano Santana**

Estudiante de Maestría en Salud Animal.

Universidad Peruana Cayetano Heredia.

*Correo electrónico: laura.baquedano.s@upch.pe*

**Institución:** Universidad de Ibagué. Universidad Peruana Cayetano Heredia.

**Palabras clave:** fibrosis, neurocisticercosis, quiste cerebral, cerdos.

### **Problema a resolver**

El procesamiento digital de imágenes permite la automatización de procesos manuales en varias áreas de investigación. El Grupo de Cisticercosis del Perú y el laboratorio de Diagnóstico Parasitológico de la Universidad Peruana Cayetano Heredia desarrollan un proyecto para conocer la respuesta de distintos tratamientos para quistes producidos por neurocisticercosis. Se utilizan modelos animales (cerdos) para evaluar los resultados. Para adquirir la información de la respuesta de los tratamientos, se toman imágenes de cortes cerebrales de 5mm de espesor en donde se pueden observar los quistes cerebrales. Una vez adquiridas las imágenes, son procesadas manualmente para encontrar características como la fibrosis aledaña al quiste. La fibrosis es una respuesta de defensa que el cerebro produce para evitar que el quiste siga creciendo. Este proceso tarda demasiado tiempo y es engorroso, además, requiere a un personal especializado para reconocer las zonas donde haya presencia de fibrosis. Con el fin de reducir los inconvenientes presentes a este proyecto, los autores han tomado la iniciativa de determinar una técnica adecuada para la detección de fibrosis aledaña a quistes cerebrales.



## Contexto del estudio

El desarrollo de nuevas técnicas de adquisición y procesamiento digital de imágenes han abierto la posibilidad de extraer información cuantitativa de datos obtenidos de diferentes fuentes, entre ellas la microscopia, realizada en muestras biológicas o en la detección individual mediante propiedades cuantitativas, ayudando a aumentar drásticamente el número de preguntas que se pueden abordar experimentalmente. Estos avances van de la mano con la medicina, buscando que los resultados proporcionados por los expertos sean más exactos (Restrepo, 2000; Saavedra et al., 2010; Estrada et al., 2013).

La medicina se caracteriza por siempre estar en continua evolución. Esto conlleva a la introducción de nuevos medicamentos y tratamientos para cualquier tipo de enfermedad mejorando su eficiencia. Para ello, se investigan en modelos de prueba distintos tipos de medicamentos. Dependiendo de las reacciones que tengan con respecto a la enfermedad, se deciden los pasos a seguir dentro de la investigación. Los métodos de procesamiento de imágenes tienen enorme potencial para extraer información de este tipo de procedimientos y pueden ser usados para estudiar modelos animales. Un caso de este tipo son los quistes producidos por la enfermedad de neurocisticercosis en animales intermediarios del padecimiento. Esta enfermedad presenta un crecimiento exponencial en los países en vía de desarrollo. Esta enfermedad tiene como síntomas cefaleas crónicas, epilepsia, ceguera, convulsiones, meningitis y demencia. Por tener esta variedad de síntomas, su diagnóstico se confunde con otras enfermedades, lo cual permite que el quiste siga creciendo y generando problemas. El tratamiento usual para combatir esta enfermedad consiste utilizar un antiparasitario que se administra durante un mes (Ford et al., 2012; Charter et al., 2009; Pradilla, 1966).

Para la evaluación del funcionamiento de un medicamento es necesario realizar pruebas de las características del quiste antes y durante del tratamiento. Una característica del quiste es la fibrosis aledaña a este. Muchos avances buscan la identificación automática de esta característica en distintas imágenes, utilizando distintos tipos de métodos de procesamiento digital de imágenes.

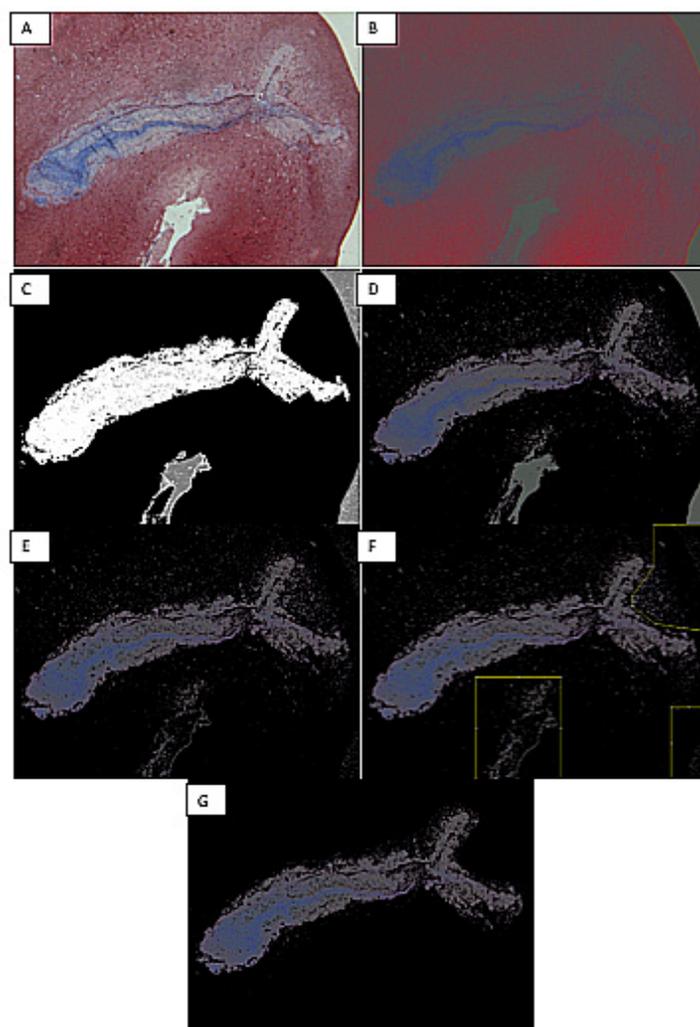
Algunas técnicas para la detección automática normalmente se pueden observar en el hígado de seres humanos. Estas están basadas en la adquisición de imágenes de ultrasonido o en tinciones especiales que tiñen de colores la fibrosis (Martínez et al., 2011; Adebajo et al., 2012). Su automatización requiere normalmente de clasificadores con descriptores de colores y de textura (Wai-Sun et al., 2010; Hernández et al., 2016; Youngwoo et al., 2008). Estos resultados obtenidos son reproducibles únicamente con un protocolo de adquisición. Otros realizan este proceso a través de elastografías también en el hígado (Ebinuma et al., 2011). Pocos trabajos alternos en reconocimiento de objetos utilizan métodos de aprendizaje combinados con la probabilidad. Estos trabajos tienen resultados sumamente buenos y reproducibles (Forero et al., 2006). Otros utilizan programas semiautomáticos para la extracción de objetos de interés utilizando combinaciones de técnicas de extracción de primer plano y de clasificación de texturas.



## Conclusiones y recomendaciones

Dirigidas al Grupo de Cisticercosis del Perú e investigadores interesados en la detección de fibrosis, investigadores interesados en la detección de objetos e información en imágenes.

- El método se desarrolló con la adquisición de las imágenes mediante un microscopio AxioLab ZEISS y una cámara AxioCam ZEISS.
- Se utilizó la tinción Tricómica de Masson. Se recomienda utilizar un único tipo de tinción usando un protocolo. Si se utilizan distintos tipos, los resultados pueden ser nulos en algunos casos.
- Los resultados finales son bastante acertados, pero si se requiere mayor precisión, se recomienda una eliminación manual de impurezas visibles.



**Imagen 1.** Fibrosis aledaña a quiste cerebral en un cerdo. A) Imagen tomada en la Universidad Peruana Cayetano Heredia. B) Imagen canónica. C) Aprendizaje de clases de la imagen. D) Eliminación de cerebro de la imagen. E) Eliminación de fondo de la imagen. F) Detección de zonas no eliminadas automáticamente. G) Eliminación manual de zonas no eliminadas automáticamente.



## Referencias

- Adebajo, C. O., Talwalkar, J. A., Poterucha, J. J., Kim, W. R., & Charlton, M. R. (2012). Ultrasound-based transient elastography for the detection of hepatic fibrosis in patients with recurrent hepatitis C virus after liver transplantation: A systematic review and meta-analysis. *Liver Transplantation*, 18(3), 323-331.
- Ebinuma, H., Saito, H., Komuta, M., Ojio, K., Wakabayashi, K., Usui, S., ... & Kikuchi, M. (2011). Evaluation of liver fibrosis by transient elastography using acoustic radiation force impulse: comparison with Fibroscan®. *Journal of gastroenterology*, 46(10), 1238.
- Ford, T. N., Lim, D., & Mertz, J. (2012). Fast optically sectioned fluorescence HiLo endomicroscopy. *Journal of biomedical optics*, 17(2), 021105.
- Forero, M., Cristóbal, G., Desco, M. (2006). Automatic identification of *Mycobacterium tuberculosis* by Gaussian mixture models. *Journal of Microscopy*, 223(2), 120-132.
- García, N., Peña, G., Dau, A., Bermúdez, S. et al. (2009). Neurocisticercosis. *Acta Neurológica Colombiana*, 25(1).
- Hernández-Morera, P., Castaño-González, I., Travieso-González, C. M., Mompeó-Corredera, B., & Ortega-Santana, F. (2016). Quantification and statistical analysis methods for vessel wall components from stained images with Masson's Trichrome. *PloS one*, 11(1), e0146954.
- Martínez, S. M., Crespo, G., Navasa, M., & Forns, X. (2011). Noninvasive assessment of liver fibrosis. *Hepatology*, 53(1), 325-335.
- Pradilla, G. (1986). Cisticercosis: Clínica, diagnóstico y tratamiento. *Salud Uninorte, Barranquilla*, 3(2), 115-125.
- Restrepo, B. (2000). Diagnóstico y respuesta inmune en neurocisticercosis. *MVZ – Córdoba*, 5(1), 23-25.
- Saavedra, H., Gonzales, I., Alvarado, M. A., Porras, M. A., Vargas, V., Cjuno, R. A., ... & Martínez, S. M. (2010). Diagnóstico y manejo de la neurocisticercosis en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 27, 586-591.
- Sarria Estrada, S., Frasccheri Verzelli, L., Siurana Montilva, S., Auger Acosta, C., & Rovira Cañellas, A. (2013). Neurocisticercosis. Hallazgos radiológicos. *Radiología*, 55(2), 130-141
- Wai-sun, V., Vergniol, J., Lai-hung, G., Foucher, J. et al. (2010). Diagnosis of Fibrosis and Cirrhosis Using Liver Stiffness Measurement in Nonalcoholic Fatty Liver Disease. *Hepatology*, 51(2).
- Youngwoo, B., Stuart, N., Byungjo, J. (2008). Multimodal facial color imaging modality for objective analysis of skin lesions. *Journal of Biomedical Optics*, 13(6).





## **Diseño de un guante terapéutico (exoesqueleto de mano) con control independiente de cada dedo para rehabilitación motora de extensión y flexión para personas con artritis y ACV**

### **Autores**

#### **Deyby Maycol Huamanchahua Canchanya**

Docente catedrático.

Universidad ESAN.

Facultad de Ingeniería.

*Correo electrónico: dhuamanchahuac@esan.edu.pe*

#### **Keico Heredia Menor**

Estudiante de la Universidad ESAN.

Facultad de Ingeniería.

*Correo electrónico: 14100869@esan.edu.pe*

#### **Luis Huanay Palomino**

Estudiante de la Universidad ESAN.

Facultad de Ingeniería.

*Correo electrónico: 09100418@esan.edu.pe*

#### **Adams Pérez García**

Estudiante de la Universidad ESAN.

Facultad de Ingeniería.

*Correo electrónico: 15200140@esan.edu.pe*

**Institución:** Universidad ESAN.

**Palabras clave:** exoesqueleto de mano, rehabilitación, discapacidad, sistema embebido, mecanismos, ACV, artritis.

### **Problema a resolver**

Personas que sufren ciertas patologías tienen limitaciones en sus actividades de la vida diaria, tales como agarrar un vaso o mover un objeto. De acuerdo con la OMS mil millones de personas sufren de algún tipo de discapacidad, de los cuales 200 mil padecen con mayor intensidad. Cada vez es mayor el riesgo de sufrir un Evento Cerebro-Vascular (ECV), y se proyecta un incremento considerable en la prevalencia de esta afección llegando a cifras que sobrepasarán los cuatro millones de casos para el 2030, con un incremento estimado del 24.9% de la prevalencia respecto a la actual (Heidenreich et al., 2011). Según la Asociación Americana del Corazón (AHA por sus siglas en inglés), entre los



sobrevivientes del ECV mayores de 65 años, el 50% de ellos quedan con algún tipo de parálisis y el 26% son dependientes en actividades de la vida diaria, convirtiéndose, por lo tanto, en una de las principales causas de discapacidad a largo plazo (Mozaffarian et al., 2013).

Según El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) alrededor de 5.2% de la población sufre de alguna discapacidad, siendo el 59.2% perteneciente a la pérdida de movilidad en los brazos o piernas. El aumento del número de personas que presentan alguna discapacidad motora o debilidad muscular ha motivado a la comunidad de ingenieros al desarrollo de la rehabilitación (Sosa et al., 2017).

En la actualidad la rehabilitación se lleva a cabo por medio de fisioterapias, dependiendo de la discapacidad y la parte afectada del paciente. La fisioterapia ayuda a mejorar la movilidad, es decir, mejorar el estilo de vida del paciente. El 25.8% de los pacientes a nivel nacional realizan la rehabilitación de manera interdiaria y semanal lo que provoca costos y tiempo. Otro punto donde se presentan dificultades son las condiciones en las que se realizan los procedimientos, ya que no se cuenta con suficiente personal especializado.

