



## A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### 1. TIPO DE PROYECTO:

<b>Interno</b>		<b>Grupal</b>	X ✓
<b>Semilla</b>		<b>Multidisciplinario</b>	

### 2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

<b>Básica</b>		<b>Aplicada</b>	X ✓
---------------	--	-----------------	-----

### 3. UNIDAD EJECUTORA *(Departamento, Instituto o Estructura de Investigación)*

1. Departamento de Informática y Ciencias de la Computación

### 4. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Inteligencia Artificial (DICC)
2. Machine Learning (DICC)

### 5. TÍTULO DEL PROYECTO *(mínimo 10 palabras):*

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.

### 6. RESUMEN *(máximo 200 palabras)*

Un sistema de reconocimiento de gestos permite identificar de manera automática el instante de tiempo en que se produce un movimiento de la mano y la clase, de un conjunto predefinido de clases, a la que pertenece dicho movimiento. Estos sistemas tienen múltiples aplicaciones, incluyendo el desarrollo de interfaces humano-computador o, inclusive, interfaces humano-humano. En el presente proyecto se propone el desarrollo de sistemas de reconocimiento de 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano. Los sistemas propuestos tendrán como entrada tanto a señales electromiográficas (EMG) producidas por los músculos del antebrazo, así como a señales de orientación de un punto de referencia del antebrazo, medidas a través de una unidad de medida inercial (IMU). Estas señales serán adquiridas mediante el uso de un sensor comercial EMG-IMU de bajo costo. El desarrollo de los algoritmos de reconocimiento estará basado en el uso de técnicas de aprendizaje de máquina. Finalmente, como ejemplo de la aplicación de los sistemas propuestos se desarrollará tanto (1) una interfaz humano-máquina que permita controlar a través de gestos un videojuego, y (2) una interfaz humano-humano que le permita a un usuario controlar, a través del movimiento voluntario de su mano, el movimiento de la mano de otro usuario.



## 7. PALABRAS CLAVE (4-6)

Reconocimiento de gestos de la mano  
Señales electromiográficas (EMG)  
Unidad de medida inercial  
Inteligencia artificial  
Interfaz humano-máquina  
Interfaz humano-humano

## 8. OBJETIVOS

### 8.1. OBJETIVO GENERAL

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.

### 8.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Construir una base de datos pública de señales EMG y datos de orientación del antebrazo derecho para 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano, con al menos 100 usuarios y 25 repeticiones por cada gesto a reconocer.
- b. Analizar teórica y empíricamente las propiedades estadísticas de las señales EMG y de las señales de orientación del antebrazo para definir las condiciones y restricciones para su procesamiento usando modelos de machine learning.
- c. Desarrollar un sistema de reconocimiento de gestos específico por usuario que sea capaz de identificar 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano y que funcione en tiempo real.
- d. Desarrollar un sistema general de reconocimiento de 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano que funcione en tiempo real.
- e. Evaluar y comparar los sistemas desarrollados en términos de la exactitud de reconocimiento y el tiempo de respuesta.
- f. Utilizar el sistema de reconocimiento de mejor performance, en términos de la exactitud de reconocimiento y el tiempo de respuesta, para el desarrollo de una interfaz humano-máquina que le permita a un usuario controlar a través de sus gestos un videojuego en tiempo real.
- g. Utilizar el sistema de reconocimiento de mejor performance, en términos de la exactitud de reconocimiento y el tiempo de respuesta, para el desarrollo de una interfaz humano-humano que le permita a un usuario controlar a través de un gesto el movimiento de la mano de otro usuario.

## 9. HIPÓTESIS (opcional)

**Hipótesis general:** El uso de técnicas de inteligencia artificial permitirá desarrollar sistemas (1) generales y (2) específicos por usuario para el reconocimiento de



gestos estáticos y dinámicos de la mano que tengan como entrada a señales electromiográficas y señales de orientación del antebrazo y que funcionen con alta exactitud de reconocimiento y en tiempo real.

**Hipótesis específicas:**

- a. Un sistema de reconocimiento de gestos estáticos y dinámicos de mano podrá ser utilizado para el desarrollo de una interfaz humano-máquina que le permita a un usuario controlar a través de sus gestos un videojuego en tiempo real.
- b. Un sistema de reconocimiento de gestos estáticos y dinámicos de mano podrá ser utilizado para el desarrollo de una interfaz humano-humano que le permita a un usuario controlar a través de un gesto el movimiento de la mano de otro usuario.

**10. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS** *(con relación a los objetivos)*

Las principales contribuciones del presente proyecto se detallan a continuación.

a. Se construirá un base de datos pública de los 11 gestos a reconocer, donde por cada gesto se registrará las señales EMG producidas por los músculos del antebrazo, así como las señales de orientación de un punto del antebrazo. Estas señales serán utilizadas para analizar el problema en el cual se desarrolla la presente investigación y luego proceder al diseño, implementación, entrenamiento, validación preliminar y testeo de los modelos y aplicaciones planteadas en este proyecto. El número de usuarios y muestras a adquirir por cada gesto a reconocer se detallan en la parte de la metodología (sección 13). La base de datos en cuestión será liberada al público para facilitar la reproducción de los resultados que se obtengan en esta investigación.

En la parte teórica se espera obtener los siguientes resultados:

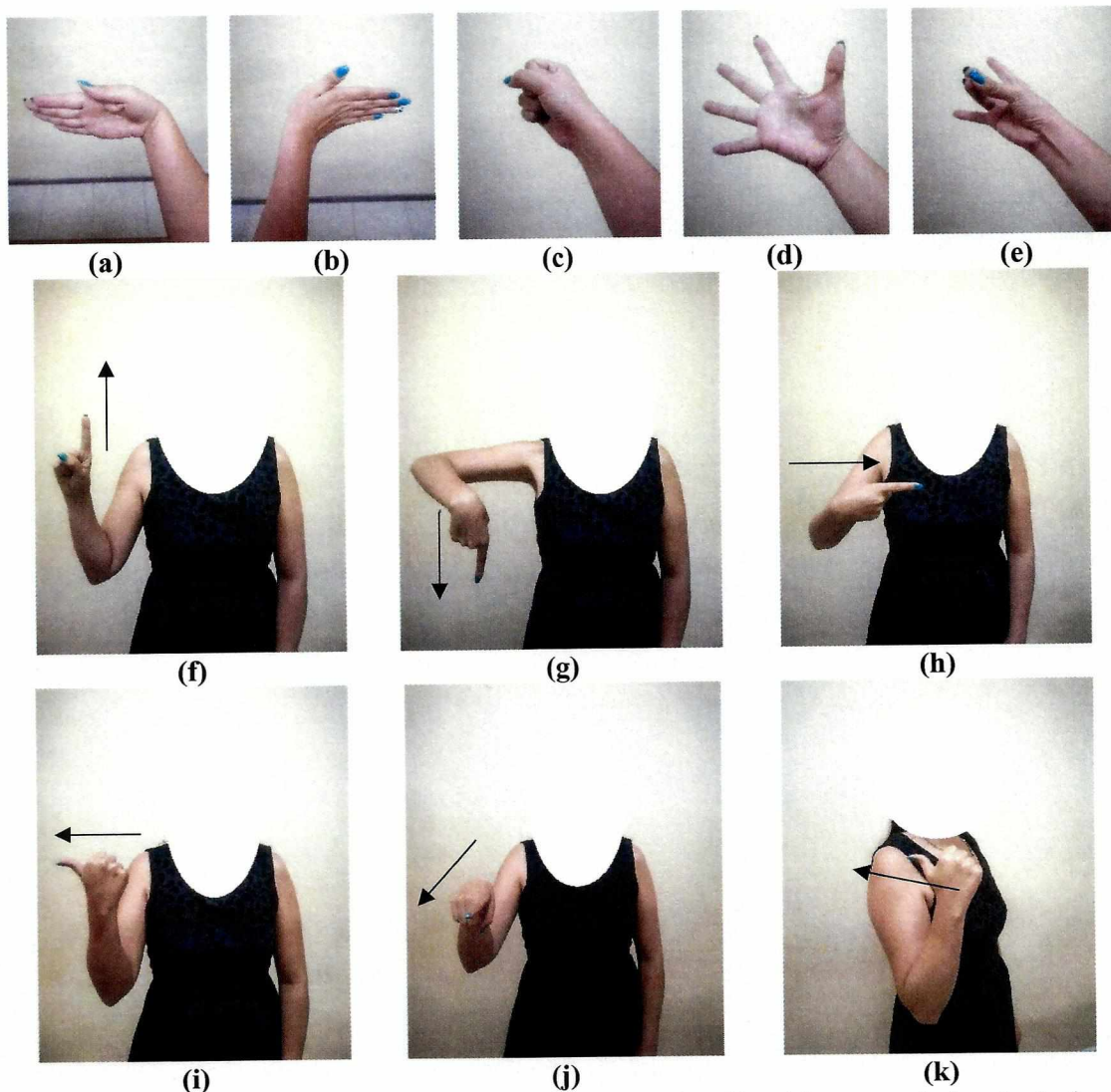
b. Se obtendrá las características y restricciones del problema a resolver mediante el estudio de las propiedades estadísticas tanto de las señales electromiográficas (EMG) generadas por los músculos del antebrazo, así como de las señales de orientación de un punto de referencia del antebrazo. Estas señales serán analizadas mediante series de tiempo y como procesos no-estacionarios (i.e., procesos donde la distribución de probabilidad cambia con el tiempo). Este estudio también permitirá analizar la variabilidad inter e intra-usuario de algunos *features* o descriptores, tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia, que permitan representar a las señales EMG y a las señales de orientación del antebrazo en espacios de características de menor dimensión, pero con mayor capacidad de discriminación, que el espacio donde existen las señales EMG y las señales de orientación.

c. En base al resultado anterior, se seleccionará para la parte experimental los algoritmos de *machine learning* cuyas propiedades matemáticas mejor se ajusten a las condiciones y restricciones del problema en cuestión.

