



Uso y aplicación de inteligencia artificial en interfaces humano máquina: una revisión académica

David Tinoco Varela¹, Fernando Gudiño Peñaloza², Raúl Dalí Cruz Morales³

RESUMEN

Hoy en día, la inteligencia artificial (IA) juega un papel importante en el desarrollo de prácticamente cualquier nueva tecnología o prototipo tecnológico. En el caso del desarrollo de nuevas interfaces humano máquina (IHM), también se han venido utilizando este conjunto de herramientas para generar dispositivos que sean intuitivos y fáciles de utilizar. Existen diferentes algoritmos de IA que se han utilizado históricamente para desarrollar este tipo de interfaces y que estas tengan una respuesta de reacción rápida y precisa, entre estos algoritmos destacan las redes neuronales artificiales (RNA), las cuales aprenden de las interacciones humanas para poder responder en una forma natural.

A pesar de que el concepto de inteligencia artificial se ha popularizado en los últimos años, la IA se ha utilizado para el desarrollo de IHM desde varias décadas atrás. En este artículo, se presenta una revisión sistematizada de las diferentes interfaces que se han realizado y la evolución que estas han tenido por medio del uso de algoritmos de IA, centrándonos principalmente en interfaces enfocadas a la mejoría en la calidad de vida de personas con capacidades diferentes. Así mismo, se realizará un análisis de los alcances y aplicaciones que estas representan en un mundo que se encuentra cada día más conectado por medio de esquemas como el Internet de las Cosas y la industria 4.0.

ABSTRACT

Today, artificial intelligence (AI) plays an important role in the development of any new technology or technological prototype. In the case of the development of new human machine interfaces (HMI), this set of tools has also been used to generate devices that are intuitive and easy to manage. There are different AI algorithms that have been used to develop this type of interfaces and they have a quick and functional response. Among such algorithms, artificial neural networks (ANN) stand out, which learn from human interactions in order to be able to respond in a natural way.

Although the concept of artificial intelligence has become popular in recent years, AI has been used for the development of HMI for

* 1 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM), departamento de ingeniería, dativa19@hotmail.com, Dr. en ciencias. 2 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM), departamento de ingeniería, ilciarmin@gmail.com, Dr. en ciencias. 3 Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM), departamento de ingeniería, rdcruz@comunidad.unam.mx, Dr. en ingeniería.

several decades. This paper presents a systematized review of the different interfaces which have been created and the evolution they have had through the use of AI algorithms. Likewise, an analysis will be carried out related to the applications in which they can be implemented and used, all of this, in a world that is increasingly connected through schemes such as the internet of things and industry 4.0.

Palabras claves: Inteligencia artificial, Interfaces humano máquina, Redes neuronales artificiales.

INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial se ha posicionado como una herramienta computacional que impacta en el desarrollo de diferentes tecnologías y prototipos. Actualmente, es difícil encontrar un área de conocimiento en la cual no se esté aplicando para avanzar en el desarrollo científico y tecnológico. Podemos encontrar IA en temas tan variados como educación (Chen et al., 2020), en economía (Parkes & Wellman, 2015), en medicina (Jiang et al., 2017), en el desarrollo de procesos químicos (Quantrille & Liu, 2012), en biología (Richards et al., 2022), incluso en el mundo deportivo se tiene injerencia de la IA (Novatchkov & Baca, 2013). Sin dejar de lado, obviamente, su uso en los sectores de la robótica (Nadikattu, 2021; Andras et al., 2020) y el desarrollo de diferentes interfaces humano-máquina (Kwon et al., 2020).

Hoy en día, la IA representa un esquema de gran importancia, no solo como apoyo a las diferentes áreas de conocimiento, sino, además, es parte central de un mundo cada vez más conectado. Un mundo en el que cada dispositivo electrónico puede adquirir datos de su entorno, procesar tales datos de forma inteligente, dar una respuesta en función del procesamiento, y poder transmitir esa respuesta a través de la comunicarse con otro dispositivo o con un usuario. A este proceso de comunicación entre diferentes dispositivos se le conoce como el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) (Rose et al., 2015; Li, Xu & Zhao, 2015).