### Contexto del estudio

La asistencia de los robots ha contribuido con la rehabilitación física superando las dificultades que se pueden presentar con los métodos tradicionales. En una encuesta realizada por Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, se muestra que los diversos sistemas que ayudan a los movimientos de las manos, entre los cuales podemos mencionar algunos como: Amadeo, CyberGrasp, Hand of Hope, InMotion HAND, también existen otros más completos y sofisticado como Raphael. Hoy en día, hay una gran variedad de dispositivos para manos que permiten o facilitan el movimiento de ésta. Sin embargo, muchos de estos tienen sofisticados mecanismos de actuación, requiriendo el uso de fuerzas de activación, dificultando el mantenimiento y el aprendizaje de su funcionamiento. Un ejemplo de un exoesqueleto de mano es el de 4 DoF (Grados de Libertad) para la rehabilitación del dedo índice, este dispositivo puede producir un movimiento bidireccional de flexión-extensión para todas las uniones del dedo y es modular para varios tipos de manos. Utiliza sensores de fuerza y encoders para medir la posición angular (Kroto et al., 1993). El inconveniente del exoesqueleto es que necesita fuerza exterior por lo que no tiene una autonomía prolongada de uso (Wang et al., 2009). Otro exoesqueleto que fue estudiado es el de un prototipo para rehabilitación de mano con 4 DoF que es controlado con un actuador que recibe información de unos sensores de efector hall, además incluye un sensor mioeléctrico que mide la actividad de algunos músculos de interés (Belter y Dollar, 2011). El problema de este diseño es que necesita fuerzas externas y adiciona peso a la mano del paciente. Adicionalmente, el dispositivo desarrollado por Wege et al. (2011) y Eaton (1975), resuelve los problemas de movimiento y adaptabilidad a la mano del usuario, adoptando un mecanismo de piñón y cremallera simétrico, que consta de un engranaje que gira sobre una cremallera mediante la rotación relativa de dos partes, el desplazamiento de su eje proporciona el movimiento de una parte de la cremallera. Por otro lado, Chiri et al. (2011) presenta el diseño mecatrónico de un exoesqueleto para rehabilitación de mano llamado HANDEOX, el diseño consta de cinco dedos independientes con una estructura de concha, cada falange tiene un sensor, la estructura está cubierta por dentro con una capa de neopreno de 3 mm.



El sistema de accionamiento es ligero, modular, reconfigurable y situado a distancia; cuenta con una unidad de flexión y una de extensión utilizando poleas locas para la tensión de cable Bowden, que va desde la unidad de accionamiento hasta la punta de la falange distal. Por otro lado, en México se han desarrollado rehabilitadores como el que desarrolló el Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) de la UNAM y el del Instituto Tecnológico de Orizaba en colaboración con la Universidad Nacional Autónoma de México cuyo nombre es ExoKab (Sandoval et al., 2016).

Como se mencionó anteriormente, existen muchos exoesqueletos de mano que han contribuido en la recuperación del paciente mediante una rehabilitación más eficiente, se han desarrollado dispositivos para la rehabilitación de la mano con diferentes enfoques, sobre todo en el sistema de actuación, usando medios neumáticos (Sandoval et al., 2016; Chiri et al., 2011), hidráulicos (Connelly et al., 2010) o cables (Polygerinos et al., 2013). El prototipo desarrollado por Unluhisarcikli et al. (2010) y Delph et al. (2013), resuelve los problemas de movimiento y adaptabilidad a la mano del usuario, adoptando un mecanismo de piñón y cremallera simétrico (SPRM) que consta de un engranaje que gira sobre una cremallera mediante la rotación. Sin embargo, muchos están fuera del alcance de las personas por sus elevados costos y por la complejidad del diseño mecánico apropiado. También en su mayoría requieren de esfuerzos externos para su funcionamiento lo que dificulta al paciente en su recuperación. El objetivo de este trabajo es la investigación para el desarrollo de un exoesqueleto de mano de  $n$  DoF que se acoplará a la mano del paciente y ayudará con el proceso de rehabilitación que haya sido afectado por alguna condición que afecte el rendimiento de la mano; además estará sincronizada con un interfaz de realidad virtual no inmersiva para que su rehabilitación sea interactiva y produzca un apego a la rehabilitación.

La mano es uno de los miembros más vitales y complejos que posee el ser humano, anatómicamente hablando cada dedo de la mano está compuesto por tres falanges, en donde la falange proximal (FP) se articula con la falange media (FM) y esta con la falange distal (FD), conocidas también como 1°, 2° y 3° falange, a excepción del dedo pulgar que tan solo tiene dos falanges (Fu et al., 2011). Cada uno de los dedos puede realizar movimientos de flexión y extensión en la articulación metacarpofalángica (MCP), articulación interfalángica proximal (PIP) y en la articulación interfalángica distal (DIP); y el pulgar en la articulación interfalángica (IP) y en la articulación MCP. Además, pueden realizar movimientos de abducción y aducción o movimientos de lateralidad, pero solo en la articulación MCP, tanto en el pulgar como en el resto de los dedos. El rango de flexión y extensión aumenta progresivamente desde el dedo índice hasta alcanzar el mayor nivel en el dedo meñique (Zhang et al., 2014). En total los dedos y el pulgar tienen 21 grados de libertad y el brazo desde la muñeca hasta el hombro tienen sólo 7 DoF, por lo cual es evidente apreciar la complejidad de la mano respecto a otras partes del cuerpo.

Indagando sobre diferentes tecnologías usadas para dispositivos robóticos de tipo exoesqueleto para terapias de rehabilitación de mano, existen distintas alternativas como la de tener enlaces rígidos en contacto directo con los dedos o exoesqueletos tipo guante. Por lo cual, el prototipo inicial de este guante robótico hace uso de servomotores que van conectados con un hilo de nylon hasta la parte de la yema de los dedos. Se hará uso de un guante de tela por el cual el hilo de nylon irá conectado a cada dedo y a un servomotor respectivamente, excepto al dedo pulgar y al índice. Para el correcto funcionamiento de los servomotores serán controlados por un microcontrolador,

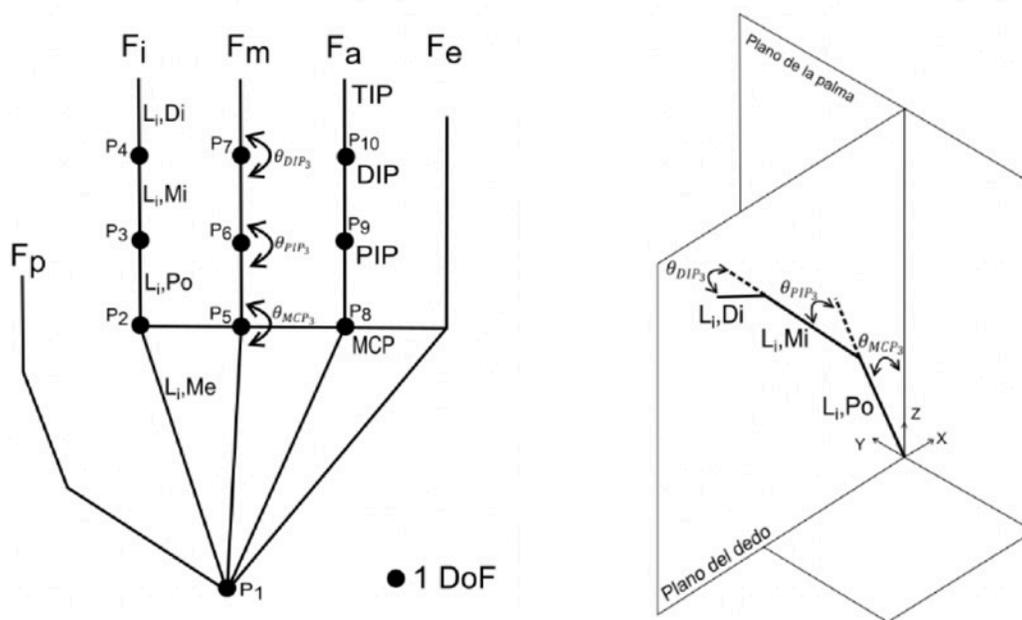


desde donde se darán los parámetros que una persona requiere para que pueda realizar una buena rehabilitación en sus manos y pueda recuperar la movilidad de estas satisfactoriamente. Un caso puede darse que cuando una persona realice el movimiento de cerrar la mano sea o no cogiendo un objeto con la ayuda del guante podrá poner rectos los dedos de una forma adecuada.

Como parte importante del proyecto de investigación se desarrolla un modelo cinemático de la mano humana. Para esto se plantea una representación esquemática que facilite el proceso de análisis e interpretación de la estructura, respetando su funcionamiento y las siguientes restricciones de diseño:

- La mano es representada como una figura esquelética y cada dedo como una cadena cinemática, cuyo sistema de referencia está situado en la muñeca y cada dedo es un efector final. Entendiéndose cadena cinemática como el resultado de conectar entre sí varios eslabones, de tal manera que sea posible el movimiento relativo entre ellos, proporcionándose un movimiento de salida controlado en respuesta a un movimiento de entrada.
- El modelo cinemático de la mano está asociado a la estructura ósea de la misma, es decir, una estructura no volumétrica y que sea más biomimético.
- La representación esquemática indicada en la *Figura 1* está denotada con variables generales, sin embargo, posteriormente se aproximará durante el desarrollo del modelo a la mano derecha de un usuario estándar.

Una vez realizada la cinemática de los 3 dedos a rehabilitar que son: anular, medio e índice, se procedió a realizar un análisis por dedo para tener una mejor observación y poder realizar un diseño correcto. En la *Figura 1.b* se muestra la representación esquemática del modelo cinemático del dedo medio.



**Figura 1.** Representación esquemática. a) Modelo cinemático de la mano. b) Modelo cinemático del dedo medio



## Conclusiones y recomendaciones

En los resultados obtenidos están implicados fisioterapeutas o médicos especialistas en rehabilitación, debido a que el prototipo se realizó para que sea un complemento a sus rutinas de terapias

Como resultado de este trabajo se ha desarrollado un exoesqueleto como elemento de apoyo para la fisioterapia en los dedos de la mano; el dispositivo permite la flexión y extensión con un ángulo adecuado para cada falange. Además, este se puede adaptar a diferentes tamaños de las falanges de la mano humana, debido a que el dedo meñique, anular, medio e índice se comportan de la misma manera, lo que permite extender este prototipo hacia una implementación completa. Sin embargo, como se trata de un dispositivo para la rehabilitación, su uso debe estar bajo la supervisión de un experto en el tema, ya que su uso es para apoyar el trabajo del fisioterapeuta. Cada falange es controlada independientemente. Sin embargo, el dedo humano funciona como un conjunto, pues al generar una leve flexión, los demás tendones son accionados y, por ende, los músculos. Como trabajo futuro se planea modificar el mecanismo de adaptación a la morfología del pulgar y el número de grados de libertad actual, a fin de desarrollar el exoesqueleto de toda la mano.

## Referencias

- Belter, J. T., & Dollar, A. M. (2011, June). Performance characteristics of anthropomorphic prosthetic hands. In *2011 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics* (pp. 1-7). IEEE.
- Chiri, A., Vitiello, N., Giovacchini, F., Roccella, S., Vecchi, F., & Carrozza, M. C. (2011). Mechatronic design and characterization of the index finger module of a hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation. *IEEE/ASME Transactions on mechatronics*, *17*(5), 884-894.
- Connelly, L., Jia, Y., Toro, M. L., Stoykov, M. E., Kenyon, R. V., & Kamper, D. G. (2010). A pneumatic glove and immersive virtual reality environment for hand rehabilitative training after stroke. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *18*(5), 551-559.
- Delph, M. A., Fischer, S. A., Gauthier, P. W., Luna, C. H. M., Clancy, E. A., & Fischer, G. S. (2013, June). A soft robotic exomusculature glove with integrated sEMG sensing for hand rehabilitation. In *2013 IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR)* (pp. 1-7). IEEE.
- Eaton, D. I. (1975). *Porous glass support material*. US Patent No. 3 904
- Fu, Y., Zhang, Q., Zhang, F., & Gan, Z. (2011, August). Design and development of a hand rehabilitation robot for patient-cooperative therapy following stroke. In *2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation* (pp. 112-117). IEEE.
- Heidenreich, P. A., Trogon, J. G., Khavjou, O. A., Butler, J., Dracup, K., Ezekowitz, M. D., ... & Lloyd-Jones, D. M. (2011). Forecasting the future of cardiovascular disease in the United States: a policy statement from the American Heart Association. *Circulation*, *123*(8), 933-944.
- Kroto, H. W., Fischer, J. E., Cox, D. E. (1993). *The Fullerenes Pergamon*. Oxford.



- Mozaffarian, D., Roger, V. L., Benjamin, E. J., Berry, J. D., et al. (2013). Heart disease and stroke statistics 2013 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*, 127.
- Polygerinos, P., Lyne, S., Wang, Z., Nicolini, L. F., Mosadegh, B., Whitesides, G. M. and Walsh, C. J. (2013). Towards a soft pneumatic glove for hand rehabilitation. In *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, 1512-1517.
- Sandoval González O., Jacinto Villegas J., Herrera Aguilar I., Portill Rodríguez O., Tripicchio P., Hernández Ramos M., Flores Cuautle A., and Avizzano C. (2016). Design and development of a hand exoskeleton robot for active and passive rehabilitation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 13(66), 1-12.
- Sosa, D., Arias, M., y Lugo, E. (2017). Diseño de un Prototipo de Exoesqueleto para Rehabilitación del Hombro. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 38(1), 330- 342.
- Unluhisarcikli, O., Weinberg, B., Sivak, M., Mirelman, A., Bonato, P. and Mavroidis, C. (2010). A robotic hand rehabilitation system with interactive gaming using novel electro-rheological fluid-based actuators. In *Proc. IEEE Int Robotics and Automation (ICRA) Conf*, 1846-1851.
- Wang J., Li J., Zhang Y. and Wang S. (2009). Design of an exoskeleton for index finger rehabilitation. *Proc. Of the 31st Annual Int. Conf. of the IEEE-EMBS*, Minneapolis, USA.
- Wege A., Kondak K. and Hommel G. (2011). Mechanical design and motion control of a hand exoskeleton for rehabilitation. *Proc. Of the Int. IEEE Conf. on Mechatronic and Automation (ICMA), Canada, 2005*.
- Zhang, F., Hua, L., Fu, Y., Chen, H., and Wang, S. (2014). Design and development of a hand exoskeleton for rehabilitation of hand injuries. *Mechanism and Machine Theory*, 73, 103-116.





