

## Algoritmos adaptativos: una revisión bibliográfica

Luis González  
<https://orcid.org/0000-0001-9933-4147>  
gonzalezluisj@gmail.com  
UNEXPO, Vice Rectorado Puerto Ordaz  
Estado Bolívar, Venezuela.

**Recibido (08/07/21), Aceptado (10/08/21)**

---

**Resumen:** Se presenta el análisis de un trabajo de investigación desarrollado en la empresa C.V.G CARBONORCA de Venezuela, la cual cuenta con dos plantas depuradoras de gases para el área de cocción, destinadas a purificar el gas que proviene de los hornos de cocción. Cada planta está conformada por electroválvulas, válvulas neumáticas, transmisores, panel mímico del proceso y un sistema supervisorio. Todos estos elementos son gobernados por un PLC SIEMENS S5-115U el cual se encuentra en estado de obsolescencia, razón por la cual se diseñó la sustitución de estos autómatas por autómatas ContolLogix de ALLEN BRADLEY, con el fin de garantizar la continuidad en las operaciones en la planta. La investigación se hizo con un diseño descriptivo del tipo experimental de campo. Se obtuvo un código para cada planta depuradora de gas en RSLOGIX 5000 v17.00.00 y la actualización de la base de datos del sistema supervisorio. También se comprobó el funcionamiento del programa a través de una simulación de la planta en un sistema supervisorio, cuyo despliegue se diseñó para ese fin.

**Palabras Clave:** Autómata, Modernización, ControlLogix, Sistema Supervisorio, Panel Mímico.

---

## Adaptive algorithms: a bibliographic review

**Abstract:** The analysis of a research work developed in the company C.V.G CARBONORCA of Venezuela is presented, which has two gas purification plants for the cooking area, designed to purify the gas that comes from the cooking ovens. Each plant is made up of solenoid valves, pneumatic valves, transmitters, process mimic panel and a supervisory system. All these elements are governed by a SIEMENS S5-115U PLC which is in a state of obsolescence, which is why the replacement of these automata by ALLEN BRADLEY ContolLogix automata was designed, in order to guarantee continuity in operations in plant. The research was done with a descriptive design of the field experimental type. A code for each gas treatment plant was obtained in RSLOGIX 5000 v17.00.00 and the update of the database of the supervisory system. The operation of the program was also verified through a simulation of the plant in a supervisory system, the deployment of which was designed for this purpose.

