

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN GRUPAL PIGR-19-07

“Reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas e inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano - máquina y humano - humano”

En la ciudad de Quito D.M., al primer día del mes de febrero del año dos mil veintitrés, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Grupal ***PIGR-19-07 “Reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas e inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano - máquina y humano - humano”***, por una parte, la ***Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos*** en calidad de ***Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación*** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el ***Dr. Marco Enrique Benalcázar Palacios*** en calidad de ***Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-07***, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 17 de septiembre de 2019, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación - CIIV, mediante Resolución Nro. RCIPS-124-2019, se aprueba el cronograma de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica del 2019. El 15 de octubre de 2019, mediante Resolución Nro. RCIPS-153-2019, se aprueba la modificación al cronograma.
- b) El 3 de marzo de 2020, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, mediante Resolución Nro. RCIV-028-2020, se aprobó el *“Informe Final de los Proyectos de Investigación de la Convocatoria 2019”*, donde se muestran los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2019. Entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto de Investigación Grupal denominado *“Reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas e inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano - máquina y humano - humano”*, presentado por el Dr. Marco Benalcázar.
- c) Mediante Memorando Nro. EPN-VIIV-2020-0290-M del 6 de marzo del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a la Jefatura del Departamento de Informática y Ciencias de la Computación (DICC), la aprobación de los proyectos del departamento correspondientes a la Convocatoria 2019, entre ellos, el Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-07 *“Reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas e inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano - máquina y humano - humano”*, dirigido por el Dr. Marco Benalcázar.
- d) Mediante Memorando Nro. EPN-VIIV-2020-0322-M del 11 de marzo de 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Marco Benalcázar que se ha aprobado la propuesta de Proyecto de Investigación Grupal *“Reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas e inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano - máquina y humano - humano”*, y que se ha asignado el código PIGR-19-07 al proyecto.
- e) Mediante Memorando Nro. EPN-VIIV-2020-0555-M del 15 de abril del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Grupales de la Convocatoria 2019, que la fecha de inicio es el 4 de mayo de 2020 y la fecha de finalización el 3 de mayo de 2022.

- f) Mediante Memorando EPN-CIIV-2022-0071-M del 6 de abril de 2022, se notificó la Resolución RCIIV-057-2022 del 5 de abril de 2022 de Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, con la que se aprobó la prórroga técnica del Proyecto PIGR-19-07, por lo que, la nueva fecha de finalización del proyecto es el 3 de agosto de 2022.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIGR-19-07
Nombre del Proyecto	Reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas e inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano - máquina y humano - humano
Director del Proyecto	MARCO ENRIQUE BENALCAZAR PALACIOS
Codirector del Proyecto	PATRICIO JAVIER CRUZ DAVALOS
Colaboradores del Proyecto	ROBIN GERARDO ALVAREZ RUEDA ANGEL LEONARDO VALDIVIESO CARAGUAY LORENA ISABEL BARONA LOPEZ
Unidad Ejecutora	Departamento de Informática y Ciencias de la Computación (DICC)
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Inteligencia artificial • Machine learning
Objetivo	Desarrollar sistemas generales y específicos por usuario para el reconocimiento de gestos de la mano mediante el uso de señales electromiográficas (EMG), señales de orientación del antebrazo y técnicas de inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano-máquina y humano-humano
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio: 4 de mayo del 2020 • Fin planeado: 3 de mayo de 2022 • Prórroga: hasta el 3 de agosto de 2022 • Duración total: 27 meses •
Entrega del Informe Final	26 de septiembre de 2022
Presupuesto asignado	\$ 50.000,00 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 47.442,13 USD

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIGR-19-07-2022-0027-M del 26 de septiembre de 2022, el Dr. Marco Benalcázar, Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-07, presenta el Informe Final del Proyecto Grupal que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se construyó una base de datos pública con señales EMG e IMU de 11 gestos de la mano de 100 personas y con 25 repeticiones por cada gesto. Los gestos utilizados para la presente investigación son: (a) mano a la izquierda (wave in), (b) mano a la derecha (wave out), (c) puño (fist), (d) mano abierta (open), y (e) doble golpe de los dedos (pinch), (f) arriba (up), (g) abajo

(down), (h) izquierda (left), (i) derecha (right), (j) apuntar al frente (forward), y (k) apuntar hacia atrás (backward).