En la parte práctica se espera obtener los siguientes resultados:

d. Se desarrollará dos modelos de reconocimiento de gestos de la mano en base al uso de técnicas de inteligencia artificial y señales EMG y de orientación medidas en los músculos

del antebrazo. El primer modelo será un modelo general debido a que el modelo será capaz de reconocer gestos de un usuario cuyos datos no necesariamente forman parte del conjunto de datos de entrenamiento usados para el aprendizaje del modelo. El segundo modelo será un modelo específico por usuario. Se denomina modelo específico debido a que el modelo será entrenado únicamente con los datos del usuario que lo utilizarás. En el caso del modelo específico por usuario, para que pueda ser utilizado en la práctica, éste deberá ser entrenado con un número máximo de ejemplos de entrenamiento que esté en el orden de las decenas por cada gesto a reconocer. Así también, el tiempo de respuesta de los modelos a investigar deberá ser menor a 300 ms, que corresponde al tiempo promedio a partir del cual los seres humanos empiezan a notar un retardo en este tipo de sistemas.

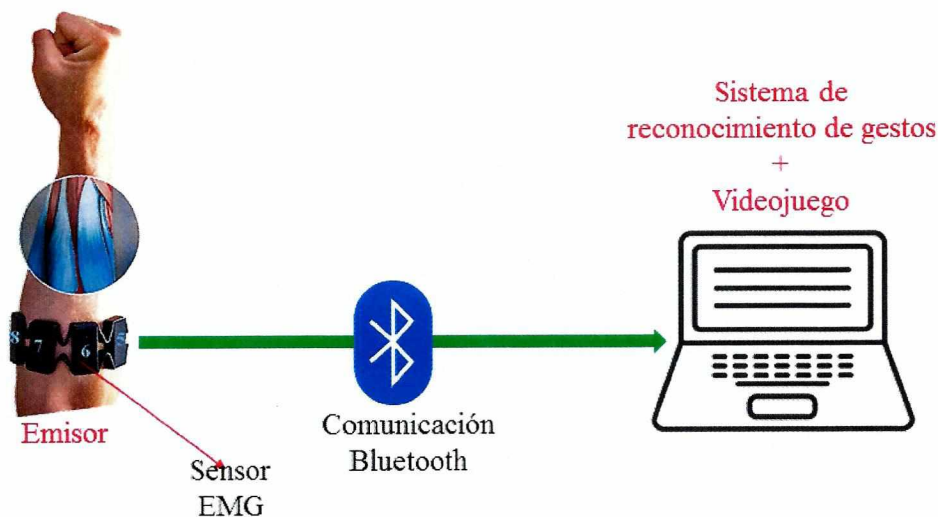


**Figura 1:** Gestos que se plantea reconocer en esta investigación. (a) mano a la izquierda (wave in), (b) mano a la derecha (wave out), (c) puño (fist), (d) mano abierta (open), y (e) doble golpe de los dedos (pinch), (f) arriba (up), (g) abajo (down), (h) izquierda (left), (i) derecha (right), (j) apuntar al frente (forward), y (k) apuntar hacia atrás (backward).

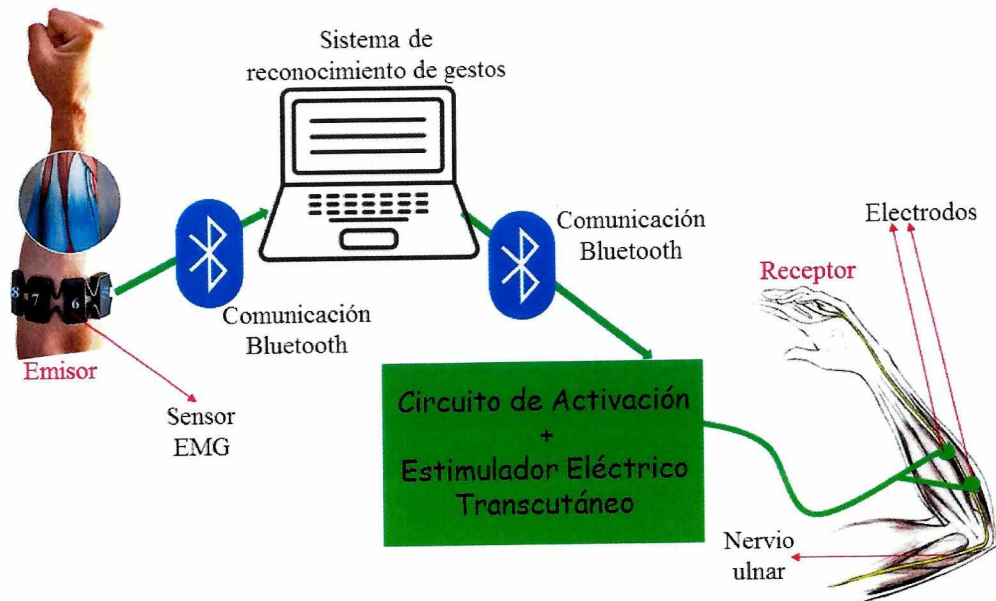
e. Se implementará un prototipo de software en Matlab® en base a los algoritmos que se obtengan a partir de los modelos antes descritos. Estos algoritmos serán entrenados para el reconocimiento de los siguientes 5 gestos de la mano: mano a la izquierda (wave in), mano a la derecha (wave out), puño (fist), mano abierta (open), y doble golpe de los dedos

(pinch); así como de los siguientes 6 gestos que involucran movimiento de la mano y del antebrazo: arriba (up), abajo (down), izquierda (left), derecha (right), apuntar al frente (forward), y apuntar hacia atrás (backward) (Figura 1). Todos los demás movimientos de la mano y el brazo serán etiquetados con la clase no-gesto. Se plantea el reconocimiento de estos gestos debido a que son los más comúnmente usados para la implementación de interfaces humano-máquina. Adicionalmente, algunos de estos gestos son también utilizados en el lenguaje de señas ecuatoriano y son compatibles con varios lenguajes de señas usados mundialmente.

f. En base a los modelos descritos en el punto anterior se desarrollará dos aplicaciones que permitan evidenciar el potencial uso de los modelos de reconocimiento a desarrollar. La primera aplicación consiste en el desarrollo de una interfaz humano-máquina y la segunda aplicación consiste en el desarrollo de una interfaz humano-humano. Para la interfaz humano-máquina, el reconocimiento de los gestos de la mano le permitirá a un usuario controlar un videojuego de Atari o Tetris en tiempo real (Figura 2). El algoritmo de control del videojuego se desarrollará en Matlab®. Para el caso de la interfaz humano-humano se desarrollará un sistema compuesto por hardware y software. Este sistema le permitirá a un usuario (llamado emisor), mediante la realización del gesto puño (fist), inducir este movimiento en la mano derecha de otro usuario (llamado receptor). Para este propósito se aplicará, al usuario receptor, una estimulación eléctrica transcutánea en la región del antebrazo cercana al codo, que corresponde a la región donde el nervio ulnar se encuentra más cercano a la piel (Figura 3). Para esta segunda aplicación, el software será desarrollado en Matlab® y el hardware estará compuesto de un estimulador eléctrico transcutáneo (TENS) comercial y el circuito para su activación será construido en base a una tarjeta Arduino y elementos de electrónica básica.



**Figura 2:** Esquema de la interfaz humano-máquina que le permite a una persona, mediante los gestos de su mano, controlar en tiempo real un video juego de Atari o Tetris.



**Figura 3:** Esquema de la interfaz humano-humano que le permite a una persona (emisor), mediante el gesto puño, inducir este movimiento en la mano derecha de otra persona (receptor), a través de la estimulación eléctrica transcutánea del nervio ulnar.

