

Ciudad de México a 24 de agosto del 2023.

INFORME FINAL

	Sesión de Consejo de aprobación	CUA-DCNI-190-20
	Clave del proyecto asignada por Consejo Divisional	79 S190-20

Datos generales

1. **Título del proyecto:** Interfaces cerebro computadora con perspectivas a su aplicación en robots de servicio doméstico.
2. **Año en curso:** 3 de 3.
3. **Responsable y participantes del proyecto:**

Responsables:

- Dra. Alicia Montserrat Alvarado González, Profesor Asociado D, Tiempo Completo.* 1
- Dr. Antonio López Jaimes, Profesor Asociado D, Tiempo Completo.* 1

Colaboradores:

- Dr. Luis Franco Pérez, Profesor Asociado D, Tiempo Completo.* 1
- MDI. Lucila Mercado Colín, Profesora Investigadora Titular, Tiempo Completo.* 2
- MDI. Alejandro Rodea Chávez, Profesor Investigador Asociado D, Tiempo Completo.* 2
- Dr. Gibrán Fuentes Pineda, Investigador Asociado C, Tiempo Completo, IIMAS-UNAM.

* 1 Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas, UAM-C.

* 2 Departamento de Teoría y Procesos de Diseño, UAM-C.

4. Resumen de los tres años

Este proyecto está dividido en los siguientes rubros: procesamiento de las señales cerebrales, navegación, sujeción, robot e investigación. Durante este año se llevaron a cabo los siguientes avances.

En este año se trabajó en la adaptación de un algoritmo de extracción de características y clasificación para identificar el Potencial Relacionado al Error. Este algoritmo dio como resultado valores del Área bajo la Curva ROC con valores superiores a 0.9, donde 1 es el valor máximo que indica la mejor clasificación.

Procesamiento de las señales cerebrales

5. Grado de avance (GA):

Objetivos	GA (%)	Productos	GA (%)
Procesamiento de las señales cerebrales			
Desarrollar los algoritmos de extracción de características y clasificación del Potencial Relacionado al Error.	75	Proyectos Terminales: 1.	100
		Artículos de investigación: 1 en proceso. <ul style="list-style-type: none"> Reportar los resultados de aplicar un algoritmo de detección de formas para identificar ErrP en un conjunto de datos de referencia. 	50
		Algoritmos: 1. <ol style="list-style-type: none"> Extracción de características y clasificación del Potencial Relacionado al Error. 	100
Adquisición de señales de electrooculograma para controlar un robot.	100	Proyectos Terminales: 1.	100
		Tesinas: 1. <ul style="list-style-type: none"> Control de un robot utilizando señales de movimiento oculares. 	100
Desarrollar un algoritmo de extracción de características y	100	Artículos de investigación: 1. <ul style="list-style-type: none"> <i>A few filters are enough: Convolutional Neural</i> 	100

clasificación del Potencial P300.		<i>Network for P300 Detection.</i>		
		Algoritmos: 1. <ul style="list-style-type: none"> Extracción de características y clasificación del Potencial P300. 		100
		Servicio Social:1.		100
Navegación				
2. Desarrollar un algoritmo de navegación autónoma reactiva en un ambiente dinámico para evadir obstáculos.	100	Proyectos Terminales: 1.		100
		Tesinas: 1. <ul style="list-style-type: none"> Programa genético para generar controladores robóticos. 		100
		Algoritmos: 2.		100
		<ul style="list-style-type: none"> Navegación autónoma reactiva en un ambiente dinámico para evadir obstáculos con un algoritmo basado en un modelo matemático. 	100	
		<ul style="list-style-type: none"> Navegación autónoma reactiva en un ambiente dinámico para evadir obstáculos con un algoritmo basado en programación genética. 	100	
		Servicios Sociales: 3.		100
Movimiento del Brazo robótico	100	Proyectos Terminales: 3.		100
		Tesinas: 2.		100
		<ul style="list-style-type: none"> Diseño de la trayectoria de un brazo robótico usando programación genética. 	100	
		<ul style="list-style-type: none"> Implementación del lenguaje de señas 	100	

		mexicanas en un brazo robótico.		
		Algoritmos: 2.		
		<ul style="list-style-type: none"> Programa genético para controlar la trayectoria de un brazo robótico. 	100	
		<ul style="list-style-type: none"> Algoritmo para mover los dedos de un brazo robótico. 	100	
Sujeción				
Desarrollar un algoritmo para sujetar un objeto.	50	Proyectos Terminales:1.		100
		Algoritmos: <ul style="list-style-type: none"> Desarrollar un algoritmo para sujetar un objeto. 		0
Tacto en la mano y sus dedos.	20	Desarrollo del prototipo de sensado.		20
Robot				
Simulador del robot.	100	Simuladores: 2.		100
		<ul style="list-style-type: none"> Conectado con el código de movimiento de los dedos desarrollado en Processing. 	100	
		<ul style="list-style-type: none"> Dos brazos robóticos antropomorfos con sus manos y la plataforma Arlo, desarrollado en Gazebo para ROS. 	100	
Apariencia amable y funcional del robot.	10	Diseñar y construir una apariencia amable y funcional del robot.		10
Mantenimiento del robot.	60	Ajustes de mecanismos activados por los servomotores del brazo robótico.		10
		Ajustes de mecanismos en articulaciones de codo.		100