Es importante mencionar que las IHM actuales no solamente son diseñadas con algoritmos inteligentes, sino que además pueden ser conectadas al IoT y, en esta forma, estas se conviertan en un nodo en tal sistema de comunicación y al usuario final lo hace participar como un nodo dentro de este mundo conectado.

Existen muchos tipos de IHM y que funcionan de muy diversas maneras, algunas de ellas han quedado rezagadas por las nuevas tecnologías y algunas otras se están adaptando a nuevos esquemas



tecnológicos. En este artículo nos centraremos principalmente en aquellas interfaces que utilizan algún esquema de IA para su funcionamiento, ver como ha sido su evolución y cuales son las perspectivas futuras de las mismas.

Se hace la aclaración que, como las figuras aquí presentadas corresponden a diferentes autores, se mantendrá el idioma de origen con la intención de respetar el trabajo realizado por cada uno de los autores en cada uno de los artículos. Obviamente, todas las figuras están debidamente citadas.

CONCEPTOS PREVIOS: INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial puede ser definida de diversas formas, sin embargo, de forma general puede decirse que es el conjunto de herramientas algorítmicas y computacionales que tratan de emular los procesos que se llevan a cabo dentro de un cerebro biológico. Considerando procesos tales como el aprendizaje, el razonamiento, el pensamiento lógico, la adaptación, entre otros.

Aunque la IA ha tenido un auge muy grande en la última década, la idea no es nueva realmente, ya que esta viene formalmente de inicios de los años 40's cuando McCulloch y Pitts (1943) desarrollaron el primer modelo matemático de una neurona. Un evento de gran importancia dentro de la historia de la IA, fue la publicación del artículo *Computing Machinery and Intelligence* de Alan Turing (1950), donde se propone por primera vez el conocido Test de Turing y pone la pregunta “¿Una máquina piensa?” en la cabeza del mundo científico.

La evolución de esta área de conocimiento se ha desarrollado por diferentes vertientes generando tanto lenguajes de programación como PROLOG, así como una gran cantidad de algoritmos enfocados en imitar alguno de los procesos mentales que un ente biológico realiza.

Es complicado poder mencionar todos y cada uno de los algoritmos que se han diseñado a lo largo de las décadas, sin embargo, existen algunas herramientas que pueden ser consideradas como populares entre las que se encuentran las redes neuronales artificiales (Wu et al., 2018), los algoritmos genéticos (Holland, 1992), la lógica difusa (Zadeh, 1988) y los algoritmos de procesamiento de lenguaje natural (Chowdhary & Chowdhary, 2020). Obviamente, estos esquemas de IA no son todos, pero sí los más representativos.

En este trabajo. Nos centraremos principalmente en IHM que utilicen los tres algoritmos principales antes mencionados, para ver las adaptaciones que se han tenido.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL DESARROLLO DE INTERFACES

Las IHM son dispositivos que sirven como puente de comunicación entre un humano y una máquina de cualquier tipo,

estas pueden ser utilizadas en cualquier actividad y de cualquier manera, pueden ser tan sencillas como un interruptor y tan complejas como un cuarto de control con equipamiento de gran tamaño y una cantidad considerable de botones y controles. Muchas de estas interfaces, hoy en día pueden considerarse estorbosas e ineficientes en su funcionamiento, más aún, muchas de ellas requieren un conocimiento técnico especializado para su funcionamiento, lo cual limita la cantidad de usuarios que pueden manejarlas.

Actualmente se busca que las interfaces sean de fácil acceso y que puedan ser desplazables; no solamente eso, también se busca que el manejo de ellas pueda realizarse de una forma simple e intuitiva, con la intención de que diversos sectores poblacionales puedan tener un acercamiento a ellas.

Para lograr este objetivo, obviamente, se ha hecho uso de diferentes algoritmos de IA para dotar a las IHM de facilidad de control y, por lo tanto, de una expansión en su uso.