Con los resultados esperados descritos anteriormente, en la presente investigación se plantea realizar las siguientes actividades:

- i) Presentación de los resultados preliminares de esta investigación en al menos dos congresos nacionales e internacionales, cuyos proceedings estén indexados en SCOPUS. Con los resultados finales se generará al menos dos artículos científicos que serán enviados para revisión a revistas que estén al menos en el cuartil Q2 de acuerdo con el índice SCIMAGO-SCOPUS (artículo 3 del Acuerdo 2015-117 de SENESCYT y artículo 8, literal f, del Normativo para el proceso de aprobación, desarrollo y cierre de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica con financiamiento de la Escuela Politécnica Nacional).
- ii) Potenciamiento de las líneas de investigación en inteligencia artificial (código DICC-A1-L1) y machine learning (código DICC-A1-L2) pertenecientes al área de ciencias y metodologías de la computación del Departamento de Informática y Ciencias de la Computación de la Escuela Politécnica Nacional. Así también, este proyecto contribuirá para la investigación de dos estudiantes del Doctorado en Informática (Msc. Andrés Jaramillo y Msc. Rubén Nogales), especialidad sistemas inteligentes, de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional.
- iii) Consolidación del grupo de investigación de aprendizaje de máquina y visión por computador (GI-AMVC), debidamente registrado en el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social de la Escuela Politécnica Nacional. Adicionalmente, el equipamiento que se adquiera dentro del presente proyecto incrementará el inventario de equipos e infraestructura del Laboratorio de Investigación en Inteligencia y Visión Artificial de la Facultad de Ingeniería de Sistemas de la Escuela Politécnica Nacional.



## 11. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN (*científico, social, económico u otros*)

### Impacto Social

En general, el desarrollo de sistemas de reconocimiento de gestos de la mano tiene un gran impacto social porque, entre sus múltiples potenciales aplicaciones permite, por ejemplo, el desarrollo de sistemas de traducción de lenguaje de señas a texto o voz. También permite la generación de señales de entrada para comandar prótesis activas de la mano. Estas aplicaciones permiten, a su vez, la inclusión social de personas sordomudas o personas que han sufrido la pérdida de su mano. Otras aplicaciones de los sistemas de reconocimiento de gestos son el desarrollo de interfaces humano-máquina, con los cuales un usuario puede interactuar con videojuegos, sistemas de realidad virtual, robots, equipos médicos, entre otros. Así también, se puede desarrollar interfaces humano-humano que, en un futuro, podrán ser empleados por ejemplo para rehabilitación de la mano, o inclusive para transferencia de habilidades motrices, como por ejemplo aprender a tocar una guitarra o piano.

### Impacto Científico

En la literatura científica existe varios trabajos propuestos, en base a distintos enfoques, donde se presenta modelos para el reconocimiento de gestos de la mano usando señales electromiográficas (EMG). Sin embargo, el principal inconveniente de estos trabajos es que confunden el problema clasificación con el problema reconocimiento. Así también, la mayoría de los trabajos existentes en la literatura científica proponen modelos que reconocen movimientos sólo de los dedos y de la palma de la mano, dejando de lado el movimiento o la posición del antebrazo y del brazo. Aplicaciones como el reconocimiento de lenguaje de señas o el diseño de interfaces de interacción con sistemas de realidad virtual requieren el desarrollo de modelos que puedan reconocer gestos que involucran el movimiento del brazo, el antebrazo, los dedos y la palma de la mano. Aparte de estas limitaciones, algunos trabajos propuestos en la literatura científica no describen la cantidad de ejemplos de entrenamiento usados para el testeo de los modelos o, en algunos casos, el número de ejemplos de testeo es muy bajo para obtener una buena estimación (i.e., estadísticamente significativa) de la performance de reconocimiento y la complejidad computacional, lo cual pone en cuestionamiento la validez científica de estos modelos. Por este motivo, la realización de la presente investigación tiene un alto impacto científico porque persigue, por un lado, desarrollar modelos que permitan, no sólo clasificar, sino también reconocer gestos que involucran el movimiento de los dedos y la palma de la mano junto con movimientos del antebrazo y del brazo y, por otro lado, evaluar dichos modelos usando una base de datos generada en esta investigación que permita obtener resultados estadísticamente significativos.

Adicionalmente, la ejecución de la investigación propuesta en este proyecto, aparte de desarrollar nuevo conocimiento científico, también contribuirá a la formación de nuevos investigadores. Esto se dará gracias a que en este proyecto se ha incluido a estudiantes del Doctorado en Informática, mención Sistemas Inteligentes, de la Escuela Politécnica Nacional. En el desarrollo del proyecto también se incluirá a estudiantes de maestrías profesionalizantes y de investigación para que desarrollen tesis y proyectos finales, respectivamente, en la temática planteada en este proyecto. Es decir, el impacto científico del presente proyecto no sólo se podrá medir por el número de publicaciones generadas, sino también por la formación de capital humano en investigación.



### **Impacto Económico**

En este proyecto se plantea desarrollar nuevos modelos para el reconocimiento de gestos de la mano. El desarrollo y estudio de estos modelos permitirá adquirir el conocimiento necesario para el desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas, principalmente de software, que puedan ser patentables. La comercialización de estas patentes permitirá que la Escuela Politécnica Nacional pueda recibir ingresos económicos por autogestión que alimenten a su presupuesto anual (según los artículos 20 y 148 de la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador). Adicionalmente, debido al dominio de aplicación en el que se desenvolverá la investigación planteada (software), los potenciales consumidores del conocimiento y aplicaciones tecnológicas que aquí se desarrollen están a escala mundial y no sólo a nivel del Ecuador. Finalmente, debido a que el ámbito de la presente investigación involucra el desarrollo de modelos que a nivel tecnológico pueden ser implementados principalmente en software, su comercialización o puesta en producción no demandan de mucha dificultad, pues no se requiere transformación de materia prima, sino únicamente se requiere conocimiento y una plataforma de desarrollo de software. Adicionalmente, el desarrollo del presente proyecto de investigación contribuirá a aumentar el número y la calidad de publicaciones científicas de la Escuela Politécnica Nacional, lo cual se traducirá en un mayor aporte de recursos económicos por parte del Estado (según el artículo 24 de la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador).





## 12. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO

*(máximo tres carillas)*

### Introducción

Un gesto es una forma de comunicación no verbal mediante movimientos corporales que transmiten algún tipo de información. El reconocimiento de gestos de la mano consiste en identificar el instante, la duración y la clase, de un conjunto predefinido de clases, a la que pertenece un movimiento de la mano (Escalera, Guyon, & Athitsos, 2017; Konar & Saha, 2018). La información que retorna un sistema de reconocimiento de gestos de la mano puede utilizarse como entrada para comandar, de manera natural, sistemas de interacción hombre-máquina, incluyendo biónica a través del control de prótesis de mano (Mizuno, Tsujiuchi, & Koizumi, 2011; Tavakoli, Benussi, & Lourenco, 2017) y robótica (Liu & Wang, 2018; Mi et al., 2016); sistemas de interacción hombre-computador, incluyendo la funcionalidad de un mouse para comandar un computador (Grif & Farcas, 2016), juegos e interfaces de realidad virtual (Rautaray & Agrawal, 2011); y aplicaciones médicas, incluyendo la visualización de datos (Wachs et al., 2006) y la manipulación de imágenes durante procedimientos médicos (Jacob, Wachs, & Packer, 2013; Wipfli, Dubois-Ferrière, Budry, Hoffmeyer, & Lovis, 2016).

En la presente investigación nos enfocamos en el uso de señales EMG y señales de orientación del antebrazo para desarrollar modelos de reconocimiento de gestos de la mano. Las señales EMG son señales eléctricas producidas por los músculos esqueléticos, producto de su contracción voluntaria para producir fuerza o movimiento (Mokhlesabadifarahani & Gunjan, 2015; Rodriguez-Falces, Navallas, & Malanda, 2012; Weiss, Jay, Weiss, Lyn, & Silver, Julie, 2004). En este proyecto, las señales EMG serán adquiridas usando sensores comerciales EMG de superficie (Merletti, 2016), los cuales son sensores no invasivos. En comparación con los sensores ópticos, los sensores EMG no sufren del problema de oclusión, cambios de iluminación y cambios en la distancia entre la mano y el sensor. Además, la implementación de modelos de reconocimiento portátiles es mucho más fácil usando sensores EMG que utilizando sensores ópticos, los cuales por lo general deben colocarse en una ubicación fija y con intensidad de luz controlada. Adicionalmente, para personas amputadas, los sensores ópticos son imposibles de usar debido a que requieren la existencia de la extremidad que produce los movimientos para adquirir datos para el reconocimiento (Farina et al., 2014). Por lo tanto, los sensores EMG son una buena opción para implementar modelos de reconocimiento de gestos para amputados debido a que las señales EMG reflejan directamente las órdenes enviadas por el cerebro hacia los músculos esqueléticos a pesar de que éstos no existan producto de la amputación.