**Keywords:** Automation, Modernization, ControlLogix, Supervisory System, Mimic Panel



## I. INTRODUCCIÓN

Los movimientos voluntarios de los brazos, manos, piernas, rostro u otras partes del cuerpo son una parte esencial de la vida y de la capacidad de comunicación no verbal del ser humano. Estos movimientos intensionales son posibles gracias al control voluntario de nuestros músculos y para ello el cerebro posee un complejo mecanismo de activación muscular a través de los nervios motores, en respuesta los músculos se contraen de manera coordinada para ejecutar los movimientos ordenados lo que a su vez generan potenciales bioeléctricos que pueden ser registrados por electrodos en la superficie de la piel. A partir del análisis regresivo multivariable de estos biopotenciales o potenciales mioeléctricos registrados mediante N electrodos, convenientemente colocados sobre la piel, es factible determinar en tiempo real los M músculos que intervinieron en el movimiento, lo que permite controlar con éxito algún mecanismo que emule en tiempo real el movimiento realizado. Esta tecnología de registro de potenciales mioeléctricos superficiales o electromiografía superficial (sEMG) con la intención de identificar los músculos activados, para luego reconocer en tiempo real los movimientos que se ejecutaron, o que se pretendían ejecutar en caso de un miembro parcialmente amputado, se encuentra en plena expansión, estando sus principales aplicaciones circunscritas al campo de las interfaces hombre-máquina tanto en prótesis mioeléctricas como en mecanismos para expandir las capacidades humanas. Sin embargo, esta tecnología aún enfrenta múltiples desafíos, puesto que dependiendo del hardware utilizado para la medición, el preprocesamiento de datos, el algoritmo matemático empleado para la decodificación de las señales mioeléctricas, del número de grados de libertad del movimiento a reconocer, del tipo de miembro, y de si se trata de un patrón de movimiento conocido o un patrón de movimiento nuevo, la tasa de éxito de reconocimiento se ubica entre un 80% y un 95% (ver tabla X); es decir, hasta 1 de cada 5 movimientos de una prótesis mioeléctrica mano-muñeca o un mecanismo de expansión de las habilidades humanas puede ser errado. En este sentido, la tesis doctoral propuesta versará sobre el diseño de un algoritmo de reconocimiento de movimientos de más de un grado de libertad en tiempo real, partiendo desde la consideración del estudio de variables tales como la interfaz eléctrica electrodo-piel, hasta el algoritmo de regresión multidimensional para lograr igualar o superar el benchmarking de las investigaciones reportadas en la literatura especializada, teniendo un enfoque público, poniendo a disposición de la comunidad científica, mediante publicaciones técnicas, los detalles del hardware utilizado, los datos registrados y los algoritmos matemáticos implementados, con el fin de hacer frente a una de las principales problemáticas reportadas por algunos investigadores [1] respecto a lo difícil de reproducir los experimentos presentados por otros investigadores en este campo de la ciencia y la tecnología.

## II. DESARROLLO

El reconocimiento de movimientos compuestos a partir de señales mioeléctricas con el objetivo de controlar un sistema ciberfísico es un complejo problema científico-tecnológico. Estos sistemas ciberfísicos que se desean controlar sirven para expandir las capacidades humanas, bien sea para recobrar en de alguna forma, funciones disminuidas debido a discapacidades, o bien sea para ampliar las facultades naturales.

Según un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS) [citar el informe] aproximadamente 1,71 mil millones de personas padecen afecciones musculoesqueléticas en todo el mundo, siendo el principal factor que contribuye a la discapacidad en todo el mundo puesto que limitan significativamente la movilidad y la destreza, lo que conduce a niveles más bajos de bienestar y una capacidad reducida para participar en la sociedad. Debido al aumento de la población y al envejecimiento, la cantidad de personas con afecciones musculoesqueléticas está aumentando rápidamente por lo que la discapacidad asociada con las afecciones musculoesqueléticas se prevé que seguirá aumentando en las próximas décadas. Un ejemplo significativo es Ecuador, ya que, comparativamente con el número poblacional, es el primer país de Latinoamérica con el mayor número de discapacitados [citar], al que le sigue Brasil [citar].

La tasa de éxito de los sistemas ciberfísicos destinados a expandir las capacidades humanas depende en gran medida de la precisión y exactitud en el reconocimiento de los movimientos que el individuo desea ejecutar [citar], y de la naturalidad en su uso; sin embargo, dicha precisión y exactitud están notablemente influenciadas por parámetros sistemáticos y aleatorios tales como: el adecuado tamaño, espaciamiento y material de los electrodos de registro, el adecuado posicionamiento de estos electrodos sobre la región en la que se desean registrar las señales mioeléctricas, la interferencia de señales ajenas al cuerpo humano como la frecuencia de la red de distribución de energía eléctrica, la interferencia de señales propias del cuerpo humano como los potenciales bioeléctricos del corazón (ECG) [citar], la circulación de la sangre, la respiración, la activación de otros grupos musculares [citar], el nivel de transpiración del individuo, el espesor de la capa de células muertas sobre la piel, la velloidad de la

piel, el espesor de capa de grasa en el tejido subcutáneo [citar], el algoritmo de transformación regresiva del espacio N-dimensional de electrodos al espacio M-dimensional de músculos [citar], la ausencia parcial miembros (personas con amputaciones), el número de grados de libertad del movimiento a reconocer, del tipo de miembro, y de si se trata de un patrón de movimiento conocido por el sistema ciberfísico o un patrón de movimiento nuevo.

