

DIVISIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA LA INTEGRACIÓN CIBER-HUMANA

# INNOVACIÓN APLICADA EN PROYECTOS TECNOLÓGICOS

José Luis David Bonilla Carranza / Adriana Peña  
Pérez Negrón / Marco Antonio Pérez Cisneros /  
Alma Yolanda Alanís García  
*Editores*





# **Innovación aplicada en proyectos tecnológicos**

Volumen 1

Serie: División de Tecnologías para la integración  
Ciber-Humana

### **Comité de asesoría editorial**

Dra. Ma. del Rocío Maciel Arellano; Dra. Rosaura Hernández Montelongo;  
Dra. Sabrina Lizbeth Vega Maldonado; Dra. Mirna Ariadna Muñoz Mata;  
Dr. José Alejandro Morales Valencia; Dr. Jezreel Mejía Miranda;  
Mtra. María Elena Romero Gastelú; Mtro. José Vladimír Quiroga Rojas;  
Mtro. José Esteban Hernández de León; Mtra. Verónica Camacho Santillán;  
Mtra. Sara Esquivel Torres; Mtro. Víctor Ernesto Moreno González.

### **Apoyo General de Edición**

Ana Luisa Medina Vázquez; Zeus Emanuel Gutiérrez Cobián.

### **Comité Científico**

Dra. Adriana Peña Pérez Negrón; Dr. Alberto Luque Chang;  
Dr. Alma Yolanda Alanís García; Dr. Antonio Casillas Zamora;  
Dr. Arturo Valdivia González; Mtra. Beatriz Adriana Rivera Aguilar;  
Dr. Braniff de la Torre Valdovinos; Dr. Diego Alberto Oliva Navarro;  
Dr. Eduardo Gerardo Mendizabal Ruiz; Mtro. Eduardo Méndez Palos  
Dr. Francisco Javier Álvarez Padilla; Dra. Graciela Lara López;  
Dra. Itzel Niasandiu Aranguren Navarro; Mtro. Jesús Antonio López Luquin;  
Mtro. José Esteban Hernández de León; Dr. José Juan Meza Espinosa;  
Dr. José Luis David Bonilla Carranza; Dr. Juan Bernardo Morales Castañeda;  
Dr. Karla Ávila Cárdenas; Mtro. Eduardo Velázquez Mora;  
Dra. Laura Paulina Osuna Carrasco; Mtro. Luis Antonio Medellín Serna;  
Mtro. Luis Felipe Muñoz Mendoza; Dra. Ma. Del Rocío Maciel Arellano  
Dr. Marco Antonio Pérez Cisneros; Dr. Michel Emanuel López Franco;  
Dra. Mirna Ariadna Muñoz Mata; Dr. Noé Ortega Sánchez;  
Dr. Oscar Eduardo Maciel Castillo; Mtro. Oscar Gregorio Silva Mares;  
Mtro. Pedro Misraim Gómez Rodríguez; Dra. Rosaura Hernández Montelongo;  
Dra. Sabrina Lizbeth Vega Maldonado; Mtra. Sara Esquivel Torres;  
Dra. Sonia Osornio Ángel; Mtra. Verónica Camacho Santillán;  
Mtro. Víctor Ernesto Moreno González; Mtra. Violeta del Rocío Becerra Velázquez;  
Ing. Zoila Liliana Herrera Lujan; Mtro. Jesús Antonio López Luquin

### **Organización**

Dr. José Luis David Bonilla Carranza; Dra. Adriana Peña Pérez Negrón;  
Dr. Marco Antonio Pérez Cisneros; Dr. Alma Yolanda Alanís García.



# **Innovación aplicada en proyectos tecnológicos**

Volumen 1

José Luis David Bonilla Carranza  
Adriana Peña Pérez Negrón  
Marco Antonio Pérez Cisneros  
Alma Yolanda Alanís García  
*Editores*

*Innovación aplicada en proyectos tecnológicos.* **Editores:** José Luis David Bonilla; Carranza Adriana Peña Pérez Negrón; Marco Antonio Pérez Cisneros; Alma Yolanda Alanís García. —*Guadalajara, México. 2023.*

*Publicación electrónica digital: descarga y online; detalle de formato: EPUB.*

D. R. © copyright 2023

ISBN: **978-84-19799-87-6**

Los trabajos de la presente obra fueron dictaminados por el Comité de Evaluación de Proyectos.

Editores

**José Luis David Bonilla Carranza**  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Guadalajara, Jalisco, México

**Adriana Peña Pérez Negrón**  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Guadalajara, Jalisco, México

**Marco Antonio Pérez Cisneros**  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Guadalajara, Jalisco, México

**Alma Yolanda Alanís García**  
Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Guadalajara, Jalisco, México

Edición y corrección: **Astra ediciones**

Se prohíbe la reproducción, el registro o la transmisión parcial o total de esta obra por cualquier sistema de recuperación de información, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, por fotocopia, cualquier otro existente o por existir; sin el permiso previo, por escrito, del titular de los derechos.

---

HECHO EN MÉXICO | MADE IN MEXICO

## Índice

Introducción .....	13
<i>Marco Antonio Pérez Cisneros</i>	
<b>I. Apoyo a la comunidad .....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo 1</b>	
Manos que hablan .....	17
<i>Ponce Ramos Dalía</i>	
<i>Camacho Guzmán Jazmín</i>	
<i>Carrillo Magallanes Fernando</i>	
<i>Morales Ramírez Thelma Isabel</i>	
<b>Capítulo 2</b>	
SignRunner.....	43
<i>Luis Fernando González González</i>	
<i>Oscar Eduardo Maciel Castillo</i>	
<b>Capítulo 3</b>	
Huet.....	71
<i>Héctor Andrés Alcalá Gutiérrez</i>	
<i>Thelma Isabel Morales Ramírez</i>	
<b>Capítulo 4</b>	
¡Chitón! Mundo de Señas.....	93
<i>López Macías María del Carmen</i>	
<i>Chávez Arteaga Juan Carlos</i>	
<i>Zárate Macías Alejandro</i>	
<i>López Arce Delgado Jorge Ernesto</i>	
<b>Capítulo 5</b>	
Camaleón: Sistema de cámaras descentralizadas.....	117
<i>Adrián Alejandro Dávalos Sánchez</i>	
<i>José Ángel Sevilla Varela</i>	
<i>Luis Donaldo García Castro</i>	
<i>Jorge Ernesto López Arce</i>	

## **Capítulo 6**

SIPCi (Sistema inteligente para la protección del ciudadano) .....141

*Abreu Arreola Christofer Armando*

*Ibarra Fong Cyndi Alejandra*

*Tadeo Hernández Luis Enrique*

*Jiménez Rodríguez Mario*

*Morales Ramírez Thelma Isabel*

## **Capítulo 7**

ReporThing .....155

*Jorge Alberto Laureano Maldonado*

*Jaime Nepomuceno*

*Quintanilla Moreno Francisco Javier*

## **Capítulo 8**

Semáforos AMG .....179

*Alvarez Chávez Iván Alejandro*

*Lira Pérez Jesús Fernando*

*Ramírez Santillán Diego*

*Mercado Garibay Samuel*

## **Capítulo 9**

Gadget de monitoreo de plantas, entretenimiento y vigilancia local  
integrado en Mascota Virtual .....205

*I. I. López Murillo*

*A. M. Molina Aceves*

*J. L. D. Bonilla Carranza*

## **Capítulo 10**

PneumoniApp .....223

*Juárez Escobedo Esteban Andres*

*Ortiz Bravo Eliseo Alberto*

*Villaseñor Padilla Carlos Alberto*

**II. Industria y educación.....245**

**Capítulo 11**

MateAyuda .....247

*Iván Herrera Barrios*

*Jorge Sebastián Rosas Gómez*

*Luis Alfredo Pérez Hidalgo*

*Francisco Javier Quintanilla Moreno*

**Capítulo 12**

CONECTA2.....273

*Pedro Morales Enríquez*

*Juan Manuel Balderrama González*

*Oscar Eduardo Maciel Castillo*

**Capítulo 13**

Matesversity.....317

*Jesús Alejandro Palacios Barrera*

*Oscar Eduardo Ramírez Mora*

*Oscar Eduardo Maciel Castillo*

**Capítulo 14**

MyGraph Software.....345

*Hernández Díaz Héctor Alejandro*

*Valdés López Julio Esteban*

**Capítulo 15**

ShopIAOnline.....367

*Santiago Alatorre Daniel*

*Pérez Torres Griselda*

**Capítulo 16**

ASSIST (Asistencia y Soporte Inteligente a Sistemas) .....395

*Oscar Alejandro Domínguez Duran*

*Francisco Javier Grover Morales*

*André Ángel Humberto Gutiérrez Alatorre*

*Samuel Mercado Garibay*

**Capítulo 17**

Sistema de acreditación de carreras.....421

*Christopher Emmanuel Mejia Garcia*

*Yves Luis Angel Garcia Espinosa*

*Victor Manuel Zamora Ramos*

## **Capítulo 18**

Punto y coma;.....443

*Paulina Sánchez López*

*Nicolas Gómez Álvarez*

*Hilario Raygoza Gutiérrez*

*Patricia del Rosario Retamozza Vega*

## **Capítulo 19**

Sistema estudiantil para el aprovechamiento y difusión de programas laborales en CUCEI.....467

*Andrés Sánchez Salcedo*

*Brandon Fernando Laureano Hernández*

*Fernando René Moran García*

*Thelma Isabel Morales Ramírez*

## **Capítulo 20**

Sistema auxiliar de laboratorio para aplicación de pruebas de COVID .....495

*Eric López Solís*

*Ángel Marcelino González Mayoral*

*Israel Román Godínez*

*Sulema Torres Ramos*

## **Capítulo 21**

Vossom (sistema de debate por videollamada).....523

*Edgar Alan Domínguez Murillo*

*Denilson Asael Sandoval Vallejo*

*Diego Ruíz Pérez*

*Thelma Isabel Morales Ramirez*

## **Capítulo 22**

Gym tracker: verificador de rutinas de ejercicio .....545

*Jonathan Daniel Luna Abundis*

*Juan Pablo Casillas Zermeño*

*Axel Issac Martínez Campos*

*Francisco Javier Álvarez Padilla*

**Capítulo 23**

Sistema monitoreado por EMG como medio auxiliar en la rehabilitación, seguimiento y retroalimentación de las funciones del manguito rotador .....559

*Laura Ruiz Partida*

*Andrea Sarabí Quiñonez Castro*

*Daniel Eduardo Guzmán Tovar*

*Braniff De La Torre Valdovinos*

**Capítulo 24**

Sistema modular para el monitoreo y detección de cambios biomecánicos y fisiológicos anormales en el cuerpo .....587

*Alejandro Montes de Oca Rodríguez*

*Néstor Adrián Fonseca Quijas*

*Rafael Salazar Angulo*

*Braniff De la Torre Valdovinos*

**Capítulo 25**

Propuesta de un intérprete de parpadeos basado en el lenguaje “blink to speak”: estudio comparativo.....603

*María C. Padilla-Becerra*

*Diana K. Macías-Castro*

*Ricardo A. Salido-Ruiz*

*Sulema Torres-Ramos*

*Israel Román-Godínez*

**Capítulo 26**

Órtesis mecánica para rehabilitación de mano .....621

*Fernando Castañeda González*

*Alan Andrés Álvarez Vega*

*Juan Luis Estrada Ochoa*

*Norma Ramírez Hernández*

**Capítulo 27**

Interfaz cerebro computador de asistencia basada en potenciales visuales evocados auxiliado por electrooculograma .....641

*Moncada Álvarez Emmanuel*

*Franco Miramontes Ariana Belén*

*Tirado Ramírez José Daniel*

*De la Torre Valdovinos Braniff*

*Antelis Ortiz Javier Mauricio*

## **Capítulo 28**

Dispositivo para la integración del análisis biomecánico y la  
estadificación del sueño: Una propuesta al estudio del Parkinson .....661

*Citlalli Lona Yepes*

*Carlos Uriel Prudencio Aguirre*

*Gerardo De León García*

*Juan Carlos Gutiérrez-García*

*Tania Anaíd Gutiérrez-García*

## **Capítulo 29**

BCI con intensión de movimiento .....679

*Juan Pablo Cruz Valadez*

*Carlos Alberto Fregoso Iturria*

*Moisés Alejandro Pérez Salcedo*

*Omar Paredes*

## **Capítulo 30**

ArthriBox: Dispositivo rehabilitador para mano para pacientes con  
artritis reumatoide .....695

*Pizano Parra Alejandra Adali*

*Mendizabal Ruíz Eduardo Gerardo*

## **Capítulo 31**

Cardiomonitoreo a partir de parámetros biomecánicos y  
electrofisiológicos para la detección de anomalías .....717

*David Alejandro Martínez González*

*Julieta Abigail Corona Soltero*

*Daniel Alexander Pascoe Gonzalez*

*Braniff de la Torre Valdovinos*

## **Capítulo 32**

Electroestimulador adaptable con interfaz digital para la mejora del  
rendimiento muscular en afectaciones del brazo para pacientes en  
proceso de rehabilitación posoperatoria .....741

*Luis Angel Guerrero Cuevas*

*Samuel Martínez Hernández*

*Daniela Itchel Torres Gómez*

*Juan Carlos Gutiérrez-García*



**Capítulo 33**

Simulador de realidad virtual de máquinas de reacción en cadena.....761

*Diego García Orozco*

*Ramsses Alejandro Chavez Lopez*

*Jairo Alejandro Navarro Serrano*

*Jose Luis David Bonilla Carranza*

## Introducción

Este libro recopila una cuidadosa selección de trabajos avalados por el Programa de Evaluación Modular de la División de Tecnologías para la Integración Ciber-Humana correspondiente al ciclo 2022B. Dicha colección revela el profundo entendimiento que los estudiantes de Ingeniería en Computación, Biomédica e Informática han logrado sobre el desarrollo de sus competencias en diversas áreas. Estas áreas han sido organizadas en secciones específicas, en función de su contribución, y abarcan el desarrollo de herramientas que incorporan metodologías avanzadas en tecnología y en inteligencia artificial. Se incluye la descripción de diseños en sistemas inteligentes y de cómputo, que cubren dominios tan variados como el aprendizaje y la enseñanza en contextos educativos y culturales centrados en el ser humano, análisis inteligente de datos, teoría de grafos, diseño de aplicaciones, toma de decisiones asistida por computadora, seguridad comunitaria, satisfacción de necesidades humanas y mejora de la comunicación interpersonal, así como innovaciones en el desarrollo web.

El proyecto ha sido posible gracias a la coordinación y el apoyo del cuerpo académico y administrativo de la DIVTIC de la UDG (Universidad de Guadalajara, Jalisco, México). Este evento académico tuvo como escenario el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías en Guadalajara, Jalisco, el 10 de noviembre de 2022.

Cada proyecto se estructuró en tres módulos esenciales diseñados para abordar problemáticas específicas e impulsar innovaciones tecnológicas que mejoren la calidad del entorno. Estos módulos son: Módulo I, Arquitectura y Programación; Módulo II, Sistemas Inteligentes y Módulo III, Sistemas Distribuidos.

La planificación y ejecución de estos proyectos modulares representa un componente crucial en la formación de los estudiantes, ya que les permite aplicar y ejercitar los conocimientos adquiridos durante su carrera en contextos prácticos, fomentando así su capacidad para resolver problemas reales y demostrando la competencia y maestría adquirida.

La División, a través de sus departamentos y coordinaciones, llevó a cabo la evaluación y estableció los criterios de aprobación para estos trabajos. Mediante sesiones evaluativas, los estudiantes tuvieron la oportunidad de demostrar que han alcanzado el conocimiento y las habilidades necesarias para avanzar en su formación profesional.

*Enero 2023*

*Marco Antonio Pérez Cisneros*

*Rector de CUCEI*

# I



**Apoyo a la comunidad**



# Capítulo 1

---

## **Manos que hablan**

*Ponce Ramos Dalia  
Camacho Guzmán Jazmín  
Carrillo Magallanes Fernando  
Morales Ramírez Thelma Isabel*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*dalia.ponce7446@alumnos.udg.mx  
jazmin.camacho7450@alumnos.udg.mx  
fernando.carrillo5123@alumnos.udg.mx  
Thelma.morales3416@academicos.udg.mx*

## Resumen

En México viven alrededor de trescientas mil personas sordas y la información que se encuentra en internet para aprender Lengua de Señas Mexicanas (LSM), no es suficiente, por lo cual es necesario una herramienta para aprender sobre LSM [2].

Con base en esta problemática creamos una aplicación web que busca instruir sobre LSM. Implementamos la metodología ágil Kanban. Utilizamos Golang, MySQL, Bootstrap, TensorFlow, keras, CSS3, JavaScript, HTML5, herramientas como opencv y GoogleColab y los protocolos HTTP y SSH.

Esta *app* cuenta con una división en distintos módulos categorizados de una forma escalonada y ordenada que permita el aprendizaje a través de manera audiovisual o de juegos interactivos que generan una puntuación, adicionalmente otorgamos una extensa documentación y material referente, haciendo que decidan el ritmo y el orden en el que estudian. Implementamos la inteligencia artificial (IA) para la práctica constante, pues detecta las señas que el usuario realiza a través de la cámara y da retroalimentación.

En conclusión, conocimos a fondo la problemática y las dificultades existentes y encontramos una solución coherente. Tecnológicamente nuestro proyecto cumplió con su objetivo de ser una herramienta sencilla, eficaz, documentada y disponible para todos. El proyecto ayudará a entender y reflexionar sobre la importancia que la LSM representa.

## I. Introducción

El ser humano, al ser un ser pensante, posee la habilidad de poder comunicarse, es decir, cuenta con la capacidad para transmitir y recibir información de manera consciente, ya sea entre dos o más participantes.

Existen diferentes maneras de expresión, como lo son la expresión oral, escrita y corporal. No obstante, existen personas con capacidades diferentes, las cuales no pueden comunicarse de manera verbal, sino de manera corporal, utilizando el lenguaje de señas. Una lengua que, como cualquier otra, posee y cumple todas las leyes lingüísticas y se aprende dentro de la comunidad de usuarios a quienes facilita resolver todas las

necesidades comunicativas y no comunicativas, propias del ser humano, sociales y culturales [1], [3].

Desafortunadamente en México, la lengua de señas no ha tenido el impacto ni la relevancia que se merece, y tampoco se cuenta con la divulgación adecuada para informar a las personas. Nos dimos cuenta de que al buscar plataformas web que logran enseñarnos a hablar este lenguaje de una manera interactiva o dinámica, no se encontraban, sin embargo, sí existía el uso de aplicaciones que contenían información básica, aunque tenían ausencia de dinámicas educativas o no resolvían las dudas que pudieran generarse al momento de intentar interactuar con la aplicación.

Mayormente nuestra búsqueda nos remontaba a libros o documentos en algún formato específico. Por lo cual, debido a la escasa información para aprender la lengua de señas de una manera más eficaz y rápida, fue necesario observar videos con un tiempo muy excedido o tener que leer bastante información que no podríamos terminar de interpretar por completo. Las personas optaron por aprender un lenguaje distinto ignorando a la lengua de señas, dejando de lado la comunicación, ya que esta puede salirse de contexto y de su zona de confort, obteniendo resultados pocos satisfactorios. Por lo tanto, consideramos la propuesta de generar una plataforma web, que sea capaz de ayudar a las personas sordas u oyentes que requieran de este servicio.

El objetivo de la plataforma es generar una interacción amena con el usuario, así mismo, que esta sea entendible y fácil de usar para obtener un mayor avance al momento de estudiar este lenguaje, resolviendo dudas de una manera más coherente, brindando información de calidad, simulando un diccionario de lengua de señas que, además, contará con pequeñas actividades que el usuario podrá responder para desafiar su destreza y pueda mostrar sus habilidades y conocimientos obtenidos de acuerdo con la plataforma, la cual se encuentra enfocada en el entendimiento, análisis y retroalimentación del usuario.

Beneficios a obtener:

- Aportar información y contenidos conceptuales acerca de la comunidad sorda, así como conocer sus costumbres, su historia, su política, su lingüística aplicada, su educación, su cultura y su sorditud entre otros aspectos.



- Ofrecer bases teóricas-prácticas sobre la Lengua de Señas Mexicana (LSM).
- Propiciar el conocimiento de la LSM y la forma adecuada para comunicarse entre los cursantes y las personas sordas.
- Comprender y utilizar expresiones cotidianas, así como frases destinadas a satisfacer necesidades inmediatas.
- Relacionarse de forma elemental con personas sordas o señantes.
- Emitir y comprender diálogos y situaciones comunicativas relacionadas con contenido global y específico.
- Adquirir y utilizar elementos gramaticales básicos.
- Desarrollar y entrenar capacidades básicas para la lengua de señas: atención y concentración, memoria visual, destreza manual, discriminación visual, memoria a corto y largo plazo.
- Establecer un precedente para futuros trabajos de la misma índole.

## II. Trabajos relacionados

“Manos que hablan” es una herramienta que provee una interfaz gráfica de usuario amigable y optimizada, la cual le permite al usuario tener una experiencia más cómoda al momento de aprender lengua de señas mexicanas. Es por ello por lo que es importante reconocer otros proyectos que tomen una idea parecida y le den un enfoque diferente, para que de esta forma, el proyecto pueda absorber esos puntos positivos para evolucionar sin llegar a estancarse en un punto por factores como su similitud con una herramienta o aplicación ya establecida, o su ausencia de capacidades, herramientas o cualidades frente a esta.

Al realizar una investigación de las herramientas gráficas que se encuentran disponibles de manera pública o de pago, los resultados reflejaron que “Manos que hablan” no es la única opción para aprender LSM, sin embargo, ofrece características como juegos dinámicos que le otorgan puntos al usuario, el poder practicar con la cámara auxiliada de una IA y gestión de roles, funcionalidades que sobrepasan a las de las aplicaciones que serán mencionadas a continuación.

## **Curso de lengua de señas mexicana – Edutin Academy**

El primer caso de un proyecto diseñado para facilitar el aprendizaje de LSM mediante una página web, es un curso de la plataforma Edutin Academy. Este es un proyecto que implica un costo y se basa en la visualización de videos bien explicados donde se imparten los temas básicos de LSM, el periodo de aprendizaje es de tres semanas consumiendo de una a dos horas de video.

## **Aprende señas: Lengua de señas mexicana – Google Play**

El segundo proyecto encontrado, es una aplicación móvil, disponible para celulares Android creada por Rodolfo Morales Moreno. Esta aplicación es gratuita y se basa en la visualización de videos y algunos juegos tipo test, donde se muestra la seña y algunas opciones donde el usuario debe elegir la correcta.

## **Voz y señas – Google Play**

La tercera propuesta encontrada es una aplicación móvil, disponible para celulares Android mediante la tienda Google Play, creada por el Instituto en Ciencias Pedagógicas SC. Esta aplicación es gratuita y se basa en la visualización de videos y algunos juegos donde el usuario selecciona una seña según la palabra que se le asigne. Cabe aclarar que la aplicación es muy interactiva y muy amigable con el usuario respecto a su uso, así como bien optimizada para distintos tipos de celulares.

## **Diplomado inclusivo de introducción a la lengua de señas mexicana y estudio del sordo – Curso offline**

La cuarta opción encontrada fue creada por César Ernesto Escobedo Delgado, quien es lingüista sordo con BA(HONS, Estudios de Lengua de señas Aplicada, adscrito a la University of Central Lancashire (UCLAN) en el Reino Unido. En esta opción se debe pagar para asistir a una clase virtual donde se impartirán los temas de LSM, pero la elegimos por la

calidad del maestro que imparte la clase y por la excelente división de módulos que tiene.

### **Aprender lengua de señas – Google Play**

Esta quinta opción es una aplicación móvil, disponible para celulares Android mediante la tienda de Google Play creada por NMD Studio. Esta aplicación es gratuita y se basa en la visualización de algunos juegos tipo test, donde se muestra la seña y algunas opciones donde el usuario elegirá la correcta. Esta aplicación cuenta con algunas malas reseñas donde se habla de un contenido reducido, sin un orden y sin optimización para algunos dispositivos aunque en sus puntos rescatables se encuentra el hecho de que es una aplicación amigable con el usuario respecto al uso de la misma.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

Durante el proceso de desarrollo se implementó la metodología Kanban (Figura 1), que es un marco de trabajo integrado en la categoría de metodologías ágiles. La palabra Kanban viene del japonés y significa “tarjetas visuales”. El tablero más básico está compuesto por tres columnas: “Por hacer”, “En Proceso” y “Hecho”, aunque como podemos ver en la figura 1, dependiendo del proyecto se pueden agregar o eliminar columnas.



Fig. 1: Representación de la metodología Kanban

Su principal objetivo es gestionar de manera general cómo se van completando tareas. Si se aplica correctamente, sirve como una muy buena fuente de información, ya que permite encontrar dónde están los cuellos de botella en el proceso y qué es lo que impide que el flujo de trabajo sea continuo e ininterrumpido.

*Principios básicos:*

- Calidad garantizada: Todo lo que se hace debe salir bien a la primera, no hay margen de error.
- Reducción del desperdicio: Esto supone la reducción de todo lo secundario o que no tiene mucha importancia.
- Mejora continua: No es simplemente un método de gestión, sino también un sistema de mejora en el desarrollo de proyectos, según los objetivos a alcanzar.
- Flexibilidad: La selección de las actividades que se van a realizar se decide por medio del *backlog* (o tareas pendientes acumuladas). Con esto podemos darle prioridad a aquellas tareas entrantes según las necesidades del momento.

Para el desarrollo del proyecto decidimos quedarnos con Kanban pues ya tenemos tiempo como equipo y fue muy sencillo implementar esta metodología. Otra de las ventajas que tenemos al usarla es que no es muy

estricta a la vez que te permite ver y cuantificar tu propio avance y el de los demás por lo que sí existe un problema se puede identificar rápidamente y tomar las acciones necesarias como equipo. Además del Kanban se realizaban reuniones virtuales semanalmente a través de la herramienta de videollamadas de Google Meet para poder verificar que estos avances se realizarán de manera adecuada, así como para fijar las metas que se esperan alcanzar durante la semana. Esta manera de trabajar nos resulta más productiva pues permite libertad en el trabajo individual junto con una gran coordinación en los objetivos grupales.

Contábamos con un grupo en la plataforma de WhatsApp para la comunicación efectiva, rápida y precisa de pormenores con respecto a nuestras actividades en la semana o para agendar fechas u horas de nuestras reuniones.

Creamos una carpeta compartida en Drive donde cada uno de los miembros tenía la tarea asignada de conseguir cierta documentación específica sobre la lengua de señas mexicanas y colocarla ahí para en una actividad distinta, extraer solo la información esencial. En esta misma carpeta incluimos materiales de apoyo y algunos documentos que íbamos complementando entre todos.

Aunque nuestra metodología es muy simple para un proyecto con estas características, fue necesario seguir una serie de pasos para poder llevarla a cabo:

1. *Definir el flujo de trabajo de los proyectos:* Esto significa crear nuestro tablero de trabajo, este deberá ser visible y accesible para todos. Cada columna corresponderá a un estado concreto del flujo de tareas, que nos servirá para saber en qué estado se encuentra cada tarea. Una de las ventajas del tablero, respecto a Scrum, es que es continuo, esto quiere decir que no es necesario que una actividad se termine para poder agregar la siguiente, aquí las nuevas tareas se van acumulando en la primera columna y dependiendo de las necesidades del proyecto entrarán antes algunas actividades que otras.
2. *Visualizar las fases del ciclo de producción:* Al igual que Scrum, Kanban se basa en el principio básico de desarrollo incremental, dividiendo el trabajo en distintas partes, con esto nos referimos no a la tarea sino a los pasos para agilizar su proceso de realización. En esta fase es donde se crean los *post-it* o tarjetas con la información necesaria de la tarea y se agrega en la columna correspondiente.

3. *Stop starting, start finishing*: Aquí se prioriza el trabajo en curso, en vez de empezar tareas nuevas, en esta metodología el trabajo en curso es limitado, por lo que existe un número máximo de tareas a realizar en cada fase. Es decir, en este paso se define el número máximo de tareas que se realizan por fase y por equipo. Es importante mencionar que no se puede iniciar una nueva tarea sin antes haber finalizado otra.
4. *Control del flujo*: Esta metodología mezcla tareas y proyectos, lo que permite que los trabajadores tengan un flujo constante de trabajo y que sea posible dar seguimiento al trabajo realizado, almacenando la información que nos proporcionan las tarjetas.

Durante la etapa de implementación del proyecto, se decidieron utilizar las siguientes herramientas: Amazon Web Services, MongoDB, Golang, PostgreSQL, MySQL, Tensor Flow, Keras, Bostrap, Google Colab, Python, CSS3, JavaScript, HTML5 y los protocolos HTTP y SSH principalmente, para lograr una aplicación web funcional, accesible y amigable con el usuario.

Los parámetros principales tomados en cuenta para elegir estas tecnologías son:

- Compañías que respaldan la tecnología.
- Comunidad de usuarios activa.
- Disponibilidad de versiones con soporte extendido.
- Que su licencia permitiera el uso en proyectos de código abierto.
- Alto rendimiento.
- Cumplen con normativas de seguridad de *software* (en un nivel básico requerido).



Fig. 2. Herramientas utilizadas

### Requerimientos funcionales

- *Acceso*: El sistema podrá ser utilizado desde cualquier navegador web, sin necesidad de instalar algún *software* adicional.
- *Control de cuentas*: El sistema permite administrar cuentas con diferentes roles para llevar un orden en el equipo de trabajo.
- *Creación de cuentas de usuario*: El sistema permite crear cuentas con diferentes roles, teniendo cada rol determinados permisos y funcionalidades.
  - Administrador.
  - Usuario Normal.
- *Acceder a la documentación* (Documentos PDF, canales de YouTube): El sistema cuenta con un apartado de enlaces útiles referentes a la Lengua de Señas Mexicana, en la parte superior de nuestro menú de desplazamiento, que permite acceder a recursos valiosos para el usuario interesado en más información de LSM.
- *Práctica IA*: Es una sección destinada a practicar las señas referente a letras y números según lo decida el usuario para que obtenga una retroalimentación de la posición de manos gracias a una inteligencia artificial que hará uso de la cámara del usuario para capturar sus movimientos.
- *Generar juegos*: El sistema permite al usuario con rol de administrador los permisos para desarrollar las siguientes tareas:

- Se ingresa un nombre, el módulo al que pertenece, una descripción, una cantidad de puntos y fotos de ser necesario.
- *Editar juego*: Se puede editar el nombre de la actividad, el módulo al que pertenece y la cantidad de puntos.
- *Eliminar juego*: Se puede eliminar una actividad, confirmando la eliminación.
- *Puntos*: El usuario podrá consultar un marcador donde podrá ver sus puntos y así poder comprender su progreso.
- *Juegos*: El sistema contará con una variedad de juegos para que el usuario aprenda de forma interactiva y divertida de la lengua de señas mexicana.

#### *Requerimientos no funcionales*

- *Hardware*: El sistema puede ser utilizado por cualquier computadora con acceso a internet, con un procesador de al menos 1.2 Ghz, 4 GB de RAM y al menos 10 GB de almacenamiento disponible.
- *Software*: El sistema puede ser utilizado en cualquier sistema operativo. Versión web: La aplicación puede ser utilizada bajo cualquier navegador web, con acceso a internet.
- *Validación de usuarios*: El sistema valida las credenciales introducidas por el usuario, comparando con las que ya se tienen previamente guardadas en la base de datos.
- *Arquitectura*
  - Base de datos: El sistema es capaz de almacenar los perfiles de usuario así como sus puntos, las actividades, algunos documentos y videos, así como los elementos necesarios para el sistema en dos bases de datos, una base de datos relacional y la otra no relacional.
- *Seguridad*
  - *Accesos*: Los permisos de acceso al sistema y nuevas cuentas de usuario podrán ser cambiados solamente por el administrador de acceso a datos.
- *Usabilidad*:
  - *Tiempo de aprendizaje*: Se estima que la curva de aprendizaje es corta, por lo que siguiendo la introducción de la página principal, así como revisando la documentación, el usuario podrá utilizar el sistema ampliamente en menos de una hora.



- Introducción: El sistema cuenta con una página principal ya habiendo iniciado sesión lleva al usuario de la mano para enseñarle cómo está dividida la aplicación así como hacer uso de todos los recursos.
- Mensajes de error: El sistema cuenta con pequeños mensajes/notificaciones que informan al usuario lo que está pasando al interactuar con alguno de sus componentes. De esta forma, el usuario siempre está al tanto de lo que ocurre con sus entradas y salidas.
- Diseño responsivo: El sistema posee un diseño responsivo, a fin de garantizar la correcta visualización de la aplicación en múltiples dispositivos; computadoras personales, tabletas, teléfonos inteligentes, etcétera.
- Diseño estético: El sistema cuenta con una correcta elección de colores y fuentes adecuadas para la mejor visualización de los componentes de la herramienta, siendo bastante agradable a la vista.
- *Rendimiento*: Se espera un rendimiento bastante prometedor, siendo el sistema capaz de funcionar de manera veloz, con aproximadamente cinco segundos máximos en el tiempo de respuesta al llevar a cabo alguna tarea.
- *Compatibilidad*: El sistema es accesible bajo los siguientes navegadores:
  - OperaGX v. 81.0.4196.52
  - Firefox v .94.0.2
  - Chrome v. 96.0.4664.45
  - Microsoft Edge: 96.0.1054.34

#### *Pruebas realizadas*

- *Registro de usuario*: Se comprobó el correcto funcionamiento del registro de usuario según su jerarquía como administrador o usuario normal para el inicio de sesión.
- *Implementación de base de datos*: Se observó que la base de datos almacenaba de manera correcta la información adquirida.
- *Vistas del Frontend*: Se analizó que todas las vistas presentadas en la plataforma contengan la información y documentación correspondiente a cada módulo así como que estas sean responsivas según el dispositivo del que se estén consumiendo.

- *Inteligencia Artificial:* Se realizó un entrenamiento previo a la IA para observar si esta funcionaba acorde a lo previsto, es decir, que fuera capaz de detectar en tiempo real, a distintas distancias y con distintos enfoques de luces y aunque los resultados fueron exitosos, posteriormente se generó otro entrenamiento para estar satisfechos con los resultados.
- *Puntaje obtenido por el usuario:* Se consultó que el contador funcione de manera correcta para que el usuario pueda observar sus resultados y pueda comprender su progreso.
- *Juegos a realizar:* Actualmente está en proceso una segunda prueba para la comprobación del correcto funcionamiento de las actividades que estarán presentes en cada módulo para que el usuario pueda tener una retroalimentación de sus conocimientos.
- *Contenido multimedia:* Se revisaron que tanto los documentos y los videos, fueran capaces de visualizarse sin ningún problema y con un corto tiempo de espera.

Para el caso del control del código, usamos Github, en el que creamos un proyecto y varios repositorios, uno para cada uno de los elementos de nuestro sistema, esto nos permitió organizarnos mejor, y, al unir esta herramienta con Kanban nos permitía generar issues y ramas para cada issue. De esta manera, podíamos controlar de mejor manera las características que iban siendo implementadas en los sistemas. Además de esto, se agregan tareas de corrección de errores que se iban encontrando durante las pruebas.

Este repositorio lo puede encontrar en el siguiente link de GitHub: [JazminCamG/ManosQueHablan \(github.com\)](https://github.com/JazminCamG/ManosQueHablan).

Como nota adicional, nos gustaría comentar que algunas veces el repositorio aparece como privado mientras configuramos algunas cuestiones de seguridad en las cuentas.

## **Módulo I Justificación de arquitectura y programación de Sistemas**

Durante esta etapa de implementación del módulo 1 qué es Arquitectura y programación de sistemas, se decidió utilizar los beneficios que provee

Golang, implementando así un patrón de diseño de software conocido como MVC (Por sus siglas en inglés, Model View Controller o Modelo Vista Controlador), el cual es un estilo de arquitectura de software bastante sólido y consolidado que demuestra su validez en diferentes tipos de aplicaciones ya que separa los datos de una aplicación, la interfaz de usuario y la lógica de control en tres componentes, dicha separación ayuda a enfatizar en la lógica y la visualización, lo que permite una mejor división del trabajo y una mejora de mantenimiento.