Por otro lado, el uso de señales EMG para el reconocimiento de gestos de la mano presenta algunos desafíos. Por ejemplo, la mayoría de los algoritmos de clasificación propuestos en la literatura científica están diseñados para clasificar vectores de características independientes e idénticamente distribuidos (i.e., procesos estocásticos estacionarios) (Devroye, Györfi, & Lugosi, 1996; Wiley, 2014). Sin embargo, las señales EMG producto del movimiento voluntario de una extremidad se comportan como un proceso Gaussiano no estacionario (Bonato, D'Alessio, & Knaflitz, 1998; Shwedyk, Balasubramanian, & Scott, 1977). Existe evidencia de que las envolventes de las señales EMG tienen variabilidad de las propiedades estadísticas inter e intra-usuario (McGill, 2004). Adicionalmente, dependiendo del número de sensores que se use en la adquisición de datos, las señales EMG son usualmente señales multicanal y de longitud variable y se encuentran en grandes espacios multidimensionales.

### Investigaciones Previas del Equipo

El presente proyecto tiene como base el conocimiento y los resultados obtenidos durante la ejecución del proyecto de investigación PIJ-16-13 “Clasificación de Señales Electromiográficas del Brazo Humano usando Técnicas de Reconocimiento de Patrones y Machine Learning”, proyecto que está en proceso de cierre después de un periodo de ejecución de 2 años, con



financiamiento de la Escuela Politécnica Nacional. De la ejecución de este proyecto se desprende las siguientes publicaciones científicas: (Vimos et al., 2019; Zea & Benalcázar, 2019; Ramírez et al., 2018; Motoche & Benalcázar, 2018; Benalcázar et al., 2018; León et al., 2018; Jaramillo & Benalcázar, 2017; Benalcázar et al., 2017a; Benalcázar et al., 2017b). El objetivo general de este proyecto fue desarrollar un nuevo modelo de clasificación de señales electromiográficas del brazo humano usando técnicas de reconocimiento de patrones y machine learning. Los modelos desarrollados en este proyecto son capaces de clasificar 5 movimientos de los dedos y la palma de la mano (Figura 1 a, b, c, d y e), en base al uso de señales EMG medidas en el antebrazo con el sensor comercial Myo Armband. Adicionalmente, aparte de sensores EMG, para el reconocimiento de gestos de la mano también se ha investigado, aunque en menor profundidad que los sensores EMG, sobre el uso guantes equipados con sensores de flexión e IMU (Jiménez, Benalcázar & Sotomayor, 2017) y sensores de visión estéreo con cámaras infrarrojas (Nogales & Benalcázar, 2019).

La principal diferencia del presente proyecto con respecto al proyecto descrito anteriormente radica en el número y tipo de gestos a reconocer. Adicionalmente, en el presente proyecto también se incluye la implementación de dos casos de aplicación del sistema de reconocimiento a desarrollar. En cuanto al número de gestos a reconocer, en el presente proyecto se propone reconocer un total de 11 gestos estáticos y dinámicos, a diferencia del proyecto anterior donde se planteó clasificar 5 gestos. Otra diferencia fundamental con respecto al proyecto PIJ-16-13 consiste en que, en la presente propuesta se plantea resolver un problema más complejo, el de reconocimiento de gestos, que el problema de clasificación. En el contexto de señales EMG, el problema de clasificación de gestos consiste en asignar una etiqueta a una señal EMG en función del gesto que contiene dicha señal. El problema de reconocimiento consiste en identificar no solo la clase, sino los instantes de tiempo entre los cuales se produce un determinado movimiento de la mano. Respecto del tipo de gestos, en el presente proyecto se plantea reconocer no sólo gestos que involucran el movimiento de los dedos y la palma de la mano, sino también gestos que adicional a estos movimientos, también involucran movimientos del antebrazo y brazo derecho.

### **Estado del Arte**

Varios trabajos se han propuesto en la literatura científica para el reconocimiento de gestos de la mano usando señales EMG e Inteligencia Artificial. Existe dos tipos de modelos de reconocimiento de gestos de la mano, los cuales son específicos o individuales (i.e., un modelo es entrenado y probado con los datos de una misma persona) y generales (i.e., un modelo es entrenado con datos de varias personas y es probado con personas que no participaron en el entrenamiento). En la actualidad, la mayoría de los trabajos proponen modelos específicos, con una exactitud de reconocimiento que va entre el 85% y 98% (Liu et al., 2016). Además, existe pocos modelos generales que son evaluados con personas que participaron en el entrenamiento con una exactitud comparable a la de los modelos individuales (Wang, Lao & Zhang, 2017), (Kerber, Puhl & Krüger, 2017; Luh et al., 2017). Sin embargo, estos modelos generales no fueron evaluados con personas que no hayan participado en el entrenamiento.

El número de gestos reconocidos es variable, pero la mayor cantidad de trabajos se enfoca en el reconocimiento de entre 3 y 5 gestos que involucran movimiento únicamente de los dedos y la palma de la mano. Además, existe trabajos que reconocen el mismo número de gestos, pero estos gestos corresponden a diferentes clases (Wu & Li, 2016; Shafivulla, 2016). Los gestos reconocidos pueden ser estáticos o dinámicos. Los gestos estáticos son aquellos que son producidos por contracción muscular, pero no existe movimiento de la mano durante el gesto; mientras que los gestos dinámicos son producidos por contracción muscular y existe movimiento de la mano (Liu et al., 2016). La señal EMG producida durante un gesto estático puede estar en estado transitorio o sostenido. La EMG en estado transitorio es producida durante la transición de



un gesto a otro gesto (esto se produce al inicio y final de cada gesto); mientras que la EMG en estado sostenido es producida mientras el usuario mantiene la contracción, sin ningún movimiento (Englehart, Hudgin, & Parker, 2001; Hudgins, Parker, & Scott, 1993).

Los principales problemas de los trabajos propuestos en la literatura científica son los siguientes: (i) la mayor parte de trabajos se enfocan en el reconocimiento de gestos que involucran únicamente el movimiento de los dedos y la palma de la mano; (ii) algunos trabajos no presentan la información del protocolo de adquisición de los datos y utilizan sus propios datos de entrenamiento y testeo que, usualmente, no están disponibles para el público; (iii) en múltiples casos no se reporta el protocolo de evaluación a través del cual se obtiene los resultados de tiempo y exactitud que se reportan; (iv) los protocolos que se utilizan para la evaluación de la exactitud de reconocimiento difieren entre los trabajos publicados, y en muchos casos, se confunde la exactitud de clasificación con la exactitud de reconocimiento; (v) la cantidad de datos con los que se calcula la exactitud de clasificación y la exactitud de reconocimiento es usualmente baja con respecto a la alta variabilidad inter e intra-usuario de las propiedades estadísticas de las señales EMG; (vi) muchos trabajos describen que el funcionamiento de los sistemas propuestos es en tiempo real; sin embargo, no reportan el protocolo para la medición del tiempo, y en algunos casos tampoco reportan el tiempo, ni la definición que usan sobre tiempo real. En la literatura científica, existe varios valores acerca del máximo retraso permitido de los modelos de reconocimiento de gestos en tiempo real (Farrell & Weir, 2007; Miller, 1968). Finalmente, (vii) es también conveniente anotar que son pocos los trabajos existentes en la literatura científica que se enfocan en la aplicación de los sistemas de reconocimiento desarrollados.

Debido a los inconvenientes antes descritos, muchos de los modelos propuestos en la literatura científica no son reproducibles y, por lo tanto, su validez científica está en duda. Otros trabajos reportan como exactitud de reconocimiento a la exactitud de clasificación que, usualmente, es más alta que la exactitud de reconocimiento. Es importante anotar que los problemas de clasificación y reconocimiento difieren en que la clasificación consiste en asignar una etiqueta a un objeto dado; mientras que el reconocimiento consiste en indicar en qué región de un espacio y a qué clase pertenece un objeto. En consecuencia, el problema de reconocimiento es más complejo que el problema de clasificación. Es conveniente recordar que un sistema de reconocimiento incluye, entre otros módulos, a un clasificador junto con una etapa de pos-procesamiento. Adicionalmente, debido tanto a la variabilidad de los protocolos de evaluación como de los datos de entrenamiento y testeo entre trabajos, resulta complicado establecer comparaciones entre los modelos propuestos en la literatura científica. Por lo tanto, debido a los factores antes descritos, el problema de reconocimiento de gestos de la mano usando señales EMG y señales de orientación del antebrazo es un problema abierto para nueva investigación, razón por la cual en este proyecto se plantea el desarrollo de nuevos modelos de reconocimiento de gestos usando herramientas contemporáneas de inteligencia artificial. Adicionalmente, también se plantea el uso de estos modelos para el desarrollo de una interfaz humano-máquina y una interfaz humano-humano que permitan evidenciar empíricamente el potencial uso de los sistemas desarrollados.