## Diseño de una prótesis transtibial con actuador mecánico

### Autores

**Giovanny Alexander Romero Agudelo**

Estudiante de Ingeniería Biomédica.

Correo electrónico: [u5600054@unimilitar.edu.co](mailto:u5600054@unimilitar.edu.co)

**Alejandra Forero Duarte**

Estudiante de Ingeniería Biomédica.

Correo electrónico: [u5600040@unimilitar.edu.co](mailto:u5600040@unimilitar.edu.co)

**Rubén Darío Hernández Beleño**

Doctorado en Ingeniería Mecatrónica, magíster en Ingeniería Mecánica, ingeniero en Mecatrónica.

Correo electrónico: [ruben.hernandez@unimilitar.edu.co](mailto:ruben.hernandez@unimilitar.edu.co)

**Edilberto Mejía Ruda**

Magíster en Ingeniería en Mecatrónica, ingeniero en Mecatrónica.

Correo electrónico: [edilberto.mejia@unimilitar.edu.co](mailto:edilberto.mejia@unimilitar.edu.co)

**Institución:** Universidad Militar Nueva Granada.

**Palabras clave:** desarticulación de tobillo, prótesis de pie, articulación de tobillo.

### Problema a resolver

Cada persona posee características propias biomecánicas que le permiten desarrollar una marcha sin complicaciones en la vida cotidiana. Por diversos factores, tales como accidentes, enfermedades, el conflicto armado, por mencionar algunos, las personas son amputadas y pierden capacidad de estas características biomecánicas. En Colombia, según el registro para la localización y caracterización de personas con discapacidad (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015), a julio de 2015 aproximadamente el 33.5% de las personas con algún tipo de discapacidad se debía a una alteración en el movimiento del cuerpo, manos, brazos y piernas (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015). Por dicha razón, este proyecto se enfocará en realizar el diseño y construcción de una prótesis transtibial con actuador mecánico para que una persona con una amputación transtibial media pueda realizar una marcha controlada.

Estas personas se ven enfrentados a una alteración biomecánica y anatómica, ya que el alineamiento de los miembros inferiores está determinado por la línea axis del fémur.



El alineamiento anatómico y mecánico normal de los miembros inferiores está determinado por la línea axis del fémur, la cual pasa a través del centro de la cabeza femoral hasta el centro de la rodilla y luego hasta el medio del tobillo. En una persona con ambas extremidades, la medición del axis es de 3° de la vertical y de la línea media del axis es de 9° de la vertical. Por lo tanto, el alineamiento anatómico normal corresponde a una aducción del fémur. (Ocampo, M., Henao, L., & Vásquez, L., 2010).

### Contexto del estudio

Al existir una amputación la alineación se ve alterada debido a que el fémur residual ya no tiene el mismo largo como debería ser normalmente, adicional, esto genera un cambio en el centro de masa de la persona, debido a que anteriormente este se encontraba en medio de los miembros inferiores, pero al perder uno de ellos, el centro de masa pasa a estar sobre un solo miembro inferior. (Ocampo, M et al., 2010).

Al lograr esto se espera que el paciente logre volver a tener una marcha normal, debido a que esta articulación tiene un papel importante, ya que esta brinda soporte y amortiguación del peso, es una palanca rígida y genera una adaptabilidad al terreno donde se esté realizando diferentes desplazamientos de la persona, además de contribuir al equilibrio en el cuerpo.

Para lograr esto, se debe tener en cuenta que existen dos tipos de actuación para prótesis: la actuación pasiva, que no contiene actuadores, lo que nos dice que no llega a no generar fuerzas contrarias a la marcha del paciente; y actuación activa -como su nombre lo indica- contienen un motor que, al contrario de la prótesis pasiva, evita que el paciente no realice un desgaste adicional a la marcha. (Gao, Liu, & Liao, 2016). Una gran parte de las prótesis transtibiales diseñadas en el mercado son fabricadas en fibra de carbono, debido a que este material es liviano y de gran resistencia.

### Conclusiones y recomendaciones

- Con esta investigación se pretende ayudar a las personas con amputaciones transtibiales, logrando evitar que su marcha se vea afectada, además de que los músculos de las piernas se vean afectados por atrofas.



## Referencias

- A. Martín Nogueras, J L. Calvo Arenillas, J. Orejuela Rodríguez, F J. Barbero Iglesias, C. S. S. (1999). Fases de la marcha humana. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*, 2, 44–49.
- Ahmed, M. H., Wahid, F., Ali, A., Tiwana, M. I., Iqbal, J., & Lovell, N. H. (2015). Actuator design for robotic powered an ankle-foot prosthesis. *4th International Symposium on Bioelectronics and Bioinformatics, ISBB 2015*, 136–139. <https://doi.org/10.1109/ISBB.2015.7344942>
- Andres, G. C., Luis, C. A., & Julio, Z. A. (2015). Walking cycle control for an active ankle prosthesis with one degree of freedom monitored from a personal computer. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2015-Novem*, 3651–3654. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7319184>
- Biodigital, H. (n.d.). Gait Cycle. Retrieved from [https://human.biodigital.com/view?id=production%2FmaleAdult%2Fgait\\_cycle&type=module](https://human.biodigital.com/view?id=production%2FmaleAdult%2Fgait_cycle&type=module)
- Boonpratotong, A., Malisuwan, S., Degenaar, P., & Veeraklaew, T. (2008). A minimum jerk design of active artificial foot. *2008 IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications, MESA 2008*, 443–448. <https://doi.org/10.1109/MESA.2008.4735681>
- Gao, F., Liao, W. H., Chen, B., Ma, H., & Qin, L. Y. (2015). Design of powered ankle-foot prosthesis driven by parallel elastic actuator. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics, 2015-Septe*, 374–379. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2015.7281228>
- Gao, F., Liu, Y., & Liao, W. H. (2016). A new powered ankle-foot prosthesis with compact parallel spring mechanism. *2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2016*, 473–478. <https://doi.org/10.1109/ROBIO.2016.7866367>
- Hernández, J., Parra, L. A., & Mendieta, G. (2017). Analysis and design of transtibial prosthesis. *2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, CHILECON 2017 - Proceedings, 2017Janua*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CHILECON.2017.8229501>
- Hexcel. (2016). *HexTow® AS4C Industrial HexTow DataSheet. 000*, 3–4.
- Jacob, T., Saini, L. M., & Bhaumick, S. (2018). An algorithm for control of prosthetic foot by gait characteristics. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing, ICECDS 2017*, 3552–3556. <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8390122>
- Kang, Y. H., Xia, Y., & Lu, P. M. (2015). Efficient spin Bell states and Greenberger–Horne–Zeilinger states analysis in the quantum dot– microcavity coupled system. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 119(2), 259–271. <https://doi.org/10.1007/s00340-015-6052-x>
- Laprè, A. K., Umberger, B. R., & Sup, F. (2014). Simulation of a powered ankle prosthesis with dynamic joint alignment. *2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC 2014*, 1618–1621. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943914>
- Lenzi, T., Cempini, M., Newkirk, J., Hargrove, L. J., & Kuiken, T. A. (2017). A lightweight robotic ankle prosthesis with nonbackdrivable cam-based transmission. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 1142–1147. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009403>



- Li, C., Morimoto, S., Furusho, J., & Kikuchi, T. (2009). Development of a prosthetic ankle-foot and its slope-walking experiments. *2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2009*, 1806–1810. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2009.5246006>
- Ministerio de salud y protección social. (2015). *Sala situacional de personas con discapacidad*. Colombia.
- Ocampo, M., Henao, L., & Vasquez, L. (2010). Amputación de miembro inferior : cambios funcionales, inmovilización y actividad física. *Universidad Del Rosario. Facultad de Rehabilitación y Derechos Humanos.*, 42, 1–26.
- Sarailoo, H., Mallakzadeh, M., & Toyoorparvaz, A. (2012). A novel prosthesis design to improve partial foot amputees gait using a carbon composite AFO. *2012 19th Iranian Conference of Biomedical Engineering, ICBME 2012*, (December), 294–298. <https://doi.org/10.1109/ICBME.2012.6519697>
- Shultz, A. H., Lawson, B. E., & Goldfarb, M. (2016). Variable Cadence Walking and Ground Adaptive Standing with a Powered Ankle Prosthesis. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 24(4), 495–505. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2015.2428196>
- Smith, D. G., & Skinner, H. B. (2014). Chapter 11. Amputations. In H. B. Skinner & P. J. McMahon (Eds.), *Current Diagnosis & Treatment in Orthopedics, 5e*. Retrieved from <http://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=57819330>
- Steer, J. W., Worsley, P. R., Browne, M., & Dickinson, A. S. (2019). Predictive prosthetic socket design: part 1—population-based evaluation of transtibial prosthetic sockets by FEA-driven surrogate modelling. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s10237-019-01195-5>
- Suzuki, R., Sawada, T., Kobayashi, N., & Hofer, E. P. (2011). Control method for powered ankle prosthesis via internal model control design. *2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2011*, (Mode 3), 237–242. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2011.5985663>
- Ustul, H. (2015). Lower Limb Amputation, Rehabilitation, & Prosthetic Restoration. In I. B. Maitin & E. Cruz (Eds.), *CURRENT Diagnosis & Treatment: Physical Medicine & Rehabilitation*. Retrieved from <http://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=1105131177>
- Wang, X., Li, R., Fang, J., Wang, S., & Lin, C. (2018). A Powered Ankle Prosthesis Driven by EHA Technique. *2018 13th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 1492–1497.
- Zhu, J., Wang, Q., & Wang, L. (2010). PANTOE 1: Biomechanical design of powered ankle-foot prosthesis with compliant joints and segmented foot. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, AIM*, 31–36. <https://doi.org/10.1109/AIM.2010.5695879>





## Diseño y construcción de un dispositivo de medición de succión en neonatos

### Autores

**Lina Vanessa García Arias**

Bioingeniera.

*Correo electrónico: lina.garcia14@usc.edu.co*

**Leonardo Bermeo Varón**

Doctorado en Ciencias e Ingeniería Mecánica.

*Correo electrónico: leonardo.bermeo@usc.co*

**Erick Javier Argüello Prada**

Doctorado en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Electrónica y Bioingeniería.

*Correo electrónico: erick.arguello@usc.edu.co*

**Karol Susana Velasco Vargas**

Magíster en Educación.

*Correo electrónico: kasuveva@hotmail.com*

**Institución:** Universidad Santiago de Cali, sede Pampalinda.

**Palabras clave:** reflejo de succión, neonatos, evaluación cuantitativa, sensor resistivo de fuerza.

### Problema a resolver

El reflejo de succión es uno de los eventos más importantes y determinantes para el crecimiento y desarrollo del recién nacido; este es uno de los primeros movimientos espontáneos en la infancia que da inicio durante el periodo de gestación (Taffoni et al., 2013). La inadecuada succión puede prolongar la estancia clínica del neonato y crear mayores riesgos a su salud, como la poca ganancia de peso que puede extenderse a lo largo de su infancia y, además, ocasionar alteraciones cerebrales con una mayor incidencia de disfunciones motoras, conductuales y cognitivas (Zarem et al., 2013).

Según la Organización mundial de la Salud, se estima que cada año mueren 2,6 millones de lactantes durante su primer mes de vida, donde la mitad de los fallecimientos tienen lugar en las primeras 24 horas y un 75% durante la primera semana (Organización Mundial de la Salud, 2017). En Colombia, los trastornos succión-deglución tienen una prevalencia del 9%, considerándose un problema de salud pública que debe ser abordado desde la perspectiva de promoción y prevención, en el marco de construcción de la paz (Ministerio de Salud, 2018).

Actualmente en Colombia el proceso de evaluación del reflejo de succión es realizado por un especialista que introduce su dedo meñique en la boca del bebé, iniciándose un proceso de succión rítmica; el especialista determina cualitativamente y de forma subjetiva si la fuerza que ejerce el bebé es suficiente para alimentarse.



De acuerdo con lo anterior, esta investigación presenta una alternativa que responde a la pregunta sobre ¿cómo medir cuantitativamente el reflejo de succión en recién nacidos? con el objetivo de determinar la calidad generando un aporte significativo a los planes de detección de alteraciones de forma oportuna evitando problemas de crecimiento y desarrollo en recién nacidos.

## Contexto del estudio

### *Reflejo de Succión*

El reflejo de succión pertenece al grupo de los reflejos primarios del recién nacido, inicia a las 20 semanas de gestación y viene acompañado del reflejo de deglución que surge cuatro semanas antes. La coordinación de ambos se produce en la semana 32, por lo tanto, los bebés que nazcan antes de cumplir este periodo de gestación no tendrán la capacidad de alimentarse por sí mismos (Cañamero, 2017). El proceso de succión cumple dos fases: la expresión que corresponde a la compresión oral por movimientos estructurales y la succión propiamente dicha que se une a la deglución para obtener y dirigir el volumen adecuado al esófago (Grassi, Cecchi, Guzzetta, & Laschi, 2015; Rendón & Serrano, 2011).

Existen varios tipos de succión que se desarrollan como una serie de movimientos sucesivos con pausas intermedias. Por ejemplo, la succión no nutritiva contiene de 6-12 ciclos de succión que ocurren con un frecuencia aproximada de 2 Hz (Grassi et al., 2015; Poore, Zimmerman, Barlow, Wang, & Gu, 2008); la succión no nutritiva tiene importancia en procesos como calmar al bebé, estimular los músculos de la cara y desarrollar sus sentidos al contacto con el pecho de la madre (Cañamero, 2017). Por otro lado, la succión nutritiva es profunda y rítmica, permite al bebé ganar peso (Cañamero, 2017), tiene ciclos de succión más lentos que ocurren a una frecuencia aproximada de 1 Hz y con menos pausas intermedias (Grassi et al., 2015; Poore et al., 2008).