Estos 3 componentes son los siguientes:

- **Modelo:** Los modelos representan datos, así como las reglas y la lógica que los gobiernan. Entonces, una clase modelo por tanto contendrá mecanismos para acceder a la información y también para actualizar su estado. Los datos los tendremos habitualmente en una base de datos, por lo que en los modelos tendremos todas las funciones que accederán a las tablas y harán los correspondientes selects, updates, inserts, etcétera.
- **Vista:** Las vistas son una representación del estado de un modelo. Una vista suele ser una página, pero en Go, una vista también puede ser un fragmento de una página. En la vista generalmente trabajamos con los datos, sin embargo, no se realiza un acceso directo a estos. Las vistas requerirán los datos a los modelos y de ellas se generará la salida, tal como nuestra aplicación requiera.
- **Controlador:** Los controladores son la lógica de unión entre el modelo y las capas de vista y abarcan toda la lógica intermediaria necesaria para manejar solicitudes HTTP y generar páginas web. Sirven de enlace entre las vistas y los modelos, respondiendo a los mecanismos que puedan requerirse para implementar las necesidades de nuestra aplicación. Sin embargo, su responsabilidad no es manipular directamente datos, ni mostrar ningún tipo de salida, sino servir de enlace entre los modelos y las vistas para implementar las diversas necesidades del desarrollo.

La siguiente figura es una descripción general del marco del proyecto y demuestra cómo fluyen los datos a través del sistema:

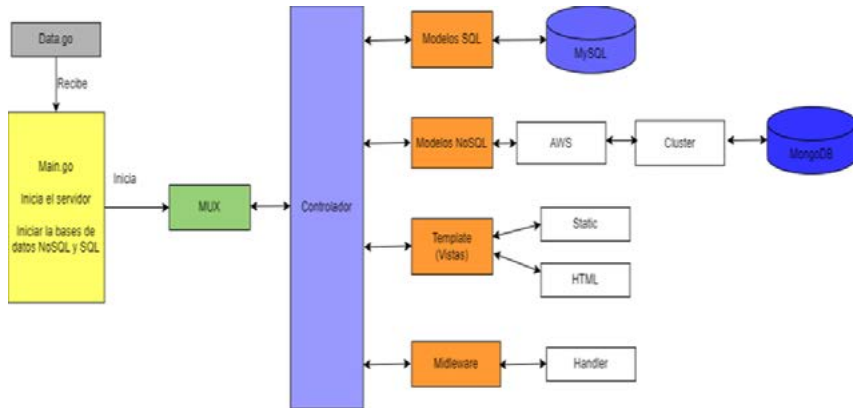


Fig. 3: Diagrama a bloques de la descripción general del marco del proyecto

Donde:

1. *Data .go* contiene toda la información necesaria para la conexión con nuestros gestores de base de datos SQL y NoSQL.
2. *Main .go* es el punto de entrada de la aplicación que inicializa algunos de nuestros recursos básicos necesarios para ejecutar la aplicación, como lo son el servidor y sus componentes, junto con las bases de datos.
3. El *MUX* se encarga de definir, dirigir y verificar todas las solicitudes HTTP entrantes, y, de acuerdo con el método, a la URL y los parámetros, los compara con la acción del controlador correspondiente.
4. El *controlador* cargará los modelos, bibliotecas principales, los archivos estáticos de las vistas, el *Middleware* y cualquier otro recurso necesario para procesar solicitudes específicas.
5. El controlador pasará los parámetros al *middleware*, este valida la seguridad de las peticiones, *cookies* y el manejo de errores para posteriormente pasarlo a *Handle*, el cual realiza la petición al usuario y regresa una respuesta, dicha respuesta se comprueba en el *middleware* y en caso de no encontrar nada corrupto, lo envía al controlador, donde este será el intermediario con el *MUX*.
6. *Modelo SQL* y *Modelo NoSQL*, contienen una representación de nuestros modelos, como lo son: Usuario, Módulos, Temas, Actividades, Exámenes, Puntuación, entre otros. Para la arquitectura SQL y los modelos de media como imágenes y videos para la arquitectura NoSQL, en conjunto se convertirán en nuestras entidades para nuestras bases de datos

funcionales que utilizan los gestores MySQL y MongoDB respectivamente. En el caso del último, estará alojado en un clúster dentro de los servicios de Amazon Web Service.

7. Las *vistas* o *Template* nos define cómo se deben mostrar los datos de la aplicación. Se utilizaron diferentes vistas de navegación, formularios, pantallas de listado de módulos, secciones de material y documentación, sección de la práctica con cámara y juegos, además de proteger estas vistas mediante un sistema de inicio de sesión que requiere autenticación de usuario.

## **Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

El módulo de inteligencia artificial de “Manos que hablan”, se aplicó con un modelo de red neuronal convolucional, las cuales son un tipo de redes neuronales artificiales donde las “neuronas” corresponden a campos receptivos de una manera muy similar a las neuronas en la corteza visual primaria (V1) de un cerebro biológico. Este tipo de red es una variación de un perceptrón multicapa, sin embargo, debido a que su aplicación es realizada en matrices bidimensionales, son muy efectivas para tareas de visión artificial, como en la clasificación y segmentación de imágenes, entre otras aplicaciones razón por la cual decidimos utilizarla y que logramos que fuera capaz de detectar una seña y clasificarla en un grupo de opciones previamente establecidos con el objetivo de que pueda en función de la seña del usuario decirle si la seña que está haciendo es la correcta o que no sea la correcta en caso contrario. Primeramente se creó un programa específico en Python donde con ayuda de Opencv se detectaba la mano basándose en los 21 puntos de interés que se aprecian en la figura 3 los cuales ayudaban a calcular la mitad de la mano y generaba un cuadro alrededor de la mano y se toma una cantidad exacta de 600 imágenes las cuales agrupaba en carpetas según la seña que representaban y que se convirtieron en nuestras imágenes de prueba y validación.

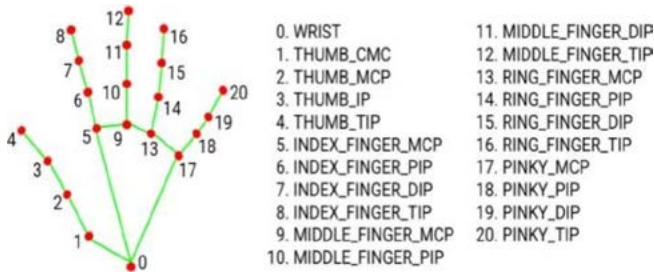


Fig. 4. 21 puntos de interés en la mano.

Posteriormente, estas carpetas se comprimieron en un archivo .rar el cual se subía a Google Drive para después, usando la herramienta Google Colab, descomprimir estas carpetas e importar las herramientas de Tensor Flow y Keras para el entrenamiento, donde es necesario dividir el proceso de entrenamiento en bloques de menor tamaño de imágenes. Además de implementar la técnica llamada *data augmentation*, la cual consiste en que cuando se dispone de un número de imágenes relativamente pequeño, podemos aumentar el número modificando las imágenes originales.

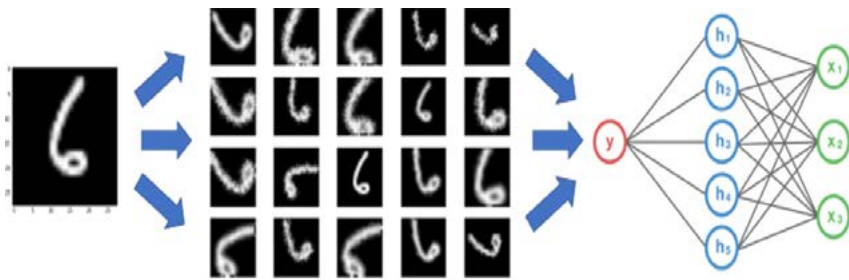


Fig. 5. Representación del aumento de datos.

Posterior a esto, y ya cargado nuestro set de imágenes de entrenamiento como de validación con algunas modificaciones como inclinar, hacer zoom o invertir para un mejor entrenamiento, construimos nuestro modelo de Red Neuronal Convolutiva (CNN), empezaremos con una red tipo secuencial donde nuestras primeras capas convolucionales tienen función de activación “Relu” y una capa de agrupación máxima de 2x2, la primera capa cuenta con 32 núcleos y un filtro de 4x4, mientras la segunda cuenta con 64 núcleos y un filtro de 3x3; por último, la tercera y cuarta capa cuentan con 128 núcleos y un filtro de 2x2.

Después de estas capas, se aplicó una capa *Flatten* la cual se encargará de convertir una matriz a una sola dimensión, enseguida, queda una capa densa con 1280 neuronas y función de activación “Relu”. Como penúltimo paso agregamos un *Dropout* de 0.5 para optimización, ya que esta función ayuda a reducir el sobreentrenamiento en las redes neuronales. Finalmente, se colocó la capa de salida con el número de neuronas según las categorías que estamos dividiendo (cinco neuronas para la categoría de vocales, diez neuronas para la categoría de los números y 23 neuronas para la categoría de las letras del abecedario) pero con la función de activación “softmax” para asegurar que la suma del resultado de las neuronas de salida sea 1 y al final la neurona que tenga el mayor número, será el resultado de la red.

Ya con nuestro modelo listo se decidió utilizar “Adam” como optimizador y para la función de pérdida se decidió el uso de “categorical\_crossentropy”.

### **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Como parte de la implementación del módulo 3 que es Sistemas distribuidos y con la alta expectativa de que el sitio aloje a una gran cantidad de usuarios se piensa en temas de escalabilidad, velocidad, flexibilidad, volumen y rendimiento, por lo que se decidió dividir la base de datos en dos diferentes arquitecturas siendo estas SQL y NoSQL. Por parte de SQL se decide usar el gestor de base de datos MySQL, el cual se encargó de guardar los datos referentes a los usuarios, los módulos, los temas, las actividades, exámenes, puntuación y juegos, aprovechando que este modelo garantiza integridad en la información. Por otro lado, se utiliza la ventaja de escalabilidad y optimización de una arquitectura NoSQL como lo es el sistema gestor de base de datos MongoDB, cuya función fue almacenar lo que representa una mayor carga para nuestra aplicación web, que son las fotos y videos utilizados para los juegos, documentación y algunas secciones.

Los modelos de datos de nuestra arquitectura NoSQL contienen un identificador, como uno de sus atributos para permitir una relación entre esta primera arquitectura y nuestra segunda arquitectura; así, aseguramos la consistencia en la información más relevante y una mayor fluidez en las secciones para la carga y uso de imágenes y videos.

Ambas arquitecturas se utilizarán gracias a los *drivers* dentro de la aplicación realizada en Golang, estos *drivers* se configuraron para poder realizar la conexión con las arquitecturas y la migración fácil de los modelos, permitiendo moverlas o generando la expansión del servidor, así como el manejo de todas las peticiones que se realicen por parte del cliente al servidor para su correcta ejecución.

Este tipo de modelo permite el procesamiento compartido. El servidor puede ejecutarse en múltiples computadoras y pueden ser múltiples programas. Dependiendo de los servicios que brinde, puede llamarse servidor web o servidor de correo. En este caso es un servidor web que mantendrá todos los servicios así como la aplicación en línea y disponible. Estos servidores darán acceso a los clientes a la página web, los cuales acceden a través de sus navegadores. De esta forma, el servidor aloja los datos solicitados por el cliente a través del navegador instalado en su ordenador.

Cabe mencionar que para el uso más óptimo de la base NoSQL, se utilizaron los servicios de Amazon Web Services (AWS).

AWS es un proveedor de servicios en la nube que permite disponer de almacenamiento, recursos de computación, aplicaciones móviles y bases de datos en modalidad de *cloud computing*. Es decir, que se podrá pagar una suscripción mensual a AWS, o, en nuestro caso, utilizar la versión gratuita para conectarnos a un servidor/base de datos en donde se procesa la información que requerimos.

Con los Servicios de Amazon Web, se creó un clúster donde se generó nuestra base de datos mongoDB y dentro de esta se almacenan nuestras *collections*, que es donde se encuentra nuestra media.

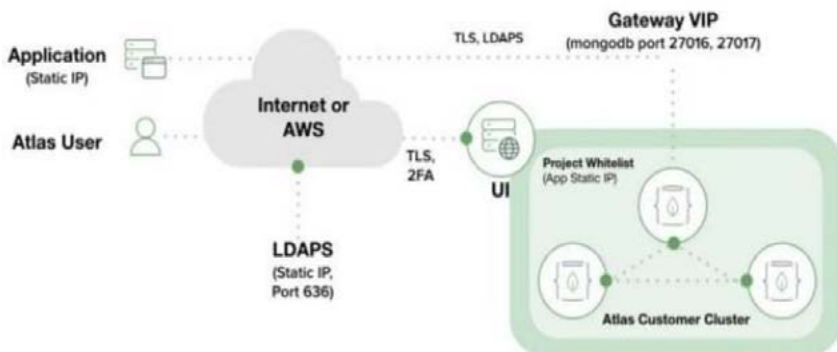


Fig. 6. Estructura de Amazon Web Services.



Del lado del servidor AWS en dirección a nuestro clúster, se almacena nuestra base de datos, donde se utiliza el protocolo TLS el cual se encarga de cifrar la información entre ambos puntos y el protocolo LDAPS quien proporciona el acceso a un servicio de directorio ordenado y distribuido para buscar cierta información en un entorno de red. Por otro lado, la conexión de nuestra aplicación al servidor AWS se genera utilizando el protocolo TCP/IP mediante un URL con el siguiente formato:



Fig. 7: Ejemplo de la estructura del URL para la conexión.

El cual logra hacer una conexión por DNS que nos ayuda a devolver una respuesta en caso de que nuestra URL se encuentre en el DNS, siendo esta una respuesta de error o respuesta de una conexión.

## IV. Resultados obtenidos del proyecto

*Resultados obtenidos mediante el proyecto a nivel de codificación:*

- Se logró crear una plataforma Web responsiva y amigable con el usuario, diseñada específicamente para el aprendizaje escalonado del lenguaje de señas a través de distintos juegos, la cual será de manera gratuita y para cualquier usuario que desee utilizarla; asimismo, cuenta con gran material autodidacta tanto en documentos como en materiales audiovisuales.
- Se logró proporcionar una aplicación que sea interactiva, fácil, entendible y confiable de manejar con respectivas especificaciones e instrucciones de uso.
- Se logró generar un espacio donde el usuario puede practicar sus señas mediante su cámara web con la implementación de la inteligencia artificial, la cual también otorga una retroalimentación, en tiempo real, al usuario de la seña que realiza según la categoría que haya elegido (siendo estas categorías, abecedario, números y vocales).

- Se logró generar una propuesta atractiva para el descubrimiento de una nueva lengua mediante diferentes actividades y funcionalidades.

*Resultados obtenidos mediante el proyecto a nivel social:*

- Se logró desarrollar una plataforma web responsiva y amigable, que permite brindar ayuda y apoyo al usuario, ya sea oyente o persona que mantenga una discapacidad auditiva, en su búsqueda por aprender sobre lengua de señas mexicanas.
- Se logró que cada uno de nosotros como integrantes del equipo nos sensibilizamos con las problemáticas existentes que estigmatizan a nuestro país.
- Se generó un ambiente de interés e inclusión social para cualquier persona que desee aprender la lengua de señas mexicanas.
- Se logró construir un mejor ambiente de comunicación entre las personas conservando el respeto y fortaleciendo la educación.
- Se establece un precedente de cómo la tecnología puede fusionarse ampliamente con ámbitos socioculturales en pro de la población mexicana.

## **V. Conclusiones y trabajo a futuro**

Posterior a un análisis de los resultados obtenidos por “Manos que hablan”, como aplicación web cumple en su totalidad con la hipótesis planteada, ya que después del diseño e implementación, la aplicación es capaz de cumplir con los objetivos planteados, permitiendo a los usuarios tener una alternativa realista para aprender con una ruta establecida y un pequeño espacio de práctica, con disponibilidad de horario y que no sea el típico curso por el que pagan y tienen clases en vivo por zoom.

El proyecto puede crecer mucho más aún, agregando más opciones de práctica, mejorando el modelo de la red neuronal y agregando más material (ya sea documentación, videos o actividades recreativas en línea), también podría agregarse más módulos para una mejor organización del material disponible. Sinceramente consideramos que lo que creamos es solo una base para un desarrollo posterior que motivará a que existan más proyectos y que permitan la inclusión de más grupos rezagados, ya que la aplicación web, al ser una aplicación gratuita, está al alcance de cualquier

usuario que cuente con internet, por lo que, puede despertar un interés entre las personas por aprender este lenguaje, no solamente las personas que en particular tenga una discapacidad auditiva. Obteniendo como resultado una mayor inclusión en el país y, al mismo tiempo, generando una mejor comunicación, ya que, como se mencionó al inicio de este documento, el ser humano por naturaleza es un ser social, debido a que contamos con la habilidad para intercambiar y recibir información, la cual es un proceso innato en el hombre, una necesidad básica para la que venimos determinados biológicamente.

### **Reconocimientos**

Es muy importante hacer mención que aunque algunos miembros de nuestro equipo si contaban con algún conocimiento en LSM, decidimos consultar a algunas personas externas del equipo que contaran con conocimientos en lengua de señas mexicanas en diferentes niveles para una mejor retroalimentación en algunos temas así como el asesoramiento con el orden de los temas. También es importante hacer una mención a nuestra tutora quien estuvo apoyándonos en todo momento así como haciéndonos aclaraciones y recomendaciones sobre nuestro plan de trabajo, nuestro proyecto y la documentación que generamos del proyecto. Estas personas que nos estuvieron apoyando de distintas maneras y constantemente fueron las siguientes:

- Tutora del Proyecto Modular: Ingeniera Thelma Isabel Morales Ramírez
- Persona externa: Itzel Valdez Ortega
- Persona externa: Dafne Flores Santacruz

## Referencias

- [1] A. Tillo, “Lenguaje corporal, oral y escrito”, 17 de agosto de 2021. DeSignificados. Disponible en <https://designificados.com/lenguaje-corporal-oral-y-escrito/#:~:text=Así,%20el%20lenguaje%20corporal%20transmite,boca%20y%20la%20escritura%20respectivamente.> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [2] Comisión Nacional de los Derechos Humanos, “En México, viven casi 300 mil personas sordas: INEGI. Disponible en <https://www.cndh.org.mx/video/en-mexico-viven-casi-300-mil-personas-sordas-inegi#:~:text=En%20México,%20viven%20casi%20300,de%20los%20Derechos%20Humanos%20-%20México.> [Accedido el 19 de agosto de 2022].
- [3] B. Pérez de Arado, “¿Lengua de señas?”, Cultura Sorda, 2011. Disponible en <https://cultura-sorda.org/lengua-de-senas/> [Accedido el 19 de agosto de 2022].
- [4] Naciones Unidas, “Día Internacional de las Lenguas de Señas, 23 de septiembre”. Disponible en <https://www.un.org/es/observances/sign-languages-day#:~:text=Según%20la%20Federación%20Mundial%20de,300%20diferentes%20lenguas%20de%20señas> [Accedido el 19 de agosto de 2022].
- [5] “Lengua de Señas Mexicana: ¿por qué todos deberíamos aprenderla?” Animal. Disponible en <https://animal.mx/tendencias/lengua-de-senas-mexicana-por-que-todos-deberiamosaprenderla/#:~:text=“Aprender%20LSM%20nos%20sensibiliza%20hacia,herramientas%20de%20entendimiento%20y%20comunicación”> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [6] Mexicana, “Lengua de señas mexicana”. Disponible <https://mexicana.cultura.gob.mx/es/repositorio/x2abesp3qm-4> [Accedido el 19 de agosto de 2022].
- [7] “Materiales”, Inclusor. Disponible en <https://www.incluser.org.mx/index.php/datos-y-descargas/materiales> [Accedido el 19 de agosto de 2022].
- [8] “Academia LSM”. Academia LSM. Disponible en <https://www.lsm.cdmx.gob.mx/> [Accedido el 19 de agosto de 2022].

- [9] *Manos con voz: Diccionario de Lengua de Señas Mexicana*, 2a ed. Ciudad de México, México: Libre Acceso A. C. Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación, 2011.
- [10] C. Social Por Ti, *Diccionario de Lengua de Señas Mexicana*. DLMS COMISA, 2017.
- [11] S. de Fleischmann, *Manos con Voz*. Leonardo Castillo Medina, 2011.
- [12] J. Palacios. “Preguntas, respuestas y conectores (LSM)”. Compartir Signos (SORDOS). Disponible en <https://compartirsignos.blogspot.com/2011/06/los-numeros-lsm.html> [Accedido el 19 de agosto de 2022].
- [13] “Biblioteca Central: La Biblioteca Vasconcelos y la Biblioteca de México a la distancia”. Biblioteca de México, Secretaría de Cultura. Disponible en <https://www.bibliotecademexico.gob.mx/bmvirtual/pda.php?cat=2> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [14] DIF, *Manual de Lengua de Señas Mexicana*. Ciudad de México: Departamento de Sensibilización e Inclusión Social, 2020.
- [15] “Lengua de Señas Mexicana (LSM)”. Gobierno de México. Disponible en <https://www.gob.mx/conadis/articulos/lengua-de-senas-mexicana-lsm?idiom=es> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [16] L. E. L.-Dellamary, “La lengua de señas mexicana, ¿una lengua en riesgo? Contacto bimodal y documentación sociolingüística”, *Estudios de Lingüística Aplicada*, vol. 33, núm. 62, diciembre 2015. Disponible en <https://ela.enallt.unam.mx/index.php/ela/article/view/420/464> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [17] “Lengua de Señas como perspectiva en la Educación Básica”, *Gestiopolis*. Disponible en <https://www.gestiopolis.com/lengua-de-senas-como-perspectiva-en-la-educacion-basica/> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [18] Á. Ganivet, *Importancia de la lengua sánscrita y servicios que su estudio ha prestado a la ciencia del lenguaje en general y ala gramática comparada en particular*. Almería: Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones, 2005.
- [19] O. de Castorino, *Lengua de Señas su Importancia en la Educación del Sordo*. Ciudad de México: Magisterio.
- [20] B. Tijerina, *Lenguaje sin Palabras: Aprende a leer el lenguaje no verbal y mejora tus habilidades de comunicación*. Aguilar, 2021.

- [21] “Amazon Web Services (AWS): ¿qué es y qué ofrece? Blog de Hiberus Tecnología”. BlogdeHiberus Tecnología. Disponible en <https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/amazon-web-services-aws-que-es-y-que-ofrece/> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [22] ¿Qué es TensorFlow? ¿Cómo funciona? - Aprende IA. AprendeIA. <https://aprendeia.com/que-es-tensorflow-como-funciona/> [Accedido el 16 de agosto de 2022].



# Capítulo 2

---

## **SignRunner**

*Luis Fernando González González  
Oscar Eduardo Maciel Castillo*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*Luis.gonzalez3948@alumnos.udg.mx  
oscar.macielt@academicos.udg.mx*



## Resumen

La interacción entre personas con discapacidad auditiva y personas que no padecen dicha condición ha sido limitada a lo largo del tiempo. Este proyecto propone una manera simple y divertida para adentrarse al mundo del LSM y expandir su inclusión social. Combinando una red neuronal con visión artificial, se desarrolló un programa capaz de reconocer el abecedario del LSM, este programa envía salidas a un videojuego, las cuales son utilizadas para que el jugador interactúe con dicho juego, ya sea solo o con otro jugador mediante sóquets. Mediante una *REST-API*, se envían las puntuaciones a una aplicación móvil para que el jugador pueda llevar seguimiento de su desempeño.

El resultado fue un videojuego que es entretenido, educativo y eficiente, que provee un conocimiento básico del LSM de forma dinámica, lo cual permite realizar una comunicación básica entre personas sordomudas y no sordomudas tras un par de horas de juego.

## I. Introducción

### A. El problema

Datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI arrojan que en México hay más de seis millones de personas con algún tipo de discapacidad, lo que representa el 4.9 % de la población total del país. De ellas, el 22 % presenta problemas para escuchar aun usando aparato auditivo, y otro 15 % problemas para hablar o comunicarse [2].

La dificultad de las personas con discapacidad auditiva para comunicarse disminuye su capacidad de interacción social, en consecuencia, su desarrollo educativo, profesional y humano se ve afectado. Como medio de socialización, las personas sordomudas han desarrollado su propio lenguaje, la lengua de señas, que posee su propia sintaxis, gramática y léxico. Si bien permite la comunicación de estas personas entre sí, no les facilita la relación con el resto de la sociedad [1].

El desconocimiento del LSM como herramienta de comunicación, obstaculiza la inclusión social de las personas con discapacidad auditiva.

Que la persona promedio no posea un conocimiento sobre este lenguaje es un problema no solo para los sordomudos en sí, sino también para las personas cercanas a ellos, ya que puede ser frustrante no poder proporcionar la mejor ayuda cuando esta es necesitada. Un claro ejemplo son los profesores que no están capacitados para comunicarse con alumnos en esta condición, ya que no es posible para ellos proporcionar una educación y retroalimentación eficientes en estas circunstancias.

### *B. ¿Quién puede beneficiarse del proyecto?*

Cualquier persona con interés en el LSM puede hacer uso de este proyecto, ya sean familiares o amigos de una persona sordomuda, profesores, pedagogos y cualquier otra persona cuya profesión requiera una comunicación con un cliente, que pueden tratarse de recepcionistas, secretarios, doctores, entre otros.

Las personas sordomudas en sí se benefician también, ya que, aunque ellos ya dominen el LSM, si más personas se familiarizan con ello, se expandirá la comunicación e inclusión.

### *C. La importancia de conocer el LSM y el interés en la resolución del problema*

Quizá todos nosotros en algún punto de nuestra vida hayamos interactuado con una persona sordomuda, si bien la comunicación no es imposible, ciertamente no es la más adecuada y muchas veces nos encontraremos con el problema de no poder expresar exactamente lo que se quiere comunicar al no estar familiarizados con el LSM.

Si bien existen personas y escuelas especializadas para tratar a este tipo de personas, no se encuentran al alcance de todos, e incluso cuando se dispone de personas capacitadas, como puede ser un profesor, se genera el problema donde la persona sordomuda solo puede comunicarse con dicho profesor, siendo excluido del resto de sus compañeros. Por esta razón es importante poseer al menos un conocimiento básico sobre el LSM, ya que nunca se sabe cuándo una persona en esta condición vaya a necesitar ayuda, puede ser en la escuela, en el trabajo o simplemente en el día a día.

Bárbara Limón García, psicóloga por la UANL (Universidad Autónoma de Nuevo León), señala que cuando se aprende la lengua de señas no

solo se enriquece la comunicación de una sociedad, sino que se fortalece su inclusión, ya que el aprendizaje conlleva adentrarse y entender la cultura de un número importante de la población [2].

“He visto a personas que desde que empezaron a aprender lengua de señas se les enriqueció aún más la parte de la inclusión y toman otros cursos como de braille, y se involucran más en este rubro. Esto te hace quitarte de limitantes y prejuicios”, puntualizó la psicóloga por la UANL.

#### *D. La solución y sus beneficios*

Realizar acciones de inclusión, adentrarse en la cultura sordomuda y enriquecerse como individuo son algunos de los aspectos que se adhieren a tu persona cuando te involucras en el aprendizaje del LSM.

En el 2020 el Dr. René González Puerto, junto con el Congreso Internacional Virtual Sobre La Educación en el Siglo XXI, planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Será la lengua de señas mexicana una herramienta de comunicación que apoye la inclusión social de las personas con discapacidad auditiva?

Los resultados obtenidos por el instrumento del estudio comprobaron que el LSM es una herramienta de comunicación que le permite a las personas sordomudas una mejor inclusión social. La muestra representativa del estudio consideró al LSM como la lengua natural de la comunidad sorda y herramienta de comunicación que favorece el desarrollo cognitivo, lingüístico y personal de las personas sordomudas, que les permite una vida social plena [5].

El LSM es primordial para la inclusión social de las personas sordomudas, porque el lenguaje es la característica del ser humano, que le permite comunicar sus pensamientos, deseos, gustos, etc. a los demás con la finalidad de una óptima interacción social, pues su comunicación es visogestual, no auditiva.

Para romper la limitante de tener que pasar por un proceso de capacitación para poder comunicarse con una persona sordomuda, es menester crear una alternativa que no solo esté al alcance de más personas, sino que también sea entretenida, para asegurarse de que una vez dentro, las personas no pierdan interés en el LSM. Además, debe tratarse de algo que no consuma demasiado tiempo como para afectar las actividades diarias.

Un videojuego simple que se controle mediante el LSM cumple con todo lo descrito anteriormente, de forma que, cuanto más se juegue, más se familiarizará con este lenguaje, hasta llegar al punto donde cualquier persona que juegue sea capaz de lograr una comunicación básica con una persona sordomuda siendo capaz de deletrear lo que se desee expresar.

### *E. Los objetivos del juego*

- Que tenga un balance entre diversión y educación, es decir, que el juego además de ser entretenido cumpla su función de enseñar.
- Que promueva una mayor inclusión a personas con problemas del habla-escucha a través de un conocimiento básico sobre el LSM.
- Que cualquier persona con acceso al juego sea capaz de deletrear cualquier palabra que deseen expresar en LSM tras suficiente práctica en el juego.
- Que sea sencillo de entender y jugar para que el juego sea algo accesible tanto para niños como adultos.

## **II. Trabajos relacionados**

En la web existen múltiples juegos enfocados a la enseñanza del LSM, algunos van más allá de simplemente el abecedario, algunos abarcan números, colores, palabras básicas y demás.

El sitio web [2] cuenta con catálogo amplio de juegos LSM, pero todos se limitan a trivias que realmente no enseñan, la mayoría asume que conoces las respuestas, por lo que solo tienes que elegir la opción correcta. Aquellos que enseñan algo, solo se limitan a mostrarte imágenes de las letras para que las memorices. Además, la única forma de llevar un seguimiento de tu desempeño se limita a simples tablas de clasificación.

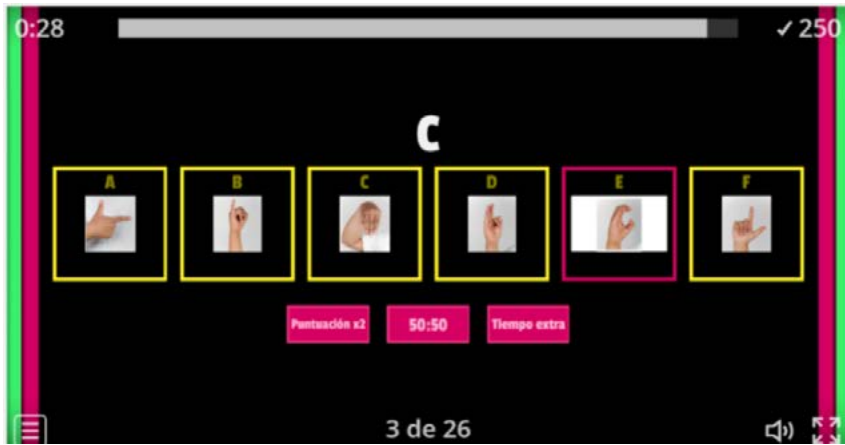


Fig. 1 Juego “Lenguaje de señas Quizz”, disponible en el sitio web [3].



Fig. 2 Juego “Lenguaje de señas mexicano”, disponible en el sitio web [3].

El juego para teléfonos celulares [4] es el más completo que se pudo encontrar respecto al LSM, pues no solo cuenta con diferentes tópicos del LSM más allá del abecedario, como lo son colores, frutas, objetos y demás, sino que, a diferencia de los anteriores mencionados, este al menos cuenta con un glosario donde se le muestra al jugador cómo hacer cada letra y palabra disponible en el juego a través de gifs de una persona realizando la seña en cuestión.

Sin embargo, aún sufre del mismo problema que los demás juegos sobre LSM, y es que el juego solo se trata de trivias y cuestionarios, no existe una interacción entre el juego y el jugador más allá de elegir la respuesta correcta, por lo que el interés del jugador puede perderse fácilmente.



Fig. 3 Juego “Aprende señas: Lenguaje de Señas Mexicana”, disponible en Google Play [4].

### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

#### A. Metodología

Se utilizó una metodología SCRUM para el desarrollo del proyecto.

Tabla 1. Historias de usuario

Descripción	Tareas	Esfuerzo empleado en horas
Necesito detectar manos a través de una cámara con inteligencia artificial.	Investigar sobre redes neuronales que tengan esta funcionalidad o algo similar.	12
	Instalar las librerías y <i>frameworks</i> necesarios para ejecutar la red neuronal.	1
	Analizar y comprender el funcionamiento de la red neuronal y sus métodos matemáticos.	12
	Modificar y adaptar el código para cumplir con la funcionalidad que se busca.	10
Necesito que la inteligencia artificial reconozca el abecedario del LSM	Investigar y familiarizarse con el abecedario del LSM.	6
	Entrenar la red neuronal con cada letra del abecedario que no tenga movimiento.	10
	Modificar el código para que la red neuronal pueda detectar aquellas letras que tengan movimiento.	12
	Entrenar otra red neuronal con cada letra del abecedario que tenga movimiento.	10
	Modificar la estructura de ambas redes neuronales (número de neuronas, capas ocultas, funciones activación) para aumentar la precisión de predicción de estas tras examinar su efectividad.	12
Necesito un juego cuya jugabilidad sea simple, de modo que el jugador solo pueda realizar acciones básicas como saltar o agacharse.	Planificar la jugabilidad y objetivo del juego teniendo en cuenta que va a ser controlado mediante lenguaje de señas después, de forma que cumpla con el apartado educativo y divertido.	8
	Crear gráficos para el juego.	12
	Codificar el movimiento y controles del personaje.	4
	Codificar los obstáculos y el fondo.	4
	Codificar la lógica del juego, es decir, mecánicas, colisiones, puntuaciones, etcétera.	6
	Probar que el juego funcione correctamente en teclado y corrección de errores.	3

Descripción	Tareas	Esfuerzo empleado en horas
Necesito que el juego pueda controlarse con la inteligencia artificial entrenada anteriormente	Modificar el código de la red neuronal para que envíe salidas específicas que el juego pueda utilizar como entradas.	4
	Modificar el código del movimiento del personaje del juego, de modo que en lugar de recibir entradas por teclado, las reciba a través de la red neuronal.	4
	Modificar el código de la lógica del juego para que la interacción con los obstáculos y el jugador esté adaptada al abecedario del LSM.	6
	Probar que la integración de la red neuronal funcione adecuadamente con el diseño del juego y arreglar errores.	4
Necesito que el juego cuente con diferentes dificultades para optimizar el aprendizaje	Establecer las reglas y cambios en la jugabilidad con los que contará cada dificultad.	1
	Modificar el código de la lógica del juego para la dificultad fácil y difícil.	2
	Crear nuevos gráficos para la dificultad difícil y para el menú.	6
	Crear un menú para que el jugador pueda elegir en qué dificultad quiere jugar.	1
Necesito que dos personas sean capaces de jugar al juego entre ellos en dispositivos diferentes.	Investigar sobre el manejo de la arquitectura cliente-servidor mediante sockets.	10
	Establecer qué datos serán transmitidos entre el cliente y el servidor.	2
	Crear el código del servidor	8
	Crear el código del cliente	4
	Crear el código que mantendrá la lógica del juego y a los jugadores comunicados mediante el servidor.	12
	Probar conectar dos clientes a una sesión con el servidor y corregir errores.	4
	Comprobar que el envío de información sea el esperado y corregir errores	6



Descripción	Tareas	Esfuerzo empleado en horas
Necesito que el juego almacene las puntuaciones del jugador y estas puedan consultarse en un servidor.	Diseñar la base de datos.	3
	Crear el código para la base de datos.	6
	Instalar los <i>frameworks</i> necesarios para crear un servidor y una REST-API.	1
	Codificar las rutas y servicios de la RESTAPI.	8
	Integrar la base de datos a los servicios de la REST-API.	2
Probar realizar peticiones a la base de datos a través de la REST-API desde un navegador y corregir errores.	3	
Necesito que el usuario pueda visualizar sus estadísticas de rendimiento y mejora en el juego a través de su celular.	Diseñar la arquitectura de la aplicación móvil.	3
	Codificar un método para que el jugador pueda crear un perfil.	1
	Codificar un método para que el jugador pueda iniciar sesión en el juego.	1
	Probar crear un usuario e iniciar sesión en el juego y arreglar errores.	1
	Codificar una pantalla para que el jugador visualice su última puntuación en comparación a su puntuación promedio.	8
	Codificar una pantalla donde el jugador pueda visualizar sus puntuaciones semanalmente y comparar su progreso.	12
	Codificar la conexión del <i>frontend</i> (app) con el <i>backend</i> (REST-API).	8
Probar realizar una consulta de las puntuaciones desde la app y que estas se visualicen de la forma esperada. Arreglar errores.	3	

Tabla 2. *Product backlog*

Descripción	Prioridad	Complejidad	Duración (días)
Construcción de la arquitectura del proyecto.	5	3	14
Desarrollo de las redes neuronales para el módulo de inteligencia artificial.	4	5	21
Desarrollo del servidor para 1 módulo de sistemas distribuidos.	4	5	14
Desarrollo de base de datos y de la <i>REST-API</i> .	3	3	21
Desarrollo del videojuego.	3	3	14
Desarrollo de la aplicación móvil.	3	3	14
Integración de los módulos dentro del juego y la aplicación.	2	5	30

La prioridad y la complejidad fueron valoradas de mayor a menor, donde 1 es menos urgente/complejo y 5 es más urgente/complejo.