A pesar de que es en estos últimos años en los que se ha popularizado el concepto y uso de Inteligencia artificial, esta lleva décadas utilizándose en el desarrollo de diferentes tipos de IHM. Por ejemplo, en 1997 el *Neuro engineering laboratory* del NASA Ames Research Center inició un programa de investigación avanzada denominado *Extension of the human senses initiative* (EHS), el cual fue un esfuerzo para producir la nueva generación de tecnologías de IHM, incluyendo herramientas de comunicación como las señales electromiográficas (EMG) y encefalografías (EEG), dando como resultado la presentación por parte de la NASA del reconocimiento de señales EMG (Jorgensen et al., 2000), realizando un control bioeléctrico de las naves de simulación tipo 757, infraestructura localizada en el Aeropuerto internacional de San Francisco, el hardware puede verse en la figura 1. En la figura 2, puede verse el diagrama de la metodología empleada, donde se puede observar el uso de RNA para su funcionamiento, caracterizando diferentes movimientos de la mano para generar las palabras de control.

También, en esta misma línea, se ha generado una interfaz que utiliza las señales EMG para controlar un robot, utilizando solamente las posiciones de la mano humana, se logran controlar los movimientos del robot humanoide (Aswath et al., 2014). En la figura 3 se puede observar el comportamiento de este sistema.

Otro tipo de bioseñales que pueden ser utilizadas para el desarrollo de IHM son las señales cerebrales que pueden ser medidas por medio de EEG, a estas interfaces se les puede denominar como Interfaces cerebro máquina (ICM). El primer experimento realizado que mostraba la posibilidad real de una ICM fue llevado a cabo por el Dr. Vidal (1977), director del *Brain Computer Interface Laboratory* de la UCLA.

En esta línea, se tiene el experimento realizado por Chae et al. (2012), donde se logró el control para la navegación de un robot



humanoide, todo por medio de señales EEG, en la figura 4 se puede observar la secuencia de instrucciones realizadas por el robot para lograr el objetivo.

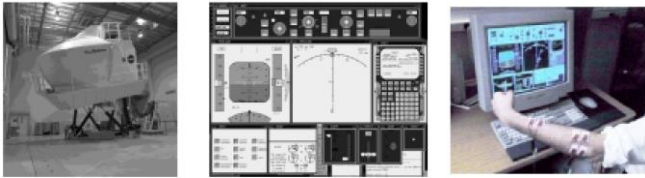


Figura 1.- Sistema de control por medio de bioseñales desarrollado por la NASA, imagen obtenida de (Jorgensen et al., 2000).

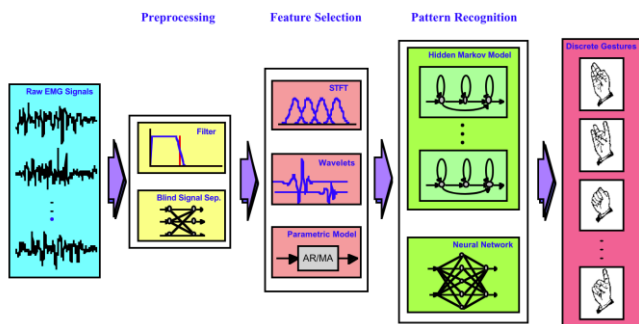


Figura 2.- Metodología empleada para generar un sistema de control basado en bioseñales creado por la NASA, imagen obtenida de (Jorgensen et al., 2000).

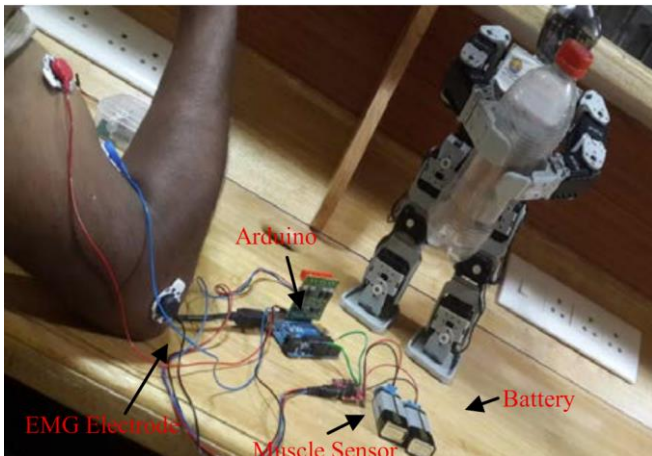


Figura 3.- Interfaz para controlar un robot humanoide utilizando señales EMG, imagen obtenida de (Aswath et al., 2014).