- Se realizó un estudio de la performance de características extraídas en los dominios de la complejidad, del tiempo, y de la frecuencia. Los mejores resultados, en clasificación y reconocimiento, se obtuvieron en el dominio de la complejidad usando la dimensión fractal. Sin embargo, considerando aplicaciones en tiempo real, la carga computacional fue un parámetro determinante y el dominio del tiempo tuvo la carga computacional más baja.
- Se desarrollaron dos modelos específicos de reconocimiento de 5 gestos de la mano, utilizando métodos de aprendizaje supervisado y por refuerzo. Estos modelos sirvieron de base para el desarrollo de un modelo específico de reconocimiento de 11 gestos de la mano. Este modelo usa los algoritmos DTW (Dynamic Time Warping) y kNN (k-Nearest Neighbor), con el cual se obtuvo un $80.04 \pm 13.66\%$ en clasificación y un $66.12 \pm 18.3\%$ en reconocimiento.
- Se desarrolló un modelo general de reconocimiento de 11 gestos de la mano usando un modelo de aprendizaje supervisado basado en una red neuronal convolucional (CNN) con una capa de memoria Long Short-Term Memory (LSTM). Los resultados obtenidos alcanzaron una exactitud de clasificación de $55.33\% \pm 18.45\%$, así como una exactitud de reconocimiento de $49.15\% \pm 18.41\%$.
- Se realizó una comparación de los resultados de los modelos específicos y generales desarrollados en este proyecto. En esta comparación se determinó que los mejores resultados se obtenían usando modelos específicos. Esto se debe a que estos modelos se adaptan a las distribuciones específicas de probabilidad de los datos de cada usuario. Por otra parte, los modelos generales deben adaptarse a un conjunto diverso de distribuciones de probabilidad de los datos de todo el universo de usuarios.
- Utilizando los 11 gestos de la mano propuestos, y los datos del movimiento del brazo que se pueden obtener con la IMU, se implementaron exitosamente tres aplicaciones de interfaces humano-máquina. Primero, se desarrolló un sistema de comandos multimodal para controlar el movimiento del helicóptero de 3-GDL construido desde cero. Adicionalmente, se usó el sistema de reconocimiento de gestos para manejar el manipulador robótico virtual UR5 de 6-GDL. Finalmente, se desarrolló un video juego tipo laberinto en tiempo real para mejorar las capacidades cognitivas de las personas.
- Finalmente, se utilizó un sistema de reconocimiento de gestos de la mano para comandar una interfaz humano-humano (HHI) que le permite a un usuario controlar a través de sus gestos el movimiento del brazo de otro usuario en tiempo real.

PRODUCTOS:

- Artículo publicado: "A user-specific hand gesture recognition model based on feed-forward neural networks, emgs, and correction of sensor orientation"; Marco E. Benalcázar, Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay, Lorena Isabel Barona López; Applied Sciences (Switzerland) (Indexado SCOPUS; Q2); ISSN: 20763417; DOI: 10.3390/app10238604; diciembre 2020.

- Artículo enviado para revisión: “A Comparison of EMG-based Hand Gesture Recognition Systems based on Supervised and Reinforcement Learning”; Juan Pablo Vásconez, Lorena Isabel Barona López, Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay, Marco E. Benalcázar; Engineering Applications of Artificial Intelligence (Indexado SCOPUS; Q1); ISSN: 09521976; julio 2022.
- Artículo enviado para revisión: “Hand Gesture Recognition using EMG-IMU signals and Deep Q Networks”; Juan Pablo Vásconez, Lorena Isabel Barona López, Ángel Leonardo Valdivieso Caraguay, Marco E. Benalcázar; Expert systems with applications (Indexado SCOPUS; Q1); ISSN: 09574174; julio 2022.
- Artículo en conferencia indexada Scopus: “An interactive system to improve cognitive abilities using electromyographic signals”; Benalcázar Palacios Marco Enrique, Aguas Xavier, Valdivieso Caraguay Ángel Leonardo, Barona López Lorena Isabel, Nogales Rubén, Guilcapi Jaime, Benalcázar Freddy; ACM International Conference Proceeding, 5th International Conference on Advances in Artificial Intelligence, ICAAI 2021 Virtual; ISBN: 978-145039069-9; DOI: 10.1145/3505711.3505723; noviembre 2021.
- Artículo en conferencia indexada Scopus: “An Open-Source Data Acquisition and Manual Segmentation System for Hand Gesture Recognition based on EMG”; Zea Jonathan, Benalcázar Marco E., Barona López Lorena Isabel, Valdivieso Caraguay Ángel Leonardo; ETCM 2021 - 5th Ecuador Technical Chapters Meeting, 5th IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2021, Cuenca; ISBN: 978-166544141-4; DOI: 10.1109/ETCM53643.2021.9590811; octubre 2021.
- Artículo en conferencia indexada Scopus: “A Hand Gesture Recognition System Using EMG and Reinforcement Learning: A Q-Learning Approach”; Vásconez Juan Pablo, López Lorena Isabel Barona, Caraguay Ángel Leonardo Valdivieso, Cruz Patricio J., Álvarez Robin, Benalcázar Marco E.; Lecture Notes in Computer Science (Indexado SCOPUS; Q2), including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics, Volume 12894 LNCS, 2021, 30th International Conference on Artificial Neural Networks, ICANN 2021; ISSN: 03029743; DOI: 10.1007/978-3-030-86380-7_47; septiembre 2021.
- Artículo en conferencia indexada Scopus: “Hand Gesture Recognition and Tracking Control for a Virtual UR5 Robot Manipulator”; Chico Alex, Cruz Patricio J., Vásconez Juan Pablo, Benalcázar Marco E., Álvarez Robin, Barona Lorena, Valdivieso Ángel Leonardo; ETCM 2021 - 5th Ecuador Technical Chapters Meeting, 5th IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2021, Cuenca; ISBN: 978-166544141-4; DOI: 10.1109/ETCM53643.2021.9590677; octubre 2021.
- Póster en conferencia indexada Scopus: “Hand Gesture and Arm Movement Recognition for Multimodal Control of a 3-DOF Helicopter”; Romero Ricardo, Cruz Patricio J., Vásconez Juan P., Benalcázar Marco, Álvarez Robin, Barona Lorena, Valdivieso Ángel Leonardo; Lecture Notes in Networks and Systems (Indexado SCOPUS; Q4), Volume 429 LNNS, 2022, 9th International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications, RiTA 2021, Daejeon; ISSN: 23673370; DOI: 10.1007/978-3-030-97672-9_32; 2022.
- Artículo en conferencia indexada Scopus: “A New Methodology for Pattern Recognition Applied to Hand Gestures Recognition Using EMG. Analysis of Intrapersonal and Interpersonal Variability”; Ordóñez Flores Javier Alejandro, Alvarez Rueda Robin Gerardo, Benalcázar Marco E., Barona López Lorena Isabel, Leonardo Ángel Valdivieso, Cruz Patricio, Vásconez Juan Pablo; ETCM 2021