		Reparación de la plataforma robótica.		20
Investigación				
Visualizador de grafos.	90	Tesinas: 1		75
		<ul style="list-style-type: none"> Desarrollo de un visualizador de grafos para el análisis de colaboraciones en el área de matemáticas discretas y combinatoria. 	100	
		<ul style="list-style-type: none"> Generación de gráficas. 	50	
		Proyecto terminal: 1.		100
Recopilar información, de manera automática, de una página web.	60	Proyecto terminal: 1 en proceso.	60	

6. Formación de recursos humanos

Servicios Sociales concluidos

- Cálculo de trayectorias para evadir obstáculos a partir de la detección por medio de sensores en un robot.* Nombres: Juan Ángel Acosta Ceja. Asesoras: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González y Dr. Luis Franco Pérez.
- Cálculo de trayectorias para evadir obstáculos a partir de la detección por medio de sensores en un robot.* Nombre: Ana Lucero Pérez Bedolla. Asesoras: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González y Dr. Luis Franco Pérez.
- Interfaces Cerebro-Computadora.* Nombre: Ángel Cáceres Licona. Asesora: Dra. Alicia Montserrat Alvarado

Proyectos Terminales concluidos

- Control de un robot utilizando señales de movimientos oculares.* Kevin Enrique Ortega Olvera. Asesores: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González y Antonio López Jaimes.

2. *Aplicación de enjambres de robots miniatura para realizar tareas colectivas.* Arturo Fuentes Velasco. Asesores: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González y Antonio López Jaimes.
3. *Desarrollo de un visualizador de gráficas para el análisis de colaboraciones en el área de matemáticas discretas y combinatoria.* Sandra Lucero López Díaz. Asesoras: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González y Dra. Mika Olsen.
4. *Diseño de la trayectoria de un brazo robótico usando programación genética.* Liliana Mayte López Beristain. Asesoras: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González y Antonio López Jaimes.
5. *Implementación del lenguaje de señas mexicanas en un brazo robótico.* María de Jesús Sánchez Zepeda y Ana Paula Trujillo Hernández. Asesoras: Dra. Alicia Montserrat Alvarado González, Dr. Roberto Bernal Jaquez y Dr. Carlos Rivero Moreno.

7. Lista de publicaciones:

Alvarado-González M., Fuentes-Pineda G., and Cervantes-Ojeda J., "A few filters are enough: Convolutional Neural Network for P300 Detection," *Neurocomputing*, vol. 425, pp. 37-52, 2021. ISSN: 0925-2312.
<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.10.104>.

Desarrollo tecnológico

Software

1. Extracción de características y clasificación del Potencial Relacionado al Error.
2. Extracción de características y clasificación del Potencial P300.
3. Navegación autónoma reactiva en un ambiente dinámico para evadir obstáculos con un algoritmo basado en un modelo matemático.
4. Navegación autónoma reactiva en un ambiente dinámico para evadir obstáculos con un algoritmo basado en programación genética.
5. Programa genético para controlar la trayectoria de un brazo robótico.
6. Algoritmo para mover los dedos de un brazo robótico.

Simuladores

1. Brazos robóticos desarrollado en Processing y conectados con el código de movimiento de los dedos.

2. Dos brazos robóticos antropomorfos con sus manos y la plataforma Arlo, desarrollado en Gazebo para ROS.
8. **Tabla comparativa entre lo establecido en el calendario de actividades y lo alcanzado al término de los 3 años.**

Producto entregable	Planeado para los 3 años	Reportado al final de los 3 años
Formación de recursos humanos nivel licenciatura		
Servicio Social	3	3
Proyecto Terminal	2	8
Tesis de licenciatura	2	5
Formación de recursos humanos posgrado		
Especialización		
Maestría		
Doctorado		
Publicaciones		
Artículos	1	1
Capítulos de libro		
Memorias o Proceedings		
Difusión o Divulgación		
Congresos		
Conferencias		
Otros: Especificar y proveer detalle del producto		
Desarrollo tecnológico		
Software	2	6
Simuladores	1	2
Robot con cara amigable	1	0
Tacto en los dedos	1	0

10. Justificación en caso de existir desviaciones en el proyecto.

Con respecto al avance reportado en la tabla de la Sección 5, a continuación elaboramos los motivos por los cuales aún no completamos algunas actividades.