### B. *Requerimientos funcionales*

- 1) Autenticación de usuario y contraseña dentro del juego y en la aplicación.
- 2) La aplicación calculará el porcentaje de mejoría de la última puntuación comparada a puntuaciones pasadas.
- 3) El juego reconocerá todas las letras del LSM, exceptuando las consonantes dobles, como la “ll” y “rr”.
- 4) El juego deberá ser capaz de reconocer gestos con ambas manos.
- 5) Las letras del abecedario deberán mostrarse con ayuda visual que muestre al jugador cómo hacer la letra en LSM.
- 6) Las letras del abecedario deberán mostrarse en diferentes colores para diferenciar entre gestos con la mano izquierda (rojo) y con la mano derecha (azul).
- 7) El juego deberá contar con un modo fácil, el cual no incremente de velocidad del juego y todas las letras se hagan solo con la mano derecha.

- 8) El juego deberá contar con un modo difícil, donde las letras del abecedario ya no muestran una ayuda visual de cómo hacer las letras en LSM.
- 9) El juego deberá contar con modo multijugador para que dos jugadores puedan jugar en dispositivos diferentes.
- 10) El modo multijugador deberá mostrar los movimientos del otro jugador y el marcador en tiempo real.

### C. Requerimientos no funcionales

- 1) Las contraseñas deberán estar encriptadas.
- 2) El servidor deberá ser capaz de crear múltiples sesiones para una cantidad indefinida de jugadores.
- 3) El servidor solo creará sesiones para un número par de jugadores conectados.
- 4) Si se desconecta un jugador, el servidor deberá eliminar la sesión y desconectar al otro jugador.
- 5) La *REST-API* deberá ser capaz de recibir consultas de diferentes usuarios concurrentemente.
- 6) Las puntuaciones podrán ser consultadas en la *app* tan pronto como el usuario consiga una nueva puntuación.
- 7) La experiencia de aprendizaje dentro del juego no deberá ser tediosa o frustrante.
- 8) El juego no deberá ser muy exigente con los recursos de la computadora más allá de requerir una cámara.

### D. Tecnologías usadas para el desarrollo

- 1) *Tensorflow* y *Keras (Python)*: Librerías de código abierto usadas para el desarrollo de la inteligencia artificial [10].
- 2) *OpenCV (Python)*: Librería libre de visión artificial, usada para ejecutar una cámara dentro del programa [11].
- 3) *Mediapipe (Python)*: *Framework* para problemas de *machine learning* aplicado a datos de video, audio, etc. Usado para la detección y seguimiento de manos [12].
- 4) *Pygame (Python)*: Conjunto de módulos del lenguaje Python usados para el desarrollo del videojuego [13].

- 5) *Socket (Python)*: Módulo que provee acceso a las interfaces de sockets BSD [8].
- 6) *NumPy (Python)*: Librería que da soporte para crear los vectores y operaciones matemáticas necesarias para el preprocesamiento de datos para la red neuronal.
- 9) *SQLAlchemy (Python)*: Kit de herramientas SQL y mapeador relacional de objetos usado para crear la base de datos.
- 10) *Flask (Python)*: *Framework* que permite crear aplicaciones web, usado para el desarrollo del *backend* [14].
- 11) *React Native (JavaScript)*: *Framework* de código abierto usado para el desarrollo del *frontend* [15].
- 12) *Jupyter Notebook*: Aplicación web para crear y compartir documentos computacionales. Usado para almacenar y ejecutar el script que entrena a la red neuronal.

### E. Proceso de implementación

Se hizo una investigación sobre *OpenCV* y *Mediapipe* respecto a la detección de manos mediante visión artificial. *Mediapipe Hands* consta de dos modelos que trabajan juntos: un modelo de detección de palmas que opera en la imagen completa y devuelve la mano recortada en un cuadro y un modelo de coordenadas de la mano que opera en la región de la imagen recortada por el detector de palmas y devuelve puntos clave de la mano en 3D [12].

Se utilizan dos tecnologías esenciales para lograr esto: un tipo de *machine learning* llamado *deep learning* y una red neuronal convolucional.

*Machine learning* utiliza modelos algorítmicos que permiten que una computadora se enseñe a sí misma sobre el contexto de los datos visuales. Si se alimentan suficientes datos a través del modelo, la computadora “observará” los datos y se enseñará a diferenciar una imagen de otra. Los algoritmos permiten que la máquina aprenda por sí misma, en lugar de que alguien la programe para reconocer una imagen.

Una red neuronal convolucional ayuda a un modelo de *deep learning* a “ver” al dividir las imágenes en píxeles a los que se les asignan etiquetas o rótulos. Utiliza las etiquetas para realizar convoluciones (una operación

matemática en dos funciones para producir una tercera función) y hace predicciones sobre lo que está “viendo”. La red neuronal ejecuta convoluciones y verifica la precisión de sus predicciones en una serie de iteraciones hasta que las predicciones comienzan a hacerse realidad. Luego reconocerá o verá imágenes de una manera similar a los humanos.

Al igual que un humano que distingue una imagen a distancia, una red neuronal convolucional primero discierne los bordes sólidos y las formas simples, luego completa la información mientras ejecuta iteraciones de sus predicciones. Se utiliza una red neuronal convolucional para comprender imágenes individuales [6], [7].

Proporcionar la imagen de la mano recortada al modelo de coordenadas de la mano reduce drásticamente la necesidad de un banco de datos enorme (por ejemplo, un montón de fotos de manos en diferentes traslaciones, posiciones y escalas en diferentes fondos e iluminaciones) y, en cambio, permite que la red dedique la mayor parte de su capacidad en la predicción de coordenadas. Gracias a estas librerías se pueden extraer coordenadas en píxeles de 21 puntos de las manos.

Calculando las posiciones de cada coordenada de forma relativa a la pantalla y normalizando sus valores, es posible realizar una predicción de un gesto hecho con la mano mediante la implementación de una red neuronal entrenada con estos datos.

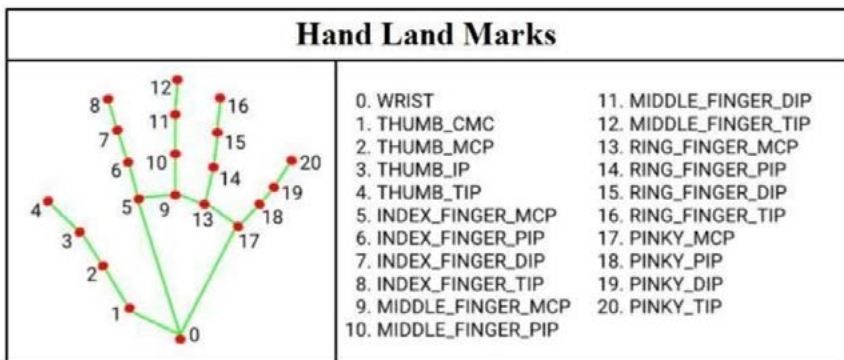


Fig. 4. Puntos clave de la mano obtenidos mediante *OpenCV* y *Mediapipe*. Disponible en el sitio web [12].

Para este proyecto fue necesario desarrollar dos redes neuronales: Una encargada de reconocer aquellas letras del LSM que no requieren movimiento y la segunda se encarga de reconocer las que sí utilizan movimiento en las manos, las cuales se tratan de la J, K, Ñ, Q, X y Z, debido a que la forma de preprocesar la información y realizar una predicción es completamente diferente entre estos dos tipos de señas.

La solución obvia para este tipo de problema sería simplemente mandar a la red neuronal cada una de las coordenadas de las manos obtenidas con mediapipe, sin embargo, no es tan sencillo, pues deben tomarse ciertas consideraciones para asegurarnos de que la información con la que se alimenta a la red neuronal sea la que le permite tener los resultados más acertados.

Para la primera red neuronal, es decir, aquella que se encarga de las letras estáticas, se necesitan todas las coordenadas actuales de la mano en cámara, sin embargo, si hacemos un gesto con la mano, como por ejemplo, solo dos dedos levantados, las coordenadas de dicho gesto serán completamente diferentes si lo hacemos en la parte izquierda de la cámara que si lo hacemos en la parte derecha, pues las coordenadas se basan en la posición en pixeles de cada punto de la mano en la cámara. Por lo tanto, pese a que es el mismo gesto, al estar en posiciones diferentes de la cámara, la red neuronal interpretaría estas coordenadas como dos gestos diferentes, por ello, no es factible pasar estas coordenadas sin antes preprocesarlas.

En lugar de pasar las coordenadas tal cual, una mejor propuesta es convertir estas coordenadas a posiciones relativas a un punto, de modo que, los valores de las coordenadas serán relativos a ese punto, en lugar de relativos a la pantalla, creando así, valores similares de una misma seña independientemente de su posición en cámara.

Para ello se tomó el punto 0 de la mano (ver figura 4) para ser el punto de referencia al que el resto de las coordenadas serán relativas. Para volver las coordenadas relativas, se necesita calcular la distancia entre cada punto y el punto 0, es decir:

$$\text{Coordenada}_n = \text{Coordenada}_n - \text{Coordenada}_0$$

De esta forma, se obtienen las coordenadas relativas, sin embargo, los valores aún son bastante imprecisos, pues son valores que van desde 0

hasta 1280. Por lo tanto, pese a que son posiciones relativas a un punto, si este punto se encuentra en la posición (100, 200), el valor del resto de las coordenadas será muy diferente si ese punto se encuentra en (800, 900) pese a que se esté haciendo la misma seña, por lo que es necesario arreglar eso. Las redes neuronales trabajan mejor y tienen mayor precisión con números pequeños, es decir, valores que rondan entre 0 y 1, por eso se le dará solución al problema normalizando los valores entre valores de -1 y 1.

Para ello se obtiene el valor máximo del valor absoluto de las coordenadas relativas y después se divide cada coordenada relativa entre dicho valor máximo.

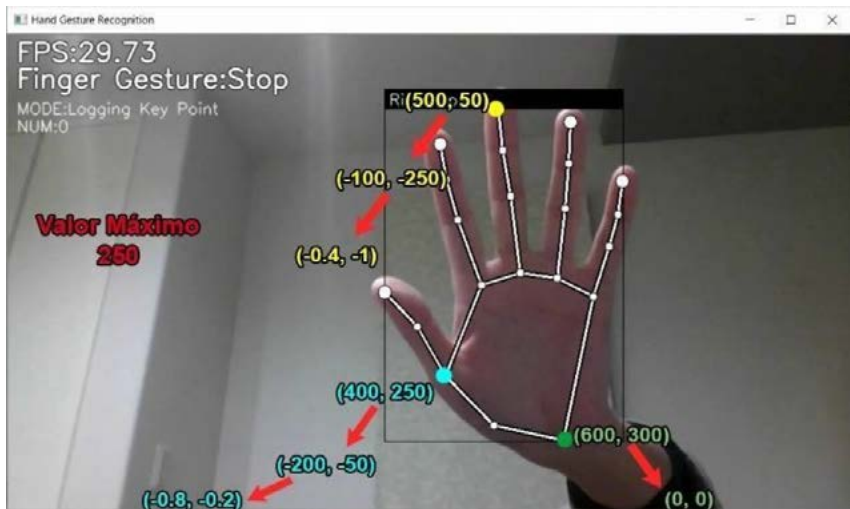


Fig. 5. Ejemplo del preprocesado de las coordenadas de una seña.

Tomando la figura 5 como ejemplo, se tienen los siguientes valores:

$$\text{Coordenada0} = (600, 300)$$

$$\text{Coordenada2} = (400, 250)$$

$$\text{Coordenada12} = (500, 50)$$

Por lo que Coordenada2 y Coordenada12 necesitan volverse relativas a Coordenada0, es decir:

$$\text{Coordenada2R} = (400, 250) - (600, 300) = (-200, -50)$$

$$\text{Coordenada12R} = (500, 50) - (600, 300) = (-100, -250)$$

Ahora que se tienen las coordenadas relativas, se busca el valor más alto del valor absoluto de todas las coordenadas relativas, en este ejemplo, se trata de 250.

Finalmente, se divide cada coordenada relativa entre este valor máximo, es decir:

$$\text{Coordenada2R} = (-200, -50)/250 = (-0.8, -0.2)$$

$$\text{Coordenada12R} = (-100, -250)/250 = (-0.4, -1)$$

Con valores tan pequeños, ahora que se realice una seña, la diferencia entre los valores será muy mínima sin importar en qué parte de la cámara se haga la seña, siempre y cuando la seña sea la misma, los valores serán relativamente los mismos. Así, estas coordenadas son eficientes para entrenar a la red neuronal y predecir acertadamente.

Para poder entrenar a la red neuronal fue necesario crear un pequeño programa como el de la figura 5, el cual se encarga de devolver todas las coordenadas de la mano a través de mediapipe usando la cámara del dispositivo con *OpenCV*. Después estas coordenadas pasan por el preprocesado anteriormente explicado para obtener un vector de coordenadas relativas y normalizadas, entonces cuando se presione una letra en el teclado, por ejemplo, la A, el programa va a guardar las coordenadas calculadas en ese instante en un archivo CSV, teniendo a A como id, es decir, las posiciones de la seña que se esté realizando en ese momento, serán interpretados por la red neuronal como la letra A. En palabras más simples, es como si se tomara una captura de pantalla de una seña, solo que lo que se guarda, son las coordenadas de la mano de esa captura de pantalla.

De esta forma, es posible tomar un montón de capturas de pantalla de cada seña estática del LSM, en diferentes ángulos y distancias. Una vez obtenidos todos los datos de entrenamiento de cada seña, se procedió a crear el modelo de la red neuronal en *Tensorflow*, el cual se va a encargar de reconocer estas señas.



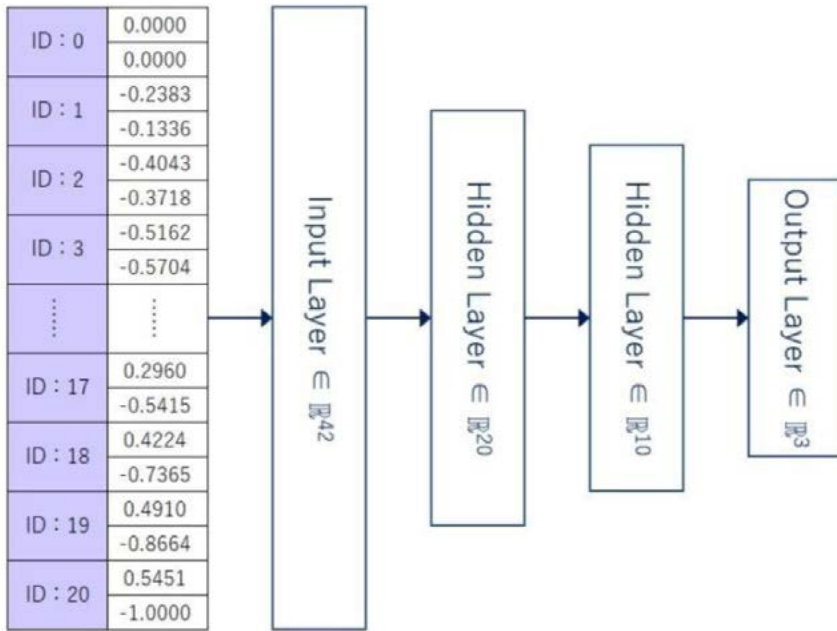


Fig. 6. Modelo de la red neuronal.

Esta red neuronal cuenta con 42 nodos en la capa de entrada, debido a que mediapipe nos devuelve 21 puntos en la mano, y cada punto tiene dos coordenadas. Cuenta con dos capas ocultas, la primera con 20 nodos y la segunda con 10, debido a que no es un problema muy complejo. Finalmente, la capa de salida cuenta con  $n$  nodos, donde  $n$  es igual al número de letras que va a reconocer la red neuronal, en el caso de la primera son 24.

Fue necesario reentrenar la red neuronal múltiples veces jugando con el número de neuronas, capas ocultas y funciones de activación, pues esta confundía y reconocía de manera errónea algunas de las letras.

Una vez que se obtuvieron los resultados deseados, se realizó un proceso similar al de la primera red neuronal para crear otra, que se encargará de las letras que tienen movimiento. Para esta segunda red, en lugar de obtener las posiciones relativas de cada punto de las manos, se lleva un seguimiento de las posiciones que tiene un punto específico de la mano a través del tiempo.

Cómo funciona esto, es que, en lugar de guardar todas las coordenadas de la mano en una captura de pantalla, ahora se guardan las coordenadas de un solo punto durante 21 *frames* (cuadros por segundo de la cámara) y se guardan en un solo vector.

Aquí, el preprocesado de los valores es más simple, pues solo se toman las coordenadas del primer *frame* guardado en el vector, es decir, la posición más antigua durante el periodo guardado, y usamos esas coordenadas como el punto base del cual se van a volver relativas el resto de las coordenadas tal como se hizo la primera red neuronal.

$$\text{Coordenada}_n = \text{Coordenada}_n - \text{Coordenada}_0$$

Una vez tenemos las coordenadas relativas, las coordenadas del eje X se dividen entre el ancho en pixeles de la cámara y las coordenadas del eje Y se dividen entre el alto.

Las coordenadas están listas para entrenar a la segunda red neuronal, la cual tiene una estructura idéntica al de la figura 6, siendo la única diferencia la cantidad de neuronas de salida.

Una vez la inteligencia artificial estaba completa, se comenzó el desarrollo del videojuego en *Pygame*, desde la creación de los gráficos, hasta la lógica del juego. Se creó un juego con controles simples, enfocado a evadir obstáculos mediante saltos. Se anima un fondo infinito en el que aparecen obstáculos de forma aleatoria, los cuales se tratan de clases que heredan de una clase padre de tipo “Obstáculo”. Las clases que heredan básicamente solo cuentan con un id que hace referencia a la imagen que se usa para representarlo dentro del juego. La razón por la que se tienen diferentes clases es debido a que existen tres categorías de obstáculos, pequeños, grandes y voladores. El juego se ejecuta sobre un ciclo infinito donde se imprimen en pantalla todas las imágenes importadas mientras se instancian obstáculos y se está a la espera de recibir entradas del jugador durante cada *frame*.

Posteriormente se desarrolló la manera de hacer que se pudiera controlar el juego mediante la red neuronal, esto se logró tomando las salidas de la red neuronal, es decir, las predicciones que hace respecto a los gestos que hace el jugador y se convirtieron en entradas para el juego.

Para lograr esto, básicamente cuando se genera un obstáculo, junto con él, se genera una letra del abecedario de forma aleatoria, esa letra se representa con su respectiva imagen, la cual se coloca justo enfrente del obstáculo. Cuando la imagen del jugador entra en contacto con la imagen de la letra, el juego se hace una comparación: si la letra del juego es la misma que la que está detectando la red neuronal, entonces el personaje salta, de otra forma, el personaje colisiona con el obstáculo y termina la partida.

La combinación del juego y la IA fue un éxito, por lo que se procedió a programar el servidor para el modo multijugador. El servidor maneja las conexiones mediante sóquets. Ya que el modo de juego está destinado para dos jugadores, se programó al servidor de forma que estuviera escuchando por peticiones de jugadores en número par, es decir, por cada dos jugadores que se conecten, el servidor crea una sesión. Mientras no exista una sesión, los jugadores conectados son puestos en espera.

Se hizo un modo de juego simple, usando los principios del modo de juego principal en la combinación de la red neuronal y los controles del juego. Este modo consta simplemente del servidor generando una señal al azar, y el jugador que la realice correctamente primero, será el ganador. El servidor mantiene comunicados a ambos jugadores todo el tiempo, pues ambos pueden ver sus movimientos, marcador y señales en tiempo real, ya que, durante cada *frame*, el cliente envía al servidor, la salida de la red neuronal que está ejecutándose de forma local en su versión del juego, entonces el servidor envía esa salida al otro cliente, para que en su versión del juego la letra del primer cliente se vea representada y esté actualizándose en tiempo real. Simultáneamente el servidor hace lo mismo con el marcador y la señal que generó.

Finalmente, se programó el *backend* de la aplicación móvil, el cual se trataría de una REST-API [9]. Se usó Flask para codificar todas las rutas y servicios necesarios para que el servidor pudiera recibir peticiones en formato JSON y mediante una conexión a la base de datos devolver las puntuaciones solicitadas por fecha y dificultad, además de guardar puntuaciones y usuarios en las tablas.

Una vez el *backend* estaba en funcionamiento, solo restaba el desarrollo del *frontend*, en este caso, una aplicación móvil desarrollada en *React Native*. Fue necesario codificar diversas pantallas para que el jugador consultara

sus puntuaciones mediante gráficas que le ayudan a visualizar su mejoría en el juego, calculando su puntuación promedio y comparándola con su última puntuación y comparando los mejores puntajes de la semana con los de la semana anterior.

Al final todo se concluyó conectando la *app* con la REST-API y a su vez, a la base de datos con el juego.

#### F. Pruebas realizadas



Fig. 7. Prueba del juego usando la red neuronal en conjunto a la visión artificial para evadir obstáculos detectando LSM.



Fig. 8. Prueba de la app consultando puntuaciones del juego a través de la RESTAPI.

### G. Repositorio del proyecto

<https://github.com/LuisFernandoGit/SignRunner>.

## Modulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

Para iniciar el proyecto, primero es necesario tener claros los objetivos, los requerimientos y diseñar la estructura del proyecto. Una vez se tiene claro qué se quiere hacer, se necesita definir cómo se va a hacer, por lo que es necesario seguir una metodología y elegir los lenguajes de programación que van a usarse.

En general, el juego, las redes neuronales y servidores fueron programadas en Python, mientras que la aplicación fue programada en *React Native*. Todas las tecnologías, metodologías y elementos de ingeniería en

*software* del proyecto han sido descritos previamente en la descripción del desarrollo del proyecto.

El objetivo del jugador dentro del juego es conseguir la mayor puntuación posible, por lo que el proyecto cuenta con una base de datos SQLite para almacenar las puntuaciones del jugador y estas puedan ser consultadas. También cuenta con archivos (CSV, TFLITE) para almacenar los datos para el aprendizaje de la inteligencia artificial y guardar su modelo.

## **Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

La idea del juego se trata de que el jugador aprenda a gesticular las letras del LSM, no simplemente memorizar imágenes. La única forma en que el jugador pueda tener una interacción real con el juego a través de la ejecución del lenguaje de señas es mediante inteligencia artificial orientada a la visión artificial, es decir, con reconocimiento de objetos a través de imágenes/videos en tiempo real.

Para lograr esto, con ayuda de Tensorflow se desarrollaron, dos redes neuronales capaces de aprender y reconocer todas las letras del LSM obteniendo información a través de una cámara y visión artificial con *OpenCV* y *Mediapipe*. Una red se encarga de reconocer las letras que no tienen movimiento, y la otra de las que se gesticulan con movimiento. Cada red neuronal envía salidas al juego para que funcionen como entradas para controlar al personaje, logrando así una interacción real y dinámica entre el lenguaje de señas y el juego.

## **Modulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

El modo de juego para un jugador hace su trabajo de enseñar al jugador cada una de las letras del LSM, sin embargo, la práctica también es importante, por lo que el juego provee una forma de poner a prueba lo que el jugador ha aprendido con ayuda de otro jugador, en un modo de juego donde compiten para ver quién domina mejor el LSM.

Para que dos jugadores sean capaces de jugar entre ellos desde diferentes dispositivos, fue necesaria la implementación de una arquitectura cliente-servidor mediante sόquets. Los sόquets mantienen en comunicaci3n

a ambos jugadores enviándoles la información relevante del estado del juego, para que así, cuando ambos interactúen con el juego, sean capaces de visualizar los cambios en tiempo real, cada uno en su dispositivo.

Uno de los objetivos principales del juego es que cualquier persona que juegue sea capaz de dominar el abecedario del LSM, por lo que, hacer que el proyecto permita al jugador llevar un seguimiento de cuánto ha mejorado a través de su tiempo de juego resulta una herramienta útil para cerciorarse de que se cumpla el objetivo.

Para ello, se desarrolló una aplicación en *React Native* que permite al jugador llevar dicho seguimiento. Para que la aplicación pueda consultar las puntuaciones desde la base de datos es necesario hacerlo desde un servidor, por lo que se desarrolló una *REST-API* con *Flask* para mantener las puntuaciones obtenidas en el juego comunicadas con la aplicación mediante una conexión a la base de datos a través rutas y servicios. Ya que las puntuaciones están ligadas a un jugador, la aplicación también permite iniciar sesión, crear usuarios y guardarlos en la base de datos.

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Tras múltiples etapas de entrenamiento, la red neuronal encargada de reconocer las letras del LSM sin movimiento logró obtener una precisión de 93.33 %, mientras que la red neuronal encargada de las letras con movimiento se quedó atrás con una precisión de 79.33 %.

Después de diversas partidas, el juego demostró ser efectivo en enseñar cada una de las letras en LSM, y no solo eso, la experiencia de aprendizaje no resultó tediosa ni frustrante, al tratarse de un juego que requiere interacción constante con el jugador, al factor de aprendizaje se siente más como una consecuencia de jugar al videojuego en lugar de tratarse de una experiencia meramente educativa, cumpliendo así, con el objetivo de tener un balance entre diversión y educación que se esperaba del juego.

El juego terminó siendo accesible, en el sentido de que puede ejecutarse en la mayoría de las computadoras que cuentan con una cámara y no sean muy antiguas, además el juego no es exigente con los recursos, de modo que, resulta una alternativa para adentrarse al mundo del LSM bastante viable.

## V. Conclusiones y trabajo a futuro

En general, el propósito de este proyecto es otorgar una manera simple, divertida y eficiente de familiarizarse con el LSM a cualquier persona interesada en interactuar con personas sordomudas, incluso si el juego solo está limitado a enseñar el abecedario, tener este conocimiento básico promueve una inclusión a personas con esta discapacidad, que, durante mucho tiempo, han estado limitadas a solo poder comunicarse apropiadamente con personas capacitadas en este lenguaje.

Este proyecto requirió combinar el poder de la visión artificial con el de las redes neuronales y aplicarlo a un videojuego, a su vez, mantener múltiples iteraciones del juego comunicadas entre sí mediante un servidor y sáculos. El resultado de estas combinaciones dio nacimiento a una redefinición y modernización en la forma de enseñanza del LSM. Si bien existen juegos dedicados a ello, como se mencionó en la sección de trabajos relacionados, todos se tratan de memorizar imágenes de las señas, mientras que este juego proporciona una interacción real, el juego requiere que tú como el jugador, realices las señas con tus manos para poder progresar. La mejor forma de aprender es practicando, no basta con solo memorizar.

Ni el modo multijugador ni la aplicación no contarán con todo su potencial hasta que sus servidores estén desplegados, por lo que en el futuro si el juego se hace público, será necesario su despliegue, ya que ahora mismo solo es posible acceder a las puntuaciones y jugar con otros jugadores en una red local.

También el modo multijugador puede usar unas mejoras en su jugabilidad, pues ahora mismo es muy simple, se planea implementarle la función de deletrear palabras mediante lenguaje de señas, en lugar de simplemente gesticular una sola letra por ronda.



## Referencias

- [1] M. E. Serafín de Fleischmann y R. González Pérez, *Manos con voz. Diccionario de lengua de señas mexicana*. 1.<sup>a</sup> ed. México D.F. Conapred y Libre Acceso A.C, 2011.
- [2] E. Rodríguez Palacios (2021, septiembre 23). *Lengua de señas: un puente hacia la comunicación inclusiva*. [En línea]. Disponible en: <https://vidauiversitaria.uanl.mx/expertos/lengua-de-senas-un-puente-hacia-la-comunicacion-inclusiva/>.
- [3] Wordwall (s. f.). “Comunidad. Lenguaje de señas”. [En línea]. Disponible en: <https://wordwall.net/es-mx/community/lenguaje-de-señas>.
- [4] R. Morales Moreno, (2018). *Aprende señas: Lengua de Señas Mexicana*. [En línea]. Disponible en: [https://play.google.com/store/apps/details?id=rodolfo.com.systemsolutionanddevelopment.aprendiendolm&hl=es\\_MX](https://play.google.com/store/apps/details?id=rodolfo.com.systemsolutionanddevelopment.aprendiendolm&hl=es_MX).
- [5] R. González Puerto (2020, marzo). *Lengua de señas mexicana como herramienta de comunicación para la inclusión social de las personas con discapacidad auditiva*. [En línea]. Disponible en: <https://www.eumed.net/actas/20/educacion/37-lengua-de-senas-mexicana-como-herramienta-de-comunicacion-para-la-inclusion-social.pdf>.
- [6] P. Isasi Viñuela e I.M. Galván León, *Redes de Neuronas Artificiales. Un Enfoque Práctico*. 1.<sup>a</sup> ed. Madrid. PEARSON EDUCACIÓN S.A. 2004.
- [7] P. González Marcos, F.J. Martínez de Pisón Ascacibar, A.V. Pernía Espinoza, F. Alba Elías, M. Castejón Limas, J. Ordieres, Meré y E. Vergara González, *Técnicas y algoritmos básicos de visión artificial*. España. Universidad de la Rioja, Servicio de Publicaciones. 2006.
- [8] N. Jennings (2022, febrero 21). Socket Programming in Python. [En línea]. Disponible en: <https://realpython.com/python-sockets/#:~:text=Sockets%20and%20the%20socket%20API,own%20connections%20to%20other%20networks>.
- [9] T. Naeem (2020, enero 28). *Definición de API REST: Comprensión de los conceptos básicos de API REST*. [En línea]. Disponible en: <https://www.astera.com/es/type/blog/rest-api-definition/>.
- [10] TensorFlow (s. f.). “Overview” [En línea]. Disponible en: <https://www.tensorflow.org/overview>.

- [11] OpenCV (s. f.) “About”. [En línea]. Disponible en: <https://opencv.org/about/>.
- [12] MediaPipe (s. f.). “MediaPipe Hands”. [En línea]. Disponible en: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/hands>.
- [13] Pygame (s. f.). “Pygame Wiki”. [En línea]. Disponible en: <https://www.pygame.org/wiki/about>.
- [14] Flask (s. f.). “Welcome to Flask”. [En línea]. Disponible en: <https://flask.palletsprojects.com/en/2.2.x/>.
- [15] React Native (s. f.). [En línea]. Disponible en: <https://reactnative.dev/>.



# Capítulo 3

---

## Huet

*Héctor Andrés Alcalá Gutiérrez*  
*Thelma Isabel Morales Ramírez*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*hector.alcala2936@alumnos.udg.mx*  
*thelma.morales3416@academicos.udg.mx*

## Resumen

La inmensa mayoría de aplicaciones para la enseñanza o autoenseñanza del lenguaje de señas disponibles están pobremente planteadas y sin bases prácticas, empleando letras en lugar de expresiones, por lo que es necesaria una mejor implementación. El presente proyecto consiste en una plataforma de enseñanza o autoenseñanza del lenguaje de señas (aunque también puede ser utilizada con propósitos generales) haciendo uso de herramientas escritas (mensajería), auditivas (llamada) y visuales (videollamada y traductor). La página web es desarrollada en MERN (Mongo, Express, React, Node) con la incorporación de WebSocket para la sincronización, WebRTC para la comunicación en tiempo real y TensorFlow para la traducción del lenguaje de señas al lenguaje escrito. El aprender las tecnologías y lenguajes necesarios para el desarrollo del proyecto son sumamente gratificantes tanto por el lado humanitario como por el profesional, ya que potencialmente podría trascender a una plataforma con mayor complejidad, alcance e impacto.

## I. Introducción

El ser humano en la actualidad no podría entender la vida sin la facultad de acceder a la información que a cada momento se está generando en todos los ámbitos. La comunicación oral, es la forma más común que permite al ser humano participar en todos los entornos de la sociedad, pero cuando una persona nace o adquiere una discapacidad auditiva, se ve impedida. La posibilidad de alcanzar una verdadera realización social se reduce de manera importante.

La dificultad de las personas con discapacidad auditiva para comunicarse con los demás, dificulta su desarrollo educativo, profesional y humano, por consecuencia se ven limitadas sus oportunidades de inclusión. Ante esta necesidad, las personas sordas han desarrollado su propia forma de comunicación, el lenguaje de señas. Sin embargo, aunque esta les permite comunicarse entre sí, no siempre facilita la relación con el resto de la comunidad, sobre todo, con los oyentes que desconocen esa lengua [1].

Pensar que el lenguaje de señas es algo único de quienes no pueden escuchar, es un error clásico. Más allá de que tus oídos funcionen a la

perfección, no tienes impedimentos para aprender la lengua. Además, si lo consigues, podrás ampliar tus conocimientos e incorporar una herramienta fundamental para abrir las puertas a nuevas conversaciones.

Por otro lado, está comprobado que aprender a pronunciar las palabras básicas del lenguaje de señas es algo muy sencillo y que, si bien en una conversación la otra persona puede leer tus labios, establecer un diálogo mediante la secuencia correcta de movimientos con las manos genera un ambiente más agradable [2].

Aunque en sus inicios este lenguaje era exclusivo para personas que no podían comunicarse oralmente y para sus intérpretes, actualmente se busca difundir este sistema de comunicación entre las personas oyentes con el fin de crear una sociedad mucho más inclusiva para las personas con discapacidad auditiva, promoviendo su desarrollo personal y mejorando su calidad de vida.

Nos hace falta empatía para entender la situación de las personas con discapacidad auditiva, pero también estrategias de inclusión que nos ayuden a reducir esta brecha y garantizar una mejor calidad de vida para la comunidad no oyente [3].

Sin embargo, la presente plataforma tiene la intención de solventar la escasez de recursos didácticos, e incluso hacerlo de manera sencilla e interactiva para todas las personas oyentes que quieran aprender el lenguaje de señas debido a los motivos mencionados anteriormente.

## **II. Trabajos relacionados**

El presente proyecto se va a dividir en dos grandes apartados para poder realizar comparaciones, ya que, hasta donde llega mi conocimiento, no existen otros con este enfoque.

### *A. Sistema de comunicación en tiempo real*

Están disponibles una infinidad de proyectos en esta área que cumplen con su objetivo en una infinidad de maneras diferentes.

- 1) Aplicaciones como WhatsApp, Telegram y Messenger son los reyes de la mensajería instantánea y también pueden realizarse videollamadas en ellas, pero no tienen funcionalidades dedicadas a la educación o similares.

- 2) Aplicaciones como Meet, Zoom y Webex dominan en el ámbito de las videoconferencias e incluso tienen funciones con inteligencia artificial, sin embargo, estas últimas son para cosas banales como cambiar el fondo.
- 3) Aplicaciones como Discord y Skype son las más similares al proyecto respecto a las características de mensajería, llamada y videollamada, pero no tienen funcionalidades dedicadas a la educación y menos al lenguaje de señas.

La principal diferencia radica en que el presente proyecto está enfocado en el ámbito educativo, mientras que los otros están en el social o laboral.

#### *B. Sistema de traducción del lenguaje de señas*

Los proyectos con el objetivo de desarrollar este sistema suelen tener alguno de los siguientes inconvenientes.

- 1) Aplicaciones como Voz y Señas no tienen un planteamiento adecuado debido a que traducen cada letra individualmente con señas del alfabeto, esto no es viable porque comunicarse sería sumamente lento, mientras que en la práctica se utilizan señas de expresiones.
- 2) Aplicaciones como Signslator son, mejor dicho, un método de búsqueda de videos demostrativos de las señas para el texto ingresado [4].
- 3) Aplicaciones como MIVOS, Showleap y Sign'n intentaron materializar una idea similar e incluso llegaron a ser noticia, sin embargo, no hay actualizaciones sobre el desarrollo de los proyectos desde hace años ni hay maneras de que el público general pueda utilizarlos [5], [6], [7].