Producto de todos estos factores, la tasa de éxito de reconocimiento de movimientos simples se ubica entre un 70% y un 96% [citar] (es decir, hasta 1 de cada 5 movimientos de una prótesis mioeléctrica o un mecanismo de expansión de las capacidades humanas puede ser errado. Además, los costos de adquisición de las prótesis más avanzadas pueden oscilar entre los 35mil y 60mil dólares americanos, para prótesis de mano-muñeca y los 100mil dólares para las prótesis más avanzadas de tobillo-pie [citar].

El binomio complejidad-costos, impide la adopción masiva de esta tecnología, que como se señaló anteriormente podría mitigar las disminuciones funcionales de una fracción de los 1,71 mil millones de personas que padecen afecciones musculoesqueléticas en todo el mundo.

Es un fenómeno ampliamente reconocido en la historia de la humanidad que, a medida que se mejoran las tecnologías y se optimizan sus procesos productivos, los costos bajan y puede ser masificada.

En este sentido, el trabajo propuesto estará centrado en el estudio del reconocimiento adaptativo de movimientos de más de un grado de libertad en tiempo real, considerando variables tales como la interfaz eléctrica electrodo-piel, enlista las variables. El trabajo utilizará un algoritmo de regresión multidimensional para lograr igualar o superar el benchmarking de las investigaciones reportadas en la literatura especializada [citar], con un enfoque abierto.

### III. METODOLOGÍA

La investigación será abordada adoptando una postura epistémica la cual ha sido resumida en la tabla 3

**Tabla 1 - Matriz epistémica de la Investigación**

Objeto	Es encontrar, definir y delimitar un método para realizar el reconocimiento adaptativo de movimientos compuestos en tiempo real a partir del registro superficial de potenciales mioeléctricos.
	Se realizará la definición formal de los elementos que conforman el problema de reconocimiento adaptativo de movimientos compuestos en tiempo real partiendo de señales mioeléctricas superficiales, las fuentes de error, sus características, propiedades e interacciones para formular un algoritmo que permita cumplir con las especificaciones de desempeño requeridas relativas a la precisión del reconocimiento.
Ontológico	
Epistemológico	La postura epistémica que se adoptará para la investigación para es el paradigma cuantitativo positivista. El investigador buscará definir correlaciones entre variables fundamentales como el espesor del tejido adiposo y la intensidad de las señales mioeléctricas, la influencia de la vellosoidad y el nivel de transpiración en el registro de los biopotenciales, el tamaño, cantidad y disposición de los electrodos con respecto a la precisión en el reconocimiento de los movimientos, entre otros.
Metodológico	Será una metodología ágil de desarrollo basado en sprint mensuales, partiendo del conocimiento científico aceptado y validado por la comunidad de investigadores buscando ampliar ese conocimiento, esto permitirá un avance progresivo de la investigación al presentar desarrollos incrementales, teniendo a la vez la flexibilidad necesaria para hacer frente a situaciones no previstas en el plan inicial con el objeto de no desviarse del objetivo planteado.

Axiológico	Se valorará las estrategias ya publicadas para solventar los problemas presentados en el objeto de estudio, identificando las técnicas que mejor contribuyen a la solución de la problemática, optimizándolas en caso de ser necesario e incorporándolas al algoritmo a desarrollar.
Teleológico	El propósito de la investigación será el de concebir un algoritmo adaptativo de reconocimiento de movimientos compuestos que permita un sistema ciberfísico el seguimiento de las trayectorias de movimiento deseadas por la persona.
Gnoseológica	El documento final presentará el origen y alcance de un nuevo algoritmo adaptativo para reconocer movimientos compuestos derivado de la investigación documental, análisis, simulación y optimización del algoritmo como razón de ser de la investigación.