De las dos aplicaciones para los sistemas de reconocimiento que se desarrollarán en este proyecto, especial atención merece el desarrollo de un prototipo de una interfaz humano-humano. Este tipo de interfaz se ha planteado como una nueva forma de interacción entre dos personas, la cual es muy diferente a la interacción convencional que depende básicamente de la visión, audición, voz, olfato y tacto (Luh et al., 2017). Entre las aplicaciones más prometedoras de este tipo de interfaces está el desarrollo de sistemas mínimamente invasivos para rehabilitación, así como el desarrollo de sistemas de transferencia de movimientos que permitan acelerar el aprendizaje de actividades que involucran el movimiento preciso y sincronizado de extremidades (Chen, Zhang & Zhang 2014). Si bien en el presente proyecto se desarrollará solo un pequeño prototipo de esta interfaz, éste permitirá poner a prueba el concepto de que los sistemas de reconocimiento de gestos que aquí se desarrollarán pueden ser usados para la implementación de este tipo de interfaces y así,



en un futuro cercano, abrir una nueva investigación que se centre en el desarrollo de este tipo de interfaces.

### 13. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA (máximo tres carillas)

El presente proyecto plantea como paradigma para resolver el problema de reconocimiento de gestos de la mano al uso de técnicas de inteligencia artificial, y en particular al uso de aprendizaje computacional supervisado y por refuerzo para el desarrollo de los modelos de clasificación y aprendizaje no supervisado para el diseño de los módulos de extracción de características.

La metodología que se plantea usar para realizar la presente investigación consta de las siguientes fases:

**Fase 1. Revisión de la literatura científica:** En esta fase se revisará el estado del arte sobre reconocimiento de gestos de la mano. También se estudiará sobre herramientas contemporáneas de inteligencia artificial que se hayan propuesto para resolver problemas de reconocimiento usando series de tiempo no estacionarias y de longitud variable.

**Fase 2. Adquisición de datos:** En esta fase se definirá el protocolo de adquisición de los datos para el proyecto. Este protocolo incluirá la definición del procedimiento para la adquisición de datos, el número de usuarios, definición de las clases a reconocer y el número de muestras que serán adquiridas por cada clase y por cada usuario. También se particionará el conjunto de datos que se adquiera en tres subconjuntos disjuntos que se utilizarán para entrenamiento, validación y testeo de los modelos de reconocimiento que se desarrollarán. Para la adquisición de los datos se usarán voluntarios que serán principalmente estudiantes, profesores y trabajadores de la Escuela Politécnica Nacional

**Población y tamaño de muestra:** La exactitud de reconocimiento es una variable aleatoria cuyos valores se encuentran en el intervalo  $[0, 1]$ . En estas condiciones, la desigualdad universal de Hoeffding (Abu-Mostafa, 2012; Braga-Neto & Dougherty, 2015; Duda, Richard & Hart, Peter, 2001; Devroye et al., 1996),  $\mathbb{P}(|\mu - \nu| > \varepsilon) \leq 2e^{-2\varepsilon^2 N} = 1 - \delta$ , permite estimar el número  $N$  de datos necesarios para que la estimación sobre una muestra  $\nu$  difiera en como máximo  $\varepsilon$  con respecto al valor verdadero, pero desconocido,  $\mu$  de la población con un nivel de confianza  $\delta$ . La desigualdad de Hoeffding es válida para cualquier distribución de probabilidad  $\mathbb{P}$  (i.e., desigualdad universal), donde  $\mu$ , y en consecuencia  $\nu$ , tienen su rango de valores en el intervalo  $[0, 1]$ . En el presente proyecto, la población son todas aquellas instancias de los 11 gestos definidos en la sección 10. Por lo tanto, para un nivel de confianza  $\delta = 95\%$ , un error (discrepancia entre el valor estimado  $\nu$  en la muestra y el valor verdadero  $\mu$  sobre la población) del  $\varepsilon = 1.5\%$ , se utilizará al menos  $N = 10000$  datos para el conjunto de testeo de los modelos implementados. Por cada usuario se espera tomar un total de al menos 25 muestras por cada una de las 12 clases planteadas (11 gestos a reconocer más la clase no gesto), donde cada muestra tendrá un tiempo de grabación de al menos 3s, teniendo en cuenta que una persona puede realizar cada gesto en tiempo comprendido entre 1 y 2 s. En función de lo anterior, se usará al menos 40 usuarios para adquirir los datos del conjunto de testeo. Para el número de ejemplos del conjunto de entrenamiento y validación se utilizará la técnica de selección de modelos usando validación cruzada y hold-out (Abu-Mostafa, Y. & Y Lin, H.T., 2012; Duda, Richard & Hart, Peter, 2001). Sin embargo, usando una regla de oro de aprendizaje automático que establece que el conjunto de entrenamiento y validación preliminar debe ser igual o superior en tamaño al conjunto de testeo, se estima que el conjunto de entrenamiento deberá contar con al menos 40 usuarios. En resumen, para el presente proyecto se utilizará los datos de al menos 100 usuarios.

**Fase 3. Análisis empírico de señales EMG y de señales de orientación del antebrazo:** En esta fase se analizará empíricamente las propiedades estadísticas de las señales EMG y de los datos de



orientación del antebrazo correspondientes a diferentes gestos de la mano y a diferentes usuarios. En base a este análisis se determinará el grado de variabilidad inter e intra-usuario de las propiedades estadísticas (i.e., media y covarianza) de las señales EMG y de las señales de orientación, así como las condiciones y restricciones del problema a resolver.

**Fase 4. Diseño de los modelos:** En esta fase se definirá el algoritmo a ser usado en cada uno de los 5 módulos que componen un sistema de reconocimiento. De esta manera se obtendrá la estructura de los modelos de reconocimiento que serán objeto de experimentación. La extracción de características se realizará de dos formas: manual y automática. Para la clasificación se considerará modelos sin memoria (e.g., redes neuronales feed-forward y convolucionales) y con memoria (e.g., redes neuronales recurrentes). Para el entrenamiento de los modelos se testeará aprendizaje no supervisado, supervisado y por refuerzo (Goodfellow, Bengio, & Courville, 2016; Mohri, Mehryar, Rostamizadeh, Afshin, & Talwalkar, Ameet, 2012).

**Fase 5. Implementación de los modelos:** En esta fase se implementará en Matlab® los modelos de reconocimiento de gestos que serán objeto de experimentación.

**Fase 6. Entrenamiento de los modelos:** En esta fase, usando los datos de entrenamiento, se procederá a entrenar cada modelo diseñado e implementado en las dos fases anteriores.

**Fase 7. Validación preliminar de los modelos:** En esta fase se procederá a evaluar de manera preliminar la exactitud de reconocimiento y el costo computacional en tiempo utilizando los datos de validación obtenidos en la fase 2. Si los resultados que se obtengan son satisfactorios, según los objetivos planteados, se procederá a la fase 8; caso contrario, se regresará a la fase 4.

**Fase 8. Evaluación final de los modelos:** En esta fase se estimará la exactitud de reconocimiento y el costo computacional en tiempo de los modelos de reconocimiento usando los datos de testeo que no fueron usados ni para el entrenamiento, ni tampoco para la validación preliminar. Las técnicas que se considerará para la estimación de la exactitud de reconocimiento y el tiempo de respuesta son validación cruzada y hold-out (Braga-Neto & Dougherty, 2015).

**Fase 9. Análisis, comparación de resultados y conclusión:** En esta fase se analizará los resultados obtenidos de la investigación propuesta. Estos análisis incluirán una evaluación de la exactitud de reconocimiento por género. También se hará comparaciones entre los resultados del modelo general y los resultados del modelo específico. Finalmente, se sacará conclusiones en base a los resultados obtenidos y comparaciones realizadas y se planteará el trabajo futuro.

**Fase 10. Implementación de prototipos:** En esta fase se implementará dos aplicaciones en base al mejor modelo de reconocimiento de gestos, en términos de la exactitud de reconocimiento y costo computacional. Estas aplicaciones consisten en la implementación de un prototipo de una interfaz humano-máquina que le permita a un usuario comandar un video juego en tiempo real, y la implementación de un prototipo humano-humano que le permita a un usuario controlar el movimiento de la mano de otro usuario. El software de estos dos prototipos será desarrollado en Matlab®.

## Referencias

- Abu-Mostafa, Y., & Y Lin, H.T. (2012). Learning from data: A short course. AMLBook.
- Braga-Neto, U. de M., & Dougherty, E. R. (2015). Error estimation for pattern recognition. IEEE y Wiley.
- Benalcázar, M.E., Anchundia, C.E., Zea, J.A., Zambrano, P., Jaramillo A.G. (2018). Real-Time Hand Gesture Recognition Based on Artificial Feed-Forward Neural Networks and EMG. Proceedings of the 26<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 1492-1496.