- 5th Ecuador Technical Chapters Meeting, 5th IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting, ETCM 2021, Cuenca; ISBN: 978-166544141-4; DOI: 10.1109/ETCM53643.2021.9590695; octubre 2021.

- Proyecto de titulación de Ingeniería de Electrónica y Control: “*Diseño e implementación de una plataforma multi – rotor de tres grados de libertad comandada por medio de gestos realizados con la mano*”; Romero Paredes Ricardo Andrés; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22245>; marzo 2022.
- Proyecto de titulación de Ingeniería de Electrónica y Control: “*Integración de un sistema de reconocimiento de gestos de la mano basado en el sensor Myo Armband con el simulador de robots Coppeliasim para el control de un manipulador virtual de 6 grados de libertad*”; Chico Godoy Alex Paúl; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22259>; marzo 2022.
- Proyecto de titulación de Ingeniería de Electrónica y Telecomunicaciones: “*Implementación de un algoritmo para el reconocimiento de gestos de la mano en tiempo real, usando señales electromiográficas*”; Ordóñez Flores Javier Alejandro; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21698>; junio 2021.
- Proyecto de titulación de Ingeniería de Electrónica y Telecomunicaciones: “*Implementación de un algoritmo para el reconocimiento de gestos del brazo humano en tiempo real utilizando la Imu del dispositivo Myo Armband*”; Andagama Lasso Miguel Rashid; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22234>; marzo 2022.
- Trabajo de Integración Curricular de Ingeniería de Ciencias de la Computación: “*Diseño y aplicación de un modelo de reconocimiento de 11 gestos de la mano usando señales EMG, IMU, DTW Y KNN*”; Rivera Cajía Óscar Mauricio; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23399>; octubre 2022.
- Trabajo de Integración Curricular de Ingeniería de Software: “*Diseño y aplicación de un modelo de reconocimiento de 11 gestos de la mano usando señales EMG y Deep Learning: diseño de un modelo de reconocimiento de 11 gestos de la mano que funcione en tiempo real*”; Muñoz Oña José Miguel; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23346>; octubre 2022.

Adicionalmente, el director del Proyecto PIGR-19-07 presentó en calidad de producto:

- Planteamiento de Proyecto de mayor alcance: Perfil del proyecto “*Desarrollo de un prototipo de prótesis de mano usando señales Electromiográficas (EMG) e Inteligencia Artificial (Fondos I+D+i CEDIA)*”, cuyo alcance es: “*En este proyecto, se propone el desarrollo de un prototipo de prótesis mioeléctrica de mano derecha y un software para su operación basado en técnicas de Inteligencia Artificial. Para la construcción se adaptará un diseño open-source imprimible en 3D, de tal forma que sea asequible, de fácil fabricación y validado por la comunidad científica. El sistema aprenderá a realizar los movimientos de agarrar y soltar objetos. Adicionalmente, siguiendo el criterio de asequibilidad y portabilidad, se utilizará un sensor EMG comercial no invasivo, tipo brazalete y con electrodos de superficie. El software de este prototipo será implementado usando algoritmos de inteligencia artificial, haciendo énfasis en el uso de técnicas de aprendizaje por refuerzo*”; junio 2022.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-07 fue de \$ 50.000,00 USD (*cincuenta mil dólares americanos, con 00/100*), y se ejecutaron \$ 47.442,13 USD (*cuarentaisiete mil seiscientos cuatrocientos cuarentaidós dólares americanos, con 13/100*), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-07 "*Reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas e inteligencia artificial y su aplicación para la implementación de interfaces humano - máquina y humano - humano*".

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. al primer día del mes de febrero del año dos mil veintitrés.

Dra. Alexandra Alvarado
**Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación**

Dr. Marco Benalcázar
**Director del Proyecto
PIGR-19-07**

sp/cr