Entonces, según mi investigación, esta serie de problemas en proyectos similares demuestra una falta de interés en el área, afirmo esto porque no es tan extremadamente complejo el desarrollo de este tipo de sistemas, según mi experiencia.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

En esta sección se va a brindar información técnica sobre el proyecto modular.

### *A. Requerimientos*

Las características o elementos que deben ser implementados en la plataforma se encuentran enlistados a continuación:

- 1) Debe ser una aplicación web.
- 2) Debe ser una aplicación intuitiva y agradable.
- 3) Debe tener un sistema de autenticación.
- 4) Debe tener un sistema de amistades.
- 5) Debe tener un sistema de comunicación en tiempo real.
- 6) Debe tener un sistema de traducción del lenguaje de señas.

### *B. Metodología de trabajo*

Las metodologías ágiles ofrecen productos mediante la entrega incremental y frecuente de pequeños trozos de funcionalidad, lo que permite la corrección del curso según sea necesario [8].

La agilidad consiste en responder al mercado y al cliente respondiendo rápidamente a sus necesidades y demandas y siendo capaces de cambiar de dirección según lo exija la situación. Los métodos ágiles intentan maximizar la entrega de valor al cliente y minimizar el riesgo de crear productos que no satisfagan, o dejen de hacerlo, las necesidades del mercado o del cliente.

Así, los métodos ágiles han tratado de reducir los plazos de entrega para garantizar que lleguen al mercado trozos verticales más pequeños del producto, lo que permite a los clientes dar su opinión antes y asegurarse de que el producto que finalmente reciben satisface sus necesidades.

### *C. Marco de trabajo*

El marco MERN [9] está compuesto por las siguientes tecnologías:

- 1) Mongo. Base de datos orientada a documentos.
- 2) Express. Entorno de trabajo web para Node.
- 3) React. Entorno de trabajo del lado del cliente.
- 4) Node. Servidor web más relevante.



La combinación MERN permite desarrollar una arquitectura de tres niveles (Fig. 1) utilizando JavaScript y JSON:

- 1) Visualización (React).
- 2) Aplicación (Express y Node).
- 3) Base de datos (Mongo).

Este marco de trabajo permite que la información fluya naturalmente a lo largo de toda la plataforma, lo que hace que sea rápido de construir y razonablemente fácil de depurar. Además, solo es necesario conocer el lenguaje JavaScript y el formato JSON para comprender todo el sistema.

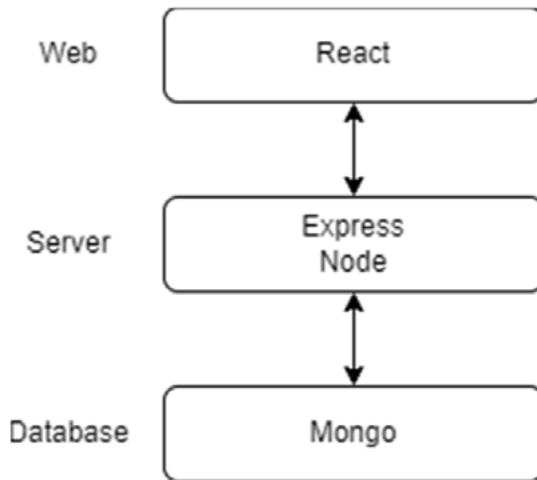


Fig. 1. Arquitectura de tres niveles (MERN).

#### D. Base de datos

Las bases de datos NoSQL son tipos de bases de datos que surgen por una gran demanda de bases de datos que puedan trabajar con datos masivos de forma más eficiente. No utilizan ni tablas ni registros como harían las bases de datos relacionales como SQL, es decir, no necesitan una estructura fija. Esto da más flexibilidad a la hora de diseñar los esquemas y sus relaciones. Dentro de las bases de datos NoSQL, probablemente una de las más famosas sea MongoDB.

MongoDB es una base de datos orientada a documentos. Esto quiere decir que, en lugar de guardar los datos en registros, guarda los datos en documentos. Estos documentos son almacenados en BSON, que es una representación binaria de JSON.

Como fue mencionado anteriormente, una de las diferencias más importantes con respecto a las bases de datos relacionales es que no es necesario seguir un esquema. Los documentos de una misma colección, concepto similar a una tabla de una base de datos relacional, pueden tener esquemas diferentes.

MongoDB es especialmente útil en entornos que requieran escalabilidad. Con sus opciones de replicación y fragmentación, que son muy sencillas de configurar, podemos conseguir un sistema que escale horizontalmente sin demasiados problemas.

La base de datos del sistema (Fig. 6) está compuesta por las siguientes colecciones:

- 1) Usuarios (Fig. 2). Su función es almacenar información sobre los usuarios, en particular, el identificador del propio usuario, el correo electrónico, el nombre de usuario, la contraseña encriptada y los amigos (lista de identificadores de otros usuarios).
- 2) Invitaciones (Fig. 3). Su función es añadir usuarios a la lista de amigos de una persona, esto mediante el identificador de la propia invitación y de dos identificadores de diferentes usuarios, el emisor y el receptor.
- 3) Mensajes (Fig. 4). Su función es almacenar información sobre los mensajes, en particular, el identificador del propio mensaje, el autor (identificador de un usuario), el contenido y la fecha de envío.
- 4) Conversaciones (Fig. 5). Su función es almacenar información sobre las conversaciones, en particular, el identificador de la propia conversación, los participantes (lista de identificadores de usuarios) y los mensajes (lista de identificadores de mensajes).

messages	
↑ _id	Id
↵ author	Id
content	String
date	DateTime
type	String
__v	Int32

Fig. 2. Colección de Usuarios.

conversations	
↑ _id	Id
↵ participants	ObjectId[]
↵ messages	ObjectId[]
__v	Int32

Fig. 3. Colección de Invitaciones.



Fig. 4. Colección de Mensajes.

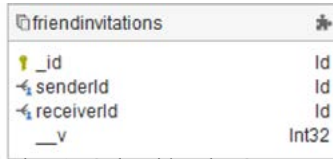


Fig. 5. Colección de Conversaciones

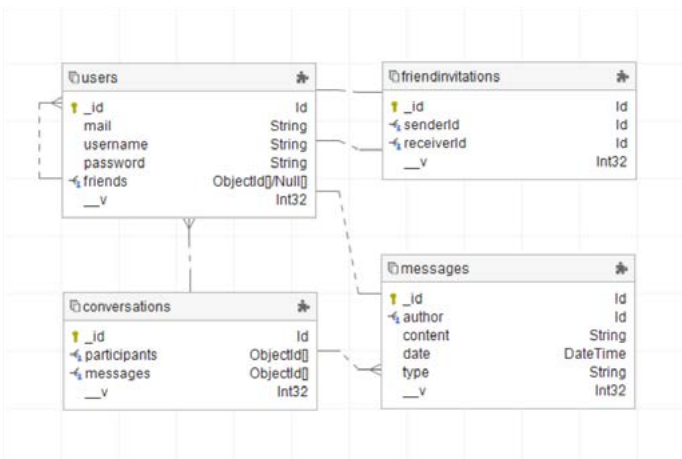


Fig. 6. Diagrama de la base de datos.

### E. Autenticación

JWT (JSON Web Token) es un mecanismo de autenticación en aplicaciones, el cual permite una forma simple y elegante de identificar un usuario ante el servidor mediante un token. Dicho token es generado por el servidor y transmitido hacia el cliente, el cual deberá presentar en cada invocación para poder ser autenticado [10].

Cuando un servidor recibe un JWT puede garantizar que los datos que contiene son confiables porque están firmados por la fuente. Ningún intermediario puede modificar un JWT una vez enviado.

Como ya se mencionó anteriormente, los JWT son utilizados para la autenticación de los usuarios. Para ello, el cliente ingresa a la plataforma con métodos tradicionales (nombre y contraseña) y, cuando esta infor-

mación es validada, el sistema retorna el token al usuario. Este token es almacenado por el cliente en el almacenamiento local y enviado al servidor como encabezado cada que realice una petición (Fig. 7).

Los JWT solo son válidos durante un tiempo determinado, por lo que el usuario deberá volver a ingresar a la plataforma cada vez que el token expire.

No es necesario que el servidor almacene estos tokens para realizar comparaciones con los que envíe el cliente, puesto que el JWT puede ser autovalidado y, con su carga útil, se puede determinar el usuario o cualquier información adicional.

Es importante tener en cuenta que un JWT garantiza la propiedad de los datos, más no el cifrado. Por este motivo es encarecidamente recomendado el uso de HTTPS con JWT.

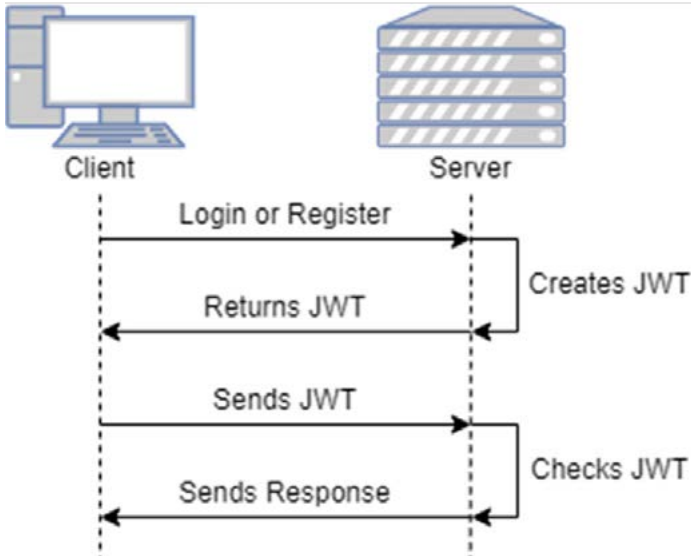


Fig. 7. Funcionamiento de JWT.

### F. Comunicación

WebSocket es un protocolo de red basado en TCP que establece cómo deben intercambiarse datos entre redes. Puesto que es un protocolo fiable y eficiente, es utilizado por prácticamente todos los clientes. El protocolo TCP establece conexiones entre dos puntos finales de comunicación, llamados sóquets, y, de esta manera, el intercambio de datos puede producirse en las dos direcciones [11].

En las conexiones bidireccionales, como las que crea WebSocket, el acceso e intercambio de datos se realiza de una forma más rápida. En concreto, muestra u obtiene información en tiempo real.

Con este protocolo basta con que el cliente establezca una conexión con el servidor, la cual se confirma mediante el llamado apretón de manos. Con este, el cliente envía al servidor todos los datos de identificación necesarios para el intercambio de información. El canal de comunicación queda, por así decirlo, abierto tras el apretón de manos. El servidor puede activarse por sí mismo y poner información a disposición del cliente, sin que este tenga que pedírselo. Si el servidor dispone de nueva información se lo comunica al cliente, sin necesidad de recibir una solicitud específica para ello (Fig. 8).

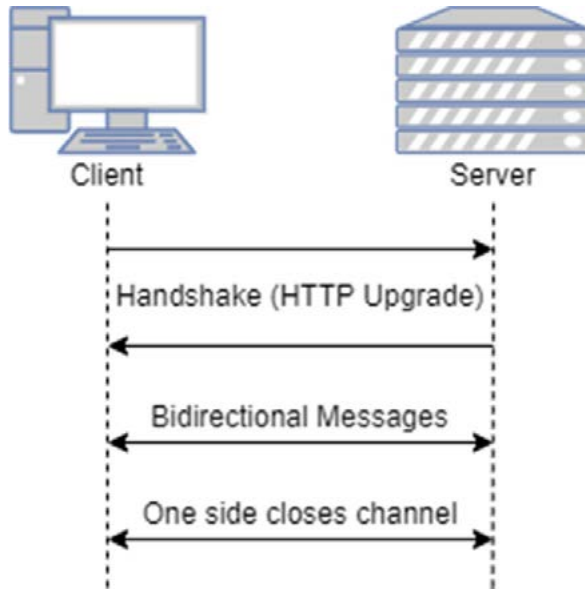


Fig. 8. Funcionamiento de WebSocket.

WebRTC (Web Real-Time Communication) es un proyecto para proporcionar comunicación en tiempo real a navegadores y aplicaciones. Este proyecto surge como un nuevo estándar que extiende el modelo de navegación web al habilitar el navegador de una manera P2P (persona a persona). Básicamente, la idea principal es permitir el acceso seguro a los periféricos (micrófonos y cámaras) de un dispositivo, para compartir o intercambiar los datos multimedia en tiempo real con dispositivos remotos [12].

En términos generales, una conexión WebRTC (Fig. 9) funciona de la siguiente manera:

- 1) Cuando se inicia una llamada WebRTC, la aplicación debe establecer una conexión con todos los demás dispositivos que se estarán en la llamada.
- 2) Antes de que se pueda establecer una conexión, la aplicación WebRTC debe atravesar el cortafuegos y el NAT. Los cortafuegos y los dispositivos NAT funcionan estableciendo una dirección IP pública para el ordenador, que se transmite al mundo exterior y enmascara la dirección IP privada.

- 3) El ordenador solo conoce su dirección IP privada. Así que la aplicación WebRTC se pone en contacto con el servidor STUN (Session Traversal Utilities for NAT) para recuperar su dirección IP pública. De este modo, la aplicación puede dirigir la conexión entrante a la dirección IP correcta.
- 4) Una vez recuperada la dirección IP pública del servidor STUN, la aplicación WebRTC recupera la IP pública de los otros dispositivos que se conectarán a la llamada. Una vez que la aplicación conoce todas las direcciones IP necesarias, crea una lista de posibles configuraciones de conexión, también llamadas ICE (Interactive Connectivity Establishment), y selecciona la configuración más eficiente.
- 5) A continuación, la aplicación WebRTC utiliza esa configuración de conexión para abrir un canal de datos privado en el que todos los dispositivos de la llamada pueden intercambiar los datos de audio y vídeo en tiempo real. Y como solo los dispositivos de la llamada conocen la configuración de la conexión, esta es privada y no puede acceder a ella nadie que no esté en la llamada.

Este es el método de conexión habitual para la comunicación WebRTC, donde todos los dispositivos transmiten los flujos de audio y vídeo directamente entre sí.

Sin embargo, a veces no se puede establecer esta conexión directa. En estos casos, la aplicación WebRTC utiliza un servidor TURN (Traversal Using Relays Around NAT), que actúa simplemente como un repetidor. Es decir, si no se puede establecer una conexión directa entre el dispositivo en una llamada WebRTC, la aplicación hará que los ordenadores envíen datos de audio y vídeo al servidor TURN, que transmite los datos al dispositivo receptor y viceversa.

El uso de un servidor TURN para la comunicación WebRTC es un último recurso. Los servidores TURN deben ser súper fiables y tener una potencia de procesamiento y un ancho de banda considerable. Esto es costoso y añade complejidad. Así que lo más eficiente es utilizar conexiones directas para la comunicación WebRTC siempre que sea posible.

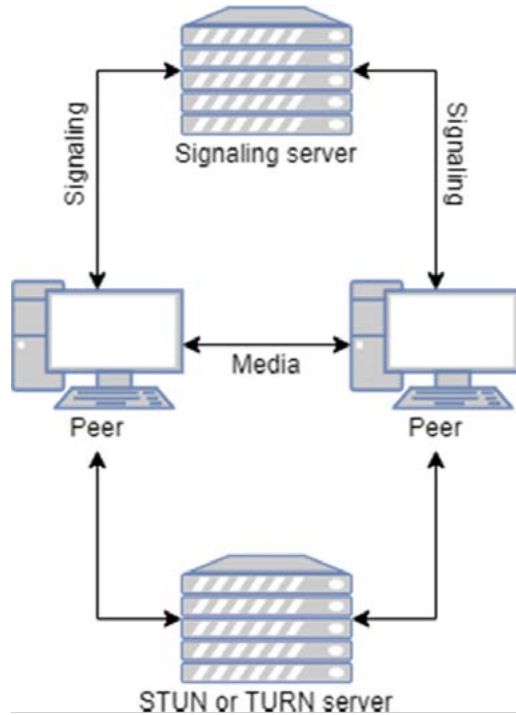


Fig. 9. Funcionamiento de WebRTC.

Ahora, dentro de la plataforma, WebSocket es utilizado para señalar o sincronizar un canal WebRTC y, una vez abierto, la comunicación audiovisual se puede realizar directamente a través de este canal.

### G. Traducción

El modelo Holistic de MediaPipe [13] permite la percepción de puntos de referencia en vivo de pose, cara y manos simultáneamente, esto utilizando sus otros modelos Pose (33 puntos), Face (468 puntos) y Hands (42 puntos), obteniendo un total de 543 puntos de referencia.

El modelo Translator de Huet (Fig. 10) es construido a partir del modelo Sequential de TensorFlow [14], el cual es una FNN (Feedforward Neural Network) cuya capa de entrada está compuesta por los puntos de referencia del modelo Holistic (únicamente Pose y Hands, no es necesario



Face) y cuya capa de salida está compuesta por la función de activación softmax (para clasificar los puntos de referencia en alguna expresión) [15].

Esta estructura en el sistema de inteligencia artificial es debido a la escasez de personal y tiempo. El modelo más intuitivo que pudo haberse utilizado es una CNN (Convolutional Neural Network) para clasificar los fotogramas de un video. Sin embargo, al ser una única persona y al no existir un conjunto de datos del lenguaje de señas, el crear y utilizar información exclusivamente sobre mí hubiera ocasionado un modelo extremadamente sesgado. Motivo por el que un mejor planteamiento es utilizar algo más general, como los puntos de referencia en lugar de imágenes, y trabajar sobre estos, obteniendo así un modelo con un buen desempeño.

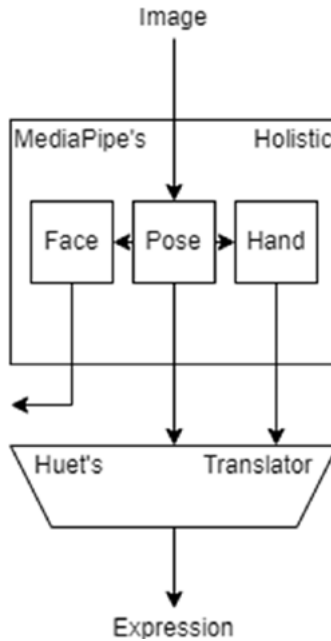


Fig. 10. Funcionamiento de Holistic y Translator

### H. Pruebas

Al utilizar modelos de inteligencia artificial, existen diferentes métricas que muestran qué tan bien o mal está funcionando. Sin embargo, estas medi-

das pueden ser confusas sobre lo que significan. Pero con estas evaluaciones es posible inferir información sobre los modelos desarrollados.

La precisión es un método para medir el rendimiento de un modelo de clasificación. Por lo general, se expresa como un porcentaje. La precisión es el recuento de predicciones donde el valor predicho es igual al valor verdadero. A menudo, se grafica y monitorea durante la fase de entrenamiento, aunque el valor a menudo se asocia con la precisión general o final del modelo. Si la precisión tiende a 1.0 significa que el modelo tiene un buen desempeño (Fig. 11).

Una función de pérdida, también conocida como función de costo, tiene en cuenta las probabilidades o la incertidumbre de una predicción basada en cuánto varía la predicción del valor real. Esto nos da una visión más matizada de qué tan bien está funcionando el modelo. A diferencia de la precisión, la pérdida no es un porcentaje, es una suma de los errores cometidos para cada muestra en conjuntos de entrenamiento o validación. Si la pérdida tiende a 0.0 significa que el modelo tiene un buen desempeño (Fig. 12).

La precisión y la pérdida tienen diferentes definiciones y miden cosas diferentes. Con frecuencia parecen ser inversamente proporcionales, pero no existe una relación matemática entre estas dos métricas.

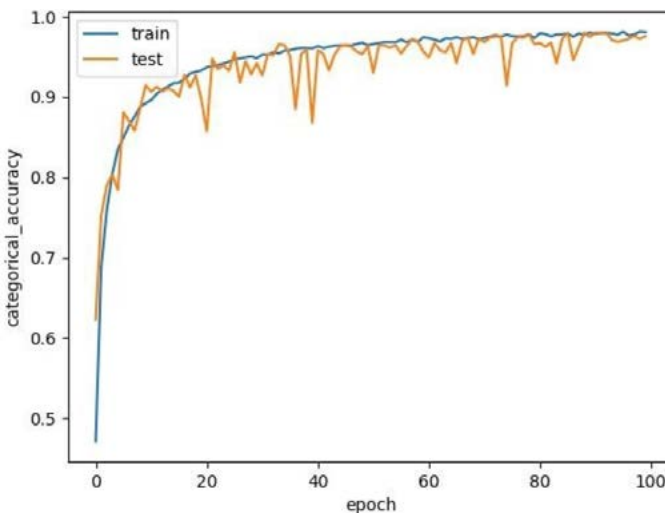


Fig. 11. Precisión del traductor.

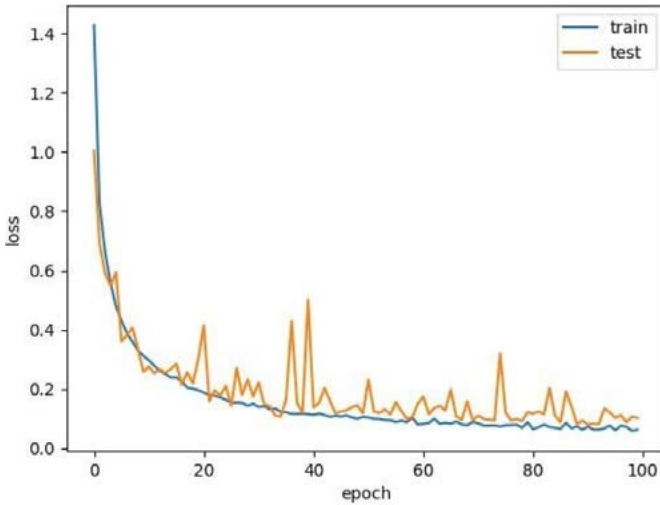


Fig. 12. Pérdida del traductor.

La técnica de la matriz de confusión ayuda a medir el rendimiento de un modelo de clasificación. Con este tipo de prueba, se puede evaluar el modelo con los valores verdaderos conocidos en el conjunto de datos de prueba.

Esta matriz se presenta siempre en forma de tabla, de manera que en cada columna aparece el número de predicciones de cada clase, mientras que cada fila muestra el número real de instancias de cada clase.

Es decir, esta matriz pone en relación las predicciones realizadas por un algoritmo de aprendizaje supervisado y los resultados correctos que debería haber mostrado. Así puede medirse el mayor o menor desempeño de este, determinando qué tipo de errores y de aciertos tiene cada modelo a la hora de pasar por un proceso de aprendizaje sobre datos propuestos.

Dicho en otras palabras, mientras más predicciones se encuentren en la diagonal, o donde las etiquetas coinciden, mejor rendimiento tiene el modelo (Fig. 13).

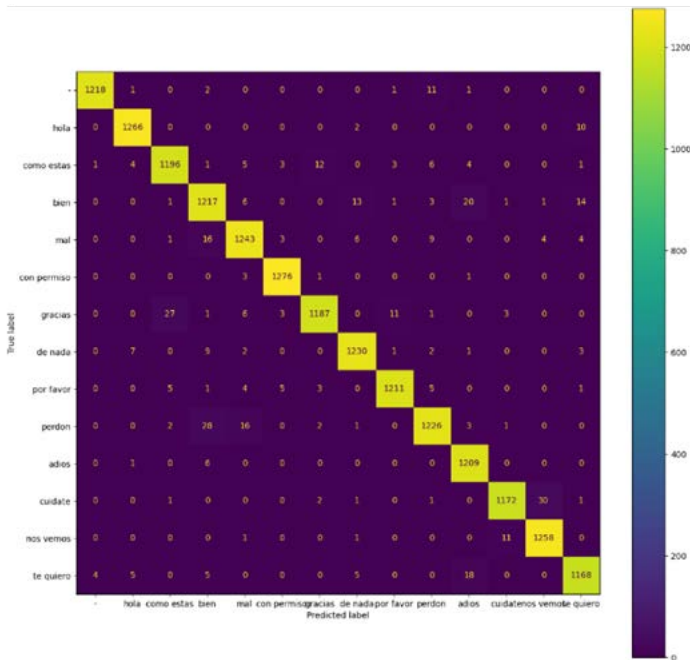


Fig. 13. Matriz de confusión del traductor.

### I. Repositorio público

<https://github.com/andres-alcala-gtz/huet>

## Módulo I. Justificación de “arquitectura y programación de sistemas”

Recapitulando, la estructura del sistema es una arquitectura en tres niveles (visualización, aplicación y base de datos) utilizando MERN para realizar todo el sistema con JavaScript y JSON. La base de datos almacena toda la información de los usuarios y de sus conversaciones por mensajería. Todo esto realizado con la metodología ágil y sus entregas incrementales.

## **Módulo II. Justificación de “sistemas inteligentes”**

La estructura del sistema de aprendizaje automático está compuesta por el modelo de visión artificial Holistic que obtiene los puntos de referencia, los cuales son utilizados por el modelo de red neuronal Translator para conseguir la traducción del lenguaje de señas al lenguaje escrito. Todo esto debido a las limitaciones que tiene el desarrollo del proyecto.

## **Módulo III. Justificación de “sistemas distribuidos”**

WebSocket es utilizado para señalar o sincronizar un canal WebRTC y, una vez abierto, la comunicación audiovisual se puede realizar directamente a través de este canal P2P. Además, el modelo cliente-servidor está implícito en la arquitectura de tres niveles.

## **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

El proyecto planteado consiste en el desarrollo de una plataforma especializada en la enseñanza del lenguaje de señas utilizando un sistema de comunicación en tiempo real y un sistema de traducción del lenguaje de señas al lenguaje escrito.

- 1) Se desarrolló una aplicación web intuitiva y agradable, esto con la intención de que sea lo más sencilla de utilizar.
- 2) Se desarrolló un sistema de autenticación, esto con la intención de tener seguridad en la aplicación y de implementar un sistema de amistades.
- 3) Se desarrolló un sistema de comunicación en tiempo real, esto con la intención de realizar videollamadas con usuarios de la lista de amigos y de aprender el lenguaje de señas mediante el uso del traductor.
- 4) Se desarrolló un sistema de traducción del lenguaje de señas, esto con la intención de generar estrategias de aprendizaje que ayuden a reducir la brecha y a garantizar una mejor calidad de vida para la comunidad no oyente.

## V. Conclusiones y trabajo a futuro

Se puede considerar que el producto final es satisfactorio porque se cumplieron los requerimientos, los cuales están enfocados a cumplir con la solución planteada, que consiste en el desarrollo de una plataforma especializada en la enseñanza del lenguaje de señas utilizando un sistema de comunicación en tiempo real y un sistema de traducción del lenguaje de señas al lenguaje escrito.

Este tipo de proyectos a pequeña escala son extremadamente importantes porque, aunque no resuelvan la totalidad del problema, ayudan a generar visibilidad y a inspirar nuevas soluciones. Por el momento, este es mi grano de arena que aporto a la causa de la comunidad no oyente.

Existen varios aspectos que se podrían mejorar y, posiblemente, obtener mejores resultados:

- 1) Colaborar con personas o asociaciones que tengan un nivel avanzado en el lenguaje de señas para trabajar sobre un conjunto de datos más pulido.
- 2) Implementar el traductor sobre una CNN o LSTM, la primera para operar directamente sobre las imágenes y la segunda para añadir expresiones más complejas. Aunque no estoy seguro sobre cuánto mejorarían o empeorarían los resultados.
- 3) Elaborar un traductor del lenguaje escrito o hablado al lenguaje de señas es una idea interesante para desarrollar.

## Referencias

- [1] “Lengua de Señas Mexicana (LSM)”, Gobierno de México, 2016. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/conadis/articulos/lengua-de-senas-mexicana-lsm?idiom=es>. [Accessed 2022].
- [2] “Aprende sobre el lenguaje de señas y comunícate con todo el mundo”, Crehana, 2021. [Online] Available: <https://www.crehana.com/blog/estilo-vida/lenguaje-de-senas/>. [Accessed 2022].
- [3] “Sociedad inclusiva: 5 razones para aprender lengua de señas”, Gestión, 2021. [Online]. Available: <https://gestion.pe/tendencias/sociedad-inclusiva-5-razones-para-aprender-lengua-de-senas-comunidad-no-oyente-lenguaje-inclusivo-noticia/?ref=gesr>. [Accessed 2022].
- [4] “Signslator, el primer traductor de signos al español”, Milenio, 2014. [Online]. Available: <https://www.milenio.com/estilo/signslator-el-primer-traductor-de-signos-al-espanol>. [Accessed 2022].
- [5] “MIVOS: el proyecto que traduce la lengua de señas de personas sordas en audio”, SoyChile, 2017. [Online]. Available: <https://www.soychile.cl/Santiago/Tecnologia/2017/11/06/497049/MIVOS-el-proyecto-que-traduce-el-lenguaje-de-senas-de-personas-sordas-en-audio.aspx>. [Accessed 2022].
- [6] “Así es Showleap: el traductor de lengua de signos a texto y voz en tiempo real está cada vez más cerca”, Xataka, 2019. [Online]. Available: <https://www.xataka.com/aplicaciones/asi-showleap-traductor-lengua-signos-a-texto-voz-tiempo-real-esta-cada-vez-cerca>. [Accessed 2022].
- [7] “Sign’n, la app que traduce el lenguaje de señas”, UNIÓN Jalisco, 2017. [Online]. Available: <https://www.unionjalisco.mx/2017/09/06/signn-la-app-que-traduce-el-lenguaje-de-senas/>. [Accessed 2022].
- [8] “¿Qué es la metodología ágil?”, Digité, [Online]. Available: <https://www.digite.com/es/agile/metodologia-agil/>. [Accessed 2022].
- [9] “MERN Stack Explained”, MongoDB, [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/mern-stack>. [Accessed 2022].
- [10] “JSON Web Tokens”, Auth0, [Online]. Available: <https://jwt.io/>. [Accessed 2022].

- [11] “WebSocket”, The Modern JavaScript Tutorial, 2022. [Online]. Available: <https://javascript.info/websocket>. [Accessed 2022].
- [12] “WebRTC”, Google, [Online]. Available: <https://webrtc.org/>. [Accessed 2022].
- [13] “MediaPipe Holistic”, Google, 2020. [Online]. Available: <https://google.github.io/mediapipe/solutions/holistic.html>. [Accessed 2022].
- [14] “The Sequential model”, TensorFlow, 2022. [Online]. Available: [https://www.tensorflow.org/guide/keras/sequential\\_model](https://www.tensorflow.org/guide/keras/sequential_model). [Accessed 2022].
- [15] “Introduction to Tensorflow Sequential”, eduCBA, [Online]. Available: <https://www.educba.com/tensorflow-sequential/>. [Accessed 2022].





# Capítulo 4

---

## ¡Chitón! Mundo de Señas

*López Macías María del Carmen  
Chávez Arteaga Juan Carlos  
Zárate Macías Alejandro  
López Arce Delgado Jorge Ernesto*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*maria.lopez7972@alumnos.udg.mx  
juan.chavez7445@alumnos.udg.  
mx alejandro.zarate4248@alumnos.udg.mx  
jorge.lopezarce@academicos.udg.mx*

## Resumen

La enseñanza de la lengua de señas mexicana “LSM” desde temprana edad, abre un panorama hacia una sociedad inclusiva en cuanto a comunicación se refiere. Aprender un nuevo lenguaje conlleva un proceso cognitivo donde la constancia es lo más importante. Los videojuegos son una gran fuente de motivación, sobre todo si hablamos del público joven. Este proyecto modular presenta un videojuego de rol interactivo en el cual, mediante misiones y combates por turnos, el jugador es capaz de aprender y poner en práctica la LSM a través de la visión artificial. Se encuentra desarrollado mediante el motor Unity y la integración del modelo de red neuronal convolucional “SSD MobileNet” gracias a tecnologías como Python y la herramienta TensorFlow. Presentamos un videojuego con enfoque educativo que va más allá de los métodos convencionales de enseñanza, permitiendo llamar la atención del público joven y atraerlo hacia un ámbito inclusivo mientras disfruta aprender.

## I. Introducción

Según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su censo 2020, en México cerca de 7.1 millones de personas padecen alguna discapacidad [1], de las cuales tan solo el 34 % refieren a una discapacidad auditiva, es decir, aproximadamente 2.4 millones de personas padecen un grado de sordera.

Aun cuando desde 2003 la LSM es reconocida legalmente como lengua nacional [2], solo un pequeño porcentaje de la población es capaz de utilizar e interactuar eficazmente con las personas que padecen un problema auditivo y la entienden.

Gran parte de la población mexicana ignora la importancia de aprender LSM. A pesar de que se brinda acceso a cursos gratuitos o de bajo costo por parte de entidades gubernamentales, así como privadas, el mayor obstáculo en el proceso cognitivo es la constancia que conlleva aprender un nuevo lenguaje [3].

Los entre los beneficios de este proyecto son:

- Dinamiza la educación. Transformando el aprendizaje en un juego divertido.

- Enseña un nuevo lenguaje.
- Facilita la práctica de las señas.
- Mejora la comunicación no verbal.
- Apoya la inclusión. Enseña una herramienta para comunicarse con personas sordas.

“¡Chitón! Mundo de Señas” es un videojuego rol que incorpora visión computarizada para el reconocimiento de imágenes y cuyo objetivo es que niños, jóvenes y cualquier otro usuario con interés en los videojuegos sean capaces de aprender la lengua de señas mexicana a través de la práctica, de tal manera que su atención e interés se mantenga constante, mientras se encuentran aprendiendo. De esta forma, contribuiremos al desarrollo de la sociedad y del país en temas de inclusión.

## II. Trabajos relacionados

La enseñanza de lengua de señas ha sido un tema enfocado primordialmente en las personas sordas que son las que se expresan casi exclusivamente con ella, ya que en la mayoría de los casos es su lengua natural, sin embargo, hay personas oyentes que la emplean, principalmente se encuentran familiares, maestros e intérpretes. La cantidad de personas que la utilizan no está censada de forma oficial, la cifra más actualizada es la del Consejo para Prevenir y Eliminar la Discriminación de la Ciudad de México, afirmando que, para el 2020 existían alrededor de 87 000 a 100 000 usuarios de la LSM, solo en la Ciudad de México [4].

Los videojuegos han sido tomados como apoyo en modelos pedagógicos y de aprendizaje como podemos ver en el trabajo de Bonilla [5] titulado “Un juego serio para la comprensión de lectura en escuelas primarias” donde se presenta el desarrollo de un videojuego serio “Saving the World”. El juego está basado en el ejercicio de llenado de espacios, mostrando una forma de evaluar la comprensión lectora.

Rojas, Gómez y Guarnizo [6], en su trabajo *Los videojuegos como objetos desarrolladores de aprendizaje*, mencionan: “Los videojuegos son objetos desarrolladores de aprendizaje porque, permiten el refuerzo de habilidades a través de la práctica constante, el reto, la curiosidad y la fantasía”.

En la investigación de Potrus [7] se desarrolló e investigó la eficiencia de un videojuego para aprender la lengua de señas Sueca en niños con el rango de edades entre 10 a 11 años y que no posean desórdenes de aprendizaje o algún desorden de salud. El videojuego consistió en dos fases, en la primera, se muestra un demo en donde el presentador explica cómo funciona el videojuego; y en la segunda, que es la parte educativa, a los niños se les enseña la ejecución de algunas señas de una lista de animales y otra de objetos mediante una historia para cada categoría, dichas historias fueron contadas por un avatar 3D tanto en lenguaje hablado como lenguaje de señas. Después se le muestra algunas imágenes de las señas enseñadas de acuerdo con la historia, las cuales desaparecen durante un momento y al reaparecer hay una faltante. Finalmente, los niños deben responder cuál es la imagen que falta.

En la investigación de Salomons [8] se tradujeron los materiales de aprendizaje a un dispositivo móvil mediante la adaptación de los métodos de enseñanza de la lengua de señas. Además, la aplicación se dividió en dos partes, las cuales fueron: un diccionario, para que las personas puedan buscar palabras por categorías y con opción para practicarlas mediante videos o con imágenes paso a paso de la ejecución de las señas; y un juego, en el que los usuarios escogen una categoría y se les da preguntas sobre la seña, palabra o video dado para encontrar la seña, palabra o video correspondiente. Además, con la característica de poder desbloquear diferentes niveles de dificultad conforme se vaya jugando. Finalmente, las preguntas que se planteaban cambiaban para una misma seña, haciendo así que el usuario se exponga a dicha seña repetidamente.