- Benalcázar, M.E., Motoche, C., Zea, J.A., Jaramillo, A.G., Anchundia, C.E., Zambrano, Segura-Morales, M., Benalcázar, F.G., Pérez, M.G. (2017a). Real-time Hand Gesture Recognition Using the Myo Armband and Muscle Activity Detection. Proceedings of the 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 1-6.
- Benalcázar, M.E., Jaramillo, A.G., Zea, J.A., Páez, A., Andaluz, V.H. (2017b). Hand gesture recognition using machine learning and the Myo armband. IEEE Proceedings of the 25<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 1040-1044.
- Bonato, P., D'Alessio, T., & Knaflitz, M. (1998). A statistical method for the measurement of muscle activation intervals from surface myoelectric signal during gait. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 45(3), 287–299. <https://doi.org/10.1109/10.661154>
- Chen, K., Zhang, B., Zhang, D. (2014). Master-slave gesture learning system based on functional electrical stimulation. Intelligent Robotics and Applications: 7th International Conference, ICIRA 2014, Guangzhou, China, Proceedings Part I, pp. 214-223.
- Devroye, L., Györfi, L., & Lugosi, G. (1996). A Probabilistic Theory of Pattern Recognition. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-0711-5>
- Duda, Richard, & Hart, Peter. (2001). Pattern Classification, 2nd Edition, Wiley.
- Ebrahim, M., Mashat, M., Li, G., Zhang, D. (2017). Human-to-human closed-loop control based on brain-to-brain interface and muscle-to-muscle interface. Nature Scientific Reports 7.
- Englehart, K., Hudgin, B., & Parker, P. A. (2001). A wavelet-based continuous classification scheme for multifunction myoelectric control. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 48(3), 302–311. <https://doi.org/10.1109/10.914793>
- Escalera, S., Guyon, I., & Athitsos, V. (2017). Gesture Recognition. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57021-1>
- Farina, D., Jiang, N., Rehbaum, H., Holobar, A., Graimann, B., Dietl, H., & Aszmann, O. C. (2014). The Extraction of Neural Information from the Surface EMG for the Control of Upper-Limb Prostheses: Emerging Avenues and Challenges. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 22(4), 797–809. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2014.2305111>
- Farrell, T. R., & Weir, R. F. (2007). The Optimal Controller Delay for Myoelectric Prostheses. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 15(1), 111–118. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2007.891391>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep Learning. The MIT Press.
- Grif, H.-S., & Farcas, C. C. (2016). Mouse Cursor Control System Based on Hand Gesture. Procedia Technology, 22, 657–661. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.137>
- Hudgins, B., Parker, P., & Scott, R. N. (1993). A new strategy for multifunction myoelectric control. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 40(1), 82–94. <https://doi.org/10.1109/10.204774>
- Jacob, M. G., Wachs, J. P., & Packer, R. A. (2013). Hand-gesture-based sterile interface for the operating room using contextual cues for the navigation of radiological images. Journal of the American Medical Informatics Association, 20(e1), e183–e186. <https://doi.org/10.1136/amiajnl-2012-001212>
- Jaramillo, A.G., Benalcázar, M.E. (2017). Real-time Hand Gesture Recognition with EMG Using Machine Learning. Proceedings of the 2017 IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 1-5.



Jiménez, L.E., Benalcázar, M.E., Sotomayor, N. (2017). Gesture Recognition and Machine Learning Applied to Sign Language Translation. Springer Proceedings of the VII Latin American Congress on Biomedical Engineering CLAIB 2016, 233-236.

Kerber, F., Puhl, M., Krüger, A. (2017). User-Independent Real-Time Hand Gesture Recognition Based on Surface Electromyography.

Konar, A., & Saha, S. (2018). Gesture Recognition: Principles, Techniques and Applications. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-62212-5>

León, M.A., Romero, P.A., Quevedo, W.X., Arteaga, O.B., Terán, C., Benalcázar, M.E., Andaluz, V.H. (2018). Virtual Rehabilitation System for Fine Motor Skills Using a Functional Hand Orthosis. Springer Proceedings of the International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics, 78-94.

Liu, H., & Wang, L. (2018). Gesture recognition for human-robot collaboration: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 68, 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2017.02.004>

Liu, X., Zhang, M., Richardson, A., Lucas, T., Van Der Spiegel, J. (2016). The Virtual Trackpad: An Electromyography-based, Wireless, Real-time, Low-Power, Embedded Hand Gesture Recognition System using an Event-driven Artificial Neural Network, *IEEE Transactions on Circuits Systems II Express Briefs*, 64(11), pp. 1257-1261.

Luh, G.C., Ma, Y.H., Yen, C. J., Lin, H.A. (2017). Muscle-gesture robot hand control based on sEMG signals with wavelet transform features and neural network classifier. Presentado en el International Conference on Machine Learning and Cybernetics 2.

McGill, K. C. (2004). Surface electromyogram signal modelling. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 42(4), 446–454. <https://doi.org/10.1007/BF02350985>

Merletti, R. (2016). Surface Electromyography: Physiology, engineering, and applications. <https://doi.org/10.1002/9781119082934>

Mi, J., Sun, Y., Wang, Y., Deng, Z., Li, L., Zhang, J., & Xie, G. (2016). Gesture recognition-based teleoperation framework of robotic fish. 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 137–142. IEEE.

Miller, R. B. (1968). Response Time in Man-computer Conversational Transactions. Proceedings of the December 9-11, 1968, Fall Joint Computer Conference, Part I, 267–277. <https://doi.org/10.1145/1476589.1476628>

Mizuno, H., Tsujiuchi, N., & Koizumi, T. (2011). Forearm motion discrimination technique using real-time EMG signals. 2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4435–4438. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6091100>

Mohri, Mehryar, Rostamizadeh, Afshin, & Talwalkar, Ameet. (2012). Foundations of Machine Learning, Second Edition. Recuperado el 6 de noviembre de 2019, de The MIT Press website: <https://mitpress.mit.edu/books/foundations-machine-learning-second-edition>

Mokhlesabadifarahani, B., & Gunjan, V. K. (2015). EMG Signals Characterization in Three States of Contraction by Fuzzy Network and Feature Extraction. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-320-0>

Motoche, C., Benalcázar, M.E., (2018). Real-Time Hand Gesture Recognition Based on Electromyographic Signals and Artificial Neural Networks. Springer Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks, 352-361.

Nogales, R., Benalcázar, M.E. (2019). Reconocimiento de Gestos de la Mano en Tiempo Real Usando Leap Motion Controller y Machine Learning. Conference Proceedings de la Universidad Técnica de Machala 3, pp. 824-835.



- Ramírez, F.E., Segura-Morales, M., Benalcázar, M.E. (2018). Design of a Software Architecture and Practical Applications to Exploit the Capabilities of a Human Arm Gesture Recognition System. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 1-6.
- Rautaray, S. S., & Agrawal, A. (2011). Manipulating Objects through Hand Gesture Recognition in Virtual Environment. En D. Nagamalai, E. Renault, & M. Dhanuskodi (Eds.), *Advances in Parallel Distributed Computing* (pp. 270–281). [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24037-9\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24037-9_26)
- Rodriguez-Falces, J., Navallas, J., & Malanda, A. (2012). EMG Modeling. *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*. <https://doi.org/10.5772/50304>
- Shwedyk, E., Balasubramanian, R., & Scott, R. N. (1977). A Nonstationary Model for the Electromyogram. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-24(5), 417–424. <https://doi.org/10.1109/TBME.1977.326175>
- Tavakoli, M., Benussi, C., & Lourenco, J. L. (2017). Single channel surface EMG control of advanced prosthetic hands: A simple, low cost and efficient approach. *Expert Syst. Appl.*, 79, 322–332. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.03.012>
- Wachs, J., Stern, H., Edan, Y., Gillam, M., Feied, C., Smith, M., & Handler, J. (2006). A Real-Time Hand Gesture Interface for Medical Visualization Applications. En A. Tiwari, R. Roy, J. Knowles, E. Avineri, & K. Dahal (Eds.), *Applications of Soft Computing* (pp. 153–162). [https://doi.org/10.1007/978-3-540-36266-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-540-36266-1_15)
- Wang, N., Lao, K., Zhang, X. (2017). Design and Myoelectric Control of an Anthropomorphic Prosthetic Hand. *Journal of Bionic Engineering*, 14(1): 47-59, 2017.
- Weiss, Jay, Weiss, Lyn, & Silver, Julie. (2004). Easy EMG. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7431-7.X5001-5>
- Wiley. (2014). *Time-Frequency Domain for Segmentation and Classification of Non-stationary Signals: The Stockwell Transform Applied on Bio-signals and Electric Signals*.
- Vimos, V.H., Benalcázar, M.E., Oña, A.F., PJ Cruz, A.F. (2019). A Novel Technique for Improving the Robustness to Sensor Rotation in Hand Gesture Recognition Using sEMG. *Springer Proceedings of the International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial 2019*, 226-243.
- Wipfli, R., Dubois-Ferrière, V., Budry, S., Hoffmeyer, P., & Lovis, C. (2016). Gesture-Controlled Image Management for Operating Room: A Randomized Crossover Study to Compare Interaction Using Gestures, Mouse, and Third Person Relaying. *PLOS ONE*, 11(4), e0153596. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153596>
- Wu, Z., & Li, X. (2016). A wireless surface EMG acquisition and gesture recognition system. *2016 9th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, 1675–1679. <https://doi.org/10.1109/CISP-BMEI.2016.7852985>
- Zea, J.A., Benalcázar M.E. (2019). Real-Time Hand Gesture Recognition: A Long Short-Term Memory Approach with Electromyography. *Springer Proceedings of the International Conference on Computer Science, Electronics and Industrial 2019*, 155-167.