Fuente: Elaboración propia

Respecto a metodología, se plantea seguir una metodología Scrum de desarrollo ágil basada en sprint trimestrales académicos con un horizonte de tiempo de 24 meses, lo que permitirá ir presentando avances sucesivos de la investigación. En este sentido, se espera poder ejecutar por lo menos 6 sprint conforme al siguiente cronograma de actividades.

#### IV.RESULTADOS

Haciendo un análisis correlacional de los resultados presentados en la Tabla 1 se puede concluir que el principal problema que se investiga en lo relativo al registro de potenciales mioeléctricos es el de la mitigación de la interferencia de la red eléctrica (PLI) en las mediciones, pero situaciones como la impedancia de la interfaz electrodo-piel, o la correlación entre la magnitud de la sEMG y el espesor del tejido adiposo subcutáneo, e incluso el efecto de la distancia entre electrodos (sobre todo en los arreglos matriciales) son menos abordados. También es interesante notar que los investigadores pocas veces comparten detalles del hardware de adquisición de datos utilizado y prácticamente es nulo el acceso a los datos sin preprocesamiento. En lo que si se tiene un consenso más o menos establecido es en el rango de frecuencias de interés ubicado entre 1Hz y 1000Hz aproximadamente, y la frecuencia de muestreo ubicada entre los 1024Hz y 2048Hz. Por lo tanto, en este particular se tiene la oportunidad de realizar aportes al focalizar estudios sistemático de aspectos como: el modelado matemático y su símil eléctrico del generador de potenciales mioeléctricos, el estudio del rango de variación de impedancia de la interfaz electrodo-piel en función de parámetros como velloidad, sudoración, presión de los electrodos sobre la piel, espesor del tejido adiposo, la validación de la banda de frecuencias de interés, la validación de la tasa de muestreo, la comparación de distintas técnicas de mitigación de la PLI en base a un índice de desempeño.

Respecto a la precisión en el reconocimiento de movimientos, analizando la revisión bibliográfica es interesante notar que en gran parte las investigaciones se concentran en pocos movimientos, de hecho, las prótesis mioeléctricas de mano más avanzadas (y costosas) del mercado a la fecha solo tienen la capacidad de aprender a reconocer hasta un máximo de 16 movimientos. También es importante notar que los investigadores poco revelan información relativa al coste computacional de los diversos algoritmos, el tiempo de respuesta, la correlación entre la mejora en la precisión versus el coste computacional.

Puesto que el objetivo del trabajo es el de desarrollar un algoritmo para el reconocimiento adaptativo de movimientos compuestos en tiempo real a partir del registro superficial de potenciales mioeléctricos, la estrategia que se plantea es la de estudiar, analizar, contrastar, testear, correlacionar de manera iterativa los avances científicos que se vayan reportando en este campo del conocimiento para así poder concebir un algoritmo adaptativo optimizado y un protocolo de medición que de manera global logre optimizar el índice de desempeño de precisión en el reconocimiento de movimientos compuestos tanto aprendidos como nóveles.

Para lograr alcanzar el objetivo general planteado se seguirá el siguiente proceso iterativo:

Análisis de las diversas metodologías reportadas en el estado del arte.

Diseño y construcción de sistemas prototipo de adquisición de datos basados en las metodologías reportadas.

•Adquisición y preprocesamiento de datos.

- Procesamiento de datos.
- Formulación de modelos matemáticos.
- Validación de modelos matemáticos.
- Incorporación de los hallazgos en la mejora de los procesos de adquisición, preprocesamiento y procesamiento de los datos.
- Presentación de los resultados.
- Reinicio del ciclo.

## V.CONCLUSIONES

Debido a la carencia de información técnica sobre las prótesis, se tiene la oportunidad de realizar diversos estudios comparativos para establecer una especie de algoritmo de selección del método de reconocimiento en función de las características particulares del problema que se desee abordar.