La succión también se puede clasificar como madura e inmadura. En la primera se caracteriza por un ciclo de 10 a 30 succiones sin pausas para respirar (fenómeno conocido como ráfagas de succión o *bursts*), en el cual el bebé coordina de manera adecuada los reflejos succión-deglución y respiración. En la succión inmadura ocurre lo contrario, esta se caracteriza por un ciclo de 3 a 5 succiones, seguido de una pausa de la misma duración en la que el bebé respira debido a que no puede succionar al mismo tiempo de forma coordinada (Renault, 2012). Además, se considera como succión correcta aquella que permite al bebé alimentarse de forma óptima y eficaz sin dañar al pecho ni provocar ningún tipo de molestias a la madre, es decir, el bebé modula la presión aplicada sobre el seno materno o tetina. Caso contrario en la succión incorrecta, debido a que el proceso de succión genera problemas a la madre como dolor, lesiones e infecciones al bebé, así como la poca ganancia de peso e irritación (Stavros & Tuesta, 2009). La población más susceptible de succión incorrecta son los bebés prematuros, con crecimiento intrauterino retrasado y los que presenten algún tipo de patología en su cavidad oral (Costas, Santos, Godoy, & Martell, 2006).

## Conclusiones y recomendaciones

### *Dirigidas a fonoaudiólogos e ingenieros biomédicos.*

- Dentro de la evaluación del reflejo de succión es importante que la valoración sea realizada de forma responsable, lo que generaría información significativa para el buen desarrollo del recién nacido. Actualmente, la tecnología ha suministrado importantes avances en la búsqueda de la



objetividad clínica, lo que sería útil, por ejemplo, en la cuantificación del reflejo de succión, brindando la posibilidad de la protocolización en la evaluación y diagnóstico del estado de la salud del recién nacido siendo más precisos y eficientes.

- Por tal motivo, se debe tener en cuenta que la población involucrada en esta investigación incluye recién nacidos, lo que hizo necesario el desarrollo de un sistema de medición de succión, capaz de percibir el mínimo cambio de estado (inicio de succión y pausa), así como también analizar los patrones característicos de cada tipo de succión que a simple vista no pueden ser observados por un examinador humano.

## Referencias

- Cañamero, P. I. (2017). *Lactancia Materna para Profesionales Sanitarios*. (I. Editores, Ed.). Retrieved from [https://books.google.com.co/books?id=BhkwDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gb\\_s\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=BhkwDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Costas, M., Santos, S., Godoy, C., & Martell, M. (2006). Patrones de succión en el recién nacido de término y pretérmino. *Revista Chilena de Pediatría*, 77(2), 198–212. <https://doi.org/10.4067/S0370-41062006000200014>
- Grassi, A., Cecchi, F., Guzzetta, A., & Laschi, C. (2015). Sensorized pacifier to quantify the rhythmicity of non-nutritive sucking: A preliminary study on newborns. *Sensorized Pacifier to Quantify the Rhythmicity of Non-Nutritive Sucking: A Preliminary Study on Newborns*, 7398–7401. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7320101>
- Ministerio de Salud. (2018). *Cambio Para Construir La Paz Guia De Atencion Del Bajo Peso Al Nacer*. Retrieved from [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/13Atencion del Bajo peso.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/13Atencion%20del%20Bajo%20peso.pdf)
- Organización Mundial de la Salud, O. (2017). Reducción de la mortalidad en la niñez. Retrieved July 14, 2018, from <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/children-reducing-mortality>
- Poore, M., Zimmerman, E., Barlow, S. M., Wang, J., & Gu, F. (2008). Patterned orocutaneous therapy improves sucking and oral feeding in preterm infants. *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*, 97(7), 920–927. <https://doi.org/10.1111/j.1651-2227.2008.00825.x>
- Renault, F. (2012). Trastornos de la succión-deglución del recién nacido y el lactante. *EMC - Pediatría*, 47(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/S1245-1789\(12\)61048-8](https://doi.org/10.1016/S1245-1789(12)61048-8)
- Rendón, M., & Serrano, G. (2011). Physiology of nutritive sucking in newborns and infants. *Bol. Med. Hosp. Infant. Mex*, 68(4), 319–327.
- Stavros, A., & Tuesta, Y. (2009). Diseño de un estimulador para generar la succión en recién nacidos prematuros.
- Taffoni, F., Tamilia, E., Palminteri, M. R., Schena, E., Formica, D., Delafield-Butt, J., ... Guglielmelli, E. (2013). Ecological Sucking Monitoring of Newborns. *IEEE Sensors Journal*, 13(11), 4561–4568. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2013.2271585>
- Zarem, C., Kidokoro, H., Neil, J., Wallendorf, M., Inder, T., & Pineda, R. (2013). Psychometrics of the neonatal oral motor assessment scale. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 55(12), 1115–1120. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12202>





## Estudio comparativo de métodos para el reconocimiento frecuencial de señales de EEG relacionadas a potenciales evocados visuales en estado estacionario

### Autores

#### **Cristian Felipe Blanco Díaz**

Estudiante de Ingeniería Biomédica.

*Correo electrónico: cblanco88@uan.edu.co*

#### **Andrés Felipe Ruiz Olaya**

Profesor asociado, Universidad Antonio Nariño,

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

*Correo electrónico: andresru@uan.edu.co*

**Institución:** Universidad Antonio Nariño.

**Palabras clave:** electroencefalografía, BCI, SSVEP, CCA, SED.

### Problema a resolver

Uno de los paradigmas que se utiliza en las interfaces cerebro-computador (BCI) se relaciona con los potenciales evocados visuales en estado estacionario (SSVEP), cuya respuesta a nivel cerebral aparece principalmente en la corteza visual, la cual se ubica en la región occipital del cerebro cuando, al usuario, se le presentan estímulos visuales de diferentes frecuencias. Un reto de los sistemas BCI en tiempo real es identificar la intención del usuario en un tiempo corto, a partir del análisis de un segmento de datos, algunos de los métodos base para el reconocimiento de estas frecuencias son el análisis espectral de energía (SED) y el análisis de correlación canónica (CCA). No obstante, para la implementación de un sistema BCI-SSVEP en tiempo real los métodos utilizados así como sus variaciones todavía son motivo de estudio. En la actualidad existen algunos estudios que intentan resolver la cuestión sobre cuál es el método más preciso para el reconocimiento de frecuencias de los SSVEP, en un sistema *online* el tiempo es un parámetro importante a tener en cuenta. Por tal motivo, en este estudio se realizó un análisis entre dos métodos de reconocimiento de frecuencias de SSVEP en ciertas ventanas de tiempo para determinar una relación precisión vs tiempo con el fin de desarrollar en trabajos futuros estos resultados para la implementación de un sistema BCI en tiempo real.



## Contexto del estudio

Según el último reporte de discapacidad de la Organización Mundial de la Salud (OMS) aproximadamente el 15.6% de la población mundial sufre de algún tipo de discapacidad (Chan, 2011) y en Colombia esta cifra alcanza el 6.3% de la población nacional (Gómez, 2008). Por esta razón, en los últimos años la Ingeniería de Rehabilitación ha buscado alternativas que permitan mejorar la calidad de vida de esta población, entre ellas se encuentran las tecnologías relacionadas a interfaces Cerebro-Computador (BCI) que permite el control del entorno o comunicación sin necesidad de usar el sistema nervioso periférico. Aun así estos sistemas no pueden leer la mente, por tal motivo se han desarrollado técnicas que permitan la identificación de la intención del usuario, en su mayoría se usan señales de electroencefalografía (EEG), debido a que permiten identificar comportamientos eléctricos de una forma no-invasiva, usando el estándar 10-20 (Baura, 2011).

Los potenciales evocados se encuentran relacionados con la fase de la señal y aparecen cuando al usuario se le presentan estímulos continuos, por otro lado, los potenciales inducidos están relacionados a la amplitud de la señal y aparecen cuando al usuario se le presentan estímulos discretos. Entre los potenciales evocados más utilizados en la literatura se encuentran los potenciales evocados visuales en estado estacionario (SSVEP), estos se registran en la parte occipital de la corteza cerebral cuando al usuario se le presentan estímulos visuales a una frecuencia superior a 6 Hz, generando una respuesta oscilatoria con frecuencia fundamental que es igual a la misma del estímulo (Zhu, Bieger, Garcia, & Aartz, 2014).

Las etapas para el diseño de un sistema BCI-SSVEP se pueden clasificar en cinco (5) principales: Adquisición, procesamiento de la señal, extracción de características, clasificación y aplicación. En las dos primeras etapas se adquieren los datos por medio de electrodos no invasivos implementando diferentes métodos de rechazo de ruidos externos producido por campos magnéticos, la red local y ruidos internos producidos por parpadeos, movimientos musculares, pensamientos, entre otros. En la tercera etapa existen diversos métodos matemáticos para la extracción de características, entre los más usados se encuentra el análisis de densidad espectral de energía (SED) y el análisis de correlación canónica (CCA) (Hakvoort, Reuderink, & Obbink, 2011). La clasificación generalmente se realiza por respuesta más significativa, teniendo en cuenta la señal con mayor SED y el CCA más alto, como la correspondiente al estímulo. Posterior a la clasificación, en la etapa final se usan los resultados de las fases anteriores para reconocer la intención y, con ello, realizar alguna acción deseada, como control de dispositivos externos (Gao, Zhai, Lu, & Tian, 2018) o entornos virtuales (Liu, Xie, Xie, Duan, Wang, & Obermayer, 2018).

Uno de los objetivos de los sistemas BCI en tiempo real consiste en la identificación de la intención del usuario de una forma precisa en un tiempo corto, son limitados los estudios que evalúan el comportamiento del sistema en la etapa de reconocimiento y clasificación usando diferentes ventanas o lapsos de tiempo. En este trabajo se realiza un estudio comparativo de los métodos de reconocimiento frecuencial SED y CCA y su comportamiento en ventanas de 1, 2 y 4 segundos, usando el registro de cinco sujetos de prueba durante dos sesiones adquiridas por medio de una base de datos de señales EEG-SSVEP disponible (Lee, y otros, 2019).



## Conclusiones y recomendaciones

Dirigidas a grupos científicos cuyas líneas de investigación se enfocan en el desarrollo de tecnologías de *Brain-Computer Interface*, que puedan usar los resultados de esta investigación para la implementación de un sistema BCI-SSVEP en tiempo real que funcione de una forma precisa en un tiempo corto.

- En este estudio se realiza un estudio comparativo de los métodos CCA y SED para el reconocimiento de frecuencias de los potenciales evocados visuales en estado estacionario (SSVEP). Para esto inicialmente se usa una base de datos abierta al público (Lee, y otros, 2019) con cinco sujetos de prueba, a los cuales se les presentan 4 estímulos en transiciones aleatorias con frecuencias fundamentales de 5.45 Hz, 6.67 Hz, 8.5 Hz y 12 Hz. En el dominio de la frecuencia usando como referencia 3 canales de la región occipital del cerebro teniendo en cuenta el estándar internacional 10-20, Oz, O1 y O2, se observan picos de gran amplitud en las frecuencias de los estímulos visuales y en sus armónicos. Por tal motivo, para la identificación del estímulo que el usuario se está enfocando (de acuerdo con la frecuencia del estímulo), se usan los métodos de análisis de densidad espectral de energía (SED) y el análisis de correlación canónica (CCA).
- El CCA consiste en la comparación de dos señales cuya correlación se refleja en un índice con valores entre 0 y 1, donde 1 significa una igualdad y 0 indica que no existe ningún tipo de correlación. La señal de referencia en este caso corresponde al espectro en frecuencia de señales sinusoidales cuyas frecuencias fundamentales corresponden a las mismas utilizadas para el parpadeo de los estímulos presentados.

$$y(t) = \sin(2\pi ft) \begin{cases} f = 12 \text{ Hz} \\ f = 8.57 \text{ Hz} \\ f = 6.65 \text{ Hz} \\ f = 5.45 \text{ Hz} \end{cases} \quad (1)$$

El análisis SED se realiza implementando filtros pasa-banda entre las frecuencias de interés (estímulos) y calculando la energía total de la señal.

$$E = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |X(\omega)|^2 d\omega \quad (2)$$

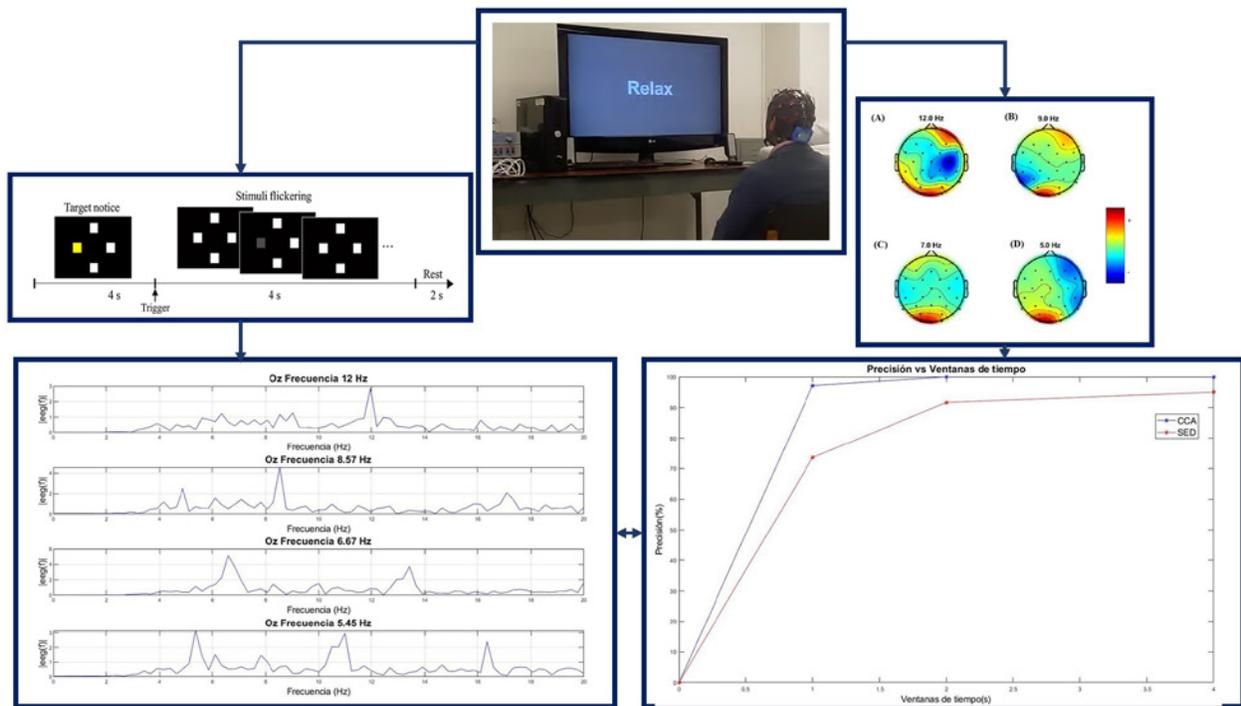
La identificación del estímulo se realiza según el método. Con el CCA el segmento de datos correspondiente a un estímulo en el dominio de la frecuencia que tenga el índice de correlación más alto respecto a las señales de referencia de (1), se clasifica como el estímulo parpadeante al cual el sujeto de pruebas estaba observando en ese momento. En el análisis SED aquella componente de frecuencia que tenga la mayor cantidad de energía según (2), se identifica como el estímulo al cual el sujeto estaba observando en ese instante de tiempo.