El proyecto de Cuecuecha [9] consistió en interpretar las vocales de la lengua de señas mexicana identificadas por gestos estáticos con la mano. Para ello se utilizó el sensor Leap Motion Controller, ideal para esta aplicación al detectar y seguir las manos con tal precisión sin necesidad de entrar en contacto con el usuario. Para lograr el reconocimiento de los gestos correspondientes a las vocales se utilizó el modelo de perceptrón multicapa junto a una interfaz visual en tiempo real. La red fue entrenada y calibrada por un experto en lenguaje de señas, logrando así una razón de reconocimiento de hasta 100 %.

El sistema propuesto por García [10] para la enseñanza de lengua de señas mexicana consiste de un guante de tela con sensores de flexión, una

etapa de acondicionamiento de señales y una tarjeta para la adquisición de datos, que en conjunto con el software diseñado se indica dedo por dedo si la postura de una determinada seña es correcta, así como la posición de la muñeca y el espacio entre cada dedo. Indica si se debe flexionar o abrir más y si debe existir contacto entre los dedos. Funcionando para todas las letras del alfabeto.

La aplicación propuesta por Estrada-Cota [11] “Manos que hablan”, busca lograr un aprendizaje significativo de la lengua de señas mexicana en niños de edad preescolar y así poder tener una mejor integración dentro y fuera del aula con personas sordas o con dificultad auditiva. Consiste en una aplicación para teléfonos celulares en la cual, se puede aprender y jugar por medio de vídeos y encuestas amigables.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto**

Las primeras etapas del proyecto consistieron en la definición de nuestra idea principal “Utilizar la lengua de señas mexicana”. Al final, se optó por un videojuego donde la enseñanza fuera divertida y orientada a un público joven. Dentro de la definición de nuestra idea tuvimos que esclarecer el alcance del proyecto y cuáles serían los requerimientos principales del mismo para tener una visión clara de su desarrollo.

Entre los principales requerimientos destacan:

- Uso de redes neuronales convolucionales para la detección de objetos (señas de la LSM) en imágenes.
- Reconocimiento del alfabeto y números en la LSM.
- Implementación de un servidor donde se guardará la información de los usuarios registrados.
- Creación de usuario (opcional) para ser capaz de guardar progreso, logros y contribuir al entrenamiento de nuestra IA.
- Videojuego de tipo RPG.
- Mecánica de combate por turnos, donde para poder atacar es necesaria realizar correctamente alguna seña al azar frente a la cámara.
- Tutorial del videojuego para el aprendizaje y práctica de las señas de la LSM.
- Demo del videojuego que incluye únicamente un nivel con varios enemigos, un NPC profesor y un jefe final.

## **Metodología**

La metodología empleada para el desarrollo del proyecto fue “Scrum”. Gracias a este marco de trabajo fuimos capaces de tener una comunicación continua en el equipo en la que pudiéramos fijar metas constantemente y nos ayudó a que el proceso del desarrollo no se pausara por mucho tiempo. Nos beneficiamos sobre todo en cuestión de tiempos ya que la fijación de objetivos y la entrega constante de avances y evidencias al asesor y al equipo, permitía cerciorarnos de que el proyecto iba por buen camino. Cada iteración suponía acercarnos más al resultado final. De esta manera, logramos agilizar bastante nuestra forma de trabajo y aumentar la productividad de cada uno de los integrantes del equipo.

## **TensorFlow y el modelo de red neuronal**

La parte más importante para este proyecto fue la implementación de la inteligencia artificial para que el usuario pudiera jugar realizando las señas frente a la cámara y así poner en práctica la lengua de señas. Para esto, después de haber realizado una investigación sobre diferentes aplicaciones de inteligencia artificial, se decidió utilizar algoritmos de reconocimiento de objetos en imágenes con la ayuda de Tensorflow 2 (r2.9) y el modelo de red neuronal SSD MobileNet, aunque a ambas se les tuvieron que hacer un par de modificaciones para nuestra implementación. Primeramente, hay que destacar que TensorFlow es un framework de Python que nos ofrecía varias funciones para la detección de objetos en imágenes y que SSD MobileNet es un modelo de red neuronal convolucional que ya cuenta con una arquitectura preentrenada para algunos objetos comunes. En casos específicos, SSD MobileNet necesita un entrenamiento adicional, lo cual fue nuestro caso. Debido a que la implementación de este tipo de redes desde cero es un trabajo bastante complejo y que requiere mucha potencia de cómputo para entrenar todas y cada una de las neuronas de la red. A diferencia de otros modelos que ya cuentan con un preentrenamiento, decidimos que era mejor opción utilizar estas herramientas y hacer un entrenamiento más específico de lo que nosotros necesitábamos, así evitamos invertir muchas horas en construir la red.



Fig. 1. Etiquetado de imágenes para entrenamiento de red neuronal.

## El entrenamiento

Ahora bien, lo que tuvimos que hacer fue generar nuestros datos de entrenamiento para la red neuronal, en este caso imágenes tomadas por nosotros mismos realizando todas y cada una de las señas que implementamos para el videojuego, las cuales fueron el alfabeto y los números (1-10) obtenidos del diccionario de la CONAPRED [12]. En total nuestro set de datos para entrenar la red constó de aproximadamente 1000 imágenes las cuales fueron separadas en dos grupos, el primero de ellos destinado a entrenamiento, del cual constó de aproximadamente 700 imágenes, mientras que el segundo fue utilizado para prueba, siendo las 300 imágenes restantes. Cabe destacar que, en este tipo de aplicaciones de redes neuronales para la detección de objetos en imágenes, lo que se debe hacer es el etiquetado de todas y cada una de las imágenes de nuestro set. Esto debido a que las redes neuronales convolucionales utilizan entrenamiento supervisado, esto quiere decir que la red debe de conocer cuál es el resultado correcto de los valores de entrenamiento que ingresamos (en este caso que seña representa cada imagen) para que esta pueda compararlo con el resultado que obtiene y modificar sus valores internos para tener predicciones más acertadas en caso de que haya errores.



Profundizando más en el etiquetado lo que se hace es utilizar herramientas que permitan seleccionar la región de la imagen en la que se encuentra el objeto que queremos detectar y asignarle un nombre o etiqueta. En nuestro caso lo que utilizamos fue una herramienta llamada LabelImg en la cual podíamos ingresar nuestras imágenes, encerrar en un recuadro el área del objeto que queremos detectar y por último agregar una etiqueta correspondiente a la seña que se realizaba en la imagen. Este proceso suele ser lo que más tiempo lleva al trabajar con redes neuronales y no tener un set de datos que cubra con nuestras necesidades, además de que es un proceso difícil de automatizar para este caso.

La parte del entrenamiento fue una de las más largas, ya que la potencia de cómputo con la que contábamos era bastante reducida, haciendo que cada entrenamiento durase horas y teníamos que encontrar una configuración que nos diera los resultados óptimos en función al set de imágenes que teníamos. Algunos de los valores de configuración o parámetros más destacables que usamos fueron que la cantidad de épocas o iteraciones fue de 50 000, el ratio de aprendizaje base fue de 0.08, el cual es lo suficientemente pequeño como para que la red pudiera entrenar de buena manera poco a poco, pero tampoco tan grande como para que esta tuviera tropiezos o picos de error con el paso del tiempo. Por último, el número de lotes fue de 10, lo cual puede ser considerado muy pequeño ya que suelen usarse lotes de 32 o 64. En cuanto a la función de activación, se utiliza ReLU, esto debido a que es una de las mejores funciones de activación para este tipo de redes gracias a su simplicidad y eficiencia, ya que al no saturar tanto los cálculos de la red con funciones más complejas, el entrenamiento suele ser más rápido. Al final, pudimos encontrar un valor de pesos aceptable para la red con los que podíamos probar todas y cada una de las señas implementadas.



Fig. 2. Prueba de programa de reconocimiento de señas.

## Pruebas, complicaciones y soluciones

Una de las primeras complicaciones presentadas en el desarrollo de la inteligencia artificial para nuestro proyecto fue que, como pasa en la gran mayoría de modelos de redes para detección de objetos, estas, como base, trabajan de tal forma que, al detectar un objeto, retorna la imagen que recibe como entrada con un recuadro de algún color, la etiqueta del objeto y el porcentaje de reconocimiento que este tiene (así como se muestra en la Fig. 2). Esto debido a que el modelo utiliza las funciones de visualización/procesado de resultados que incluye TensorFlow. Por lo que significó un problema al inicio, ya que necesitábamos que nuestra inteligencia artificial, construida en Python, retorne el valor de las detecciones de las imágenes a nuestro juego de Unity/C#; y estos resultados al no ser textuales, sino que eran una imagen, la cual es comprensible para nosotros pero no para nuestro sistema, implicó que tuviéramos que realizar modificaciones a los módulos que venían por defecto en TensorFlow.

Para resolver lo anterior, tuvimos que investigar cómo es que trabajaba este módulo de la IA y poder entender cómo se procesaban los datos para extraer lo que nosotros necesitábamos, en este caso solamente la etiqueta

y porcentaje. Una vez que entendimos el flujo de las funciones implicadas, lo siguiente fue hacer nuestra propia función dentro del módulo, en el cual haríamos los mismos cálculos que en las funciones originales; pero omitiendo toda la parte del dibujo del marco de reconocimiento en la nueva imagen de salida, para al final retornar únicamente los dos valores que necesitábamos para indicar que se había reconocido en la imagen. Esto al final fue un gran acierto ya que, de solamente haber modificado la función final que retornaba la imagen para que también retornara los valores de la etiqueta y el porcentaje, estaríamos también realizando todo el procesamiento de la nueva imagen de salida en la que se le dibujaba el recuadro donde se mostraba la seña seleccionada. Esto, al final se traduce en procesamiento extra que no necesitábamos para el videojuego, ya que la parte visual y de gestión de la cámara iba a ser llevada por Unity. Por lo tanto, no nos servía la imagen de retorno que nos ofrecía TensorFlow.

Una vez que se tuvo la red neuronal ya entrenada y se pudieron solventar los problemas que se nos presentaron, lo siguiente fue hacer las pruebas de la red para ver que tan bien habían salido los entrenamientos. Al inicio, probamos la red usando la forma base en la que funcionaba el modelo de SSD MobileNet, únicamente para ver de manera rápida y visual si es que las señas se detectaban de una buena manera, y para esto la probamos todos los miembros del equipo en distintos lugares y posiciones para ver cómo es que variaban los resultados según la iluminación en el ambiente y la cantidad de objetos que hubiera de fondo. Durante estas pruebas fue donde tuvimos que ver más pruebas de distintos entrenamientos como se mencionó en un inicio e inclusive alimentando a la red con más patrones de entrenamiento (imágenes).

El resultado final de la red nos mostraba que en lugares con mucha iluminación afectan al reconocimiento de las señas, puesto a que la luz no permitía a la red distinguir muy bien las siluetas de las señas, llegando a mostrar resultados erróneos o sin poder detectar alguna seña en concreto, pero esto hablando del peor de los casos que era tener iluminación excesiva. Lo ideal para esta red era la iluminación moderada y una distancia de 30 a 60 cm con la cámara, ya que de esta forma la red podía encontrar las señas a muy alta precisión y sin tantas complicaciones, teniendo casos en los que las detecciones eran rápidamente del 100 %, aunque había ciertos

casos en las que a algunas señas solo llegaban al 85 % de detección, pero para el caso práctico al que la queríamos aplicar era más que suficiente.

Una vez que tuvimos los resultados de reconocimiento deseados, creamos un *script* en Python 3.10 el cual trabajará de manera más sencilla y con la versión modificada de las funciones de TensorFlow en la que solamente pasáramos la ruta de una imagen por parámetro para que el *script* la convirtiera a un vector de entrada que pudiera ser procesado por la red y que esta nos arroje el resultado por consola, pero esto último lo cambiamos a que anotará los resultados en un archivo para poder acceder a estos futuramente.

## Unity

Unity es una plataforma para el desarrollo de videojuegos 2D y 3D, disponible en Windows, Mac y Linux. Tiene soporte para crear juegos para una amplia variedad de plataformas.

Unity en su versión 2020.3.20f1 fue la plataforma que elegimos para el desarrollo del videojuego, principalmente por ser una herramienta gratuita y por estar familiarizados con esta.

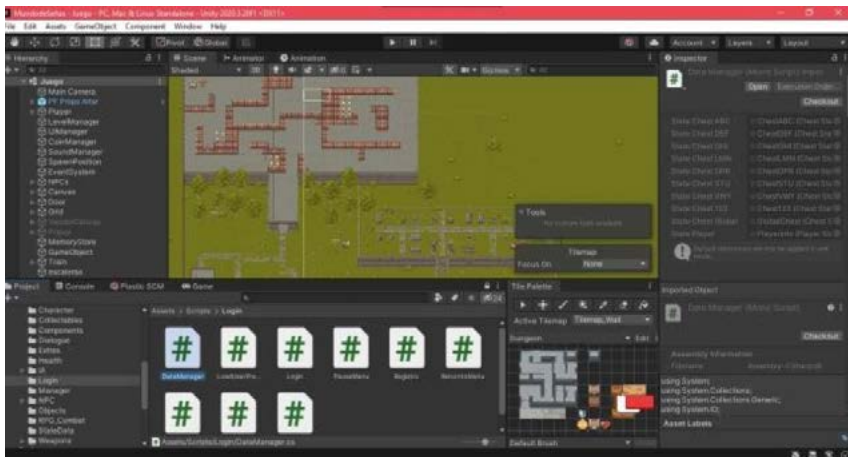


Fig. 3. Entorno de trabajo. Proyecto en Unity.

## Sobre el videojuego

El videojuego ofrece una modalidad tipo Role Playing Game “RPG” donde Erick, nuestro protagonista, es transportado al “Mundo de las señas”. En este lugar, donde todo habitante se comunica únicamente a través de la LSM, Erick tiene el objetivo de aprender el lenguaje de señas de este mundo para ser capaz de comunicarse con su amiga en su propio mundo. Dentro del juego Erick, guiado por Handson, nuestro personaje guía, se enfrentará a los “excluyentes”, fuertes enemigos que han atacado a cada una de las villas del Mundo de las señas. Mientras el mundo es salvado por nuestro protagonista, este también irá aprendiendo cada una de las señas para poder derrotar a todos los enemigos, salvar al Mundo de las señas de su dominio y por fin poder volver a casa.



Fig. 4. Erick, nuestro protagonista.

Dentro del juego demo, el objetivo es conseguir las ocho medallas correspondientes a cada uno de los cofres esparcidos a lo largo de la Villa ABC, lugar donde seremos capaces de aprender las señas correspondientes a las letras del abecedario y los números del uno al diez.

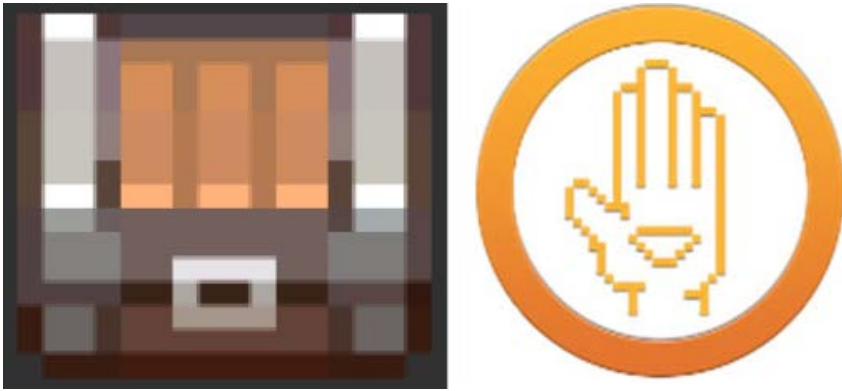


Fig. 5 y 6. Cofre a desbloquear (izquierda) para poder obtener la medalla (derecha).

Una vez que somos capaces de encontrar un cofre, este nos transporta al mencionado combate por turnos, donde deberemos enfrentarnos a tres excluyentes. Dentro del combate tenemos las opciones de atacar, curar y huir. Para poder atacar deberemos hacer uso de las señas que se nos vayan pidiendo. El daño que le hagamos a cada uno de los enemigos depende de qué tan bien sea realizada, en caso de que esta sea muy buena, con eficiencia de 99 %, será muerte instantánea. En caso contrario, que la seña sea mala o incluso incorrecta, solo descontará un daño de 5 puntos a la vida del enemigo.



Fig. 7 Combate por turnos del videojuego.



Fig. 8. Realizar la seña para atacar.

Antes de entrar a los combates, es posible practicar cada una de las señas que serán pedidas en el enfrentamiento. Para esto, hay “letreros de práctica” a lo largo del mapa, justo a un costado de cada cofre. Estos letreros de práctica brindaran información y ayuda visual sobre las señas disponibles y una vez vistas podremos practicarlas las veces que deseemos. En el apartado de práctica, es posible visualizar la seña y obtener retroalimentación sobre si acertamos o fallamos.



Fig. 9. Letreros de práctica.



Fig. 10. Apartado para práctica de las señas.

Si reunimos cada una de las medallas de todos los cofres seremos capaces de enfrentar al jefe final de la Villa ABC, donde pondremos en práctica todas y cada una de las señas vistas a lo largo del mapa (señas del abecedario y señas de los números del 1 al 10).



Fig. 11. Combate contra el jefe final de la Villa ABC.



## Comunicación Python - C#

Ya una vez que teníamos nuestra red neuronal funcionando de manera adecuada y una versión de nuestro juego en la que ya pudiéramos probar el combate por turnos, lo que seguía era ver cómo íbamos a integrar ambas partes para que pudieran trabajar en conjunto. Para esto teníamos varias alternativas, una de ellas era IronPython, que es una versión de Python que viene integrada dentro de C#, con la cual podríamos llamar a archivos de Python e interactuar fácilmente con sus entradas y salidas de datos, pero el problema de esta es que no permitía (o al menos de una manera sencilla) integrar librerías externas a esta versión de Python. Por lo que al final decidimos optar por tener ambos módulos separados (la IA y el Videojuego), pero que trabajaran de una manera síncrona, y para esto se implementó un *script* en Python el cual se encargaría de procesar las imágenes y retornar un archivo con los resultados. Para lograr esta comunicación lo que se hizo fue tener dos estados para ambos sistemas, uno de ejecución y otro de espera, el videojuego iniciaría en modo de ejecución mientras que el *script* de Python estaría en modo de espera, y para gestionar esto se utilizó sistema de dos carpetas, una de entrada y otra de salida.

En la carpeta de entrada, el videojuego en Unity colocaría la foto que hubiera que procesar y entraría a un modo de espera, esto sería visto por el módulo de Python el cual pasaría de estar en modo de espera a modo de ejecución y comenzaría a hacer el proceso de detección de señas en la imagen, una vez teniendo el resultado, se escribiría en un archivo la seña detectada y su porcentaje, a la vez que el *script* pasa a modo de espera nuevamente eliminando la foto que se encontraba en la carpeta de entrada a la espera de volver a detectar otra fotografía para procesar. El módulo de Unity al ver el archivo de resultados en la carpeta de salida, pasaría a modo de ejecución nuevamente y procesaría la información contenida en el archivo y dar retroalimentación al usuario de sus resultados y realizar las acciones necesarias con respecto a estos en función de lo que necesite el juego.

## Servidor y base de datos

Para el almacenamiento de los datos y progresos de los usuarios, creamos y configuramos un servidor remoto mediante la plataforma “Digital Ocean”. Tomamos tal decisión gracias al conocimiento previo de esta plataforma y la oportunidad de probar el servicio con el “Github Student Developer Pack” [13]. El servidor creado implementó una pila LAMP (Linux, Apache, MariaDB, PHP) en un sistema operativo Linux en su distribución Debian versión 10.

Se realizaron configuraciones de seguridad en el servidor, deshabilitación de puertos no utilizados, ingresó únicamente por SSH (inicio de sesión con root deshabilitado), cambio de puertos por defecto, uso de *firewall* (Iptables), bloqueo de IP con el programa Fail2ban (para intentos de inicio de sesión), usuarios y grupos delimitados para los diferentes servicios utilizados y deshabilitado de servicios no utilizados.

En el servidor Apache se deshabilitaron los ServerTokens y los archivos .htaccess, también se utilizó *mod\_reqtimeout* (directiva que permite a Apache cerrar la conexión si detecta que el cliente no está enviando datos con la suficiente rapidez) para evitar ataques de denegación de servicio.



Fig. 12. Apartado para registro e inicio de sesión del usuario.

Para la comunicación entre el servidor y el juego se utilizaron peticiones web HTTPS (GET, POST y DELETE) con un certificado SSL autofirmado y se forzaron las conexiones a través de TLS, con el fin de encriptar la información y evitar filtraciones al realizar las peticiones. Estas peticiones web realizadas desde Unity con la llave del certificado, creadas con ayuda de la librería Unity WebRequest.

Para el procesamiento de las peticiones entrantes al servidor se creó una API REST con PHP, la cual realiza todas las operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar, Eliminar) en la base de datos, utilizando la extensión Objetos de Datos de PHP (PDO).

Para la confirmación de correo y envío de información al usuario se utilizó MSMTSP, que es un MTA (Agente de transferencia de correo).

Una vez configurado el servidor, lo siguiente a realizarse fue la instalación y administración de un sistema de gestión de base de datos para el manejo y almacenamiento de la información de nuestros usuarios. Optamos por implementar MariaDB gracias a su simplicidad y experiencia en su uso. Creamos varias tablas para el almacenamiento de usuarios, sus progresos, imágenes capturadas por el usuario, entre otras. Las imágenes recibidas de los usuarios que las donen voluntariamente se almacenan en una carpeta para su posterior análisis y uso en el reentrenamiento y actualización de la red neuronal.

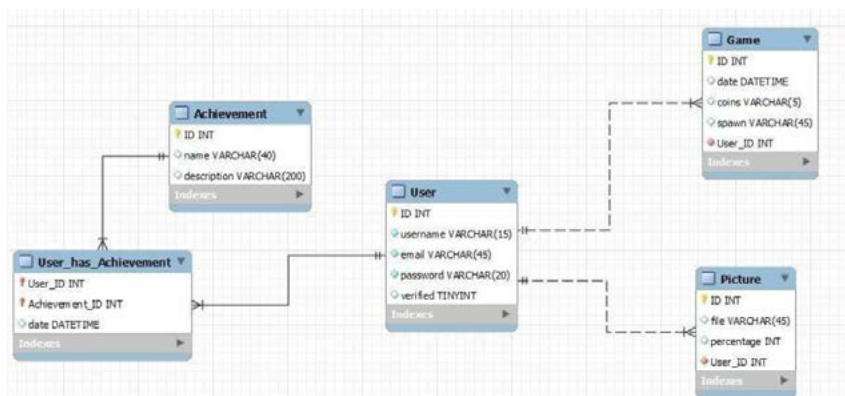


Fig. 13. Diagrama relacional de la base de datos creada.

El repositorio público al proyecto puede ser encontrado en: [https://github.com/ZamaxCode/Chiton\\_Mundo\\_De\\_Senias](https://github.com/ZamaxCode/Chiton_Mundo_De_Senias)

## Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

Para el proyecto utilizamos Unity que es un motor de videojuegos multi-plataforma que trabaja con el lenguaje C# [14] por lo que este es el lenguaje principal que estuvimos manejando. Para el funcionamiento de la red neuronal, utilizamos Python ya que es el lenguaje usado mayoritariamente para este tipo de aplicaciones.

Para la base de datos utilizamos Mysql y en la base de datos se manejan y almacenan datos de usuario, historial de juego, estadísticas para la mejora del diseño y aprendizaje de la red neuronal utilizada.



Fig. 14. Arquitectura del sistema.

En cuanto a la metodología de trabajo, se decidió trabajar utilizando Scrum, ya que esta, al ser del grupo de metodologías ágiles, nos brindaba una mayor comunicación y productividad durante el desarrollo del proyecto [15]. Además de que todos los miembros del equipo ya estábamos familiarizados con esta metodología y nos resultaba más cómodo trabajar de esta manera.

## **Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

Una de las mecánicas de combate del juego es que para poder atacar tienes que realizar correctamente la seña que se pide frente a la cámara, por lo que para esta tarea lo ideal es utilizar un algoritmo de reconocimiento de imágenes. Para esta tarea la opción ideal es utilizar redes neuronales convolucionales, ya que estas son ideales para el reconocimiento de objetos en imágenes, puesto a que realizan un reconocimiento de la imagen de manera seccionada aplicando filtros hasta encontrar algún patrón conocido, y algunos de estos modelos permiten localizar más de un objeto a la vez, por lo que se reduce el error de que solo esté detectando y mostrando el objeto con mayor coincidencia. Para la implementación de este se utilizó el modelo SSD MobileNet y el *framework* de TensorFlow, al cual se le tuvieron que hacer modificaciones a sus funciones de detección de objetos para que nos dieran los resultados que nosotros necesitábamos. La ventaja de usar un modelo ya existente de red neuronal es que evitamos el haber invertido la mayor parte del tiempo del proyecto en el desarrollo de la arquitectura de la red, y en su lugar preferimos invertir el tiempo en realizar varios entrenamientos diferentes hasta encontrar una configuración óptima y que nos permitió reconocer las señas que necesitábamos para el videojuego.

## **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Se utilizó un sistema concurrente en el cual el juego y el procesamiento de la imagen por la red neuronal se ejecutan concurrentemente, debido a que el procesamiento de imágenes puede tomar tiempo y memoria.

Para el envío de información e inicio de sesión de los usuarios se utilizó un modelo cliente servidor, usando un servidor virtual privado. Los datos e imágenes se envían y reciben de forma no persistente desde el juego a través de peticiones HTTPS al servidor y se cargan a la base de datos. Se eligió hacerlo de esta forma ya que las peticiones web realizadas de esa manera, son más seguras ya que están encriptadas y no es necesario poner las credenciales de la base de datos directamente en el juego, por lo que las operaciones de almacenamiento y lectura dependen del servidor.

#### IV. Resultados obtenidos del proyecto

Logramos generar un programa capaz de reconocer señas por medio de una red neuronal convolucional entrenada por un set de imágenes propio. Fuimos capaces de establecer comunicación entre este programa y el motor de videojuego Unity, para su integración.

El servidor privado virtual fue configurado de manera exitosa y añadida la base de datos correspondiente para el almacenamiento de la información por parte del usuario. De forma inmediata también conseguimos realizar la conexión entre el videojuego y el servidor, logrando que el usuario fuera capaz de hacer *log in* y almacenar progreso y señas realizadas correctamente con el fin de mejorar la red neuronal posteriormente.

Se creó un videojuego 2D en la plataforma Unity de rol interactivo. Este videojuego constó de varios sprites actuando como enemigos, un personaje principal e items otorgados por haber concluido exitosamente las prácticas de las señas, así como un jefe final cuyo objetivo era que el usuario pusiera en práctica todo lo aprendido a lo largo del nivel.

En conjunto y de manera general, creamos un videojuego con reconocimiento de imágenes usando una red neuronal convolucional para practicar y aprender lengua de señas mexicana de una forma didáctica y entretenida.

#### V. Conclusiones y trabajo a futuro

Logramos implementar un juego 2D de rol para aprender la lengua de señas mexicana, brindando una experiencia amigable y práctica para todas las edades que disfruten de los videojuegos acercándolos un poco más al lenguaje de señas.

El reconocimiento de señas con la red neuronal convolucional fue satisfactorio ya que el entrenamiento con un *dataset* propio nos permitió tener un alto nivel de reconocimiento con un margen de error aceptable.

El videojuego creado en formato 2D con el género de rol, presenta una forma novedosa para la enseñanza de la lengua de señas mexicana, de la cual no hay registro de un método similar con estas características, ya que nuestro juego únicamente requiere de un equipo de cómputo con requeri-

mientos de procesamiento poco exigentes y cámara web. En contraste, los encontrados requieren de dispositivos que no son accesibles para todos.

Como trabajo para el futuro, nos planteamos realizar el reconocimiento de las señas con movimientos complejos, también involucrar expresiones faciales que son parte de apoyo para entender de mejor manera la lengua de señas. Además, nos planteamos agregar y crecer el juego con más niveles, dificultad e interacción, haciéndolo más atractivo para los usuarios.

### **Reconocimientos**

Agradecemos a nuestros compañeros Arturo Vithe, Pablo Villarreal y Hugo Gómez, por su apoyo y mentoría con Unity.

## Referencias

- [1] “Discapacidad”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/temas/discapacidad/> [Accedido el 16 de agosto de 2022].
- [2] “Lenguas de señas en México, SIL México”. SIL México A.C. Disponible en: [https://mexico.sil.org/es/lengua\\_cultura/lenguas-de-señas-en-méxico](https://mexico.sil.org/es/lengua_cultura/lenguas-de-señas-en-méxico) [Accedido el 24 de agosto de 2022].
- [3] O. Sacks, *Veo una voz. Viaje al mundo de los sordos*. Barcelona: Anagrama, 2006.
- [4] “COPRED llama a visibilizar e incorporar de manera cotidiana la Lengua de Señas Mexicana”, Consejo para Prevenir y Eliminar la Discriminación de la CDMX. Disponible en: <https://copred.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/copred-llama-visibilizar-e-incorporar-de-manera-cotidiana-la-lengua-de-senas-mexicana> [Accedido el 26 de agosto de 2022].
- [5] J. Bonilla Carranza, J. Casillas y A. Peña Pérez Negrón, “A serious game to support comprehension reading in elementary school students”. 31. 49-63, 2021.
- [6] C. Rojas Rusinque, L. Gómez Sánchez y M. Guarnizo Pinto, “Los videojuegos como objetos desarrolladores de aprendizaje”, Tesis de Maestría, Educación, Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia, 2015.
- [7] D. Potrus, “Swedish Sign Language Skills Training and Assessment,” Dissertation, 2017.
- [8] J. Lulong Salomons, “A Mobile Language Learning Application: Learn To Sign”, [En línea]. Master of Science, VU University, Amsterdam, 2016. Disponible en: [http://www.victordeboer.com/wp-content/uploads/2016/08/Thesis\\_Juli aSalomons.pdf](http://www.victordeboer.com/wp-content/uploads/2016/08/Thesis_Juli%20aSalomons.pdf) [Accedido el 18 de agosto de 2022].
- [9] E. Cuecuecha Hernández et al., “Sistema de reconocimiento de vocales de la lengua de señas mexicana”, 2018.
- [10] J. A. García Mejía, G. González Hernández, J. F. García Mejía, L. A. Tinoco Monroy y J. Moreno Jiménez, “Modelado e implementación de un sistema de enseñanza de Lenguaje de Señas Mexicano”, CIEN-



- CIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva [en línea], vol. 14, núm. 2, 185-190, 2007. Disponible en: <https://www.re-dalyc.org/articulo.oa?id=10414209> [Accedido el 31 de agosto de 2022].
- [11] I. Estrada-Cota, M. A. J. A. Carreño-León, Sandoval-Bringas y A. A. Leyva-Carrillo, “Herramienta para la enseñanza – aprendizaje de lengua de señas mexicana para niños de edad preescolar”, *Tecnología Educativa Revista CONAIC*, vol. 8, núm. 1, 91–95, 2021.
- [12] M. E. Serafín de Fleischmann y R. González Pérez, “Manos con voz diccionario de lengua de señas mexicana”. CONAPRED. Disponible en: [https://www.conapred.org.mx/documentos\\_cedoc/DiccioSenas\\_ManosVoz\\_ACCSS.pdf](https://www.conapred.org.mx/documentos_cedoc/DiccioSenas_ManosVoz_ACCSS.pdf) [Accedido el 14 de julio de 2022].
- [13] GitHub, Inc. “GitHub Student Developer Pack”. GitHub Education. <https://education.github.com/pack> [Accedido el 19 de julio de 2022].
- [14] Unity Technologies, “Unity - Manual: Manual de Unity”. Unity - Manual: Unity User Manual 2020.3 (LTS). Disponible en: <https://docs.unity3d.com/es/530/Manual/UnityManual.html> [Accedido el 3 de septiembre de 2022].
- [15] K. Schwaber y J. Sutherland, “La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego”. Scrum Guides. Disponible en <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/Scrum-Guide-ES.pdf> [Accedido el 3 de noviembre de 2022].

# Capítulo 5

---

## **Camaleón: Sistema de cámaras descentralizadas**

*Adrián Alejandro Dávalos Sánchez  
José Ángel Sevilla Varela  
Luis Donald García Castro  
Jorge Ernesto López Arce*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*adrian.davalos7443@alumnos.udg.mx  
jose.sevilla7478@alumnos.udg.mx  
luis.garcia2944@alumnos.udg.mx  
jorge.lopezarce@academicos.udg.mx*

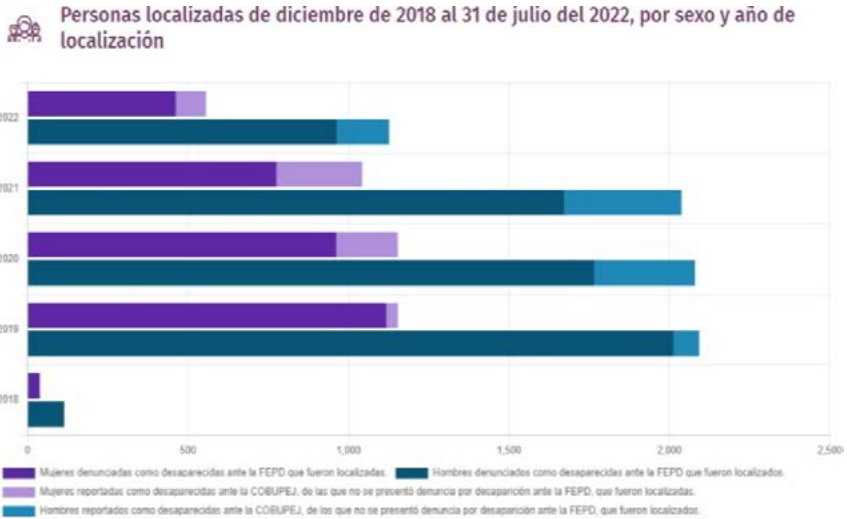
## Resumen

Camaleón encuentra sus raíces en las redes *peer-to-peer* y en los sistemas de seguridad con cámaras. El inventor del P2P fue Adam Hinkley en 1996. El primer programa con el sistema de comunicación P2P se llamaba Hotline Communications [1]. La mayoría de los sistemas de vigilancia actuales necesitan contar un CCTV [2], pero solo puede ser visto por un grupo determinado de personas.

Camaleón sistema descentralizado *peer-to-peer* desarrollado en Python, donde cada nodo funge como servidor web en el que se transmite la imagen en vivo múltiples cámaras. Las imágenes en el vídeo son analizadas para detectar cuando hay personas en cámara para posteriormente almacenarlas. Se analizan las imágenes con algunos datos, como son: fecha y hora, geolocalización y detalles del rostro. Se detecta si una misma persona aparece en múltiples cámaras para poder trazar una ruta de la misma. Como metodología de proyecto se utilizó Agile [3].

## I. Introducción

Un problema muy grave en México es la falta de evidencia con la que se vive todos los días cuando sucede algún crimen [4]. Esto afecta a todas las personas que compartimos espacios públicos dentro de nuestro país. Nuestro proyecto abre la posibilidad de trabajar en conjunto con las autoridades pertinentes para resolver casos delictivos. Gracias a que se llevará un registro de video en zonas públicas donde puedan suceder distintos percances donde no se puede encontrar al culpable.



2022 - Hasta el 31 de julio del 2022.  
 2018 - Del 01 de diciembre de 2018 al 31 de diciembre de 2018.  
 Fig. 1.1 Gráfica comparativa proporcionada por la COBUPEJ sobre personas desaparecidas por año en el estado de Jalisco.

Este proyecto aportará a los miembros de su comunidad una manera de participar en la seguridad de su entorno, sin la necesidad de una autoridad central ni a expensas de recursos públicos.

La seguridad pública es uno de los objetivos principales de nuestro sistema, sin embargo, el poder acceder a cámaras en tiempo real por todo el mundo abre la posibilidad de analizar imágenes por sectores y hacer otros estudios estadísticos y de clasificación de datos.