Se tiene la oportunidad de realizar aportes al focalizar estudios sistemáticos de aspectos como: el modelado matemático y su símil eléctrico del generador de potenciales mioeléctricos, el estudio del rango de variación de impedancia de la interfaz electrodo-piel en función de parámetros como vellosoidad, sudoración, presión de los electrodos sobre la piel, espesor del tejido adiposo, la validación de la banda de frecuencias de interés, la validación de la tasa de muestreo,

Se deben evaluar los avances científicos que se vayan reportando en este campo del conocimiento para así poder concebir un algoritmo adaptativo optimizado y un protocolo de medición que de manera global logre optimizar el índice de desempeño de precisión en el reconocimiento de movimientos compuestos tanto aprendidos como nóveles

## REFERENCIAS

- [1]M. Simao, N. Mendes, O. Gibaru y P. Neto, «A Review on Electromyography Decoding and Pattern Recognition for Human-Machine Interaction,» IEEE Access, vol. 7, pp. 39564 - 39582, 2019.
- [2]Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Tecnología, «Clasificación Internacional Normalizada de la Educación CINE,» UNESCO Institute for Statistics, Montréal, 2011.
- [3]Y. Zheng y H. Xiaogang, «Interference Removal From Electromyography Based on Independent Component Analysis,» IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, vol. 27, nº 5, pp. 887-894, Mayo 2019.
- [4]B. Afsharipour, F. Petracca, M. Gasparini y R. Merletti, «Spatial distribution of surface EMG on trapezius and lumbar muscles of violin and cello players in single note playing,» Journal Electromyography Kinesiology, vol. 31, pp. 144 - 153, 2016.
- [5]M. Niegowski, M. Zivanovic, M. Gómez y P. Lecumberri, «Unsupervised learning technique for surface electromyogram denoising from power line interference and baseline wander,» de 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Milan, Italia, 2015.
- [6]S. D. Soedirdjo, K. Ullah y R. Merletti, «Power line interference attenuation in multi-channel sEMG signals: Algorithms and analysis,» de Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc., 2015.
- [7]A. Phinyomark, F. Quaine, S. Charbonnier, C. Serviere, F. Tarpin-Bernard y Y. Laurillau, «Feature extraction of the first difference of EMG time series for EMG pattern recognition,» Computer Methods and Programs in Biomedicine, vol. 117, nº 2, pp. 247-256, Noviembre 2014.
- [8]M. Malboubi, F. Razzazi, M. Aliyari y A. Davari, «Power line noise elimination from EMG signals using adaptive Laguerre filter with fuzzy step size,» de 17th Iranian Conference of Biomedical Engineering (ICBME), Isfahan, Iran, 2010.
- [9]C. Luca, L. Gilmore, M. Kuznetsov y S. Roy, «Filtering the surface EMG signal: Movement artifact and baseline noise contamination,» J. Biomech, pp. 1573-1582, 28 Mayo 2010.
- [10]R. Mello, L. Oliveira y J. Nadal, «Digital Butterworth filter for subtracting noise from low magnitude surface electromyogram,» Comput Methods Programs Biomed, vol. 1, nº 87, pp. 28-35, 2007.
- [11]A. Botter y T. Vieira, «Filtered virtual reference: A new method for the reduction of power line interference with minimal distortion of monopolar surface EMG,» IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 62, nº 11, pp. 2638 - 2647, 2015.

- [12]J. R. Potvin y S. H. Brown, «Less is more: high pass filtering, to remove up to 99% of the surface EMG signal power, improves EMG-based biceps brachii muscle force estimates,» J. Electromyogr. Kinesiol., vol. 14, nº 3, pp. 389-399, 2004.
- [13]D. T. Mewett, K. J. Reynolds y H. Nazeran, «Reducing power line interference in digitised electromyogram recordings by spectrum interpolation,» Med. Biol. Eng. Comput., vol. 4, nº 42, pp. 524-531, 2004.
- [14]D. T. Mewett, H. Nazeran y K. J. Reynolds, «Removing power line noise from recorded EMG,» de 2001 Conference Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Istanbul, Turkey, 2001.