Otro tipo de señales que también pueden ser utilizadas para poder generar IHM son las Surface EMG, las cuales capturan los movimientos faciales y a partir de tales impulsos se pueden generar

palabras de control, tal como se puede observar en (Yi et al., 2011), donde fue creada una interfaz para controlar una silla de ruedas utilizando este tipo de señales, caracterizándolas por medio de RNA. En la figura 5, se puede ver el prototipo diseñado.

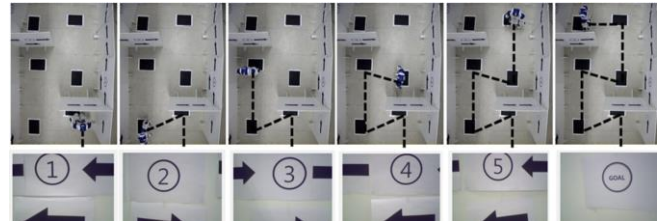


Figura 4.- Secuencia de instrucciones seguidas por un robot, utilizando señales cerebrales para su control, imagen obtenida de (Chae et al., 2012).



Figura 5.- Silla de ruedas controlada por medio de una interfaz que captura las señales sEMG, imagen obtenida de (Yi et al., 2011).

Otra interfaz desarrollada para mejorar la salud de las personas es la presentada por Yin et al. (2012), en donde se presenta el diseño de un exoesqueleto controlado por una red neuro difusa, esta interfaz es muy interesante debido a que esta diseñada para realizar la rehabilitación de miembros inferiores del cuerpo humano, para su control se utilizan señales EMG, dotando al sistema de libertad y facilidad de uso. El sistema puede verse en la figura 6, mientras que el diagrama de control puede verse en la figura 7.

Por otro lado, Kiguchi et al. (2007), diseñaron un exoesqueleto para dar asistencia a los miembros superiores del cuerpo humano, utilizando señales EMG como medio de control y redes neuro difusas para caracterizar las señales y convertirlas en palabras de control, la figura 8 muestra la estructura de este desarrollo.

Hasta este punto, se han presentado diversas interfaces controladas principalmente por señales EMG y caracterizadas por medio de redes neuronales, sin embargo, no es la única herramienta de IA



que ha sido utilizada para este fin. Una interfaz controlada por medio de un controlador difuso fue la propuesta por Pires y Nunes (2002), en donde se generó una silla de ruedas que puede evadir obstáculos a partir de comandos de voz. En la figura 9 se puede ver el comportamiento de la silla de ruedas cuando no se coloca un algoritmo de navegación y cuando sí se implementa tal algoritmo, así mismo se puede ver el laberinto que se utilizó para realizarlas pruebas.



Figura 6.- Exoesqueleto diseñado en (Yin et al., 2012).

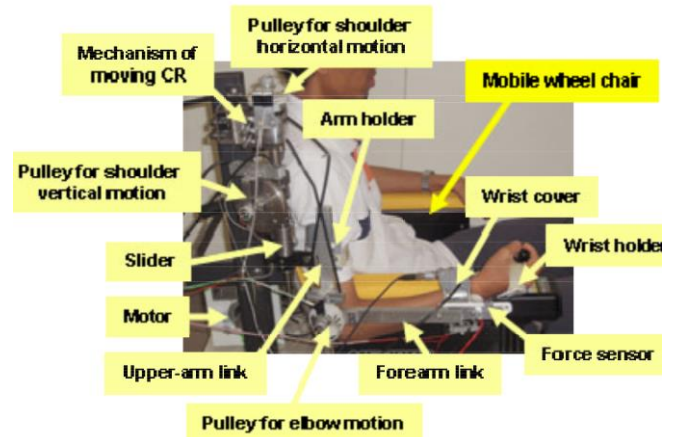


Figura 8.- Exoesqueleto para dar asistencia a miembros superiores del cuerpo humano, figura obtenida de (Kiguchi et al., 2007).