## 14. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Para la ejecución del proyecto en cuestión se tiene como punto de partida la siguiente infraestructura y equipos:

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio de Investigación en Inteligencia y Visión Artificial	5 computadores de escritorio	Laboratorio de Investigación en Inteligencia y Visión Artificial, Departamento de Informática y Ciencias de la Computación
	1 proyector VGA, HDMI	
	5 sensores EMG – IMU Myo Armband	
	2 sensores EMG – IMU GForce Pro	

## 15. MONTO REQUERIDO

### 16.1 Monto y justificación del equipo requerido

Para la ejecución del proyecto en cuestión se requiere de equipo especializado (USD 9.296,00) y equipo informático (USD 2.352,00), los cuales se justifican a continuación:

*1 computador portátil con GPU de propósito general:* Este computador se utilizará tanto para la adquisición de datos como para el entrenamiento y testeo de los modelos de reconocimiento a desarrollar. Adicionalmente, este equipo también se utilizará para el desarrollo de las interfaces humano-máquina y humano-humano. Se requiere de un computador portátil debido a su facilidad de traslado de un lugar a otro.

*5 sensores EMG – IMU GForce Pro:* Estos sensores permitirán adquirir las señales EMG y las señales de orientación del antebrazo. Se requiere de este dispositivo en particular, de entre los varios sensores EMG disponibles en el mercado, debido a que es un brazalete con sensores secos, los cuales no requieren de ningún gel o líquido especial para mejorar la conductividad. Adicionalmente, este dispositivo envía los datos al computador a través de bluetooth, lo cual representa una ventaja debido a que facilita la movilidad de las personas mientras usan este dispositivo. Aparte de los sensores EMG, este dispositivo tiene incorporado una IMU con 9 grados de libertad (un acelerómetro, un giroscopio y un magnetómetro en  $x$ ,  $y$  e  $z$ ) que, mediante algoritmos de fusión de sensores, le permiten estimar la orientación del antebrazo. La frecuencia de muestreo EMG de 1000Hz y de la IMU a 50Hz son otra ventaja de este dispositivo.

*1 modelo 3D del brazo humano con músculos removibles:* Este modelo permitirá analizar la anatomía de los músculos y estructuras nerviosas del antebrazo, facilitando así la comprensión de qué músculos del antebrazo generan las señales medidas por cada uno de los 8 sensores del brazalete GForce pro. Así también, se podrá visualizar de mejor manera qué músculos intervienen en cada uno de los gestos que se planea reconocer.

Los siguientes equipos se utilizarán para el desarrollo del hardware necesario para la interfaz humano-humano:



*3 estimuladores eléctricos transcutáneos (TENS):* Estos equipos serán utilizados para generar las señales eléctricas de baja intensidad que permitan estimular el nervio ulnar de la persona receptora en la interfaz humano-humano (ver Figura 3). Para este propósito se requiere de estimuladores comerciales debido a que, previo a su venta, estos equipos deben ser probados y certificados por las organizaciones competentes en materia de salud (por ejemplo, la FDA). Esta certificación es importante para asegurar que el uso de estos dispositivos en las personas que usarán el interfaz humano-humano no cause ningún daño o efecto colateral en sus músculos o en su sistema nervioso.

*1 kit para desarrollo de placas electrónicas:* El kit para desarrollo de placas electrónicas incluye 5 placas Arduino, 5 módulos bluetooth compatible con placas Arduino, resistencias, transistores, baterías, reguladores de voltaje, relés, capacitores, placas para desarrollo de circuitos impresos, y convertidores digitales analógicos. Estos materiales se utilizarán para implementar los circuitos de activación de los estimuladores eléctricos transcutáneos en la interfaz humano-humano (ver Figura 3).

*10 paquetes de electrodos reutilizables y compatibles con equipos TENS:* Estos elementos serán utilizados para llevar la señal eléctrica de baja intensidad producida por los estimuladores eléctricos transcutáneos al área del antebrazo, cercana al codo, donde el nervio ulnar se encuentra más cerca de la piel.

#### **16.2 Monto y justificación del personal requerido**

Para la ejecución del presente proyecto se plantea la contratación de un profesional recién graduado de la carrera de ingeniería de sistemas o ingeniería electrónica, o ingenierías afines, el mismo que apoyará el trabajo de los investigadores durante toda la ejecución del proyecto con la recolección de datos, el desarrollo de experimentos e implementación de prototipos de hardware y software. El valor total que se destinará para la contratación de esta persona, por un total de 23 meses, es de USD 25.399,36.

#### **16.4 Monto y justificación de los investigadores invitados**

No aplica.

#### **16.5 Monto y justificación de los viajes y salidas del campo requeridos**

Una parte importante de todo trabajo de investigación consiste en la difusión de los resultados preliminares y finales tanto en congresos nacionales e internacionales como en revistas científicas de alto impacto. Por esta razón, en el presente proyecto se ha destinado un total de USD 10.800,00 para ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas; USD 1.680,00 para ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas; USD 6.648,00 para pago de inscripciones; y USD 2.740,00 para pago de publicaciones en revistas de libre acceso.

### **16. FONDOS ADICIONALES**

No aplica.



## B. DATOS INFORMATIVOS

### 1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, CODIRECTOR, COLABORADORES Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Rol	Título de mayor nivel y mención.
Benalcázar Palacios Marco Enrique**	1804029732	14	DICC	Director	Ph.D.
Cruz Dávalos Patricio Javier	1713199493	4	DACI	Codirector	Ph.D.
Álvarez Rueda Robin Gerardo**	1710553825	4	DETRI	Colaborador EPN	Ph.D.
Jaramillo Yáñez Andrés Gabriel	1722299037	5	N/A	Colaborador Externo (Estudiante del Doctorado en Informática de la EPN)	Máster
Nogales Portero Rubén Eduardo	1802668606	5	N/A	Colaborador Externo (Estudiante del Doctorado en Informática de la EPN)	Máster

\*\* Miembros del grupo de investigación de aprendizaje de máquina y visión por computador (GI-AMVC) de la Escuela Politécnica Nacional.

\* HSS = Horas Semana Semestre: Es el número de horas que se dedica por semana a la investigación. Este número de horas se mantiene para todo el semestre.



## **DECLARACIÓN FINAL**

### **DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO**

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta pudiera ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del Director del Proyecto  
Nombre: Marco E. Benalcázar  
C.I.: 1804029732

Título 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

**AÑO 1**

Nº	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Objetivo específico 1: Construir una base de datos pública de señales EMG y datos de orientación del antebrazo derecho para 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano, con al menos 100 usuarios y 25 repeticiones por cada gesto a reconocer.																																																
1,1	Actividad: Revisión de la literatura científica																																																
1,2	Actividad: Adquisición de datos																																																
2	Objetivo específico 2: Analizar teórica y empíricamente las propiedades estadísticas de las señales EMG y de las señales de orientación del antebrazo para definir las condiciones y restricciones para su procesamiento usando modelos de machine learning.																																																
2,1	Actividad: Análisis empírico de señales EMG y de señales de orientación del antebrazo																																																
3	Objetivo específico 3: Desarrollar un sistema de reconocimiento de gestos específico por usuario que se capaz de identificar 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano y que funcione en tiempo real.																																																
4	Objetivo específico 4: Desarrollar un sistema general de reconocimiento de 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano que funcione en tiempo real.																																																
3,1 y 4,1	Actividad 1: Diseño de los modelos																																																
3,2 y 4,2	Actividad 2: Implementación de los modelos																																																

**AÑO 2**

Nº	Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6				Mes 7				Mes 8				Mes 9				Mes 10				Mes 11				Mes 12			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4								
1	Objetivo específico 3: Desarrollar un sistema de reconocimiento de gestos específico por usuario que se capaz de identificar 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano y que funcione en tiempo real.																																																
2	Objetivo específico 4: Desarrollar un sistema general de reconocimiento de 11 gestos estáticos y dinámicos de la mano que funcione en tiempo real.																																																
1,1 y 2,1	Actividad 1: Diseño de los modelos																																																
1,2 y 2,2	Actividad 2: Implementación de los modelos																																																
1,3 y 2,3	Actividad 3: Entrenamiento de los modelos																																																
1,4 y 2,4	Actividad 4: Validación preliminar de los modelos																																																
3	Objetivo específico 5: Evaluar y comparar los sistemas desarrollados en términos de la exactitud de reconocimiento y el tiempo de respuesta.																																																