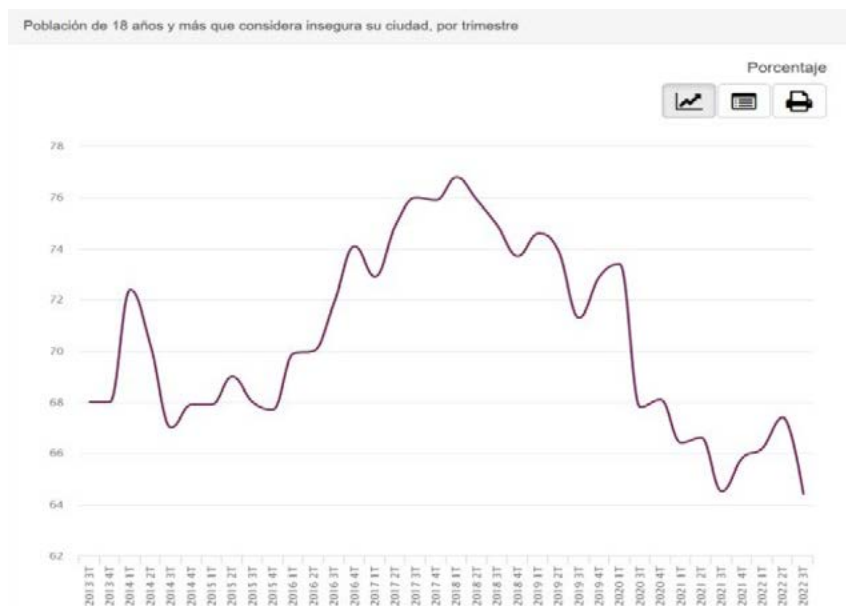


Fig. 1.2. Gráfica proporcionada por el INEGI sobre la percepción de la seguridad pública en México.

En México, más del 60 % de la población percibe su ciudad como un lugar inseguro para vivir, como se muestra en la figura 1.2, y a pesar de que puede parecer que los últimos años esta percepción ha ido en descenso, 60 % es un valor relativamente alto para una métrica que debería estar por los suelos si se quiere tener una vida digna.

Nosotros proponemos un sistema que provea a usuarios con cámaras alrededor del mundo con la ayuda de la gente que quiera participar en el proyecto compartiendo su cámara y su ubicación.

## II. Trabajos relacionados

### Webcamtaxi

Es una plataforma de *streaming* en vivo en alta definición [5]. Webcams de todo el mundo que darán la oportunidad de viajar en vivo y descubrir lugares lejanos.

<https://www.webcamtaxi.com/en/>

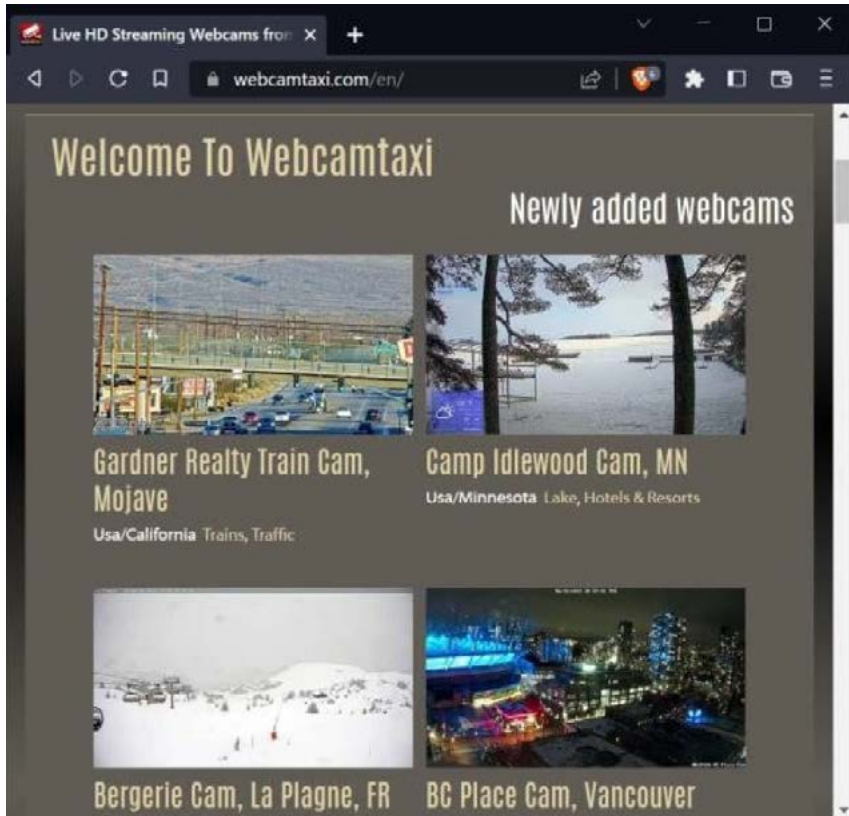


Fig. 2.1. Sitio webcamtaxi, página web que recopila múltiples streamings en vivo con lugares de todo el mundo.

## Insecam

Es un proyecto de internet donde un *software* se encuentra constantemente escaneando URL de transmisión de cámaras desprotegidas, consiguiendo así un conjunto de cámaras distribuidas por el mundo, proporcionando acceso a cualquier usuario que quiera visualizar estas [6].

<http://www.insecam.org/>

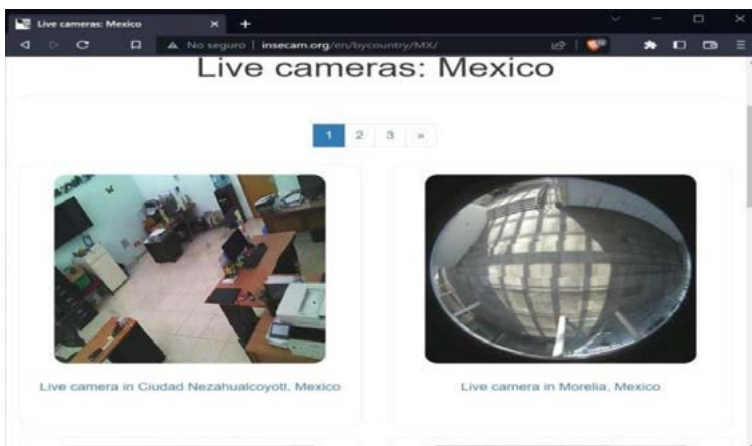


Fig. 2.2. Sitio Insecam, página web que recopila múltiples *streamings* en vivo de cámaras sin algún tipo de seguridad utilizando sniffers internet.

## EarthCam

Es un proveedor de contenido de webcams, tecnología y servicios, consistiendo en transmisión de video en vivo, cámaras en un lapso de tiempo y cámaras de 360° para clientes corporativos y agencias gubernamentales en ciudades grandes alrededor del mundo [7].

<https://www.earthcam.com/>

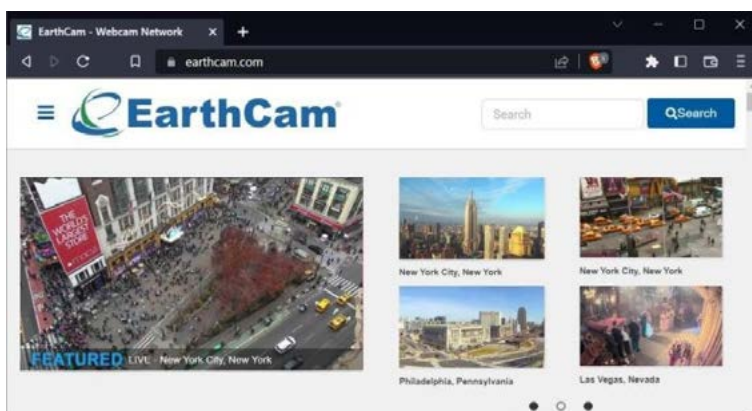


Fig. 2.3. Sitio EarthCam, página web que ofrece servicios de *streaming* en vivo con cámaras alrededor del mundo con paisajes muy llamativos.

## Skyline webcams

Otro proveedor de *streaming* de webcams alrededor del mundo, con calidad de alta definición y cámaras en sitios públicos con mucho transito de gente.

<https://www.skylinewebcams.com/>

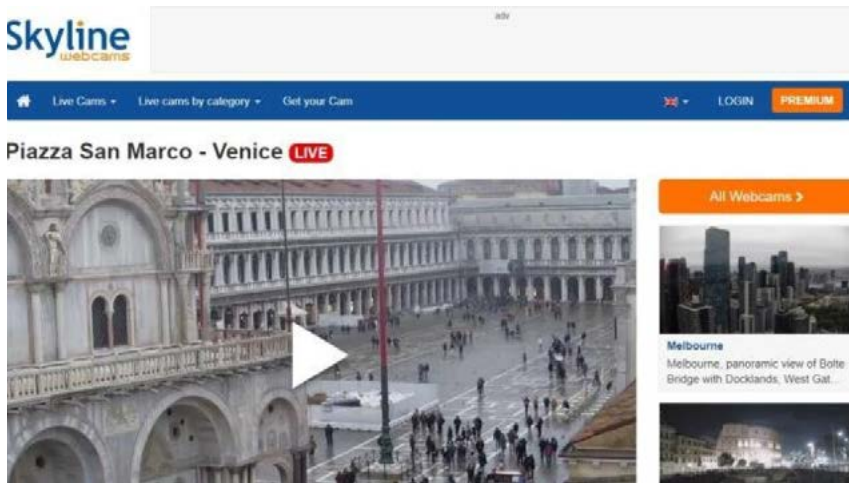


Fig. 2.4. Skyline webcams proveedor de servicios de streaming HD de localizaciones internacionales en vivo.

### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

Como metodología de proyecto utilizamos Agile.

- Definimos roles de Team Member y Scrum Master.
  - Los tres integrantes conformamos todo el equipo de desarrollo y al ser nuestro propio proyecto dejamos de lado un Product Owner.
  - El rol de scrum master también era atendido de manera grupal.
- Tenemos juntas alrededor de tres veces a la semana. En estas definimos los requerimientos, creamos y organizamos las tareas.
- Las tareas fueron repartidas de acuerdo de las habilidades de cada integrante, utilizando la Plataforma ClickUp para la asignación de tiempos y tareas.



- Pair Programming. Sesiones de desarrollo en grupo en donde trabajamos en las tareas mientras nos comunicamos vía Discord, compartiendo pantalla y chat de voz.
- Hicimos *sprints* de 2 a 3 semanas.
- Antes de terminar el *sprint* hacemos un breve *preview* de las tareas principales y algunos test. Posteriormente *commit* y *push* a nuestro repositorio privado: <https://github.com/OcaOcaD/xerver-camaleon>.



Fig. 3.0 Diagrama de Gantt mostrando actividades iniciales relacionadas al desarrollo del proyecto.

### Requerimientos funcionales:

1. El sistema asegurará que los nodos en la red sean capaces de conectarse entre sí.
2. Los nodos podrán retransmitir, por lo menos, una cámara de video.
3. El sistema detectará la desconexión de un nodo y lo manejará correctamente, haciendo saber a los demás nodos acerca de su desconexión.
4. El sistema permitirá su personalización desde un archivo de configuración.
5. El sistema reconocerá rostros de personas vistas a través de las cámaras con las que cuente el nodo.
6. El sistema permitirá realizar la búsqueda de una persona, transmitiendo una fotografía de esta por toda la red.
7. El sistema mostrará la ubicación, fecha y hora de la persona buscada, en caso de ser encontrada.
8. El sistema contará con un sistema de mensajes para entender las instrucciones que envía cada nodo.
9. Los nodos manejarán correctamente los mensajes recibidos, ejecutando las instrucciones que se les pide, contenidas en el mensaje.

10. El sistema manejará correctamente las peticiones http del servidor web, enviando un código de respuesta http estándar que pueda ser interpretado por el cliente dependiendo del estatus de este.

Requerimientos no funcionales:

1. El sistema contará con una interfaz web que mostrará la información de los nodos conectados a la red.
2. El sistema contará con un mapa que mostrará la ubicación de cada uno de los nodos para poder acceder a cada uno de estos.
3. El sistema contará con una interfaz para subir una fotografía para buscar a una persona.
4. El sistema contará con una interfaz donde se enlistan todas las ubicaciones donde fueron encontradas personas, enlistando todas las apariciones en múltiples cámaras en caso de haber aparecido.
5. El sistema contará con una interfaz para visualizar las cámaras con las que cuenta cada nodo, mostrando el nombre que se le asignó a cada una de estas, además de su ubicación.
6. El sistema de mensajes será mantenible y escalable, la adición o sustracción de una instrucción/comando no tendrá impacto en el funcionamiento de los mismos.
7. El sistema de mensajes será escalable a nivel de los nodos, la adición o sustracción de un nodo no cambiará de manera significativa la complejidad ni la velocidad a la que funciona el sistema.
8. El sistema deberá de tener un tiempo de respuesta razonable, de cómo mucho un segundo, mismo tiempo que dependerá del ancho de banda y la distancia a la que se encuentran los nodos.
9. Los nodos tolerarán fallas de conexión, sin perjudicar a otros nodos cuando sufra de estas.
10. El sistema permitirá una configuración sencilla para usuarios nuevos, proporcionando un archivo de configuración con los mínimos parámetros necesarios para poder hacerlo funcionar.
11. El sistema será multiplataforma, funcionará independientemente del sistema operativo en el que se esté ejecutando.

Pruebas realizadas:

- Conectar la cámara a través de la red y recibir el *stream* con Python.
- Realizar conexión entre dos o más nodos y verificar que se pueden encontrar en la red.
- Verificar que sea correcta la lista de clientes conectados a la red cuando se conecta un nuevo nodo.
- Enviar un mensaje “Hola, mundo” por la red y verificar que sea recibido y mostrado correctamente en todos los nodos.
- Enviar mensaje y comprobar funcionalidad del comando RecibirUbicacion.
- Enviar mensaje y comprobar funcionalidad del comando EnviarUbicacion.
- Enviar mensaje y comprobar funcionalidad del comando RecibirClientesConectados.
- Enviar mensaje y comprobar funcionalidad del comando EnviarClientesConectados.
- Enviar mensaje y comprobar funcionalidad del comando BuscarCara.
- Enviar mensaje y comprobar funcionalidad del comando RetornarCaraEncontrada.
- Subir fotografía de persona por medio del servidor web y verificar que los demás nodos tengan acceso a esta para poder almacenarla.
- Llamar endpoint obtener\_ubicacion para obtener la ubicación del nodo al que se realiza la solicitud.
- Llamar endpoint obtener\_ubicacion\_todos y verificar que todas las ubicaciones obtenidas sean correctas.
- Llamar endpoint obtener\_stream para almacenar las direcciones de retransmisión de las cámaras del nodo al que se realiza la solicitud y que se muestre correctamente en el navegador.
- Llamar endpoint obtener\_caras\_encontradas y ver que se muestran correctamente en una tabla en la interfaz del navegador.
- Llamar endpoint subir\_fotografia y revisar manualmente del lado de los nodos que la fotografía haya sido correctamente subida.
- Correr flujo completo para búsqueda de personas, enviando una imagen por toda la red y comprobar que el resultado sea el esperado, “encontrado” en caso de que así lo sea y “no encontrado” en caso contrario.

- Utilizar el mismo flujo en plataforma Windows.
- Utilizar el mismo flujo en plataforma Linux.

Para el desarrollo y planeación de las interfaces, se utilizó la herramienta Figma, donde los integrantes teníamos discusiones y colaboramos en conjunto para diseñar la interfaz gráfica, semanalmente teníamos reuniones y decidimos qué componentes nuevos se iba a desarrollar durante el transcurso de la semana, posteriormente, opinamos y volvíamos a planear si era necesario o pasamos al siguiente componente si consideramos terminado el anterior.

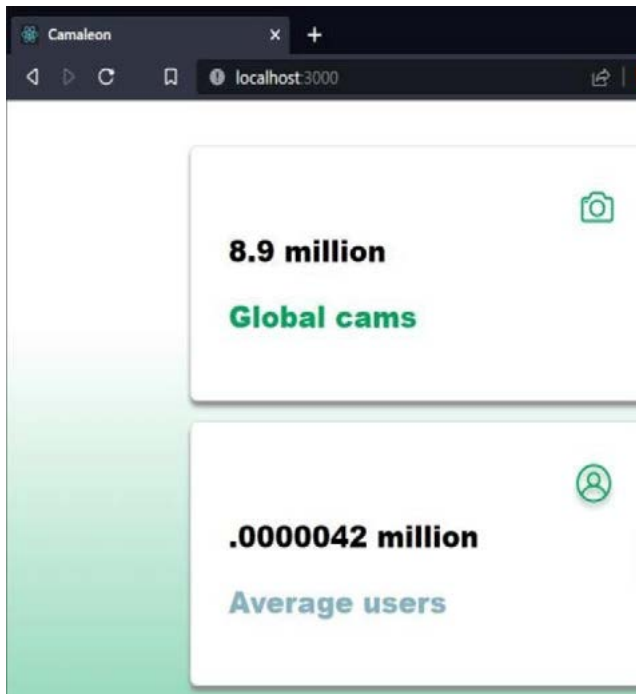


Fig. 3.1. Interfaz gráfica diseñada previamente en Figma y desarrollada posteriormente en HTML.

Respecto a las técnicas para el desarrollo. Investigamos qué tecnologías serían de utilidad para implementar una red *peer-to-peer* [12] y elegimos crear los nodos o peers de la red usando Python, Flask y una librería llamada

p2p\_network, no solo implementamos dicha librería, también añadimos y sobrescribimos métodos a la clase principal que esta provee, “Nodo”, para poder realizar funciones básicas de nuestra red de cámaras descentralizada.

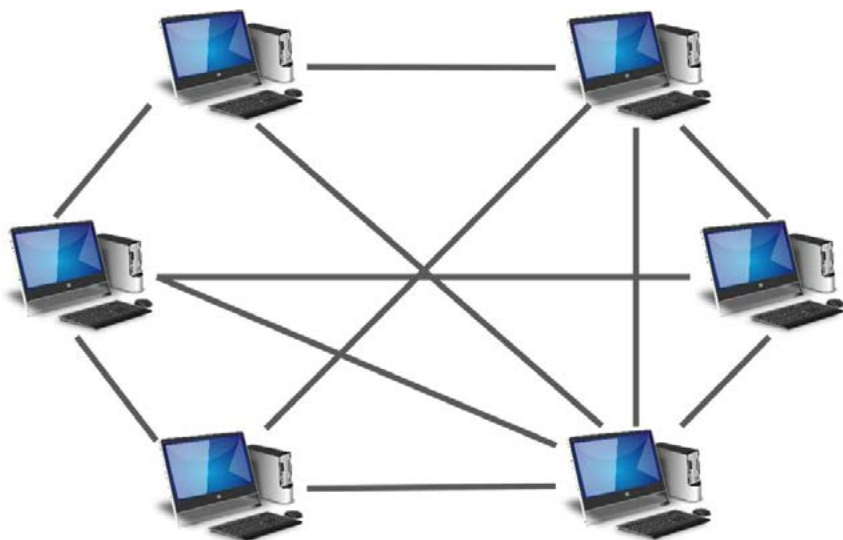


Fig. 3.2 Representación de cómo se encuentra interconectada una red peer-to-peer.

Se desarrolló un servidor web en Python utilizando el *framework flask* para hacer más eficiente el progreso del proyecto, ya que nos permite seguir una misma base de código para estar en sintonía como equipo.

Se desarrolló un segundo servidor web para servir archivos estáticos, puesto se codificó la retransmisión del video de un formato RTSP a un formato HLS para lograr que fuera compatible con navegadores de internet, ya que no es posible reproducir directamente en un reproductor de navegador utilizando el protocolo RTSP.

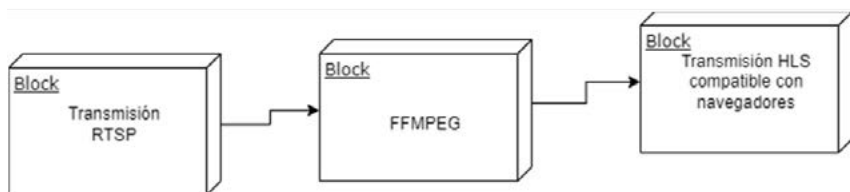


Fig. 3.3 Diagrama a bloques conversión de retransmisión RTSP a HLS.

Nuestra red peer-to-peer utiliza sóquets, cada cliente es un sóquet y cuando un nuevo cliente se intenta unir a la red, el cliente al que está conectado le envía una lista de clientes conectados para tener la máxima cantidad de clientes conectados entre sí.

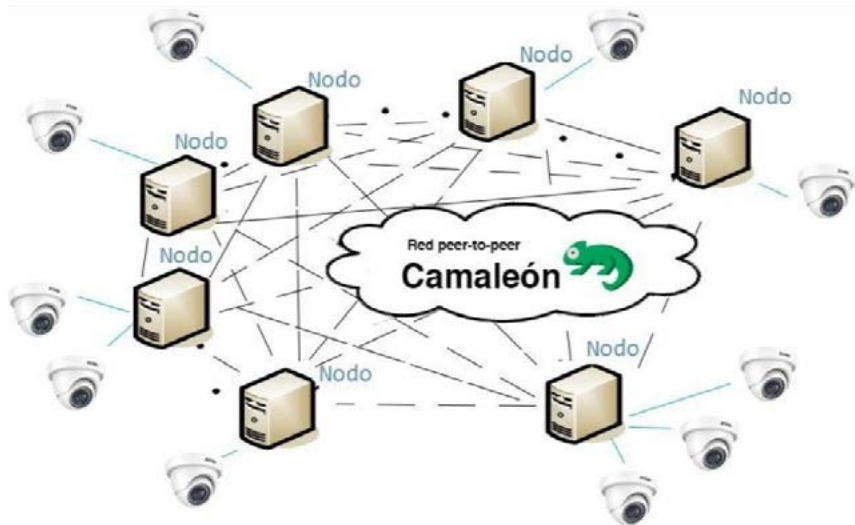


Fig. 3.4. Representación de la red *peer-to-peer* camaleón. Cada Nodo puede tener una o varias cámaras que transmiten a los demás nodos.

Cada cliente cuenta con mínimo una cámara que cuente con URL de algún protocolo de retransmisión de vídeo en red, tal como RTSP o HLS [11]. Estas cámaras pueden ser compradas en internet (como la que se muestra en la figura 3.3) o incluso utilizar un dispositivo smartphone como cámara en red.



Fig. 3.5. Ejemplo de cámara IP que podría ser utilizada por los clientes.

Para agregar un nodo tenemos que registrarlo en la red, y por lo tanto compartir con todos los demás nodos la información básica del nodo por medio de un objeto JSON transmitido por la red. Cada nodo que entra actualiza el directorio de todos los otros nodos.

En cuánto al funcionamiento de los mensajes en red, se implementó una clase ‘Comando’ de la cual heredan todos los comandos para saber qué hacer cuando se recibe cada mensaje, utilizando el patrón de diseño “Command” [10].

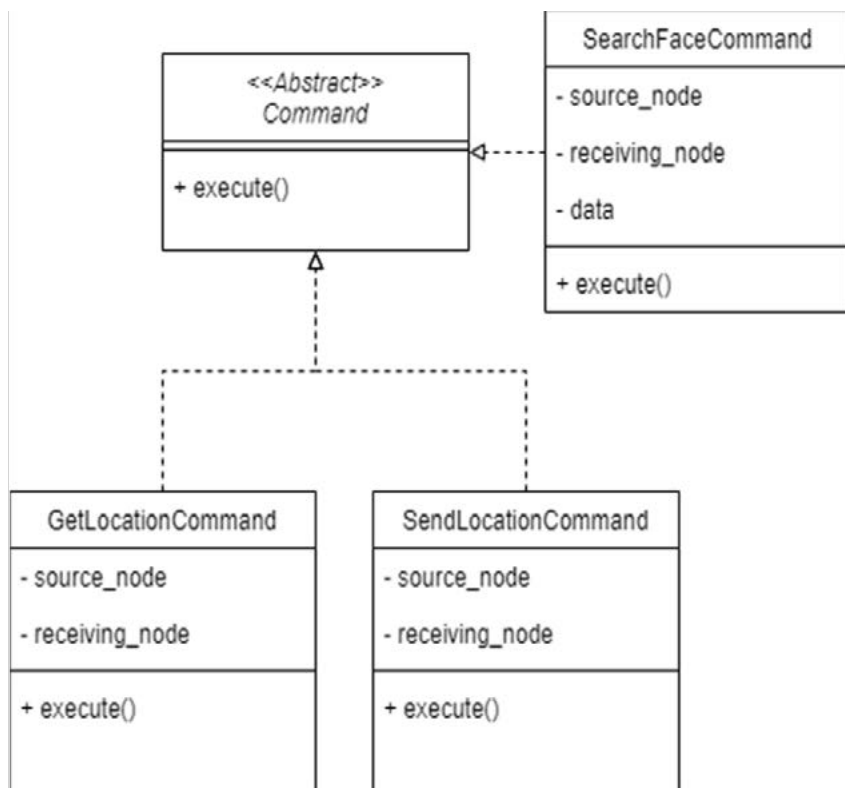
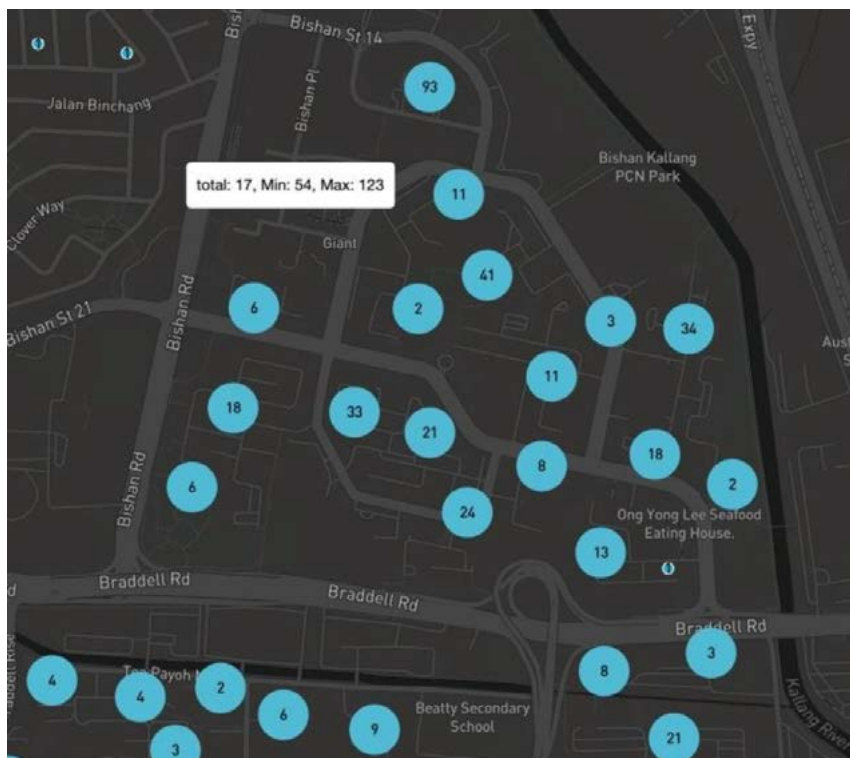


Fig. 3.6. Diagrama de clases del manejo de mensajes en la red mediante el patrón de diseño Command.

Con el propósito de tener registro de los nodos a los que se ha conectado durante una sesión y poder contar con persistencia de estos, se implementó una base de datos ligera SQLite [8] que se encuentra de manera local en cada cliente, esto ayuda en caso de que exista una desconexión por parte del cliente, pueda intentar reconectar con todos los nodos conocidos, funcionando así como una especie de servidor DNS a sí mismo.

La geolocalización de cada cliente es utilizada para crear un mapa con las ubicaciones de cada cámara, creando así un mapa interactivo en el cual, al hacer clic en alguna ubicación marcada, nos dirige al servidor de ese cliente para poder acceder a alguna de sus cámaras y visualizar lo que se retransmite, la localización también sirve para que, en el dado caso de que un cliente haya encontrado una coincidencia con los rasgos de una persona buscada, esta ubicación sea retornada al cliente que lo solicitó.





Todas estas herramientas se encuentran empaquetadas como un solo programa para facilitar la distribución en un repositorio de github y que los clientes que quieran unirse lo puedan hacer de una manera sencilla.

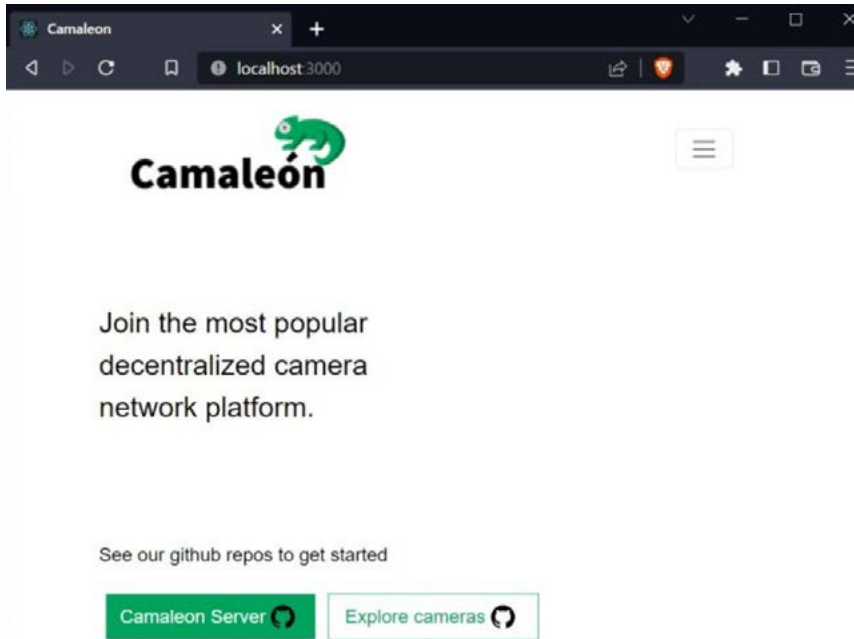


Fig. 3.8. Página de inicio de Camaleón con los enlaces necesarios para descargar el software.

## Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

Para el módulo de arquitectura y programación de sistemas se definen las siguientes tecnologías: Lenguajes de programación, JavaScript para el frontend de la página web, utilizando la librería de React. Python para el servidor web, la creación y funcionamiento de la red *peer-to-peer*, el API rest encargada de la comunicación entre el servidor *front-end* y el servidor *back-end* y finalmente el software de codificación de audio y vídeo FFMPEG para transformar el *streaming* de video de la cámara a un formato compatible con el navegador.

## Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes

Para la parte de sistemas inteligentes, se analizaron las imágenes en dos etapas, la primera, en la que se analizaron y almacenaron las imágenes que contenían rostros de personas, obtenidas mediante las cámaras; y la segunda, donde se implementó reconocimiento facial para poder comparar la fotografía compartida de la persona con todas las imágenes almacenadas por todos los nodos y poder dar un resultado certero de dónde había sido avistada la persona, si es que coincidía con alguna de las imágenes capturadas. En ambas partes del reconocimiento facial se utilizó un clasificador de cascada de Haar [16].

## Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos

Para el módulo de sistemas distribuidos, se creó una red *peer-to-peer* en la que cada usuario que quiera participar en la red pueda unir como un nodo, compartiendo sus recursos como servidor web y sus cámaras IP disponibles. Todos los nodos tienen conocimiento de los demás nodos, además de que conocen su ubicación geográfica, esto con el objetivo de tener un mapa donde se pueda saltar de un nodo a otro con solo un clic, además, si un usuario utiliza la función de seguimiento a personas, la información de la persona seleccionada se transmite a través de todos los nodos utilizando un sistema de mensajes creado por nosotros.

## IV. Resultados obtenidos del proyecto

Se creó una red *peer-to-peer* donde todos los nodos transmiten en vivo vídeo. Gracias a los vídeos en toda la red se recopilaron gran cantidad de imágenes e información para lograr el reconocimiento facial. Gracias a esto fue posible buscar personas, siempre y cuando hayan aparecido en alguna de las cámaras de camaleón.

Se empaquetó nuestro software de manera que fuera fácilmente descargado por quien quiera participar en la red solo descargara el archivo y siguiera unos simples pasos de instalación para configurar las cámaras que integra a la red.

Se realizaron pruebas en tiempo real con personas que prestaron sus servicios para nuestro ensayo, en el cual la persona apareció dentro de alguna de las múltiples cámaras conectadas a la red, posteriormente se nos compartió una fotografía de dicha persona y fue subida a uno de los clientes de la red, esta foto fue distribuida correctamente a través de todos los nodos y fue encontrada en la cámara que logró visualizarlo.

Los resultados obtenidos nos parecieron satisfactorios para nuestra solución planteada, ya que en las pruebas realizadas se obtuvo el desenlace que esperábamos y logramos cumplir los objetivos, encontrando personas desaparecidas durante el ensayo y con más adopción del proyecto, posible personas desaparecidas en la vida real.

Para la comprobación del funcionamiento y los resultados del proyecto, se realizó una demostración utilizando la función de búsqueda de personas que integramos en el proyecto. Esta función se propone que solo sea visible para autoridades que tengan la competencia adecuada para realizar este tipo de búsquedas y posean esa información.



Fig. 4.1 Interfaz de búsqueda de persona desaparecida.

La demostración se realizaba con nosotros utilizando una cámara que se encontraba apuntando a un lugar cercano, siempre que detectaba un rostro tomaba una captura y se guardaba en la base de datos. Cuando la acción de búsqueda se activaba, nuestro algoritmo comparaba con una foto de nuestro compañero que nosotros subíamos.

Match found!

Location	Date	Camera ID	Latitude	Longitude
Guadalajara, Mexico	21-12-2021 20:30	Frontyard	34.243158	-118.499342

Figura 4.2 Tabla de resultados después de una búsqueda.

Una vez encontrada la persona, el match nos regresaba en forma de tabla la fecha donde se encontró la persona, localización y coordenadas exactas de este.



Los Angeles, California



Fig. 4.3. Vista de nuestra página al acceder a una cámara.

## V. Conclusiones y trabajo a futuro

Tomando en cuenta el problema de seguridad en México, este proyecto tiene el potencial de ser evidencia contundente para muchísimos casos de futuros delitos al presentar imágenes de personas implicadas [9], así como su localización a cierta fecha y hora.

Este es un sistema descentralizado que presenta la ventaja de la escalabilidad y estabilidad. Personas alrededor del mundo pueden unirse de ma-

nera masiva y no hay ningún servidor central que deba atender a todos los usuarios a la vez. Si un nodo se desconecta, los demás siguen manteniendo la red, no se presentan desconexiones totales.

Es importante destacar que este sistema no solamente puede ser usado para unirse a una sola red, sino que se pueden crear múltiples redes corriendo en paralelo que esperen la misma respuesta por parte de los nodos, de esta manera, se podría tener uno o más nodos que conectan dos redes entre sí, funcionando este nodo como un puente entre redes, el límite está en la capacidad de los nodos.

Es posible que surjan dudas acerca de los problemas de seguridad que puede presentar el proyecto, ya que puede pasarnos por la mente que el proyecto pueda ser utilizado para mal, ya que se tendría acceso a cámaras que funcionan 24/7 y termine por ayudar a criminales a aprender los hábitos de las personas. Por esto, nos planteamos construir una alternativa más segura, tal vez incluso proteger con contraseña alguna de las cámaras para otorgar acceso solamente a ciertas personas, como podrían ser autoridades o a los involucrados en el acontecimiento.

También algo que se podría considerar un problema y hay campo para trabajar, es en el aspecto es el tema del almacenamiento de fotografías que se estén tomando por las cámaras, ya que en un lugar altamente transitado, podría estar tomando muchas fotos en un lapso de tiempo muy corto, teniendo como consecuencia muchas fotografías ocupando espacio del nodo. Ya que este requerimiento no se encontraba dentro de los objetivos de nuestro proyecto, no se trató a profundidad, pero algunas de las soluciones que se nos presentaron fue establecer una política de eliminación de fotografías después de determinado tiempo, o incluso habilitar la opción de subir las fotografías de cada nodo a un servidor central, teniendo esto último solamente como una opción más que algo de carácter forzoso.

También se podría buscar a futuro utilizar inteligencia artificial para el análisis y procesamiento de fotos para clasificar las fotos repetidas, fotos que no se distinguen y así tratar de aligerar la carga de datos.

Por último, nos gustaría que a futuro a medida que crezca la red también se pudiera expandir el equipo de quienes trabajan en el sistema, lo ideal sería seguirlo desarrollando con autoridades competentes y financiamiento gubernamental, ya que la escala de este proyecto puede influenciar

lo suficiente en materia de seguridad, apelando a la búsqueda de personas desaparecidas, ya que si se pudiera acceder a cualquier tipo de cámaras o sistemas de seguridad pública, este sistema requeriría mejorar su infraestructura.