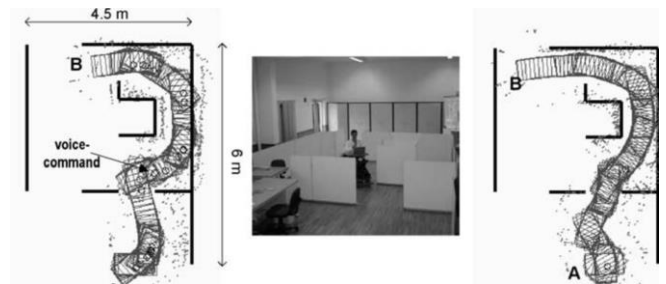


Figura 9.- Evaluación del sistema de control de una silla de ruedas por medio de lógica difusa, imagen obtenida de (Pires & Nunes, 2002).

Utilizando la misma herramienta y controlado por medio de instrucciones de voz y reconocimiento facial, Klabi et al. (2014) también diseñaron una silla de ruedas enfocada en dar apoyo a personas que presentan problemas de movilidad. En la figura 10 se presenta el prototipo desarrollado por los autores.

Por otro lado, el uso de algoritmos genéticos (AG) también ha estado presente en el desarrollo de diferentes interfaces, como la propuesta por Wijayasinghe et al. (2018), en donde se diseña un algoritmo basado en AGs que permite mapear M grados de libertad de entrada con comandos para conducir un robot con N grados de libertad de salida, denominado su algoritmo como "Interfaz de usuario adaptativa genética" (GAUI, por sus siglas en inglés). Para realizar las pruebas utilizaron interfaces de entrada como un joystick y un brazalete para captar señales mioeléctricas del brazo, logrando controlar un robot tipo vehicular (Fig. 11) de forma apropiada. Los autores mencionan que esta propuesta puede ser implementada en otras IHM.

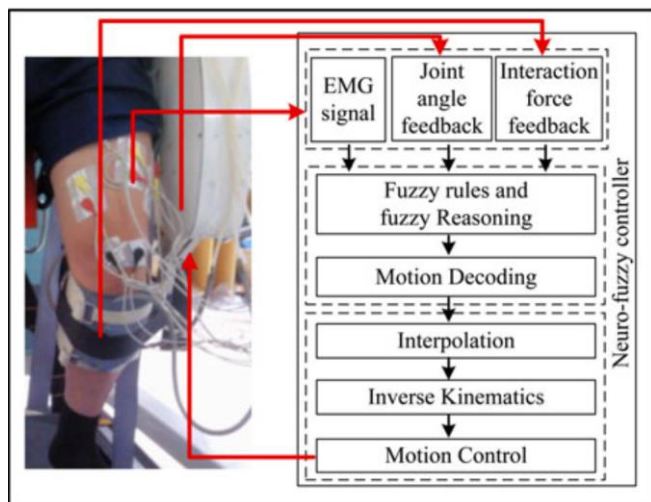


Figura 7.- Diagrama de bloques del sistema de control inteligente del exoesqueleto presentado en (Yin et al., 2012).

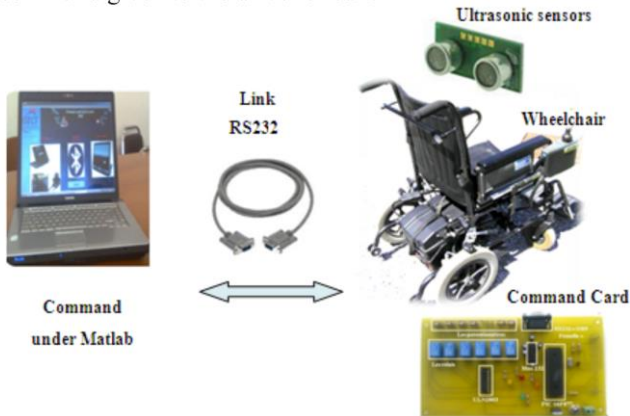


Figura 10.- Sistema de control de una silla de ruedas presentado en (Klabi et al., 2014).

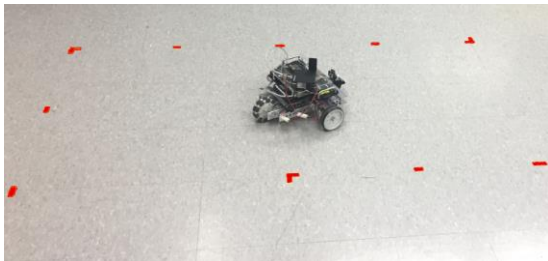


Figura 11.- Robot controlado por medio del algoritmo GAUI presentado en (Wijayasinghe et al., 2018).