1. **Actividad:** *Desarrollar los algoritmos de extracción de características y clasificación del Potencial Relacionado al Error.*

Se modificó el código existente para que pudiera reconocer las señales de ErrP. Se llevaron a cabo experimentos con una base de datos de acceso público. El desempeño en la identificación de la señal fue mayor al 0.9 de AUC en todos los canales. El problema es que la alumna encargada de los experimentos tuvo un problema familiar relacionado con el COVID y dejó el proyecto abruptamente. Desafortunadamente ya no fue posible recuperar los experimentos ni contactar con ella. Por esta misma razón, la alumna tampoco entregó su tesina. Para concluir esta tarea, se conseguirá a un alumno de servicio social que nos apoye a rehacer los experimentos, para lo cual se requiere de una computadora dedicada a llevarlos a cabo por una o dos semanas. Posteriormente, podremos escribir el artículo para reportar los resultados.

2. **Actividad:**

a. *Desarrollar un algoritmo para sujetar un objeto.* El alumno asignado para llevar a cabo esta tarea no tuvo las habilidades para hacerlo. Para resolverlo, conseguiremos un alumno de servicio social o de proyecto terminal que tenga conocimientos de algoritmos de optimización.

b. *Tacto en la mano y sus dedos.* Por otro lado, se están explorando distintas opciones para que le permitan a las manos: *i)* una sujeción firme de los objetos, y *ii)* simular mecanorreceptores, termorreceptores y nocioreceptores. La propuesta es utilizar una cubierta de bioplásticos para no dañar los sensores de la mano y obtener adherencia. Por esta razón, será incorporada como colaboradora del proyecto a la Dra. Maribel Hernández, Profesora Investigadora Titular, Tiempo Completo del Departamento de Procesos y Tecnología. Actualmente ya hay dos alumnos inscritos de Ing. Biológica cursando Proyecto terminal I.

3. **Actividad:** *Apariencia amable y funcional del robot.*

El desarrollo de la “expresión facial” del robot sigue en proceso de desarrollo. El enfoque elegido para el desarrollo de las características expresivas es el Proceso de Diseño Centrado en el Usuario (PDCU). Para el desarrollo de la “expresión facial” es necesario indagar con usuarios reales para tener la información cualitativa y cuantitativa que permita tener datos suficientes para convertir la información en rasgos de diseño. En cuanto a la indagación con usuarios reales, es necesario aproximarnos a un número mayor de usuarios

para definir las características formales de la expresión, para que éstas sean adecuadas, considerando el tipo de usuarios a quienes nos hemos acercado. A la brevedad se contactará a un mayor número de usuarios que nos permitan profundizar en el conocimiento de los factores emocionales relevantes para el diseño. También se trabajará con un instrumento distinto al usado en la primera fase. Se aplicará un instrumento que permita registrar escenarios con descripciones subjetivas, “narraciones” para complementar la información recabada durante las entrevistas realizadas en la fase anterior. Tras obtener esta información y analizarla, considerando el avance en los otros factores, se podrá llevar a cabo el proceso de modelado de los rasgos faciales y posteriormente la evaluación del resultado.

4. **Actividad:** *Mantenimiento del robot.*

Con relación a la reparación de la plataforma robótica, el problema comenzó porque la tarjeta que controla la plataforma se descompuso. Tratamos de conseguir la tarjeta de la marca original del proveedor pero ya no estaba en existencia, así que el proveedor nos sugirió una tarjeta alternativa. Sin embargo, esta tarjeta no fue completamente compatible, así que tuvimos que recurrir finalmente a una tarjeta Arduino (*hardware* libre). Este último movimiento no ha sido sencillo porque no hay especificaciones claras para integrar tarjetas de hardware libre con los de la plataforma robótica de la marca Parallax de diseño propietario. El desperfecto de la plataforma, ocasionado por un alumno de servicio social, nos ha atrasado alrededor de un año. Para salir adelante, hemos establecido una colaboración con el Mtro. Oscar Yáñez, quien es especialista en electrónica.

5. **Actividad:** *Investigación.*

Un alumno trabajó en su servicio social desarrollando un algoritmo para recopilar información de una página Web, de manera automática. Lamentablemente, por motivos personales, el alumno no concluyó los trámites para finalizar su servicio social. Su algoritmo no fue suficientemente rápido para buscar la información y hubo algunos errores al extraer las etiquetas. Diseñamos y construimos una base de datos relacional para almacenar la información recabada por el algoritmo. Sin embargo, hemos detectado con la Dra. Mika Olsen (quien también colaborará con nosotros) que se obtienen mejores resultados si se utiliza una gráfica en su lugar. Para llevar a cabo los cambios requeridos, un alumno se inscribió este trimestre en el Proyecto Terminal I con nosotras.

11. Observaciones generales

- Este proyecto está haciendo intersección con el proyecto de “Toma de decisiones en problemas de optimización con gran número de objetivos” con

clave 78 S190-20, en cuanto a los temas de procesamiento de señales, sujeción y navegación. Tienen fines distintos pero hay código que puede utilizarse para ambos proyectos.

Atentamente,



Dr. Antonio López Jaimes



Dra. Alicia Montserrat Alvarado González