### **Reconocimientos**

Este proyecto fue enteramente desarrollado por el equipo de Camaleón y guiado por el profesor Jorge Ernesto López Arce.

## Referencias

- [1] B. Edwards. *Hotline revisited: The early internet*. Macworld. Disponible en: <https://www.macworld.com/article/220650/hotline-revisited.html> [Accedido el 30 de agosto de 2022].
- [2] Diario de Tarragona. *La importancia de contar con cámaras de vigilancia*. [www.diaridetarragona.com](http://www.diaridetarragona.com). Disponible en: <https://www.diaridetarragona.com/patrocinado/la-importancia-de-contar-con-camaras-de-vigilancia-20190416-0006-DRDT201904160006> [Accedido el 30 de agosto de 2022].
- [3] Salesforce Latinoamérica. *Qué son las metodologías ágiles y cómo pueden ayudar a tu equipo*. Blog de Salesforce. Disponible en: <https://www.salesforce.com/mx/blog/2021/12/que-son-metodologias-agiles-y-como-pueden-ayudar-a-tus-equipos-de-trabajo.html> [Accedido el 8 de octubre de 2022].
- [4] P. Martínez. *La paradoja de la impunidad: el culpable, libre; el inocente, paga*. Magis. Disponible en: <https://magis.iteso.mx/nota/la-paradoja-de-la-impunidad-el-culpable-libre-el-inocente-paga/> [Accedido el 8 de octubre de 2022].
- [5] Webcamtaxi. *Would you like to travel the world? Webcamtaxi takes you there!* Webcamtaxi. Disponible en: <https://www.webcamtaxi.com/en/> [Accedido el 8 de octubre de 2022].
- [6] Insecam. *Live cameras directory*. Insecam. Disponible en: <http://www.insecam.org/> [Accedido el 8 de octubre de 2022].
- [7] Earthcam. *Earthcam*. Webcam network. Disponible en: <https://www.earthcam.com/> [Accedido el 8 de octubre de 2022].
- [8] Apache Foundation. *About SQLite*. SQLite. Disponible en: <https://www.sqlite.org/about.html> [Accedido el 11 de octubre de 2022].
- [9] M. Bravo. *Videos y fotos tomados con celular ya pueden ser usados como evidencia en la Ciudad de México*. FayerWayer. Disponible en: <https://www.fayerwayer.com/2019/06/videos-fotos-celular-mexico/> [Accedido el 09 de octubre de 2022].
- [10] A. Shvets. *Command*. Refactoring and Design Patterns. Disponible en: <https://refactoring.guru/design-patterns/command> [Accedido el 1 de diciembre de 2022].



- [11] J. K. Nurminen, A. J. Meyn, E. Jalonen, Y. Raivio, y R. G. Marroero, “P2P media streaming with HTML5 and WebRTC”, 2013 IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs), pp. 63-64, IEEE, 2013. [Accedido el 10 de octubre de 2022].
- [12] J. Buford, H. Yu y E. K. Lua, *P2P networking and applications*. Morgan Kaufmann, 2009. [Accedido el 10 de octubre de 2022].
- [13] G. Hu, Y. Yang, D. Yi, J. Kittler, W. Christmas, S. Z. Li, y T. Hospedales, “When face recognition meets with deep learning: an evaluation of convolutional neural networks for face recognition”, en Proceedings of the IEEE international conference on computer vision workshops, pp. 142-150, 2015. [Accedido el 10 de octubre de 2022].
- [14] M. M. Kasar, D. Bhattacharyya y T. H. Kim, “Face recognition using neural network: a review”. International Journal of Security and Its Applications, vol. 10, núm. 3, 81-100, 2016. [Accedido el 10 de octubre de 2022].
- [15] J. D. Kelleher, *Deep learning*. MIT press, 2019. [Accedido el 10 de octubre de 2022].
- [16] Ezoic. *Detección de rostros, caras y ojos con Haar Cascade*. Cursos de Programación de 0 a Experto © Garantizados. [https://unipython.com/deteccion-rostros-caras-ojos-haar-cascad/#:~:text=La%20detección%20de%20objetos%20mediante,of%20Simple%20Features"%20en%202001](https://unipython.com/deteccion-rostros-caras-ojos-haar-cascad/#:~:text=La%20detección%20de%20objetos%20mediante,of%20Simple%20Features). [Accedido el 10 de octubre de 2022].

# Capítulo 6

---

## **SIPCi (Sistema inteligente para la protección del ciudadano)**

*Abreu Arreola Christofer Armando  
Ibarra Fong Cyndi Alejandra  
TadeoHernández Luis Enrique  
Jiménez Rodríguez Mario  
Morales Ramírez Thelma Isabel*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*christofer.abreu6131@alumnos.udg.mx*

*cyndi.ibarra1181@alumnos.udg.mx*

*luis.tadeo2056@alumnos.udg.mx*

*mario.jimenez@academicos.udg.mx*

*thelma.morales3416@academicos.udg.mx*

*Antecedentes:* Debido al incremento de actos delictivos en contra de la ciudadanía mexicana y la inseguridad generada en el país, se creará un botón de emergencia para alertar a ciudadanos del peligro y una aplicación para recopilación de datos de zonas inseguras.

*Métodos:* Para la realización de este proyecto utilizamos dos tipos de metodologías: Prototipo y Diseño Rápido de Aplicaciones o RAD. Se utiliza la metodología de RAD para que la aplicación sea vista como si fuera un borrador o un diseño beta, el cual con el *feedback* o retroalimentación de los usuarios ayudarán en futuras actualizaciones. Por el lado de la metodología de prototipo ayudará a encontrar las fallas en el dispositivo físico, es decir, el botón de alerta que está diseñado para emitir una señal de alerta con sonido y envía una señal vía Bluetooth al dispositivo móvil del usuario. Para la configuración del botón físico, se hará uso de una Raspberry con una conexión Bluetooth, programada en Arduino para enviar señales al dispositivo móvil del usuario. Se contará con una base de datos compartida entre la aplicación móvil del usuario y una la inteligencia artificial, diseñada en MySQL soportado mediante un webhost. La aplicación móvil está diseñada en Android Studio. La aplicación cuenta con una inteligencia artificial (IA) en la nube, realizada con el método de Krigin en Python.

*Resultado obtenido del proyecto:* Se obtiene una aplicación móvil la cual es capaz de reconocer áreas peligrosas en ciertos puntos de la ciudad y mostrarlo a los usuarios por medio de un color:

- Rojo: peligro
- Amarillo: precaución
- Verde: seguro

Además de un botón (físico y virtual) que emite una señal auditiva de auxilio enviando una señal a los servidores web recopilando los datos de las zonas en las que el usuario se encuentra alimentando los datos de la IA.

*Conclusiones:* Encontramos la aplicación creada por el equipo muy viable para futuras actualizaciones dando parte como inicio de un proyecto más escalonado en el futuro.

## I. Introducción

En la actualidad, en materia de seguridad ciudadana, México atraviesa una de sus peores crisis con respecto al índice de criminalidad en el país. Es por eso por lo que como ciudadanos que atravesamos estas problemáticas como parte de nuestra vida diaria decidimos crear una aplicación móvil y un dispositivo electrónico de alerta para brindar al ciudadano que lo utilice una herramienta que le brinde apoyo y seguridad en sus diferentes trayectos a lo largo de su día a día.

Al contar con un dispositivo físico de alerta, genera un espacio seguro para el usuario ya que no solo alerta a las personas cercanas, sino que también generará información para consultar en cualquier momento del día sobre la situación de las zonas que frecuentan los diferentes usuarios.

## II. Trabajos relacionados

Actualmente para la mayor parte de los ciudadanos, ya sean hombres o mujeres, es indispensable el uso de algún tipo de herramienta de protección personal, los dispositivos que se encuentran actualmente en el mercado, en comparación con el que nuestro equipo desea implementar, solo emiten un sonido de alarma que pone en aviso al agresor emitiendo un sonido de agudo de 130 db lastimando los oídos del agresor.

### A. Tipos de alarmas en los que se basó el proyecto

Uno de los múltiples dispositivos en los que nos basamos para la realización del proyecto fue el AirTag de Apple, el cual se conecta vía Bluetooth. Enviando una señal segura que puede ser detectada por dispositivos cercanos en la red de la app “Encontrar” (disponible solo para dispositivos Apple). A su vez, estos dispositivos envían la ubicación del AirTag a iCloud, para que sea posible verla en un mapa desde la app “Encontrar”. También es configurable para encontrar los objetos con un sonido que emite el dispositivo para facilitar la ubicación de estos.

Al notar que la mayoría de los dispositivos de alarmas de emergencias solo funcionan emitiendo un sonido de máximo 130db, las cuales se activan solo cuando se quita el pequeño seguro en forma de llavero con el

que cuenta el dispositivo y solo se puede apagar una vez que es colocado nuevamente en su lugar.

## **B. Modificaciones respecto a los productos que se encuentran en el mercado**

A diferencia de los productos ya mencionados en la parte superior del documento, nuestro proyecto contará con la función de mapeo, el cual nos permite conocer las zonas de peligro en la que el usuario se encuentra, por cada vez que el botón es activado, ya sea por medio del control Bluetooth o por la aplicación móvil. Cada activación del botón enviará una señal al servidor que comparten el control y la aplicación la cual a su vez alimentara la IA que es la encargada de poder mapear la zona, siendo capaz de informar si una zona es segura, peligrosa o de precaución.

## **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

Este proyecto consta de diferentes pasos los cuales serán aclarados en los siguientes puntos. Para explicar mejor su desarrollo se dividirá en secciones: A) Bases de Datos y Servidores; B) Desarrollo de la IA; C) Elementos de programación y D) Unión de programas.

### *A. Bases de datos y servidores*

La base de datos está diseñada para guardar la ubicación de los usuarios donde fue utilizado el botón de pánico alimentando a su vez a la IA con estos datos.

Por el lado del servidor, se utilizó un servidor web gratis: webhost000. Al ser muy amable con los lenguajes de los programas que se manejan dentro del proyecto facilita más la implementación de todos en unión. El servidor contendrá a la base de datos la cual será llamada cada vez que sea necesario darle datos a la IA.

### B. Desarrollo de la IA

Para la implementación de la IA se tomaron en cuenta diferentes aspectos para poder calcular la ubicación del dispositivo, sin embargo, debido al tipo de metodología escogida, se decidió solo solicitarle a la base de datos la recopilación del lugar donde fue activada, utilizando el método de Kriging.

El método de Kriging, es un método de inferencia espacial, el cual nos permite estimar los valores de una variable en lugares no muestreados utilizando la información proporcionada por la muestra. Este método está planteado de manera que nos da el mejor estimador lineal no sesgado con una varianza mínima. Dicho de una manera más general, es un método geoestadístico que nos genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores  $z$ . Es decir, que se genera a partir de la siguiente ecuación:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Fig. 1. Fórmula matemática del algoritmo de Kriging.

Tabla 1. Definición de los elementos del Kriging

Símbolo	Definición
$Z(s_i)$	Es la representación en la ecuación de una ubicación dada por el cliente al oprimir el botón, ya sea desde la aplicación o el botón físico.
$\lambda_i$	Es un peso o una ubicación desconocidos que aún no ha sido mapeada por el equipo dentro de la <i>app</i> .
$S_0$	Es la ubicación estimada o posible mediante el entrenamiento que será ubicada y correctamente catalogada para una respuesta rápida del botón.
$N$	Es la cantidad de ubicaciones con las que ya ha sido entrenada la neurona mediante este método de mapeo.

### C. Elementos de programación

En esta sección se describe el funcionamiento que tiene cada lenguaje en nuestro proyecto, explicando su motivo de implementación en él.

Cada parte del proyecto está diseñado en un lenguaje de programación sin embargo entre ellos hay una facilidad de conexión, lo cual nos permite la unión de todas y cada una de ellas, es por eso por lo que se utilizó:

- 1) *Koltin para Android*: Esta es la versión mejorada de Java para implementarlo en sistemas Android. Este formato será utilizado para la implementación de la aplicación, es decir, lo que nosotros hemos denominado como nuestro botón virtual. Esta sección será la encargada de mandar la señal recibida del dispositivo móvil hacia nuestro servidor.
- 2) *SQL*: Será fundamental para la base de datos la cual se encuentra dentro del servidor web, aquí se guardará la localización de donde fue activada la señal del botón y esta alimentará a la IA.
- 3) *Python*: En este lenguaje se llevará a cabo el desarrollo de la IA, se decidió utilizar este lenguaje ya que nos facilita la implementación de los parámetros de la IA al querer mostrar el mapeo de las zonas.
- 4) *C++ de Arduino*: Este es el lenguaje encargado del funcionamiento interno del botón físico, el cual nos ayuda a que la señal pueda ser enviada y codificada por los dispositivos.

#### D. Unión de programas

Una vez que todos y cada uno de los sistemas funcionan por separado, se deben integrar para poder formar un solo sistema. Es por eso por lo que explicaremos más a detalle con un ejemplo aplicado. Si un usuario acciona el botón de emergencia, ya sea, desde el botón físico hasta el botón virtual (aplicación), enviando así la ubicación del usuario a la base de datos por medio del dispositivo móvil (botón virtual), la cual será codificada y guardada en una base de datos. Esta a su vez, extrae las coordenadas de donde fue activado el botón de emergencia, la información es guardada en un paquete de datos, que es la encargada de alimentar con datos en tiempo real a la IA con el algoritmo de Kriging, este funciona con los datos que marca la base de datos estimando el punto de la manera más precisa, obteniendo así donde fue activada la alarma marcándolo en el mapa como una zona de riesgo sumándolo a las demás veces que fue activada en un mismo punto, obteniendo así el mapeo de la zona.

Al tener una amplia gama de error en cada uno de los puntos desarrollados en el proyecto, el equipo investigó las diferentes metodologías que existen buscando la que más se adecua a nuestras necesidades. La metodología tipo prototipo, nos permitió jugar con los datos las veces que fueran

necesarias para lograr el resultado esperado. Al no tener una metodología tan rígida como es la de tipo cascada o las más comunes dentro de la metodología Scrum, nos ayudó a no tener que estar comenzando desde cero todo varias veces. Por el lado de la metodología RAD, se utilizará para tener retroalimentación por parte de los mismos usuarios, ayudando en futuras actualizaciones y detección de errores de la aplicación en el futuro.

Por parte de la IA, esta nos genera un mapeo de la zona según donde fue activado, por ejemplo, tomando en cuenta, datos aleatorios, es decir, diferentes puntos entre sí, entrenamos la IA, de manera que nos muestra las zonas en las que fue activado el botón.

Este a su vez nos manda la información al teléfono, así el teléfono a través de los colores del semáforo, ayuda a identificar las zonas de riesgo a través del municipio.

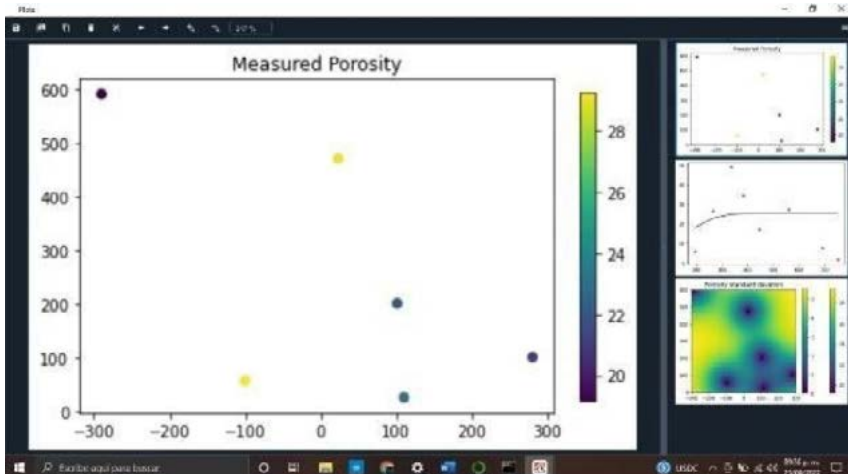


Fig. 2. Imagen de nuestro algoritmo en funcionamiento.

Fig. 3 es un ejemplo de como se ve la aplicación cuando nos encontramos en una zona de seguridad o de peligro mínimo y Fig. 4 nos presenta un ejemplo de una zona de riesgo moderada o de baja incidencia.

Esto no ayuda a saber con cuanta precaución se debe circular por la zona según el nivel de repeticiones que se da en el lugar.

En la Fig. 5 nos da un ejemplo de cómo alertaría una zona de alto peligro para los usuarios.



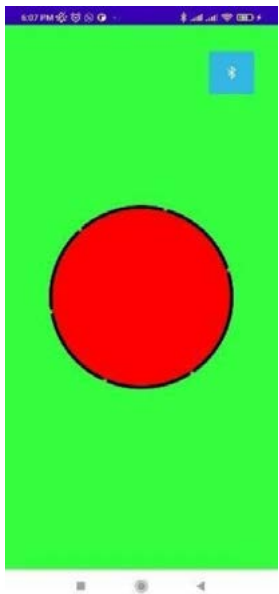


Fig. 3. Ejemplo de zona segura con botón activo.

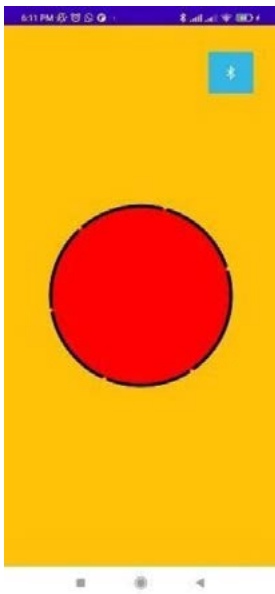


Fig. 4. Ejemplo de zona de precaución con botón activo.

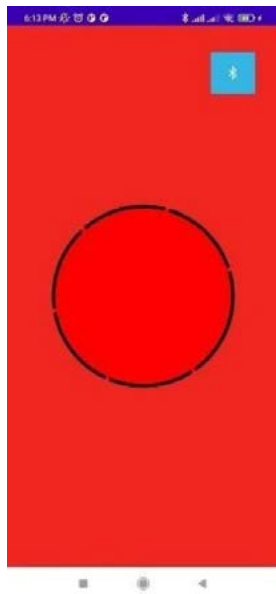


Fig. 5. Ejemplo de zona de peligro con botón activo.

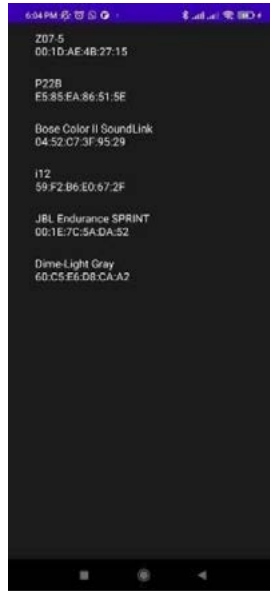


Fig. 6. Ejemplo de conexión Bluetooth a través de un celular.

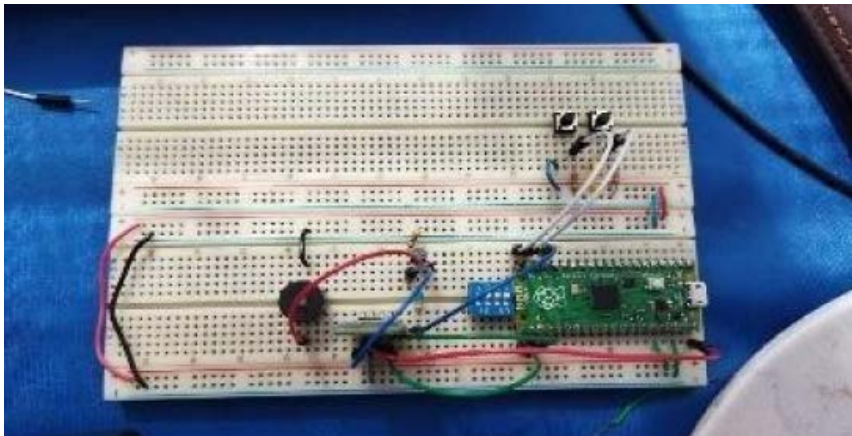


Fig. 7. Prototipo del dispositivo físico.

## **E. Justificación por Módulos del proyecto**

### *Módulo I. Justificación de Arquitectura y Programación de Sistemas*

Este módulo consta de una aplicación de celular la cual funciona como un botón de emergencia, incluyendo también un control que se conecta vía Bluetooth a los dispositivos los cuales mandaran una señal a la base de datos recolectando las diferentes alertas a lo largo de la señal generando así un mapeo de la zonas inseguras o de mayor actividad criminal en la ciudad.

### *Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes*

Para este módulo decidimos utilizar el algoritmo de Krigin, el cual con los datos que se van recabando de la base de datos los toma para generar un mapeo de la zona donde fue activada la alarma, generando así un claro mapeo de las zonas seguras e inseguras de la ciudad según en los puntos donde fue activada la alarma.

### *Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos*

Para esta sección tanto aplicación como control logran una comunicación exitosa vía Bluetooth, enviando una señal del control al dispositivo electrónico y este al servidor. La programación del dispositivo Bluetooth fue hecha en el lenguaje de programación para Arduino basado en C++ y la aplicación en Java para Android con ayuda de Kotlin.

## **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Como resultado final se alcanzó un botón físico capaz de emitir un sonido de alta frecuencia que nos permite alerta a las personas que se encuentran a nuestro alrededor en un rango de al menos un metro. Así mismo, una aplicación móvil que también activa el botón y al mismo tiempo nos informa con un formato gráfico el nivel de peligro de la zona en la que nos encontramos.

Se llegó a la solución deseada ya que a comparación del resto de las alarmas encontradas en el mercado, se logra desactivar con el mismo botón sin necesidad de algún tipo de mecanismo activo, ayudando así a la ciudadanía con un dispositivo más fácil de silenciar y transportar.

Su diseño compacto le permite al usuario utilizarlo con discreción y facilidad.

## **V. Conclusiones y trabajo a futuro**

El propósito de esta aplicación consistió en poder crear un ambiente de seguridad en los ciudadanos debido a los fuertes ataques criminales que se han llevado a cabo a lo largo de los años, el cual es más fuerte y constante en estos tiempos. Consideramos que cualquier herramienta que nos permita defendernos en la actualidad es de vital importancia, así como también conocer el estado de las zonas que transitamos a diario. Sin embargo, se espera que pueda progresar con nuevas ideas por parte de los usuarios, logrando así un avance escalonado a lo largo del país y por qué no, de otros países.

## **Reconocimientos**

Nos gustaría agradecerle al Dr. Carlos Villaseñor, quien fue de vital importancia para la creación de la inteligencia artificial que manejamos en la aplicación.

También al Dr. Carlos Sánchez por su asesoría en la rama electrónica-física del proyecto.

## Referencias

- [1] J. P. Kleijnen, “*Kriging metamodeling in simulation: A review.*”, European Journal of Operational Research, vol. 192, núm. 3, pp. 707-716, 2009.
- [2] N. Cressie, “*Spatial prediction and ordinary kriging.*”, Mathematical Geology, vol. 20, n.º 4, pp. 405–421, 1988.
- [3] M. Moskala y I. Wojda, *Android Development With Kotlin*. Packt Publishing Ltd, 2017.
- [4] A. H. Cruz Arguelles, “*Propuesta de inovacion a la industria de seguros automotriz en méxico con interpolación de riesgo de la ruta con metodo kriging*”, Posgrado e investigación, Universidad Autónoma de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, 2022.
- [5] R. E. Herrador, *Guía de usuario de Arduino*. 2009.
- [6] Mining Geologist. *Ordinary Kriging in Python From Scratch*. (27 de febrero de 2022). [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=vhVDcCNNMWE>
- [7] T. L. Floyd, *Dispositivos Electronicos*. Pearson Education, 2008.
- [8] A. L. Albert, *Electrónica y dispositivos electrónicos*. Reverté, 2020.
- [9] Coro P., Alex R., and J. C. Imbaquingo Romero. “*Desarrollo de una aplicación móvil que simule un botón de pánico en tiempo real dentro de la Universidad Central del Ecuador.*” Posgrado, Quito: UCE, 2019.
- [10] D. Ramírez-de-Garay y M. P. Díaz Román, “*Los efectos de la política de prevención del crimen y la violencia en México/the effects of prevention of crime and violence policy in Mexico.*”, Cidob d’afers internacionals, pp. 101–128, 2017.
- [11] G. Gimenez Montiel y R. Jimenez Ornelas, *La violencia en México a la luz de las ciencias sociales*. CDMX: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Sociales, 2017.
- [12] E. L. Salazar, “*Los ladrones*”, *Alegatos*, vol. 34, pp. 517–526, 1996.
- [13] L. Avila y C. Reyes, “*Revisión estado del arte de la tecnología bluetooth.*”, Investigación y desarrollo en TIC, vol. 3, n.º 2, pp. 9–16, 2012.
- [14] C. Agudelo y G. Nelson, *Sistema de interoperabilidad para tecnologías celulares e inalámbricas establecidas en los estándares IEEE 802.15. 1, IEEE 802.15. 4, IEEE 802.11*. 2021.

- [15] J. L. Villada Romero, *Instalación y configuración del software de servidor web*. IFCT0509. IC Editorial, 2015.
- [16] M. Cook y S. McManus, *Raspberry Pi for Dummies*. John Wiley & Sons, 2019.



# Capítulo 7

---

## ReporThing

*Jorge Alberto Laureano Maldonado*

*Jaime Nepomuceno*

*Quintanilla Moreno Francisco Javier*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*jorge.laureano@alumnos.udg.mx*

*jaime.nepomuceno4824@alumnos.udg.mx*

*francisco.quintanilla@academicos.udg.mx*



## Resumen

Unos de los principales problemas que aquejan a la comunidad son la inseguridad y la delincuencia, y siempre se ha tenido este tipo de dificultades en la vida cotidiana desde asaltos, robos, accidentes entre otros tipos de situaciones indeseables. Se han buscado varias soluciones al problema, pero todos estos generalizan la información sin dar detalles de lo ocurrido. ReporThing busca brindar una opción más accesible y fácil de interpretar para las personas, mediante la interacción de los propios usuarios, recopilando reportes creados por ellos, clasificándolos y en conjunto con otros generar información útil y presentarla de mejor manera. Con ayuda de la información recopilada de todos los usuarios es posible lograr el objetivo de brindar una mejor comunicación y de esta forma prevenir a los usuarios sobre posibles situaciones de riesgo.

## I. Introducción

A raíz del crecimiento constante de la delincuencia y la población urbana los ciudadanos cada día están más expuestos a eventos delictivos o violentos. Debido a que estos eventos se mantienen fortuitos, el ciudadano con dificultad puede reunir la información necesaria para evitar estos eventos y lugares concurridos por los delincuentes. Es por esto por lo que surge la necesidad de ordenar esta información recabada por la misma ciudadanía y valorada por ellos mismos con el objetivo de aislar los casos y disminuirlos.

Para esto será necesario:

- Obtener reportes de usuarios para alimentar al sistema.
- Categorizar los reportes por lo ocurrido (choque, robo, etc.) para graficar la información.
- Mostrar mediante mapas y listados los reportes de los otros usuarios.
- Generar un sistema de usuarios para el uso del sistema.
- Gestionar la información de los usuarios y reportes de manera conveniente para el buen uso de la información en el sistema.
- Evaluar los reportes para mantener su veracidad.

- Ofrecer la información sintetizada.
- Comparar entre las diferentes zonas el número y categoría de los reportes.

La existencia de un sistema capaz de obtener reportes por medio de un formulario simple con la información proporcionada por los usuarios, mostrar y gestionar la información obtenida, realizar una predicción a manera de advertencia para los usuarios, generar estadísticas en torno a la información obtenida brindaría una gran cantidad de beneficios para la seguridad del público en general, por mencionar algunos: advertencias para tomar sus precauciones al momento de salir a realizar sus actividades diarias, generar estadísticas útiles para el estudio de índices delictivos por las zonas del área metropolitana, entre otras aplicaciones.

Dados los anteriores planteamientos y objetivos, es posible asumir que los principales objetivos o intereses de la creación de este sistema es la seguridad en las calles del área metropolitana de Guadalajara y el fácil acceso a la información, para que los usuarios puedan estar más alerta de su entorno.

A partir de estas dos premisas surge la necesidad de generar una manera de mantener informados a los ciudadanos sobre lo que sucede a su alrededor, de esta forma tanto como para personas locales, visitantes, o cualquier persona interesada podrá consultar información relevante en su entorno. De este modo, tiene la idea de un sitio web capaz de solventar esta necesidad.

ReporThing es la alternativa que es planteada en este documento para tratar de dar una solución a la problemática anterior, es un sistema desarrollado para cubrir estas necesidades en una simple e intuitiva página web accesible a toda la población del área metropolitana de Guadalajara, puesto que su principal beneficio es la actualización de la información, de cierta manera, en tiempo real o al menos lo más rápido posible para que los usuarios estén bien informados de lo que sucede a su alrededor y también puedan compartir los acontecimientos que consideran útiles para otros usuarios.

## II. Trabajos relacionados

Durante mucho tiempo se ha tratado de brindar soluciones a la problemática de la inseguridad en las calles, muchas organizaciones han creado diversas aplicaciones para brindar información y que esta sea accesible para las personas. Muchas de ellas contienen un cierto grado de complejidad técnica que algunos usuarios menos experimentados en los temas de la estadística, delincuencia y tecnología no pueden comprender fácilmente. y eso es algo que ReportThing intenta abarcar, un sistema sencillo amigable e intuitivo para el usuario.

En el estado en el área del estado de Jalisco se han implementado algunos sitios web que permiten conocer el índice de algunas estadísticas delictivas y sociales alrededor del estado, estas herramientas presentadas por las instituciones afines al gobierno, tienen como mero fin un uso estadístico. Dichas herramientas son: “el semáforo delictivo” y “Seguridad Map Jalisco”.

### *A. Semáforo delictivo*

El semáforo delictivo muestra de manera estadística información relacionada a índices delictivos en distintos municipios del estado, esta información está procesada y es otorgada a manera de gráficos, la información no es la más reciente, sino que es una la cifra establecida y oficial al final de cada mes [1].

### *B. Seguridad Map Jalisco*

Seguridad Map Jalisco es una herramienta que muestra un análisis de datos en materia de seguridad, marginación y pobreza a través de bases de datos del Instituto de Información Estadística y Geográfica y de la Fiscalía del Estado de Jalisco a través de una interfaz que permite visualizar esta información por zonas, de misma manera que el semáforo delictivo de Jalisco la información no es la más reciente. Esta solución es de Código Abierto, por lo que se puede descargar, modificar y añadir funcionalidades al código [2].

Existen otros ejemplos de herramientas que se han implementado para la prevención y estadística del delito a nivel nacional y en otras entidades federativas, estos por mencionar algunos ejemplos son: “El crimen” y “Crimen por tu rumbo” respectivamente, ambas herramientas creadas por Diego Valle.

### *C. El crimen*

El crimen muestra de manera condensada y organizada una serie de estadísticas y gráficos sobre índices delictivos a nivel nacional, esta información está dividida por los diferentes estados de la república. Todos los datos de este sitio web provienen del SESNSP y el INEGI (solo homicidios) [3].

### *D. Crimen por tu rumbo*

Esta herramienta muestra un mapa dividido en cuadrantes de la Ciudad de México, genera algunas gráficas sobre los índices delictivos. Los datos de incidencia delictiva provienen de la PJG-CDMX. La población está basada en información del censo 2010 por Manzana [4].

Otros ejemplos sobre plataformas que se dedican a la representación de estadísticas delictivas en el país son: Observatorio Interactivo de incidencia delictiva por el Observatorio Nacional Ciudadano y Semáforo Delictivo Nacional.

### *E. Observatorio Nacional Ciudadano*

Esta plataforma te permite visualizar los datos oficiales sobre incidencia delictiva en México. Explora las tendencias, las variaciones, las posiciones en el ranking por delito y la distribución geográfica [5].

### *F. Semáforo Delictivo Nacional*

Esta página además de ser una herramienta que procesa y ejemplifica información sobre los índices de delincuencia en el país también analiza otros ámbitos sociales e incluye algunos artículos de opinión socioeconómicos por parte de su creador Santiago Roel [6].

Muchas de las opciones anteriormente mencionadas son aplicaciones o sistemas que consultan bases de datos en cierta manera autorizadas por diversas instituciones, ya sean particulares o de gobierno, de esta manera, se puede decir que es información ya procesada por las instituciones, lo cual es aceptable pero no nos muestran información del día a día sino la acumulada cada corte de mes, de modo que si se quisiera conocer los acontecimientos más relevantes en un área en específico sería necesario esperar alrededor de un mes para saberlo.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

El modelo de desarrollo utilizado en el desarrollo de esta aplicación es el “modelo de desarrollo rápido de aplicaciones” (RAD, por sus siglas en inglés) y el modelo de desarrollo de cascada. Se eligió este modelo ya que la aplicación que se desarrolló es una aplicación web relativamente simple y fácil de implementar, además como este modelo de desarrollo menciona este permite la reutilización de código para agilizar su desarrollo. Además, esto permite el uso de tecnologías ya implementadas como en el caso de tecnologías de localización geográfica como los mapas y geolocalización, gracias a eso se puede hacer uso de librerías como “Google Maps” o fragmentos de implementaciones anteriores de los integrantes del equipo que serán adaptadas al proyecto en curso.

Además, fueron implementadas algunas características del modelo de procesos evolutivos de software ya que durante la creación se planeó que al software se le fueran agregando módulos poco esenciales para el producto final pero que mejorarían la experiencia de uso del sitio web con el tiempo.

#### *A. Requerimientos principales*

Las funcionalidades de la página web son brindarle al usuario la capacidad de levantar un reporte en la página web con una descripción de lo ocurrido, su ubicación y el tipo de suceso. La página mostrará los sucesos ocurridos recientemente y los mostrará en diferentes categorías dentro de la misma página, además el sistema creará gráficas con la información de los

reportes y las mostrará en el sitio web. De manera más detallada podemos inferir los requisitos de la siguiente manera:

- **Dar de alta reportes:** Se podrá realizar reportes en donde se especifique el tipo de problema y la ubicación donde sucede.
- **Registro de usuario:** El sistema permitirá al usuario hacer uso del sistema, ya sea registrado o anónimamente, se le solicitará al usuario su nombre, apellido, ubicación, correo electrónico, nombre de usuario y contraseña, en caso de hacerlo anónimamente solo se solicitará ubicación.
- **Mapa con reportes recientes:** Se mostrará un mapa con los reportes recientes de tu zona, en este aparecerá un punto de donde ocurrió el reporte.
- **Gestión de los reportes:** Permite a los usuarios consultar los datos de los reportes a manera de gráficas con sus respectivas categorías y demás información.
- **Valoración de los reportes:** gracias a la valoración será posible mantener una veracidad en los reportes que tiene el sistema, de este modo se evitará la información fraudulenta o falsa.
- **Clasificación de reportes:** Los reportes se agruparán por el tipo de suceso y serán mostrados en una sección especial de la página.
- **Machine learning:** Mediante el uso del algoritmo KNN se realizan predicciones basadas en los datos recopilados por los mismos usuarios, tal que con estos se pueda identificar el tipo de suceso más frecuente en la zona en un determinado periodo de tiempo [7].



Fig. 1. Página principal del sistema.



Fig. 2. Implementación del algoritmo KNN.

En la página principal del sistema es posible observar el logo, objetivo de la página, un enlace a directo a la creación de reportes, la implementación del botón de la predicción de posibles sucesos con el algoritmo KNN, las interpretaciones de dichos resultados y una sección con los números de contacto de posibles autoridades de la ciudadanía.



Fig. 3. Mapa con la ubicación de los reportes en el sistema.

En la sección de mapa se muestra una vista del mapa de la zona metropolitana de Guadalajara dividida en cuatro zonas principales hasta ahora, las áreas de Guadalajara, Tlajomulco, Tonalá y Zapopan. En dicho mapa se muestran a manera de punteros los reportes más recientes ingresados en el sistema por los usuarios, y al seleccionarlos se muestra información sobre dicho reporte.

En la sección de reportes es posible visualizar los reportes a manera de un listado, estos se pueden clasificar por recientes, por zona y categoría, como ya se mencionó anteriormente el sistema debe permitir la consulta de los reportes tanto para usuario registrados como para cualquier usuario anónimo, sin embargo, existen diferencias para los usuarios.