Así mismo, Xia et al. (2022) propusieron un exosqueleto tipo mano que está controlado por AG y RNA. Estas herramientas de *Machine* y *Deep learning* se encargan de relacionar los “deseos” del usuario con movimientos predefinidos del dispositivo, utilizándose principalmente para terapias de rehabilitación. La mano diseñada puede verse en la figura 12.

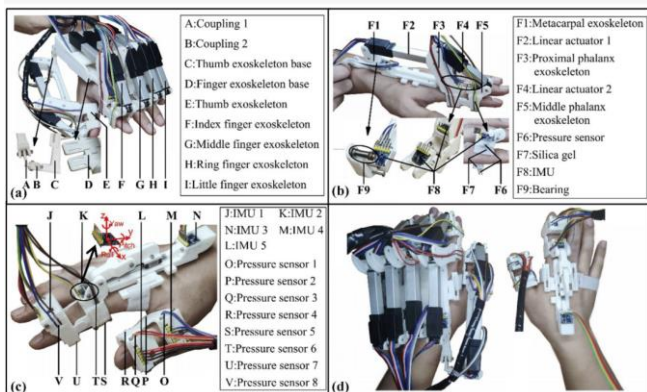


Figura 12.- Exosqueleto de una mano presentado en (Xia et al., 2022).

Aunque en esta sección se han mostrado principalmente IHM destinadas al mejoramiento de la calidad humana de personas con problemas de movilidad, también son utilizadas en diferentes aplicaciones tales como control de vehicular autónomo (Reuschenbach et al., 2011), sistemas de control de casas (Zamora-Izquierdo et al., 2010), prótesis (Tinoco et al., 2022), sistemas de control eléctrico (Gupta et al., 2018), control de vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés) (Lee, Choi, & Kim, 2021), por mencionar sólo algunos entre un gran abanico de aplicaciones. Lo que nos muestra que las IHM se encuentran presentes en prácticamente cualquier entorno tecnológico.

VISIÓN A FUTURO

Actualmente, la tendencia mundial es la conexión de todos los dispositivos tecnológicos por medio de diferentes algoritmos de procesamiento y comunicación dentro del IoT, esta tendencia implica la participación activa de las personas dentro de esta red de transmisión de datos, por lo que es necesario que se tengan puentes de conexión entre humanos y dispositivos, por este motivo, es fácil observar que el diseño de las IHM es, hoy más que nunca, necesario para lograr una integración tecnológica en el presente y en el futuro.

Estas interfaces tienen una cantidad muy grande de aplicaciones, sin embargo, como se ha visto en este escrito, una aplicación muy importante es en el cuidado de la salud humana ya que pueden ayudar al mejoramiento en la calidad de vida de las personas con capacidades diferentes, permitiéndoles tomar control de diversos objetos, así como obtener formas de movilidad sin la necesidad de dependencia de otro tipo de individuos. Para lograr este fin, se busca que las IHM futuras sean fáciles de usar, cómodas de transportar y eficientes en su funcionamiento. Motivos por los que una IHM que utiliza elementos biométricos como palabras de control es de gran relevancia tecnológica y social, ya que estas interfaces no necesitarán que un usuario tenga una capacitación técnica compleja para poder utilizarlas pues las funciones y respuestas más elementales de su propio cuerpo serán los comandos de control, así mismo, los algoritmos de inteligencia artificial son una buena opción para el diseño de las interfaces, ya que estos han mostrado ser eficientes en el procesamiento de las lecturas de elementos biométricos tales como la voz, los movimientos faciales, señales bioeléctricas, contracciones musculares, entre otros y, a partir de este procesamiento, han demostrado tener niveles altos de eficiencia en la respuesta.

CONCLUSIONES

Las Interfaces Humano Máquina tienen gran relevancia en un mundo donde es necesario interactuar con muchos y muy variados dispositivos tecnológicos, dispositivos que, a su vez, se conectarán con otros dispositivos, más aún, existe una mayor relevancia cuando estas interfaces pueden ayudar a mejorar la calidad de vida de personas que padecen alguna enfermedad que les prohíba tener una movilidad absoluta o que han perdido algún miembro corporal.