**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**  
**PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



**AÑO 1**

**Título 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

Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial con IVA/ Aporte del IESS	Precio Total Referencial con IVA / Aporte del IESS
<b>1 Contratación de servicios personales por contrato</b>						
1.1 Ayudante de investigación 1	0	mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.2 Ayudante de investigación 2	0	mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.3 Prestación de servicios profesionales 1 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	11	mes	\$ 986,00	\$ 10.846,00	\$ 1.104,32	\$ 12.147,52
1.4 Prestación de servicios profesionales 2 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	0	mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 1</b>			\$ <b>986,00</b>	\$ <b>10.846,00</b>	\$ <b>1.104,32</b>	\$ <b>12.147,52</b>
Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial sin IVA	Precio Total Referencial sin IVA	Precio Unitario Referencial con IVA	Precio Total Referencial con IVA
<b>2 Maquinaria y equipo especializado</b>						
2.1 Sensores EMG + IMU	4	sensor	\$ 1.650,00	\$ 6.600,00	\$ 1.848,00	\$ 7.392,00
2.2 Modelo 3D del brazo humano con músculos removibles	1	modelo	\$ 500,00	\$ 500,00	\$ 560,00	\$ 560,00
2.3 Estimuladores eléctricos transcutáneos	3	estimulador	\$ 150,00	\$ 450,00	\$ 168,00	\$ 504,00
2.4 Electrodo	10	paquetes	\$ 50,00	\$ 500,00	\$ 56,00	\$ 560,00
2.5 Kit para desarrollo de placas electrónicas	1	kit	\$ 250,00	\$ 250,00	\$ 280,00	\$ 280,00
<b>Subtotal 2</b>			\$ <b>2.600,00</b>	\$ <b>8.300,00</b>	\$ <b>2.912,00</b>	\$ <b>9.296,00</b>
<b>3 Equipo informático</b>						
3.1 Computador portátil con GPU de propósito general	1	computador	\$ 2.100,00	\$ 2.100,00	\$ 2.352,00	\$ 2.352,00
3.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.5 Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 3</b>			\$ <b>2.100,00</b>	\$ <b>2.100,00</b>	\$ <b>2.352,00</b>	\$ <b>2.352,00</b>
<b>4 Insumos y reactivos</b>						
4.1 Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.2 Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.3 Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.4 Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.5 Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 4</b>			\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>
<b>5 Literatura especializada</b>						
5.1 Cantidad de libros (especificar el area)	5	libros	\$ 100,00	\$ 500,00	\$ 100,00	\$ 500,00
5.2 Adquisición de artículos científicos			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 5</b>			\$ <b>100,00</b>	\$ <b>500,00</b>	\$ <b>100,00</b>	\$ <b>500,00</b>
<b>6 Salidas de campo y de muestreo</b>						
6.1 Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6.2 Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 6</b>			\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>
<b>7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas</b>						
7.1 Pasajes al interior	3	pasajes	\$ 100,00	\$ 300,00	\$ 112,00	\$ 336,00
7.2 Viaticos y subsistencias al interior	3	viáticos	\$ 150,00	\$ 450,00	\$ 168,00	\$ 504,00
<b>Subtotal 7</b>			\$ <b>250,00</b>	\$ <b>750,00</b>	\$ <b>280,00</b>	\$ <b>840,00</b>
<b>8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas</b>						
8.1 Pasajes al exterior	1	pasajes	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00	\$ 2.800,00	\$ 2.800,00
8.2 Viaticos al exterior	1	viáticos	\$ 800,00	\$ 800,00	\$ 800,00	\$ 800,00
<b>Subtotal 8</b>			\$ <b>3.300,00</b>	\$ <b>3.300,00</b>	\$ <b>3.600,00</b>	\$ <b>3.600,00</b>
<b>9 Pago de inscripciones</b>						
9.1 Pago de inscripciones al interior	3	inscripción	500,00	\$ 1.500,00	\$ 560,00	\$ 1.680,00
9.2 Pago de inscripciones al exterior	1	inscripción	800,00	\$ 800,00	\$ 1.096,00	\$ 1.096,00
<b>Subtotal 9</b>			\$ <b>1.300,00</b>	\$ <b>2.300,00</b>	\$ <b>1.656,00</b>	\$ <b>2.776,00</b>
<b>10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes</b>						
10.1 Pago de publicaciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2 Pago de publicaciones al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3 Pago de suscripciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3 Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 10</b>			\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>	\$ <b>-</b>
<b>TOTAL</b>				\$ <b>28.096,00</b>		\$ <b>31.511,52</b>



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**  
**PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



**AÑO 2**

**Título 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

Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial con IVA/Aporte del IESS	Precio Total Referencial con IVA/Aporte del IESS
<b>1 Contratación de servicios personales por contrato</b>						
1.1 Ayudante de investigación 1		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.2 Ayudante de investigación 2		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.3 Prestación de servicios profesionales 1 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	12	mes	\$ 986,00	\$ 11.832,00	\$ 1.104,32	\$ 13.251,84
1.4 Prestación de servicios profesionales 2 (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 1</b>			\$ 986,00	\$ 11.832,00	\$ 1.104,32	\$ 13.251,84
<b>2 Maquinaria y equipo especializado</b>						
2.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.5 Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 2</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>3 Equipo informático</b>						
3.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.5 Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 3</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>4 Insumos y reactivos</b>						
4.1 Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.2 Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.3 Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.4 Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.5 Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 4</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>5 Literatura especializada</b>						
5.1 Cantidad de libros (especificar el area)	5	libros	\$ 100,00	\$ 500,00	\$ 100,00	\$ 500,00
5.2 Adquisición de artículos científicos			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 5</b>			\$ 100,00	\$ 500,00	\$ 100,00	\$ 500,00
<b>6 Salidas de campo y de muestreo</b>						
6.1 Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6.2 Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 6</b>			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas</b>						
7.1 Pasajes al interior	3	pasajes	\$ 100,00	\$ 300,00	\$ 112,00	\$ 336,00
7.2 Viaticos y subsistencias al interior	3	viáticos	\$ 150,00	\$ 450,00	\$ 168,00	\$ 504,00
<b>Subtotal 7</b>			\$ 250,00	\$ 750,00	\$ 280,00	\$ 840,00
<b>8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas</b>						
8.1 Pasajes al exterior	2	pasajes	\$ 2.500,00	\$ 5.000,00	\$ 2.800,00	\$ 5.600,00
8.2 Viaticos al exterior	2	viáticos	\$ 800,00	\$ 1.600,00	\$ 800,00	\$ 1.600,00
<b>Subtotal 8</b>			\$ 3.300,00	\$ 6.600,00	\$ 3.600,00	\$ 7.200,00
<b>9 Pago de inscripciones</b>						
9.1 Pago de inscripciones al interior	3	inscripción	500,00	\$ 1.500,00	\$ 560,00	\$ 1.680,00
9.2 Pago de inscripciones al exterior	2	inscripción	800,00	\$ 1.600,00	\$ 1.096,00	\$ 2.192,00
<b>Subtotal 9</b>			\$ 1.300,00	\$ 3.100,00	\$ 1.656,00	\$ 3.872,00
<b>10 Pago de publicaciones, suscripciones y patentes</b>						
10.1 Pago de publicaciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2 Pago de publicaciones al exterior	2	publicación	\$ 1.000,00	\$ 2.000,00	\$ 1.370,00	\$ 2.740,00
10.3 Pago de suscripciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.3 Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Subtotal 10</b>			\$ 1.000,00	\$ 2.000,00	\$ 1.370,00	\$ 2.740,00
<b>TOTAL</b>				\$ 24.782,00		\$ 28.403,84





**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**  
**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y VINCULACIÓN**  
**PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN**



**Título 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

**Presupuesto consolidado sin IVA**

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total sin IVA
1	\$ 10.846,00	\$ 8.300,00	\$ 2.100,00	\$ -	\$ 500,00	\$ -	\$ 750,00	\$ 3.300,00	\$ 2.300,00	\$ -	\$ 28.096,00
2	\$ 11.832,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 500,00	\$ -	\$ 750,00	\$ 6.600,00	\$ 3.100,00	\$ 2.000,00	\$ 24.782,00
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 22.678,00</b>	<b>\$ 8.300,00</b>	<b>\$ 2.100,00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 1.000,00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 1.500,00</b>	<b>\$ 9.900,00</b>	<b>\$ 5.400,00</b>	<b>\$ 2.000,00</b>	<b>\$ 52.878,00</b>

**Presupuesto consolidado con IVA**

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total con IVA
1	\$ 12.147,52	\$ 9.296,00	\$ 2.352,00	\$ -	\$ 500,00	\$ -	\$ 840,00	\$ 3.600,00	\$ 2.776,00	\$ -	\$ 31.511,52
2	\$ 13.251,84	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 500,00	\$ -	\$ 840,00	\$ 7.200,00	\$ 3.872,00	\$ 2.740,00	\$ 28.403,84
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 25.399,36</b>	<b>\$ 9.296,00</b>	<b>\$ 2.352,00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 1.000,00</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 1.680,00</b>	<b>\$ 10.800,00</b>	<b>\$ 6.648,00</b>	<b>\$ 2.740,00</b>	<b>\$ 59.915,36</b>