Teniendo en cuenta lo anterior el sistema se evalúa en diferentes instantes de tiempo, usando los datos correspondientes a ventanas de 1, 2 y 4 segundos, validando el comportamiento según la precisión en el reconocimiento de frecuencias acertadas.

$$Accuracy(\%) = \frac{\# \text{ de aciertos en el reconocimiento de frecuencias}}{\text{Total estímulos}} \quad (3)$$

Se obtienen precisiones de 73,57%, 91,67 % y 95% respectivamente para el método SED y 97,14%, 100% y 100% respectivamente para el método CCA. El método CCA obtuvo el mejor resultado, con una ventana de 2 segundos. Lo que indica unos parámetros base para en estudios futuros implementar un sistema BCI-SSVEP en tiempo real



**Figura 1.** Resultados de reconocimiento de frecuencias EEG.



## Referencias

- Baura, G. (2011). *Medical device technologies: a system-based overview using engineering standards*. Cambridge: Academic Press.
- Chan, M. (2011). *Organización mundial de la salud*. Recuperado el 7 de octubre de 2019, de [https://www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/es/](https://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/).
- Gao, N., Zhai, W., Lu, J., & Tian, Y. (2018). Intelligent wheelchair research based on SSVEP brain-computer interface. *International Conference on Biological Information and Biomedical Engineering*. Shanghai.
- Gómez, J. (2008). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)*. Recuperado el 7 de Octubre de 2019, de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por->
- Hakvoort, G., Reuderink, B., & Obbink, M. (2011). *Comparison of PSDA and CCA detection methods in a SSVEP-based BCI-system*. Technical report TR-CTIT-11-03.
- Lee, M. H., Kwon, O. Y., Kim, Y. J., Kim, H. K., Lee, Y. E., Williamson, J., y otros. (2019). "EEG dataset and openBMI toolbox for three BCI paradigms: an investigation into BCI illiteracy. *GigaScience*, 1-16.
- Liu, C., Xie, S., Xie, X., Duan, X., Wang, W., & Obermayer, K. (2018). Design of a video feedback SSVEP-BCI system for car control based on improved MUSIC method. *6th International conference on Brain-Computer Interface (BCI)*. GangWon.
- Zhu, D., Bieger, J., Garcia, G., & Aartz, R. M. (2014). A survey of stimulation methods used in SSVEP-based BCIs. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1-12.





## Estudio del efecto del pH sobre la síntesis biológica de nanopartículas de cobre u óxidos de cobre

### Autores

**Laura Daniela Gil Gómez**

Bachiller.

*Correo electrónico: ldaniela.gil@udea.edu.co*

**Simón García Mora**

Bachiller.

*Correo electrónico: simon.garciam@udea.edu.co*

**Jerónimo Osorio Echavarría**

Bioingeniero.

*Correo electrónico: jeronimo.osorio@udea.edu.co*

**Ana María Torres López**

Doctora en Ciencias Médicas.

*Correo electrónico: maria.torres@udea.edu.co*

**Institución:** Universidad de Antioquia.

**Palabras clave:** síntesis biológica, nanopartículas, cobre, óxidos de cobre, pH.

### Problema a resolver

Actualmente las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS) afectan considerablemente la calidad de vida de los pacientes y representan un problema de salud pública que genera grandes costos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) calcula que las IAAS generan un costo de 1.000 millones de libras por año en Inglaterra, en Estados Unidos la cifra es de entre 4.500 millones y 5.700 millones de dólares, y en México el costo se aproxima a los 1.500 millones de pesos mexicanos (Organización Mundial de la Salud, 2013). En el año 2009, la inversión total para el manejo de pacientes con IAAS en Colombia, alcanzó los 727 millones de pesos (Minsalud, 2009).

Estas infecciones normalmente están asociadas a microorganismos resistentes a sustancias antimicrobianas, por lo que los tratamientos convencionales resultan ineficaces (Organización Mundial de la Salud, 2013); y en consecuencia, su manejo resulta complejo y representa un riesgo y una amenaza a la salud, razón por la cual resulta importante encontrar nuevos mecanismos para su prevención y tratamiento. En este sentido, se ha encontrado que las nanopartículas metálicas y óxidos de metal pueden ser consideradas una buena alternativa para el control de este tipo microorganismos resistentes (Chatterjee, Chakraborty, & Basu, 2014),



(Niño-Martínez, Salas-Orozco, Martínez-Castañón, Torres-Méndez, & Ruiz, 2019). En el caso de las nanopartículas de cobre y óxidos de cobre, se ha reportado su capacidad para inhibir el crecimiento de cepas resistentes como *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* (Román et al., 2017), (Mahmoodi, Elmi, & Hallaj-Nezhadi, 2018).

### Contexto del estudio

En los últimos años, el interés en la investigación y producción de nanopartículas metálicas ha aumentado significativamente, ya que gracias por sus propiedades magnéticas y ópticas, actividad antimicrobiana, anticancerígena y catalítica y su gran relación superficie/volumen, estos nanomateriales pueden ser empleados en una amplia gama de aplicaciones (Shah, Fawcett, Sharma, Tripathy, & Poinern, 2015). En el campo biomédico, se están aprovechando principalmente las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas para la fabricación de textiles antimicrobianos (Kashid, Lakkakula, Chauhan, Srivastava, & Raut, 2017), desarrollo de nanocompuestos poliméricos para uso dental (Cheng et al., 2012), enjuagues bucales (Abadi et al., 2013), entre otras aplicaciones.

Entre las nanopartículas metálicas más utilizadas se encuentran las nanopartículas de oro, plata y cobre. Las nanopartículas de cobre y óxidos de cobre presentan como ventajas un menor costo, facilidad de mezcla con polímeros para formar composites y mayor estabilidad fisicoquímica (Longano et al., 2012).

Para la obtención de nanopartículas se dispone de métodos físicos, químicos o biológicos (Din & Rehan, 2017). En la síntesis biológica se emplean biomoléculas derivadas de plantas, bacterias y hongos, las cuales sirven como agente reductor en la reacción de oxidación que da paso a la síntesis de nanopartículas; este método representa ventajas como la eliminación de sustancias químicas tóxicas y disminución de consumo de energía (Shah et al., 2015), (Das et al., 2017).

En la síntesis biológica de nanopartículas de cobre y óxidos de cobre se ha utilizado, entre otros, el extracto de hoja de magnolia (Lee et al., 2011) y aloe vera (Kumar, Shameem, Kollu, Kalyani, & Pammi, 2015), bacterias como *Pseudomonas fluorescens* (Shantkriti & Rani, 2014) y diferentes especies del hongo *Penicillium* (Honary, Barabadi, Gharaei-Fathabad, & Naghibi, 2012). De otro lado, Cuevas et al., (2015) reportaron el uso de *Stereum hirsutum*, un hongo de la pudrición blanca, para la producción de este tipo de nanopartículas, evaluando diferentes pH y sales de cobre (cloruro de cobre, sulfato de cobre y nitrato de cobre). En dicho estudio, la formación de nanopartículas se evaluó mediante espectroscopía UV-Vis, microscopía electrónica de barrido (TEM), análisis de difracción de rayos X (XRD) y espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). En presencia de cloruro de cobre 5 mM a pH alcalino se encontró una mayor biosíntesis de nanopartículas; para estas condiciones, en el espectro UV-Vis se observó un fuerte ensanchamiento de la resonancia del plasmón entre 590 a 650 nm y el pico máximo se obtuvo a 620 nm, indicando la biosíntesis de nanopartículas de óxido de cobre con un tamaño de partícula entre 5-20 nm, lo cual fue confirmado con TEM; por su parte, mediante el análisis FTIR se comprobó la presencia de grupos amina unidos a las nanopartículas, lo que sugiere que la proteína extracelular del hongo es responsable de la formación de las nanopartículas. En general, se ha reportado que las nanopartículas de cobre muestran un pico de plasmón

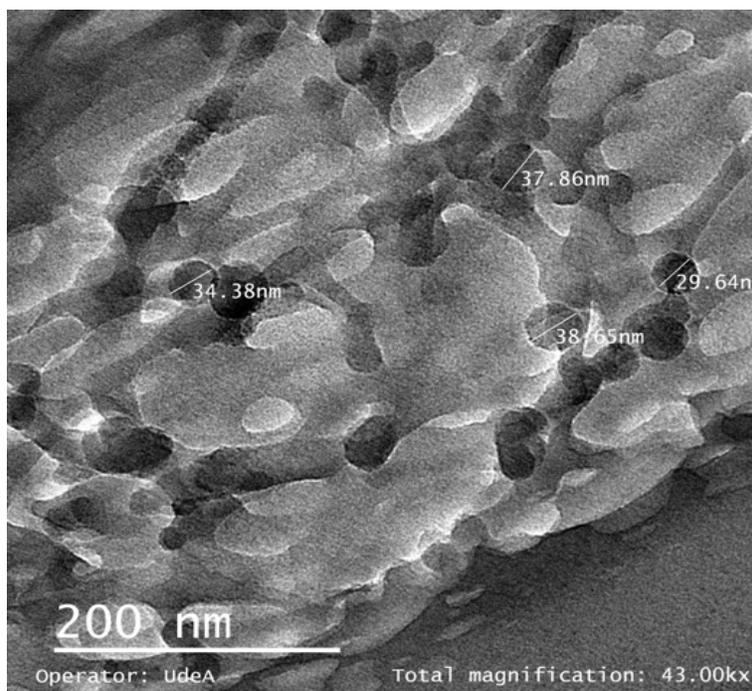


superficial en 580-590 nm (Soomro et al., 2014); sin embargo, puede producirse un corrimiento hacia el rojo entre 590 y 800 nm, que son picos de absorción característicos de las nanopartículas de óxido cuproso (Banerjee & Chakravorty, 2000).

### Conclusiones y recomendaciones

Dirigidas a comunidad científica interesada en la obtención y aplicación de nanopartículas metálicas.

- Dado que los resultados obtenidos constituyen una primera evaluación de la síntesis de nanopartículas de cobre y óxidos de cobre, empleando el extracto obtenido del cultivo del hongo *Phanerochaete chrysosporium*, se abre la posibilidad de realizar más investigaciones orientadas a estudiar el efecto de las condiciones de síntesis sobre las propiedades de estas nanopartículas para evaluar posteriormente su aplicación.



**Imagen 1.** Imagen TEM de nanopartículas de óxido de cobre obtenidas por síntesis biológica.  
Fuente: imagen propia, tomada en el Centro de Microscopía Avanzada,  
Universidad de Antioquia, Equipo: Microscopio Tecnai G2 F20 de FEI



## Referencias

- Abadi, M. F. D., Mehrabian, S., Asghari, B., Namvar, A. E., Ezzatifar, F., & Lari, A. R. (2013). Silver nanoparticles as active ingredient used for alcohol-free mouthwash. *GMS Hygiene and Infection Control*, 8(1), Doc05. <https://doi.org/10.3205/dgkh000205>
- Banerjee, S., & Chakravorty, D. (2000). Optical absorption by nanoparticles of Cu<sub>2</sub>O. *Europhysics Letters*, 52(4), 468. <https://doi.org/10.1209/epl/i2000-00461-5>
- Chatterjee, A. K., Chakraborty, R., & Basu, T. (2014). Mechanism of antibacterial activity of copper nanoparticles. *Nanotechnology*, 25(13), 135101. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/25/13/135101>
- Cheng, L., Weir, M. D., Xu, H. H. K., Antonucci, J. M., Kraigsley, A. M., Lin, N. J., ... Zhou, X. (2012). Antibacterial amorphous calcium phosphate nanocomposites with a quaternary ammonium dimethacrylate and silver nanoparticles. *Dental Materials*, 28(5), 561–572. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.01.005>
- Cuevas, R., Durán, N., Diez, M. C., Tortella, G. R., & Rubilar, O. (2015). Extracellular biosynthesis of copper and copper oxide nanoparticles by *Stereum hirsutum*, a native white-rot fungus from Chilean forests. *Journal of Nanomaterials*, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2015/789089>
- Das, R. K., Pachapur, V. L., Lonappan, L., Naghdi, M., Pulicharla, R., Maiti, S., ... Brar, S. K. (2017). Biological synthesis of metallic nanoparticles: plants, animals and microbial aspects. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 2, 18. <https://doi.org/10.1007/s41204-017-0029-4>
- Din, M. I., & Rehan, R. (2017). Synthesis, Characterization, and Applications of Copper Nanoparticles. *Analytical Letters*, 50(1), 50–62. <https://doi.org/10.1080/00032719.2016.1172081>
- Honary, S., Barabadi, H., Gharaei-Fathabad, E., & Naghibi, F. (2012). Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Penicillium aurantiogriseum*, *Penicillium citrinum* and *Penicillium waksmanii*. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 7(3), 999–1005.
- Kashid, S. B., Lakkakula, J. R., Chauhan, D. S., Srivastava, R., & Raut, R. W. (2017). Biocompatible antimicrobial cotton fibres for healthcare industries: A biogenic approach for synthesis of bio-organic-coated silver nanoparticles. *IET Nanobiotechnology*, 11(8), 1046–1051. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2017.0077>
- Kumar, P. P. N. V., Shameem, U., Kollu, P., Kalyani, R. L., & Pammi, S. V. N. (2015). Green Synthesis of Copper Oxide Nanoparticles Using Aloe vera Leaf Extract and Its Antibacterial Activity Against Fish Bacterial Pathogens. *BioNanoScience*, 5(3), 135–139. <https://doi.org/10.1007/s12668-015-0171-z>
- Lee, H. J., Lee, G., Jang, N. R., Yun, J. H., Song, J. Y., & Kim, B. S. (2011). Biological synthesis of copper nanoparticles using plant extract. In *Technical Proceedings of the 2011 NSTI Nanotechnology Conference and Expo, NSTI-Nanotech 2011*.
- Longano, D., Ditaranto, N., Cioffi, N., Di Niso, F., Sibillano, T., Ancona, A., ... Torsi, L. (2012). Analytical characterization of laser-generated copper nanoparticles for antibacterial composite food packaging. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 403(4), 1179–1186. <https://doi.org/10.1007/s00216-011-5689-5>