En este artículo se ha hecho una revisión académica de diversas interfaces que han sido utilizadas, principalmente, para mejorar la calidad de vida de las personas, las cuales se han auxiliado de diversos algoritmos de inteligencia artificial para lograr funcionar de manera óptima. Se han descrito IHM que han utilizado principalmente los esquemas de redes neuronales artificiales, lógica difusa y algoritmos genéticos para su funcionamiento. Mostrando de esta forma que la IA es de gran relevancia en el cuidado de la salud humana y que puede realizar tareas de lectura e interpretación de diversas señales biométricas de forma eficiente. Hay que recordar que los algoritmos de IA son eficientes en la caracterización de fenómenos que no pueden ser descritos por una función matemática por lo que se adaptan perfectamente a la lectura e interpretación de este tipo de elementos y comportamiento de los mismos.

En el futuro, según la tendencia actual, será necesario que los humanos interactúen de forma más natural con las máquinas y dispositivos tecnológicos, por lo que es necesario que estas formas de interacción sean entendibles para cualquier sector poblacional y que puedan realizarse desde cualquier punto, es decir que el individuo pueda generar un control intuitivo y que los dispositivos de conexión sean portables, por tales motivos se busca la generación de IHM inteligentes, que se adapten al entorno y al usuario y que tengan una eficiencia de respuesta elevada, para tal fin, la miniaturización del hardware y la utilización de algoritmos inteligentes generan una simbiosis que ha demostrado su efectividad.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los proyectos de investigación PAPIIT IA102323 y PIAPIME 1.31.09.24 de la UNAM y la FESC.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Andras, I., Mazzone, E., van Leeuwen, F. W., De Naeyer, G., van Oosterom, M. N., Beato, S., ... & Mottrie, A. (2020). Artificial intelligence and robotics: a combination that is changing the operating room. *World journal of urology*, 38, 2359-2366.
- Aswath, S., Tilak, C. K., Suresh, A., & Udupa, G. (2014). Human gesture recognition for real-time control of humanoid robot. *Int. J. Adv. Mech. Automob. Engg.*, 1, 96-100.
- Chae, Y., Jeong, J., & Jo, S. (2012). Toward brain-actuated humanoid robots: asynchronous direct control using an EEG-based BCI. *IEEE Transactions on Robotics*, 28(5), 1131-1144.
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *Ieee Access*, 8, 75264-75278.
- Chowdhary, KR1442, and K. R. Chowdhary (2020). "Natural language processing." *Fundamentals of artificial intelligence*: 603-649.
- Gupta, M. K., Gupta, P. K., Giri, R. K., & Gupta, A. (2018). Smart electric control system using PLC & HMI. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 9(4), 548-555.
- Holland, John H (1992). "Genetic algorithms." *Scientific american* 267.1 (1992): 66-73.
- Jorgensen, C., Wheeler, K., Stepniewski, S., & Norvig, P. (2000, January). Bioelectric control of a 757 class high fidelity aircraft simulation. In *WAC 2000*.
- Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... & Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, 2(4).
- Kiguchi, K., Imada, Y., & Liyanage, M. (2007, August). EMG-based neuro-fuzzy control of a 4DOF upper-limb power-assist exoskeleton. In *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (pp. 3040-3043)*. IEEE.
- Klabi, I., Masmoudi, M. S., & Masmoudi, M. (2014, March). Advanced user interfaces for intelligent wheelchair system. In *2014 1st International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)* (pp. 130-136). IEEE.
- Kwon, Y. T., Kim, H., Mahmood, M., Kim, Y. S., Demolder, C., & Yeo, W. H. (2020). Printed, wireless, soft bioelectronics and deep learning algorithm for smart human-machine interfaces. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 12(44), 49398-49406.
- Lee, Y., Choi, D., & Kim, S. (2021, November). Operator-Friendly UAV Control System with HMI Using Speech and Gesture Recognition. In *Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology* (pp. 1035-1048). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2015). The internet of things: a survey. *Information systems frontiers*, 17, 243-259.
- McCulloch, Warren S., and Walter Pitts (1943). "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity." *The bulletin of mathematical biophysics* 5: 115-133
- Nadikattu, A. K. R. (2021). Influence of artificial intelligence on robotics industry. *International Journal of Creative Research Thoughts (IJCRT)*, ISSN, 2320-2882.
- Novatchkov, H., & Baca, A. (2013). Artificial intelligence in sports on the example of weight training. *Journal of sports science & medicine*, 12(1), 27.
- Parkes, D. C., & Wellman, M. P. (2015). Economic reasoning and artificial intelligence. *Science*, 349(6245), 267-272.
- Pires, G., & Nunes, U. (2002). A wheelchair steered through voice commands and assisted by a reactive fuzzy-logic controller. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 34, 301-314.
- Quantrille, T. E., & Liu, Y. A. (2012). *Artificial intelligence in chemical engineering*. Elsevier.
- Reuschenbach, A., Wang, M., Ganjineh, T., & Gohring, D. (2011, April). iDriver-human machine interface for autonomous cars. In *2011 Eighth International Conference on Information Technology: New Generations* (pp. 435-440). IEEE.
- Richards, B., Tsao, D., & Zador, A. (2022). The application of artificial intelligence to biology and neuroscience. *Cell*, 185(15), 2640-2643.
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (2015). The internet of things: An overview. *The internet society (ISOC)*, 80(15), 1-53.
- Tinoco-Varela, D., Ferrer-Varela, J. A., Cruz-Morales, R. D., & Padilla-García, E. A. (2022). Design and Implementation of a