- Mahmoodi, S., Elmi, A., & Hallaj-Nezhadi, S. (2018). Copper Nanoparticles as Antibacterial Agents. *J. Mol. Pharm. Org. Process Res.*, 6(1), 140.
- Ministerio de Salud de Colombia. (2009). Guía técnica “Buenas practicas para la seguridad del paciente en la atencion en salud”. Detectar, prevenir y reducir infecciones asociadas con la atencion en salud. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/CA/Detectar-Infecciones.pdf>
- Niño-Martínez, N., Salas-Orozco, M. F., Martínez-Castañón, G. A., Torres-Méndez, F., & Ruiz, F. (2019). Molecular Mechanisms of Bacterial Resistance to Metal and Metal Oxide Nanoparticles. *Int. J. Mol. Sci.*, 20(11).
- Organización Mundial de la Salud. (2013). Una atención limpia es una atención más segura. <https://www.who.int/gpsc/background/es/>
- Román, L., Castro, F., Maúrtua, D., Condori, C., Vivas, D., Bianchi, A. E., ... Gómez, M. M. (2017). Nanopartículas de CuO y su propiedad antimicrobiana en cepas intrahospitalarias. *Rev. Colomb. Quím.*, 46(3), 28–36.
- Shah, M., Fawcett, D., Sharma, S., Tripathy, S. K., & Poinern, G. E. J. (2015). Green synthesis of metallic nanoparticles via biological entities. *Materials*, 8(11), 7278–7308. <https://doi.org/10.3390/ma8115377>
- Shantkriti, S., & Rani, P. (2014). Biological synthesis of Copper nanoparticles using *Pseudomonas fluorescens*. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(9), 374–383.
- Soomro, R. A., Hussain Sherazi, S. T., Sirajuddin, Memon, N., Shah, M. R., Kalwar, N. H., ... Shah, A. (2014). Synthesis of air stable copper nanoparticles and their use in catalysis. *Advanced Materials Letters*, 5(4), 191–198. <https://doi.org/10.5185/amlett.2013.8541>





## Evaluación de operatividad y calidad de imagen de equipos de mamografía

### Autores

**César Yegros**

Docente Investigador.

*Correo electrónico: cyegros@pol.una.py*

**José Núñez**

Docente Investigador.

*Correo electrónico: josenu85@gmail.com*

**César Sosa**

Investigador en formación.

*Correo electrónico: csarsosa89@gmail.com*

**Carlos Veloso**

Investigador en formación.

*Correo electrónico: carlosvelosof@gmail.com*

**Institución:** Universidad Nacional de Asunción, Facultad Politécnica.

**Palabras clave:** Mamografía; Cáncer de Mamas; Control de Calidad.

### Problema a resolver

La investigación se basa en obtener una verificación de aquellos equipos médicos basados en el principio de la radiación ionizante, en este caso equipos para mamografía. Dicha verificación se hará mediante medidores de parámetros físicos del tubo emisor del mamógrafo y el desarrollo de un prototipo de medición de parámetros como la distancia, angulación y presión del cabezal, en donde se puedan integrar todos los datos medidos y verificarlos a través de la elaboración de una lista de cotejo o *check list*, con las condiciones necesarias para realizarlas mediciones, basadas en la norma de Control de Calidad en Mamografía IAEA-TECDOC-1517.

Estas evaluaciones para el control de calidad de los equipos son fundamentales para la correcta adquisición de imágenes médicas y consecuentemente obtener un correcto diagnóstico.

Este proyecto se basa en obtener estas evaluaciones de forma rápida e inalámbrica, mediante los módulos de medición, los cuales integren la electrónica correspondiente y teniendo en cuenta la seguridad respecto a las radiaciones ionizantes, todo esto en conjunto con una lista de verificación basada en normas internacionales enmarcadas dentro de las directivas del Organismo Internacional de Energía Atómica.



El módulo de medición -al ser inalámbrico- ayuda para que la toma de medidas no tenga que realizarse con el personal de medición cerca del tubo, reduciendo las posibles exposiciones, lo que resultaría en una mayor seguridad para los involucrados en el desarrollo de las pruebas de control.

Uno de los beneficios de tener un programa de control es la reducción de la exposición innecesaria a la radiación al paciente o al técnico encargado de evaluar estos parámetros. Un programa de garantía mejorará la eficiencia de las prestaciones de servicios, resultando en una mayor satisfacción al paciente. En general, la instalación se beneficiará en el logro de mejorar la calidad de la imagen y una mayor coherencia de la producción de la imagen, la fiabilidad, la eficiencia y el costo-efectividad del uso de equipos.

### Contexto del estudio

Según la OMS, cada año hay 1,38 millones de casos nuevos y 458.000 muertes por cáncer de mama; siendo este el más frecuente en las mujeres. La mayoría de las muertes (269.000) ocurren en países de ingresos bajos y medios, donde se diagnostica en etapas avanzadas debido a obstáculos para acceder a equipamientos y servicios de salud. Así también, las estadísticas proveídas por el Instituto Nacional del Cáncer (INCAN), centro de referencia en atención oncológica en Paraguay, evidencian el creciente aumento de casos de cáncer de mamas en mujeres paraguayas, teniendo 294 nuevos casos en el 2011, hasta 475 nuevos casos en octubre del 2017.

Siendo la mamografía el principal método de detección temprana de esta enfermedad, se requiere que las mismas sean confiables para establecer un correcto diagnóstico.

La detección precoz del cáncer de mamas favorecerá un tratamiento más efectivo y la disminución de la mortalidad. La mamografía de rayos X ha demostrado ser un método simple y preciso para detectar el cáncer de mama, aunque no es fácil llevarla a cabo.

El cáncer de mama es una enfermedad donde interviene una proliferación de células malignas a través de los lobulillos o conductos de la mama. Es actualmente el cáncer de mayor mortalidad a nivel mundial. En Paraguay, se ha observado el aumento de casos, llegando al punto de duplicarse en los últimos años, según los datos estadísticos proveídos por el Instituto Nacional del Cáncer (INCAN).

Los datos epidemiológicos recabados denotan un patrón similar en cuanto a la causa de los principales factores de riesgo, que están determinados por la exposición prolongada a los estrógenos, factores ambientales, genéticos, o el mismo sistema endocrino.

La detección del cáncer en las mamas se encuentra limitado a la autoexploración, este es un método donde se realiza la observación y palpación de las mamas para determinar si existen cambios físicos, además del examen clínico y la mamografía, que estima un diagnóstico temprano antes que se presenten síntomas cuando sea más tratable.

La mamografía es un estudio de diagnóstico médico realizado mediante la toma de una imagen radiográfica, es decir, con el método de los rayos X directamente sobre las mamas a una baja dosis de radiación. Este estudio es el más relevante para la detección temprana de enfermedades provenientes de las mamas.



Los rayos X están relacionadas con las ondas electromagnéticas, estas se clasifican dependiendo de la amplitud de energía en el tiempo. La producción de los rayos x está determinada por la aceleración de los electrones dentro de un tubo de vacío, estos a su vez se estrellan en un blanco determinado y el resultado de ese impacto genera la emisión de rayos x.

Considerando que la adquisición de los datos para su posterior utilización en el tratamiento de un correcto diagnóstico depende no sólo de la pericia del operador técnico radiólogo, sino también de la calidad del equipamiento, es de suma importancia que este sea acorde a los requerimientos técnicos necesarios para evitar un diagnóstico erróneo.

El control del equipo de mamografía se basa en obtener valores referenciados a través del mismo equipo para luego ser comparados con los valores obtenidos por los sensores electrónicos del prototipo, en conjunto con un medidor de radiación, que están relacionados entre sí por un computador principal, en donde se visualizan los parámetros que se requieren medir, todos estos parámetros están asignados por etapa.

La metodología para obtener los parámetros requeridos estará regida por el protocolo IAEA-TECDOC-1517. En esta norma se detallan los procedimientos necesarios para una correcta adquisición de los parámetros que se desean medir.

### Conclusiones y recomendaciones

- Esta investigación se encuentra enfocada a una población mayoritariamente femenina, aunque es sabido que esto no se encuentra sólo supeditada a esta población, sino también a la masculina.
- Según datos estadísticos, Paraguay posee una población de 7.053.000 habitantes, en 2018 la población masculina había sido mayoritaria de aproximadamente con 3.527.233 hombres, lo que supone el 50,71% del total, frente a las 3.428.838 mujeres que son el 49,29%. De acuerdo con la población femenina se estima que existe una población aproximada del 50% del total que se encuentra en edad de realizarse una mamografía, esto tomando en cuenta la correspondencia de acuerdo con el tamizaje correspondiente.
- En la actualidad existen dos tipos de exploración mamográfica.
  1. La mamografía de diagnóstico, generalmente realizada a personas que presentan los siguientes factores de riesgo:
    - Edad: a mayor edad, mayor riesgo.
    - Historia familiar: madre o hermana que hayan padecido cáncer de mama.
    - Genética: la presencia de los genes BRCA1 o BRCA2.
    - Menstruación: comienzo antes de los 12 años.
    - Menopausia: comienzo después de los 55 años
    - Prolongado uso de estrógenos.
    - Edad avanzada cuando se tiene el primer hijo o no tenerlos.



En este tipo de muestra mamográfica se requiere la imagen dos o tres proyecciones.

- La mamografía de detección o de tamizaje se realiza a mujeres que no presentan factores de riesgo, esto mediante un protocolo de dos proyecciones, normalmente la oblicua lateral media y la craneocaudal, esto para determinar o detectar un cáncer no sospechado. En la siguiente tabla se determinan los intervalos recomendados para realizar una autoexploración de mama y una mamografía de exploración.

**Tabla 1. Intervalos recomendados**

Exploración	Edad de la Paciente		
	<40 años	40-49 años	>= 50 años
Autoexploración	Mensual*	Mensual	Mensual
Exploración Física médica	Anual	Anual	Anual
Mamografía de rayos X			
Riesgo alto	Referencia	Anual	Anual
Riesgo bajo	Referencia	Bianual	Anual

Fuente: elaboración propia

- La American Cancer Society recomienda una exploración de mama anual realizada por un médico y un mamograma referencia. Un mamograma referencia es la primera exploración radiográfica de las mamas normalmente obtenida antes de cumplir los 40 años. Los radiólogos lo utilizarán para compararlo con futuros mamogramas.