- Prosthesis System Controlled by Electromyographic Signals Means, Characterized with Artificial Neural Networks. *Micromachines*, 13(10), 1681.
- Turing, Alan M (1950). *Computing machinery and intelligence*. Springer Netherlands.
- Vidal, J. J. (1977). Real-time detection of brain events in EEG. *Proceedings of the IEEE*, 65(5), 633-641.
- Wijayasinghe, I. B., Saadatzi, M. N., Peetha, S., Popa, D. O., & Cremer, S. (2018, August). Adaptive interface for robot teleoperation using a genetic algorithm. In *2018 IEEE 14th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 50-56). IEEE.
- Wu, Yu-chen, and Jun-wen Feng (2018). "Development and application of artificial neural network." *Wireless Personal Communications* 102: 1645-1656.
- Xia, K., Chen, X., Chang, X., Liu, C., Guo, L., Xu, X., ... & Zhou, J. (2022). Hand exoskeleton design and human-machine interaction strategies for rehabilitation. *Bioengineering*, 9(11), 682.
- Yi, Z., Lingling, D., Yuan, L., & Hu, H. (2011, August). Design of a surface EMG based human-machine interface for an intelligent wheelchair. In *IEEE 2011 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments (Vol. 3, pp. 132-136)*. IEEE.
- Yin, Y. H., Fan, Y. J., & Xu, L. D. (2012). EMG and EPP-integrated human-machine interface between the paralyzed and rehabilitation exoskeleton. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(4), 542-549.
- Zadeh, Lotfi A (1988). "Fuzzy logic." *Computer* 21.4: 83-93.
- Zamora-Izquierdo, M. A., Santa, J., & Gómez-Skarmeta, A. F. (2010). An integral and networked home automation solution for indoor ambient intelligence. *IEEE Pervasive Computing*, 9(4), 66-77.

INFORMACIÓN ACADÉMICA

David Tinoco Varela: Ingeniero mecánico eléctrico por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM, Maestro y Doctor en ciencias computacionales por la UNAM. Actualmente es profesor de la FES-Cuautitlán UNAM.

Fernando Gudiño Peñaloza: Ingeniero Mecánico Electricista egresado de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, Maestro en Ciencias de la Computación orientación Inteligencia Artificial egresado del Tecnológico de Monterrey. Doctor en Ciencias Computacionales egresado del Tecnológico de Monterrey

Raúl Dalí Cruz Morales: Ingeniero en robótica industrial egresado de ESIME-IPN, Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica egresado del CINVESTAV y Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, especialidad Mecatrónica egresado del CINVESTAV. Actualmente es profesor en la FES-Cuautitlán UNAM.