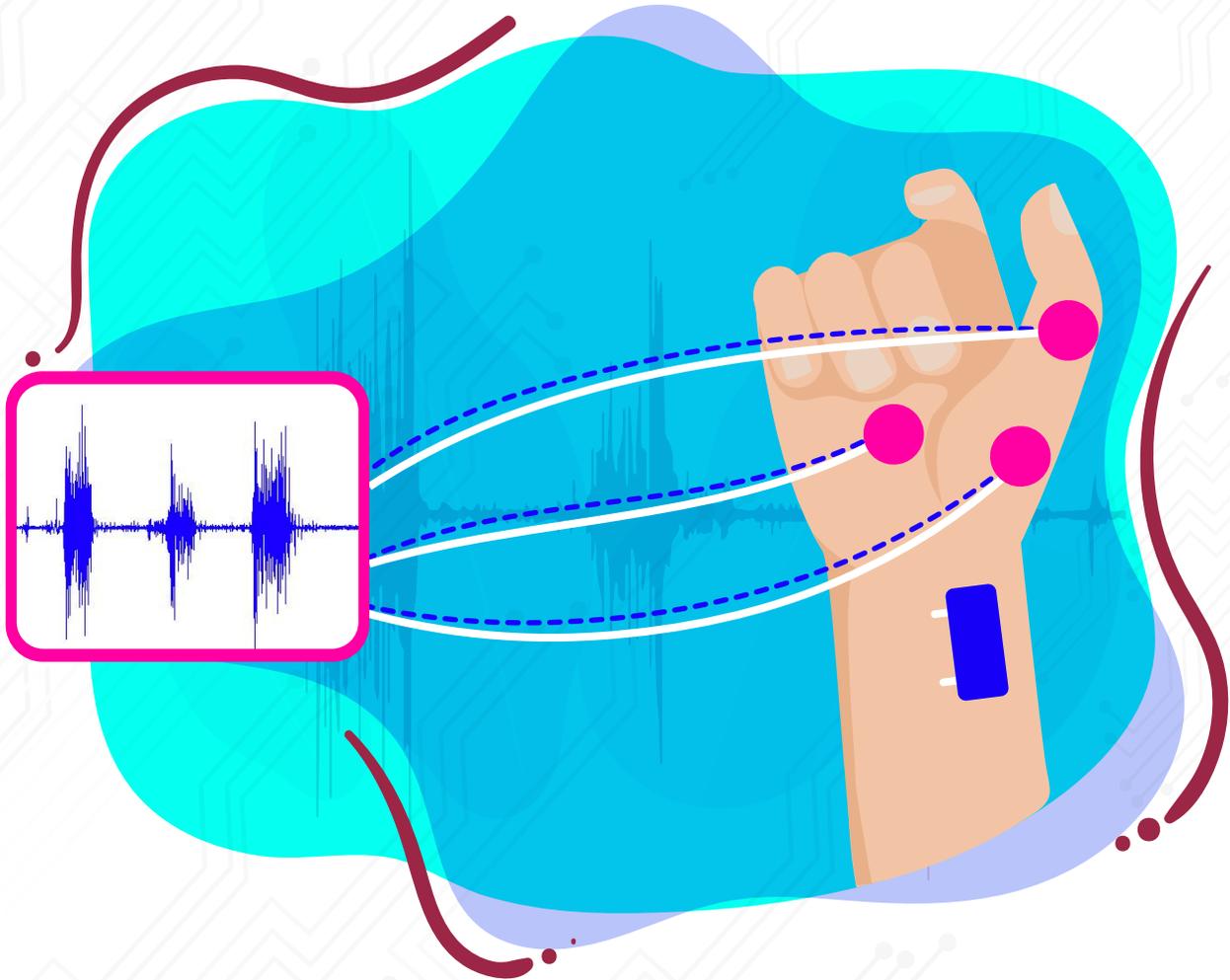
LISTA DE CHEQUEO PARA EQUIPOS DE MAMOGRAFÍA	
Nº INFORME:	FECHA:
ESTABLECIMIENTO:	DPTO./SERV.:
TIPO DE CONTROL:	EVALUADOR:
MARCA:	
MODELO:	
SERIE Nº:	
PATRIMONIO Nº:	
TUBO DE RAYOS X	MARCA:
	MODELO:
	Nº DE SERIE:
MATERIAL DEL ÁNODO (MATERIAL POSIBLE)	Mo ( ) Rh ( ) W ( )
MATERIAL DEL FILTRO (TIPOS POSIBLES)	Mo ( ) Rh ( ) W ( ) Al ( )
CONTROL AUTOMÁTICO DE EXPOSICIÓN (SI/NO)	SI ( ) NO ( )
SELECCIÓN AUTOMÁTICA DE mA, kV, ÁNODO/FILTRO	SI ( ) NO ( )
DISTANCIA FOCO-PELICULA	
DISTANCIA FOCO-PELICULA MEDIDA (cm)	
DISTANCIA FOCO-PELICULA DE REFERENCIA (cm)	
CONFORME CON EL RESULTADO SI/NO:	
CALIDAD DEL HAZ	
mAs	
TAMAÑO DEL FOCO	
ÁNODO/FILTRO	
COMPRESOR	SI ( ) NO ( )
VALOR DE TENSIÓN (kV) NOMINAL SELECCIONADO	1 2 3 4 5
VALOR DE TENSIÓN (kV) MEDIDO	
$Desviación(\%) = 100 * \frac{U_{medido} - U_{no\ min.\ al}}{U_{no\ min.\ al}}$	
VALOR DE LA DESVIACIÓN (n)	
CONFORME CON EL RESULTADO SI/NO:	
REPETIBILIDAD	
28kV	
DESVIACIÓN MÁXIMA (n)-	
$DESVIACIÓN MÁXIMA (n) = 100 * \frac{\sum U}{U_{promedio}}$	
CONFORME CON EL RESULTADO SI/NO:	
TIEMPO DE EXPOSICIÓN	
CONDICIONES DE REFERENCIA	
ÁNODO/FILTRO	MO/MO
TENSIÓN (kV)	28
TAMAÑO DEL FOCO	
EL EQUIPO TIENE INDICADOR DE TIEMPO DE DESPARO	SI ( ) NO ( )
TIEMPO NOMINAL SELECCIONADO t(mseg.)	
TIEMPO MEDIDO (mseg.)	
DESVIACIÓN(n)*	
DESVIACIÓN MÁXIMA(n)	
$Desviación(\%) = 100 * \frac{U_{medido} - U_{no\ min.\ al}}{U_{no\ min.\ al}}$	
DESVIACIÓN MÁXIMA (n) = $100 * \frac{\sum U}{U_{promedio}}$	
CONFORME CON EL RESULTADO SI/NO:	

**Figura 1. Hoja de verificación de los principales parámetros físicos a evaluar en mamografías.**



## Referencias

- Alcaraz, M. (2009). Lecciones de Mamografía y sus Técnicas (en línea). Consultado en junio 2018. Disponible en: <https://webs.um.es/mab/miwiki/doku.php?do=show&id=lecciones>
- Bushong, S. (2010). Manual de Radiología para Técnicos. Barcelona: Elsevier.
- Control de Calidad en Mamografía. Protocolo elaborado en el marco de dos proyectos regionales ARCAL/OIEA. OIEA, Viena, 2006. Impreso en OIEA, Viena. (en línea). Consultado el 19 mayo 2018. Disponible en: [http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te\\_1517s\\_web.pdf](http://wwwpub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1517s_web.pdf).
- Datos Macro. La población en Paraguay Aumenta (en línea). Disponible en: <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/paraguay>
- OctubreRosaPy: Cáncer de mamas es el primero en incidencia en mujeres (en línea). Disponible en: <https://www.mspbs.gov.py/portal/13328/octubrerosapy-cancer-de-mama-es-el-primero-en-incidencia-en-mujeres.html>





## Identificación de movimientos de la mano a partir de señales electromiográficas usando *Machine Learning* y *Deep Learning*

### Autores

#### **Jesús Alejandro Alzate Grisales**

Estudiante de Ingeniería Biomédica e Ingeniería Electrónica.

Correo electrónico: [jesus.alzateg@autonoma.edu.co](mailto:jesus.alzateg@autonoma.edu.co)

#### **Alejandro Mora Rubio**

Estudiante de Ingeniería Biomédica e Ingeniería Electrónica.

Correo electrónico: [alejandro.morar@autonoma.edu.co](mailto:alejandro.morar@autonoma.edu.co)

#### **Reinel Tabares Soto**

Magíster en Automatización Industrial.

Correo electrónico: [rtabares@autonoma.edu.co](mailto:rtabares@autonoma.edu.co)

#### **Jorge Iván Padilla Buriticá**

Magíster en Automatización Industrial.

Correo electrónico: [jorgei.padillab@autonoma.edu.co](mailto:jorgei.padillab@autonoma.edu.co)

#### **Simón Orozco Arias**

Ingeniero de Sistemas y Computación.

Correo electrónico: [simon.orozcoa@autonoma.edu.co](mailto:simon.orozcoa@autonoma.edu.co)

**Institución:** Universidad Autónoma de Manizales.

**Palabras clave:** electromiografía (EMG), *Machine Learning*, *Deep Learning*, modelos computacionales.

### Problema a resolver

Las señales electromiográficas (EMG) son generadas por la actividad eléctrica de las fibras del músculo esquelético y nos brindan información acerca de la actividad muscular de una persona. En relación con los movimientos de la mano, la ejecución de cada gesto implica la activación de diferentes combinaciones de músculos del antebrazo generando patrones eléctricos discriminantes, y a partir del análisis de estos patrones de activación muscular, representados en señales EMG, se puede reconocer qué gesto se está llevando a cabo. El objetivo de esta investigación es implementar diferentes modelos computacionales con la capacidad de reconocer qué gesto está ejecutando una persona a partir de las señales electromiográficas, la complejidad de dicha tarea está dada por la aleatoriedad y alta no estacionariedad de este tipo de señales electrofisiológicas, causando que la mayoría de los métodos estadísticos usuales para encontrar patrones o relaciones discriminantes



no sean útiles para su resolución. Debido a esto, se propone la utilización de técnicas de *Machine Learning* y *Deep Learning* para reconocer y diferenciar entre estas señales, con la teoría de que estos modelos puedan encontrar relaciones intrínsecas discriminantes a partir de la información brindada que faciliten la etapa de clasificación.

### Contexto del estudio

Estas señales EMG han sido utilizadas con diversos propósitos por profesionales del área de la salud, como en el diagnóstico de enfermedades y la rehabilitación; y más recientemente, con el auge de técnicas de aprendizaje automático, se ha utilizado en sistemas automáticos para la clasificación de movimientos (Khushaba et al., 2012; Phukan et al., 2019; Yi et al., 2017); el reconocimiento de los potenciales de acción de unidades motoras (MUAP) (Ghofrani, 2018) y el diagnóstico de enfermedades neuromusculares (Benazzouz et al., 2019). Lo anterior ha sido logrado mediante la medición y estudio de las características que puede extraerse a partir de las señales EMG. Este tipo de señales presentan variaciones sutiles entre sujetos, asociadas a diferencias anatómicas y de coordinación motora (Lobov et al., 2018), que son aleatorias y altamente no estacionarias, por lo que es necesario utilizar diferentes técnicas de extracción y selección de características relevantes para series de tiempo, que también sean útiles para el desarrollo de modelos óptimos de inteligencia artificial. Con este fin se han propuesto diferentes técnicas como los modelos autorregresivos (Koçer y Tümer, 2017), medidas de entropía de las señales (Chen et al., 2007) y diferentes características a partir de medidas estadísticas de la amplitud en el dominio del tiempo y de la frecuencia (Phinyomark et al.), en especial, se ha usado la transformada Wavelet que aporta información en el dominio de la frecuencia (altas - bajas) (Wang et al., 2006; Gokgoz y Subasi, 2015, Singh et al., 2015; Subasi et al., 2006; Chu et al., 2007). Luego de la etapa de extracción de características, continúa el proceso con la implementación de modelos computacionales de clasificación; en la rama de ML, aparecen modelos como Support Vector Machine (SVM) (Subasi, 2013; Ziegler et al., 2018; Lucas et al., 2008), K-Nearest Neighbors (KNN) (Khushaba et al., 2012; Ghofrani et al., 2018), Random Forest (RF) (Benazzouz et al., 2019), Decision Tree (DT) (Gokgoz et al., 2015), Rotation Forest (Subasi et al., 2018; Subasi y Yaman, 2020), y modelos más complejos conocidos como Ensemble classifiers (Subasi et al., 2018). Por otro lado, en el campo del DL se han reportado diferentes arquitecturas de las cuales se resaltan las redes neuronales convolucionales (CNN), por ejemplo, Zia Ur Rehman et al., (2018) utilizó una arquitectura que comprende una capa de convolución con 32 filtros, una capa de activación ReLu, una capa MaxPooling, una capa completamente conectada y finalmente una capa softmax de salida con 6 unidades.

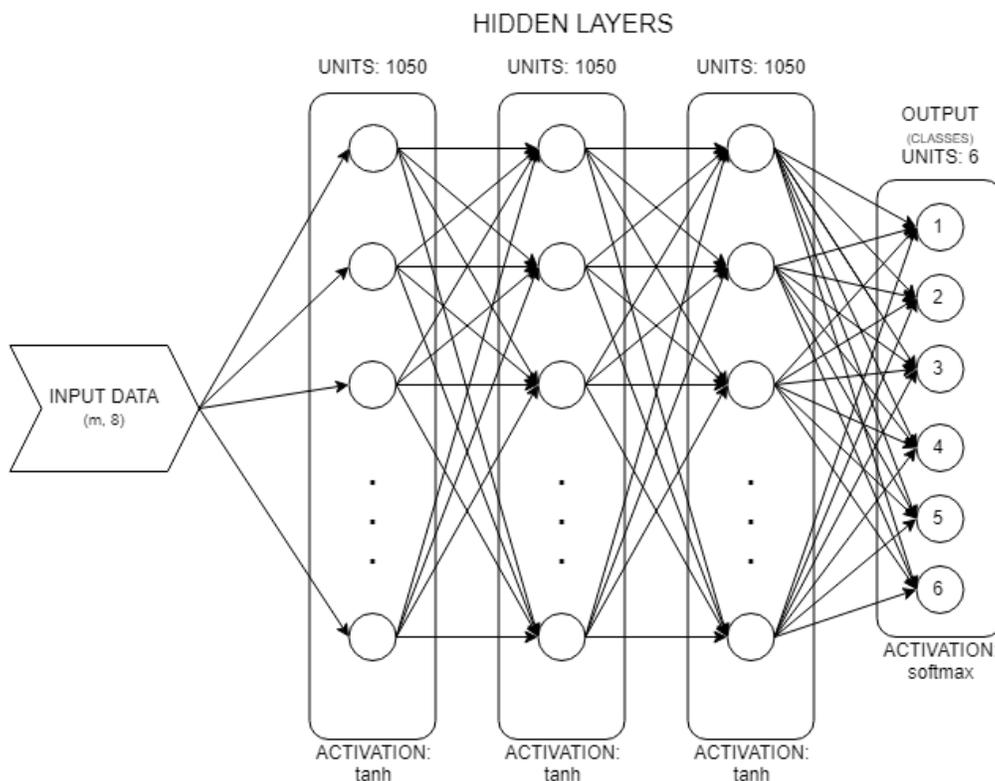
### Conclusiones y recomendaciones

- De acuerdo con la investigación realizada, se recomienda a las personas interesadas en trabajar en tareas de clasificación como esta, explorar los diferentes algoritmos disponibles tanto de *Machine Learning* como de *Deep Learning*. Hasta este momento, estas ramas de la inteligencia artificial siguen siendo muy empíricas, no existe una forma de determinar a ciencia cierta cuál es el mejor modelo o los mejores modelos para cierto tipo de información. De igual manera, la



inteligencia artificial es un área de mucho crecimiento a nivel mundial por lo que existe mucha literatura útil que es necesario consultar al momento de enfrentar un nuevo problema.

- En relación directa con problema abordado en esta investigación, cabe resaltar el hecho de que obtener señales con una buena calidad y con un número apropiado de canales de información es altamente determinante a la hora de tener buenos resultados, un valor agregado a nuestro trabajo fue la posibilidad de tener un alto volumen de información con el cual entrenar y probar nuestros modelos.



**Figura 1.** Arquitectura de la red neuronal completamente conectada que generó los mejores resultados de clasificación (98.69%).

*Fuente: Semillero de Bioinformática e Inteligencia Artificial*



## Referencias

- Benazzouz, A., Guilal, R., Amirouche, F., & Slimane, Z. E. H. (2019, June). EMG Feature Selection for Diagnosis of Neuromuscular Disorders. In *2019 International Conference on Networking and Advanced Systems (ICNAS)* (pp. 1-5). IEEE. Doi: 10.1109/ICNAS.2019.8807862
- Chu, J. U., Moon, I., Lee, Y. J., Kim, S. K., & Mun, M. S. (2007). A supervised feature-projection-based real-time EMG pattern recognition for multifunction myoelectric hand control. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, *12*(3), 282-290.
- Chen, W., Wang, Z., Xie, H., & Yu, W. (2007). Characterization of surface EMG signal based on fuzzy entropy. *IEEE Transactions on neural systems and rehabilitation engineering*, *15*(2), 266-272.
- Gokgoz, E., & Subasi, A. (2015). Comparison of decision tree algorithms for EMG signal classification using DWT. *Biomedical Signal Processing and Control*, *18*, 138-144.
- Gokgoz, E., & Subasi, A. (2015). Comparison of decision tree algorithms for EMG signal classification using DWT. *Biomedical Signal Processing and Control*, *18*, 138-144. Doi.org:10.1016/j.bspc.2014.12.005
- Jahromi, M. G., Parsaei, H., Zamani, A., & Stashuk, D. W. (2018). Cross comparison of motor unit potential features used in EMG signal decomposition. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, *26*(5), 1017-1025. Doi: 10.1109/TNSRE.2018.2817498
- Ji, Y., Sun, S., & Xie, H. B. (2017). Stationary wavelet-based two-directional two-dimensional principal component analysis for EMG signal classification. *Measurement Science Review*, *17*(3), 117-124.
- Khushaba, R. N., Kodagoda, S., Takruri, M., & Dissanayake, G. (2012). Toward improved control of prosthetic fingers using surface electromyogram (EMG) signals. *Expert Systems with Applications*, *39*(12), 10731-10738.
- Koçer, S., & Tümer, A. E. (2017). Classifying neuromuscular diseases using artificial neural networks with applied Autoregressive and Cepstral analysis. *Neural Computing and Applications*, *28*(1), 945-952. Doi:10.1007/s00521-016-2383-8
- Lobov, S., Krilova, N., Kastalskiy, I., Kazantsev, V., & Makarov, V. A. (2018). Latent factors limiting the performance of sEMG-interfaces. *Sensors*, *18*(4), 1122. Doi:10.3390/s18041122
- Lucas, M. F., Gaufriau, A., Pascual, S., Doncarli, C., & Farina, D. (2008). Multi-channel surface EMG classification using support vector machines and signal-based wavelet optimization. *Biomedical Signal Processing and Control*, *3*(2), 169-174. Doi: 10.1016/j.bspc.2007.09.002
- Phinyomark, A., Phukpattaranont, P., & Limsakul, C. (2012). Feature reduction and selection for EMG signal classification. *Expert systems with applications*, *39*(8), 7420-7431.
- Phukan, N., Kakoty, N. M., Shivam, P., & Gan, J. Q. (2019). Finger movements recognition using minimally redundant features of wavelet denoised EMG. *Health and Technology*, *9*(4), 579-593.
- Singh, S. P., & Urooj, S. (2015). Wavelets: biomedical applications. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, *19*(1), 1-25. Doi: 10.1504/IJBET.2015.071405.



- Subasi, A., Yilmaz, M., & Ozcalik, H. R. (2006). Classification of EMG signals using wavelet neural network. *Journal of neuroscience methods*, 156(1-2), 360-367. Doi: 10.1016/j.jneumeth.2006.03.004
- Subasi, A. (2013). Classification of EMG signals using PSO optimized SVM for diagnosis of neuromuscular disorders. *Computers in biology and medicine*, 43(5), 576-586.
- Subasi, A., & Yaman, E. (2019, May). EMG signal classification using discrete wavelet transform and rotation forest. In *International Conference on Medical and Biological Engineering* (pp. 29-35). Springer, Cham.
- Subasi, A., Yaman, E., Somaily, Y., Alynabawi, H. A., Alobaidi, F., & Altheibani, S. (2018). Automated EMG signal classification for diagnosis of neuromuscular disorders using DWT and bagging. *Procedia Computer Science*, 140, 230-237. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.333>
- Subasi, A., Alharbi, L., Madani, R., & Qaisar, S. M. (2018). Surface EMG based classification of basic hand movements using rotation forest. In *2018 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)* (pp. 1-5). IEEE. . Doi: 10.1109/ICASET.2018.8376887
- Wang, G., Yan, Z., Hu, X., Xie, H., & Wang, Z. (2006). Classification of surface EMG signals using harmonic wavelet packet transform. *Physiological measurement*, 27(12), 1255.
- Ziegler, J., Gattringer, H., & Mueller, A. (2018, August). Classification of gait phases based on bilateral emg data using support vector machines. In *2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (Biorob)* (pp. 978-983). IEEE. Doi: 10.1109/BIOROB.2018.8487750
- Zia ur Rehman, M., Waris, A., Gilani, S. O., Jochumsen, M., Niazi, I. K., Jamil, M., ... & Kamavuako, E. N. (2018). Multiday EMG-based classification of hand motions with deep learning techniques. *Sensors*, 18(8), 2497.





## Las Competencias del Área de Ingeniería Clínica

### Autores

#### **Carlos Mauricio Duque Vélez**

Estudiante de Maestría en Ciencias.

Ingeniero Electrónico, especialista en Metrología Industrial.

*Correo electrónico: carlosduque38764@correoitm.edu*

#### **Edison Arley Escobar Acevedo**

Maestría en *E-learning* (educación y TIC), especialista en Pedagogía de la Educación Virtual, Comunicador Social - Periodista.

*Correo electrónico: edisonescobar@itm.edu.co*

**Institución:** Institución Universitaria ITM.

**Palabras clave:** Ingeniería Clínica, competencias profesionales, normas de competencia.

### Problema a resolver

La Ingeniería Clínica ha tenido un gran reconocimiento en la última década en el contexto de la atención del paciente, ahora puede considerarse como un instrumento de gran valor para afrontar los actuales y futuros retos del sector. Este ha visto un crecimiento tecnológico sin precedentes, aportando a la calidad en la atención, la eficiencia en la prestación del servicio y el equilibrio necesario para guardar el correcto manejo del riesgo entre la atención y la ética hospitalaria.

En este contexto, a nivel nacional y local se observa una creciente demanda de profesionales en el área de Ingeniería Clínica, por lo que la oferta de programas relacionados también ha crecido en Colombia. En esta creciente oferta, definir las competencias profesionales acorde con las necesidades del medio profesional y laboral (un medio muy dinámico) siempre es un reto para las instituciones educativas, y también para clínicas y hospitales, al tratar de definir el tipo de competencias que deberían desarrollar quienes trabajan con la Ingeniería Clínica.

Producto de la experiencia profesional como empresario en el sector, y luego como docente en programas de educación superior relacionados con el área, se ha observado que los conocimientos y habilidades de quienes ejercen labores en la ingeniería clínica son insuficientes para responder a las exigencias del medio. Por esto se consideró hacer un estudio documental de tipo cualitativo con un enfoque descriptivo, que permitiera identificar las competencias más representativas de la Ingeniería Clínica en un ámbito internacional, para luego determinar un marco de competencias en el ámbito nacional.



## Contexto del estudio

El tema de las competencias en el área de la Ingeniería Clínica es abordado en diferentes textos, la mayoría de ellos enfocados en funciones y responsabilidades necesarias de los profesionales en el área. Dado que lo que se propone en este estudio es identificar las competencias más relevantes desde lo documental, clasificando y analizando el contenido desde la frecuencia en la que se menciona las competencias; se analizan a continuación algunos antecedentes que amplían el contexto del estudio.

Ruiz y Soto (2006), en un estudio sobre la percepción y la práctica de la Ingeniería Clínica, en área Metropolitana de la ciudad de Medellín, realizado por medio de encuestas en 48 entidades hospitalarias, dirigidas tanto al personal encargado de la coordinación de las áreas técnicas como al personal administrativo, propone un conjunto de competencias para la estructuración de un futuro programa de posgrado en Ingeniería Clínica, de igual forma evidencia la necesidad de y la pertinencia de la formación en el área.

En el estudio “Una Mirada a la Ingeniería Clínica desde las Publicaciones Científicas”, realizado por Cruz (2010), realiza un análisis documental donde “Observar una aparente falta de interés en la comunidad de ingenieros por publicar trabajos de investigación científica”, y en una de sus conclusiones expresa que “no existe un estudio riguroso que permita caracterizar el estado real de la ingeniería clínica en Colombia”.

Reinoso (2013), en su trabajo de grado denominado *Pertinencia de los Programas de Ingeniería Biomédica en Colombia*, realizó un estudio de las mallas curriculares de los programas que se estaban ofertando en el país, una de sus conclusiones indicaba que, aunque los programas eran enfocados en diferentes áreas del conocimiento biomédico, en la práctica los egresados de las carreras se estaban empleando profesionalmente en el área de la Ingeniería Clínica.

Frank R., (2016), realizó una investigación donde comparó tres de los programas de posgrado activos de Ingeniería Clínica, ofertados por la Universidad de Toronto, Canadá, la Universidad de Trieste, Italia y la Universidad de Connecticut Storrs, Estados Unidos. También analizó la labor realizada en los últimos quince años por el Colegio Americano de Ingeniería Clínica (ACCE), en la certificación de los profesionales que se desempeñan en el área, teniendo objeto de análisis el aporte que ha realizado con su encuesta internacional a más de 500 Ingenieros Clínicos en todo el mundo sobre las habilidades y necesidades consideradas por ellos como representativas en su desempeño laboral. Entre las conclusiones, este investigador considera de gran valor el aporte que hace el ACCE para la evaluación y actualización de programas académicos relacionados con el área en los Estados Unidos.

Finalmente, las organizaciones gremiales y académicas del sector salud en Colombia han definido un marco de competencias en un documento denominado *Perfiles y Competencias Profesionales en Salud, Perspectiva de las Profesiones, un Aporte al Cuidado de la Salud, las Personas, Familias y Comunidades*. Allí se observa las competencias y perfiles profesionales de 15 programas relacionados con el sector salud, pero no se incluyen competencias de la Ingeniería Clínica, esto se considera como una oportunidad para indagar y determinar las competencias del área.



## Conclusiones y recomendaciones

- Es los estudios descritos anteriormente, así como los analizados durante el desarrollo de la investigación, se expresa que la Ingeniería Clínica ha sido siempre abordada principalmente como un oficio y no como una profesión. Por tanto, no se toma generalmente como un programa de formación de pregrado y es presentada como un área en algunos programas de Ingeniería Biomédica o Bioingeniería, o como una propuesta de énfasis de investigación en los programas de posgrado; sin embargo, se evidencia la gran importancia del fortalecimiento y la fundamentación en el área por su importante campo de acción profesional.
- Las competencias determinadas en el estudio pueden ser un punto de referencia importante para los perfiles requeridos en los procesos de incorporación y selección del personal en el ámbito hospitalario.
- Los diseños o actualizaciones curriculares de los programas de educación superior, relacionados con la Ingeniería Clínica, podrían tener en cuenta las competencias determinadas en este estudio para articular sus perfiles profesionales con las necesidades reales del sector.
- Las competencias vigentes del área en contextos internacionales deberían ser valoradas también en el ámbito nacional con el fin de tener profesionales actualizados que puedan desempeñarse idóneamente en sus funciones.
- Se recomienda dar más relevancia a la Ingeniería Clínica en los programas de Ingeniería Biomédica y Bioingeniería, ya que es un área que está siendo muy demandada laboralmente a nivel nacional. En el estudio se encontró que las competencias necesarias a desarrollar en el área son: *La Gestión de Tecnología*, que consiste en la planificación de recursos técnicos a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la adquisición hasta la puesta en servicio, el uso y eventualmente el reemplazo. *La Seguridad en el uso de la Tecnología*, que busca asegurar un adecuado funcionamiento de la Tecnología Biomédica, minimizando el riesgo de sufrir accidentes o daños que puedan afectar el bienestar de los pacientes y personal hospitalario, así como a la misma tecnología. *La Infraestructura hospitalaria*, que le permita Intervenir en la planificación, diseño, ejecución y puesta en funcionamiento de las obras vinculadas a la infraestructura hospitalaria (planta física e instalaciones). *La Capacitación*, que se basa en afianzar el entrenamiento adecuado a los usuarios de la tecnología médica en el uso correcto y seguro de la misma. *La Investigación (Productos y soluciones)*, que consiste en lograr pequeños desarrollos para dar solución a diferentes problemas que se presentan en el ámbito médico-hospitalario. *La integración de Tecnologías*, entendida como la interrelación entre las nuevas tecnologías y el entorno operativo. *Las habilidades personales y participativas*, principalmente la comunicación, la capacidad de trabajo en equipo, la habilidad para un aprendizaje continuo, el conocimiento de idiomas e informática, la flexibilidad, la capacidad de liderazgo y la innovación.

A continuación, se presenta en el *Gráfico 1*. “Mención de Competencias en publicaciones científicas”, con la frecuencia de menciones de esas competencias en el análisis documental realizado.



**Gráfico 1.** Mención de Competencias en publicaciones científicas.

## Referencias

- Cruz, A. (2010). Una mirada a la ingeniería clínica desde las publicaciones científicas. *Biomédica*, 30(2), 188-198.
- Echeverría, B. (2001). Configuración actual de la profesionalidad. Disponible en: <http://researchgate.net/publication/263579839>, Universidad de Barcela, España
- Frank, R. (2016). Painter Clinical Engineering Education and Careers: Overview at the University of Connecticut. *Clinical Engineering*. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803767-6.00013-1> © 2016 Elsevier Inc.
- Reinoso, J. (2013). Pertinencia de los programas de Ingeniería Biomédica en Colombia (trabajo de grado Especialización) Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia
- Ruiz, C. y Soto, J. (2006). Ingeniería clínica: Introducción, percepción y práctica en el área metropolitana de Medellín. *Rev. CES med.*, 20(1): 35-48.

Este libro se publicó en el  
mes de diciembre de 2020

Manizales, Colombia