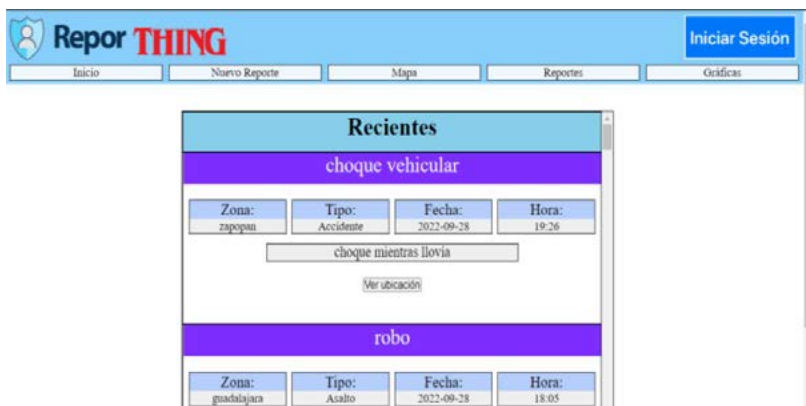


Fig. 4. Representación de los reportes en el sistema para usuarios anónimos.



- Los usuarios anónimos solo podrán visualizar los reportes y un botón que los redirige a la vista del reporte en el mapa.



Fig. 5. Representación de los reportes en el sistema para usuarios registrados.

- Los usuarios registrados además del botón que permite ver la ubicación del reporte, también cuentan con un botón que permite generar una advertencia en el sistema sobre un posible error o falsificación con la información de un reporte. Esto contribuye a la veracidad de la información que se maneja en el sistema.



Fig. 6. Representación de los reportes en el sistema para usuarios administradores.

- Por último, los usuarios administrativos cuentan con un botón que permite eliminar un reporte que ellos mismos consideran apócrifo.



Fig. 7. Gráficas de los reportes.

En esta sección, la sección de gráficas se puede obtener algunas gráficas de pastel en las que se muestra el total de reportes y su clasificación de delitos y zonas del último mes.

**Repor THING**    Iniciar Sesión

Inicio    Nuevo Reporte    Mapa    Reportes    Gráficas

**Nuevo Reporte**

Título:

Mapa de Guadalajara con un pin rojo en el centro.

Tipo:

Descripción:

Arrastra el marcador

Fig. 8. Formulario de nuevo reporte.

La sección de nuevo reporte permite crear un nuevo reporte, está detecta automáticamente la ubicación y coloca un pin en el mapa, sin embargo, este también puede ser posicionado en el mapa a gusto de los usuarios generando así un par de datos de latitud y longitud necesarios para la ubi-

cación de los reportes en la sección de mapa y en el listado de reportes, de modo que estos datos son esenciales para el funcionamiento del sistema. el formulario además cuenta con campos de título, categoría y descripción, también necesarios para el buen funcionamiento del sistema.



Fig. 9. Inicio de sesión.

Como ya se mencionó antes el sistema cuenta con un sistema de usuarios, se necesitan secciones de inicio de sesión a manera de formulario para acceder a las cuentas a través de un correo electrónico y una contraseña previamente registrados en el sistema.



Fig. 10. Registro de nuevo usuario.

Además, una sección de registro para nuevos usuarios donde se solicita información como el correo, nombre y contraseña, la información recolectada es únicamente para el uso en el sistema y no es utilizada por terceros.



Fig. 11. Perfil de usuario.

En la sección de perfil de usuario se muestra un listado con la información del usuario, un enlace para editar dicha información del perfil y un listado con los reportes realizados por este usuario.



Fig. 12. Modificar perfil de usuario.

Por último, tenemos la sección que permite modificar la información del perfil como la contraseña, el nombre de usuario o la fotografía del perfil, a manera de un simple formulario para los usuarios.

### B. Herramientas utilizadas para el desarrollo

Para el desarrollo de este proyecto fueron utilizadas diversas herramientas de desarrollo web, API, gestores, lenguajes, librerías entre otras herramientas:

- WampServer: Fue utilizado porque es un software tipo All-in-One para gestión de bases de datos MySQL, etc. que incorporan servidor web Apache [8].
- Editores de texto compatible con php, HTML y JavaScript: Necesario para la edición de los archivos del sistema.
- API de Google Maps: Brinda los servicios ya existentes de ubicación y visualización de mapas [9].
- PHP versión 8.0.3: Fue utilizado para construir el sistema a nivel de *back end* [10].
- JQuery versión 3.6.0: Se utilizó para construir el sistema a nivel de *front end* [11].
- Plotly versión 2.6.3: Fue utilizado para la implementación y el diseño de gráficas dentro del software [12].
- PostgreSQL: es un poderoso sistema de base de datos relacional de objetos de código abierto [13].
- Python versión 3.10: Se utilizó para construir el sistema a nivel de *front end* y para el análisis de datos [14].
- Navegadores web como es el caso de Google.
- Chrome [15], Opera GX [16] y Mozilla Firefox [17] para la visualización de los cambios y avances del sistema y su uso y aplicación.
- Github: Utilizado para como herramienta de control de versiones, almacenamiento en la nube y desarrollo a distancia [18].

Durante el desarrollo también fueron usadas otras herramientas para la creación del sistema, sin embargo, tras presentarse problemas de diseño y compatibilidad se optó por cambiarlas, estas son:

- Uniform Server: Fue utilizado porque es un software tipo All-in-One para gestión de bases de datos MySQL, etc. que incorporan servidor

web Apache sin embargo con problemas para realizar la replicación de la base de datos fue cambiado por Wampserver [19].

- Python versión 3.8: Se utilizó para construir el sistema a nivel de *front end* y para el análisis de datos, fue cambiado por problemas de compatibilidad entre las librerías utilizadas para la implementación del algoritmo KNN.
- PhpMyAdmin: es un poderoso sistema de base de datos relacional, sin embargo, al igual que uniform server presentó problemas al realizar la replicación de la base de datos [20].

ReporTHING es un sistema digital totalmente en línea por lo que los usuarios a quienes va dirigido su uso normal solo necesitan acceso a un dispositivo electrónico con acceso a internet y alguno de los navegadores compatibles como: Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge, entre otros.

### *C. Pruebas de desarrollo*

Durante y tras el diseño y el desarrollo del sistema se realizaron diversas pruebas para evaluar su funcionalidad con la incorporación de cada uno de los módulos del sistema se realizaron sus respectivas pruebas de funcionamiento como:

- Prueba de aceptación: verifica si todo el sistema funciona según lo previsto.
- Pruebas de integración: asegura que los componentes o funciones operen juntos.
- Pruebas de unidad: valida que cada unidad de software funcione según lo esperado. Una unidad es el componente de prueba más pequeño de una aplicación.
- Pruebas funcionales: verifica funciones mediante la simulación de escenarios, en función de los requisitos funcionales.
- Pruebas de rendimiento: prueba cómo funciona el software bajo diferentes cargas de trabajo.
- Pruebas de regresión: verifica si las nuevas características rompen o degradan la funcionalidad.
- Pruebas de estrés: prueba cuánta tensión puede soportar el sistema antes de que falle.

- Pruebas de usabilidad: valida qué tan bien un usuario puede usar un sistema o una aplicación web para completar una tarea.

Al momento de crear cada uno de los módulos fue necesario realizar distintos tipos de pruebas, principalmente pruebas de integración, las cuales fueron necesarias para verificar el correcto funcionamiento de cada módulo del sistema y su integración con los módulos anteriormente acoplados, del mismo modo, las pruebas de aceptación y las pruebas funcionales fueron necesarias para verificar el correcto funcionamiento.

Además, tras la implementación final de los módulos, se realizaron unas cuantas pruebas de usabilidad, usuarios ajenos a la creación del sistema. De este modo se obtuvieron bastantes observaciones que fueron de utilidad para el diseño intuitivo de este sistema, por mencionar un ejemplo la decisión de incorporar una sección que diera una explicación de los resultados tras usar el algoritmo de predicción KNN.

Gracias a este tipo de pruebas fue posible identificar distintos tipos de problemas en cada implementación de los módulos como:

- Errores de diseño.
- Funcionalidad incorrecta.
- Vulnerabilidades de seguridad.
- Problemas de escalabilidad.

## **D. Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

Para realizar el proyecto utilizamos los lenguajes de programación para desarrollo web: JavaScript, Php y Python. El proyecto, al ser enfocado en un sitio web, necesitó el uso de los anteriores lenguajes, ya que son los más adecuados para realizar un proyecto de este tipo. La metodología que seguimos para el desarrollo del sistema es el método de cascada ya que, al ser una aplicación web, necesitamos el uso de una base de datos, en este caso será SQL.

La gestión de los datos recopilados fue manejada mediante una base de datos relacional SQL ver Fig. 13, en la cual se implementó un modelo de replicación maestro esclavo con el fin de asegurar la integridad de los datos, para esto se utilizó el sistema gestor de bases de datos PostgreSQL

el cual brinda un entorno sencillo para aplicar este modelo de replicación. Con el fin de no sobrecargar la aplicación con datos no recientes se implementó una función en la base de datos la cual nos permite dar de baja registros asociados a los reportes de manera automática basándose en la fecha por medio de triggers.



Fig. 13. Modelo relacional.

## Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes

El objetivo principal al implementar un algoritmo de aprendizaje máquina en este proyecto, es concluir cuál es el tipo de suceso más recurrente en una zona y hora del día determinadas mediante el uso de los datos recopilados. Aunque, si bien se espera que los datos sean recopilados por el mismo programa, se usaron fuentes de datos externas hasta que el volumen de datos sea el suficiente para funcionar por sí mismo. Predecir los lapsos de tiempo en los que una zona puede ser más peligrosa según los datos recopilados por los reportes haciendo uso del algoritmo KNN (K Nearest Neighbor).

Para la implementación del algoritmo se tomó en cuenta los datos recopilados por los reportes como datos de entrenamiento, más específicamente los datos que fueron registrados en el sistema una semana atrás al momento de aplicar la consulta, y usando los campos de ubicación (latitud, longitud y zona), el tipo de suceso y la hora del día en la que sucedieron, al momento de correr el algoritmo se crea una nueva instancia con los datos



actuales del cliente que lo solicite, en donde se toma esta como la instancia a predecir el tipo de suceso basado en los datos de entrenamiento.

Para aplicar el algoritmo se requirió transformar los datos categóricos a datos numéricos asignándoles un valor entre 0 a  $n-1$ . Contando solo con datos numéricos se aplicó la normalización Min-Max con el fin de que datos individuales creen un sesgo en la distribución de los datos.

El proceso de cálculo de distancias entre cada una de las instancias se realizó utilizando la fórmula de la distancia euclidiana, donde se busca conocer las distancias en línea recta hacia cada uno de las instancias de entrenamiento, donde se tomó un valor de  $k$  de 8 debido a los datos con los que contamos inicialmente, siendo este valor altamente modificable basándonos en el volumen de datos para el futuro.

### **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Este proyecto es una aplicación web basada en la arquitectura cliente-servidor, esta se encuentra distribuida en diferentes contenedores:

- Cliente: En este se ejecuta el *front-end* y es la parte accesible por los usuarios. Se comunica directamente con el servidor web mediante el protocolo HTTP.
- Servidor web: Es donde se aloja el servidor Apache y se ejecuta el *back-end*.
- Servidor de bases de datos: Se encarga de gestionar la base de datos. Se cuenta con dos servidores destinados a ser replicados mediante el método maestro-esclavo. Ambos servidores se conectan al servidor web mediante TCP/IP.

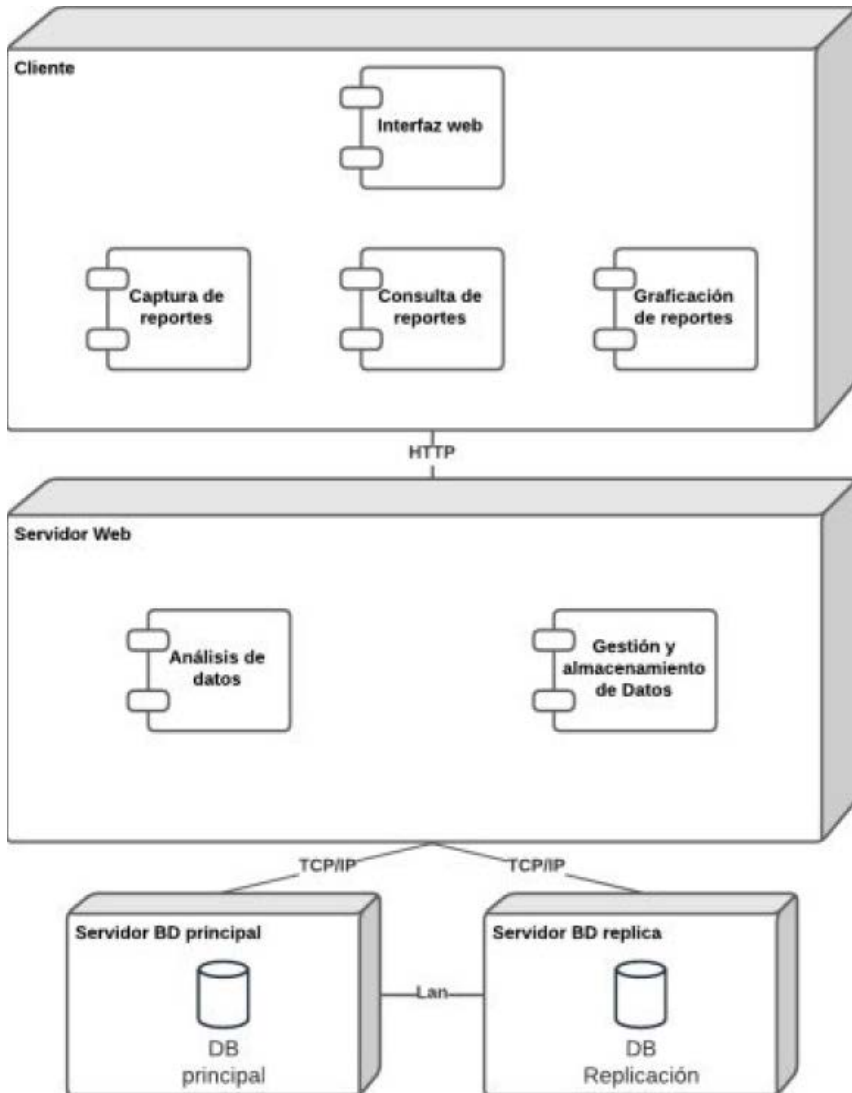


Fig. 14. Arquitectura del software.

Para la construcción de la aplicación web se utilizó HTML, CSS y JavaScript para la construcción del *front-end*, además se utilizaron herramientas como JQuery, la api de Google Maps y la librería de Plotly para JavaScript para la implementación de las funcionalidades principales de la aplicación. Por otra parte, el *Back-End* fue construido utilizando PHP.

Una manera de hacer más eficiente el sistema es con la distribución de algunos datos almacenados en diferentes contenedores, tomando por ejemplo algunos datos de información de los reportes, en lugar de ser almacenados en su totalidad en el servidor central pueden ser empaquetados y guardados en otro dispositivo, y ser gestionados o actualizados por el sistema cuando se sincronicen o conecten. Para esto, se implementó un modelo de distribución de bases de datos Maestro-Esclavo donde se utilizó dos equipos de cómputo conectados mediante una red LAN y las herramientas que nos brinda el gestor de bases de datos PostgreSQL para esto.

La replicación de los datos se realizó mediante la configuración de un s oquet donde se especificó las ips válidas para la conexión. Siendo estas configuraciones las siguientes:

```
# TYPE DATABASE USER ADDRESS METHOD
# "local" is for Unix domain socket connections only
local all all scram-sha-256
# IPv4 local connections:
host all all 127.0.0.1/32 scram-sha-256
host all all 192.168.194.2/32 md5
host all all 169.254.253.107/32 md5
# IPv6 local connections:
host all all ::1/128 scram-sha-256
# Allow replication connections from localhost, by a user with the
# replication privilege.
local replication all scram-sha-256
host replication all 127.0.0.1/32 scram-sha-256
host replication all ::1/128 scram-sha-256
host replication all 192.168.194.2/32 md5
host replication all 169.254.253.107/32 md5
```

Fig. 15. Configuración del equipo maestro.

```

# TYPE DATABASE USER ADDRESS METHOD

# "local" is for Unix domain socket connections only
local all all scram-sha-256
# IPv4 local connections:|
host all all 127.0.0.1/32 scram-sha-256
host all all 192.168.194.2/32 md5
host all all 169.254.25.121/32 md5
# IPv6 local connections:
host all all ::1/128 scram-sha-256
# Allow replication connections from localhost, by a user with the
# replication privilege.
local replication all scram-sha-256
host replication all 127.0.0.1/32 scram-sha-256
host replication all ::1/128 scram-sha-256
host replication all 192.168.194.2/32 md5
host replication all 169.254.25.121/32 md5

```

Fig. 16. Configuración del equipo esclavo.

#### IV. Resultados obtenidos del proyecto

Gracias al desarrollo e implementación de este sistema y al procesamiento de la información obtenida mediante su uso, es posible para los usuarios informar sobre los acontecimientos a su alrededor a manera de precaución de los distintos eventos que tienen lugar a su alrededor, también es más fácil conocer sobre algunos de estos hechos y tomar sus precauciones. Con ayuda del uso de técnicas de *machine learning* como en este caso el algoritmo de KNN se puede apreciar y predecir algunos comportamientos delictivos que pueden llegar a ocurrir en alguna zona, de esta manera, se ha logrado crear una nueva forma de prevenir a los usuarios de sucesos no deseados.

Al tener acceso a la información de manera casi inmediata es fácil para las personas conocer y planificar su día a día para evitar dentro de lo posible sucesos no deseados y situaciones de peligro para ellos mismos y para la comunidad por lo que ReporTHING es una buena herramienta para la comunidad.

## **V. Conclusiones y trabajo a futuro**

El sistema cumple con las funciones establecidas al principio de este documento las cuales con el fin de recapitular son: la creación de reportes, la clasificación y visualización de los mismos de una manera simple e intuitiva para los usuarios, además de mostrar información útil sobre la zona en la que se encuentra el usuario. Logrando de este modo conocer qué clases de acontecimientos pueden ser más frecuentes en una zona creando una especie de predicción con el uso del algoritmo KNN y la información recopilada por los usuarios del sistema.

Existen distintos ámbitos en los que este proyecto podría evolucionar para brindar una mejor experiencia para el futuro como: incorporar más zonas para su aplicación de este modo se adquirirá una mayor cobertura pues actualmente solo se toman unas cuantas zonas del área metropolitana de Guadalajara para su implementación, incorporar mejoras a distintos módulos para una optimización de sus funciones, como la posibilidad de recibir y emitir notificaciones de situaciones que estén sucediendo dentro de un área cercana. De este modo los usuarios podrían estar más alertas, conocer lo que sucede en tiempo real como es el caso de las aplicaciones de alarma sísmica, otra mejora al sistema podría ser la creación de una versión de aplicación del sistema para dispositivos móviles haciendo más factible la implementación de las notificaciones, la implementación de un módulo para realizar denuncias ante autoridades como en el caso de robos, choques o fallos en la infraestructura de la ciudad, entre otras funciones que pueden ser útiles para la prevención de delitos, mejoras visuales al sistema y corrección de errores.

## Referencias

- [1] Semáforo Delictivo. Disponible en <http://jalisco.semaforo.com.mx/> [Accedido el 4 de octubre de 2022].
- [2] “Seguridad map APP”. Seguridad Map APP. Disponible en: <https://seguridadmap.app.jalisco.gob.mx/#/> [Accedido el 11 de febrero de 2022].
- [3] ElCri.men. Disponible en: <https://elcri.men/> [Accedido el 5 de octubre de 2022]
- [4] Crimen por tu Rumbo. Hoyo de Crimen. Disponible en: <https://hoyodecrimen.com/> [Accedido el 5 de octubre de 2022]
- [5] Observatorio Interactivo de incidencia delictiva. Disponible en: <https://delitosmexico.onc.org.mx/> [Accedido el 31 de octubre de 2022]
- [6] Home. Semáforo. Disponible en: <https://semaforo.mx/> [Accedido el 31 de octubre de 2022]
- [7] I. H. Witten, E. Frank y M. A. Hall, *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*, 3.<sup>a</sup> ed., Morgan Kaufmann Publishers, 2011.
- [8] Wampserver - Files and addons. Disponible en: <https://wampserver.aviatechno.net/> [Accedido el 31 de octubre de 2022]
- [9] Google Cloud. “Cloud Computing Services”. Disponible en: <https://cloud.google.com/> [Accedido el 4 de octubre de 2022]
- [10] PHP: Hypertext Preprocessor. (2022, 30 septiembre). Disponible en <https://www.php.net/> [Accedido el 4 de octubre de 2022]
- [11] JQuery Foundation, (2022, 26 agosto). “New Wave Javascript”, Disponible en: <https://blog.jquery.com/> [Accedido el 4 de octubre de 2022].
- [12] Releases plotly/plotly.py. (s. f.). GitHub. Recuperado 4 de octubre de 2022, de <https://github.com/plotly/plotly.py/releases>
- [13] PostgreSQL. (2022). PostgreSQL. <https://www.postgresql.org/>
- [14] Welcome to. (2022, 12 septiembre). Python.org. Disponible en: <https://www.python.org/> [Accedido el 4 de octubre de 2022]
- [15] Google Chrome. Navegador web. [https://www.google.com/intl/es\\_mx/chrome/](https://www.google.com/intl/es_mx/chrome/)
- [16] Opera GX, Navegador Gaming, Opera. Disponible en: <https://www.opera.com/es/gx?edition=std-1>

- [17] Descarga el Firefox más rápido a la fecha. Mozilla. Disponible en: <https://www.mozilla.org/es-MX/firefox/new/>
- [18] J. Nepomuceno, J. A. Laureano y R. Vázquez, (2021), Proyecto Modular: ReporThing. GitHub. Disponible en <https://github.com/JaimeNJ99/ReporThing>
- [19] Uniform Server | Free WAMP Server Solution. (n.d.). <https://www.uniformserver.com/>
- [20] Contributors, phpM. A. (n.d.). *PhpMyAdmin*. phpMyAdmin. Retrieved December 7, 2022, from <https://www.phpmyadmin.net>

# Capítulo 8

---

## Semáforos AMG

*Alvarez Chávez Iván Alejandro  
Lira Pérez Jesús Fernando  
Ramírez Santillán Diego  
Mercado Garibay Samuel*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*ivan.alvarez5551@alumnos.udg.mx  
jesus.lira4068@alumnos.udg.mx  
diego.rsantillan@alumnos.udg.mx  
samuel.mercado@cucei.udg.mx*



## Resumen

Semáforos AMG es un proyecto que tiene como finalidad facilitar la operación y la atención de incidencias de semáforos averiados dentro del Área Metropolitana de Guadalajara.

Para acelerar la validación de los reportes se implementó una CNN (Convolutional Neural Network) para el reconocimiento de semáforos en las fotografías adjuntas a los reportes que realizan los ciudadanos a través de una aplicación móvil. También se cuenta un sistema web que administra el seguimiento de los reportes y que genera transparencia a la ciudadanía.

Se espera que la solución implementada reduzca los tiempos de respuesta a reportes de semáforos averiados y que proporcione a los operativos un mejor control de las incidencias reportadas.

## I. Introducción

En la actualidad, el Área Metropolitana de Guadalajara es una zona en constante crecimiento que a diario enfrenta complicaciones de flujo vehicular. Su infraestructura vial es administrada por la Agencia Metropolitana de Infraestructura para la Movilidad del AMG (AMIM), y una de sus tareas principales es la supervisión de la red de semáforos.

A pesar de que la Agencia Metropolitana mantiene una red de 2076 semáforos, las averías, percances y fenómenos naturales son sucesos imprevistos que pueden ocurrir en cualquier momento. La AMIM reporta que en el periodo del 26 de enero al 23 de febrero del 2021 se atendieron 360 reportes de semáforos averiados en el AMG [1]. El dato anterior representa una alta demanda y la atención tardía de estos eventos puede ocasionar percances en el tránsito vehicular de la ciudad, tal como lo han manifestado noticieros como Tráfico ZMG a través de notas que hacen referencia a congestionamientos ocasionados por semáforos [2].

Actualmente, de los 2076 semáforos contenidos en la red, solo 922 son semáforos centralizados que mantienen comunicación constante con el Centro de Gestión de Tránsito (CGT) para la detección de intersecciones de semáforos apagados [3]. El resto de semáforos también pueden ser monitoreados en caso de requerirse, pero un semáforo apagado es solo un

tipo de avería que podría sufrir la red, dejando una alta probabilidad de demora en la detección de otros tipos de averías como lo es el vandalismo de semáforos; tendencia que está muy presente en el Área Metropolitana de Guadalajara según notas de Tráfico ZMG [4]. Para contrarrestar la demora en detección de incidencias, la AMIM ha implementado varias soluciones como la instalación de una línea telefónica para la atención de reportes [5] y se ha apoyado en las redes sociales como Facebook [6] y Twitter [7]. Sin embargo, un número telefónico ya no es la solución más cómoda para el usuario y a pesar de que las redes sociales sí lo puedan ser, simplemente no pueden dar el ancho en la operación, organización, comunicación y transparencia en el seguimiento de los incidentes. Claramente se requiere una solución que solvete los inconvenientes mencionados.

Semáforos AMG es un proyecto dedicado a la ciudadanía donde será posible realizar reportes de semáforos contenidos dentro de la red metropolitana de Guadalajara.

El proyecto tiene como objetivos:

- Ser una solución personalizada para la atención de reportes de semáforos.
- Disminuir el tiempo de respuesta y solución de las incidencias.
- Disminuir el riesgo de accidentes a causa de las malas condiciones de los semáforos.
- Aumentar la transparencia en el proceso de atención de los semáforos.

La implementación de este proyecto es sumamente importante por las siguientes razones:

- Debido a la infraestructura vial actual, es necesaria la cooperación y atribución de la ciudadanía para así poder mantener su infraestructura en las mejores condiciones.
- Las atribuciones de la ciudadanía en esta clase de soluciones darán un paso grande contra la problemática de tráfico vehicular que actualmente sufre la ciudad.
- La solución puntual de incidencias de semáforos evitará enormes cargas de flujo vehicular, riesgos de percances viales y la alta demanda de trabajo de personal de tránsito.
- El uso de este sistema ayudará potencialmente a disminuir la probabilidad de avería de automóviles estancados en el tráfico vehicular, aportan-

- do un mejor rendimiento y disminuyendo el desgaste de automóviles [8].
- La atención pronta de reportes ayudará a disminuir la contaminación generada por el tránsito vehicular de la ZMG, la cual puede traer consigo muchas consecuencias en la salud humana según artículos del ambiente de la revista Uniminuto [9].
  - Debido a el alza de crímenes y robos en el tráfico pesado de las ciudades [10], el uso del sistema puede atribuir a disminuir las probabilidades de estos sucesos.
  - El sistema dará transparencia en el proceso de gestión de los reportes, ya que la ciudadanía tendrá acceso a dicha información.

El proyecto consiste en una aplicación móvil y una página web en las cuales los ciudadanos pueden realizar reportes de semáforos averiados o en malas condiciones. En el sistema web, los operativos harán la validación y el seguimiento necesario para reparar el problema descrito en los reportes mientras que los usuarios consultan la información de los mismos.

El uso de esta solución traería consigo varios puntos positivos como la participación de la ciudadanía, menos contaminación al evitar fuertes cargas de flujo vehicular, más disponibilidad de agentes de tránsito en la ciudad, menos percances en automóviles vulnerables a fallas en estancamientos viales, entre muchos otros beneficios.

## **II. Trabajos relacionados**

### *A. Agencia de Infraestructura para la Movilidad (AMIM)*

En su sitio oficial [1], la Agencia de Infraestructura para la Movilidad se describe:

*“Creada como parte de la coordinación metropolitana entre los municipios que integran el Área Metropolitana de Guadalajara y el gobierno del Estado de Jalisco en 2019, la Agencia Metropolitana de Servicios de Infraestructura para la Movilidad del AMG es el Organismo Público Descentralizado intermunicipal que se encarga de supervisar la red de semáforos, radares de control de velocidad, señalamiento en corredores metropolitanos, mantenimiento a la infraestructura ciclista y el Sistema de Bicicletas Públicas “MiBici”.”*

Fig. 1. Tareas de la AMIM como organismo público. Extraído del sitio oficial de la Agencia Metropolitana de Infraestructura para la Movilidad de la AMG <https://amim.mx/acercade.html> [1]

AMIM tiene la tarea de gestionar y dar respuesta, entre otras cosas, a reportes de semáforos que forman parte de la infraestructura vial del AMG. Actualmente atiende reportes de fallas de semáforos en los municipios de El Salto, Zapotlanejo, Tonalá, Tlaquepaque, Zapopan y Guadalajara.

La forma en que reciben estos reportes es por medio de redes sociales o por llamada telefónica.

El Gobierno de Guadalajara, con intenciones de solventar diversas problemáticas en la Zona Metropolitana, lanzó el proyecto “Ciudadapp” [11] el cual se centraba en atención de reportes de diversos tipos de anomalías en la ciudad. Desafortunadamente, el proyecto no fue lo suficientemente intuitivo y no obtuvo el éxito esperado debido a la robustez del mismo.

### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

El proyecto se realizó siguiendo la metodología Scrum [12]. Se preparó un “Product Backlog” considerando los requerimientos y se identificaron entregables para cada *sprint*. El resultado del “Product Backlog” fue la definición de los requerimientos principales del producto

#### A. Requerimientos:

- Un sistema transparente al ciudadano que exponga las actividades que realiza la agencia de movilidad respecto al seguimiento de incidencias de semáforos.

- Que permita al usuario civil levantar reportes desde un sistema web o una aplicación móvil.
- Un sistema web que facilite la gestión de reportes de fallos en la red de semáforos del AMG.
- Una aplicación móvil para que el usuario civil alerte a la agencia de movilidad sobre la atención de reportes de semáforos averiados.
- Una IA de reconocimiento de semáforos en imágenes que agilice la validación de reportes realizados por la ciudadanía.

A partir de los requerimientos extraídos del “Product Backlog” se definieron tres soluciones para satisfacerlos: un sistema web, una aplicación móvil y un servidor que aloje un detector de semáforos en imágenes.

Para cada una de las soluciones se usaron repositorios de Github para el control de versiones, siguiendo los principios de Git Flow [13] para mantener un control de cambios en ambientes productivos y de desarrollo.

### *B. Soluciones implementadas:*

A continuación se describen las tres soluciones por separado.

#### *1) Sistema Web*

El sistema web se desarrolló con la finalidad de:

- Dar al usuario civil la posibilidad de registrar reportes desde un navegador web
- Presentar información transparente de los reportes y su seguimiento.
- Permitir a los operativos dar seguimiento a los reportes.

El sistema se desarrolló usando el framework de PHP Laravel con Livewire, MySQL para la base de datos, tecnologías web como HTML, JS y CSS utilizando Tailwind para reducir los estilos CSS. Para el despliegue del sistema se planteó el uso de la nube en AWS.

#### *2) Aplicación móvil*

La aplicación móvil se desarrolló con el fin de permitir al usuario levantar un reporte con su celular utilizando la cámara para tomar evidencia

fotográfica del semáforo defectuoso. El usuario también podrá consultar desde la aplicación móvil la situación de los reportes que haya realizado.

La aplicación se desarrolló con Ionic Framework usando Angular como *framework* para el *front-end*, scss para los estilos y Capacitor para compilar el código nativo.

### 3) detector de semáforos

Este recurso es utilizado para identificar semáforos en las imágenes y automatizar la validación de reportes y dicho subsistema se realizó en tres fases.

La primera fase consistió en la recolección de ejemplares para el armado del *dataset* en forma de fotografías sumando un total de 2000 data-samples los cuales están distribuidos y fueron recolectados en función de los siguientes criterios:

- Fotografía con semáforos 50 % (1000 imágenes)
- Fotografías sin semáforos 50 % (1000 imágenes)
- Tomar fotografías de diferentes ángulos y a diferentes distancias
- Variar la posición del semáforo en la imagen

Para incrementar el volumen del *dataset* se experimentan diversas técnicas de data-augmentation como *rotation*, *flipping*, *adding noise* y *brightness* [14].

En la segunda fase se elaboró la construcción de la arquitectura de una Red Neuronal Convolutiva (CNN) en Google Collaboratory y se usó el *dataset* recolectado para entrenar el modelo que realizará las predicciones en las imágenes de los reportes. Como base de nuestra arquitectura de la Red Neuronal Convolutiva, nos apoyamos del modelo “Mobilenet”, el cual es un clasificador de más de 1000 objetos para imágenes [15], y utilizamos la técnica de “Transfer Learning” para aprovechar el modelo subentrenado y concatenar nuestra arquitectura la cual constó de capas de activación Relu y una capa de activación Softmax para realizar la clasificación binaria. Finalmente, se logró un accuracy de 0.8750 para el entrenamiento y un accuracy de 0.8946 para el *dataset* de prueba.

Como última fase del detector de semáforos se empleó la implementación del servicio para identificar semáforos en las fotografías de los reportes y apoyar en el proceso de validación.

El detector de semáforos se desplegó como una api-rest utilizando un

servidor que funciona a partir de Flask con Python.

Finalmente, la arquitectura general para mantener comunicación entre los tres productos presentados se puede apreciar en el siguiente diagrama:

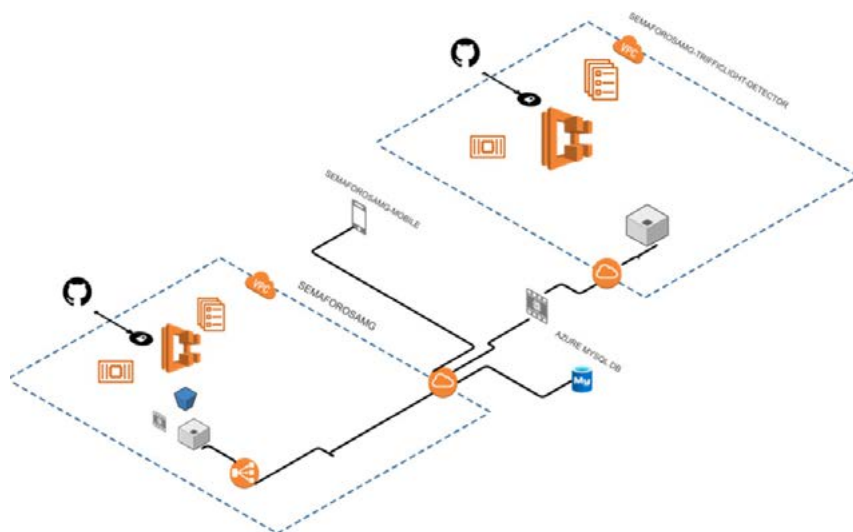


Fig. 2. Diagrama de componentes que representa la arquitectura implementada del sistema. Se mencionan los recursos utilizados en la elaboración del mismo.

En la figura anterior, podemos apreciar que además de plasmar la composición de nuestro sistema, también se menciona la implementación de CI/CD de nuestros repositorios.

### C. Tecnologías utilizadas:

Entre las tecnologías utilizadas para la implementación del sistema web se encuentran:

- AWS
- Git
- Laravel - Livewire
- PHP
- MySQL
- Tailwind
- JS

- CSS

Entre las tecnologías utilizadas para la implementación de la aplicación móvil se encuentran:

- Git
- Ionic Framework
- Angular
- TypeScript
- Capacitor
- scss

Entre las tecnologías utilizadas para la implementación del detector de semáforos se encuentran:

- Tensorflow, Pandas, NumPy
- Flask

#### *D. Repositorios:*

- Sistema web: <https://github.com/Ivanelterrible990729/semaforosamg>
- Aplicación Móvil: <https://github.com/jesusliralp/semaforosamg-mobile>
- Sistema detector de semáforos: <https://github.com/jesusliralp/semaforosamg-trafficli-ght-detector>

#### *E. Pruebas realizadas:*

A continuación se describen las pruebas realizadas acorde al flujo inicial del sistema, partiendo desde los usuarios civiles hasta los operadores del sistema.

*Nota: Con el fin de mostrar imágenes de mejor calidad, se adjuntan capturas de pantalla de la página web, ya que esta también es responsiva para dispositivos móviles y sus capturas abarcan mayor información que la aplicación móvil.*

##### *1) Ingreso al sistema para los usuarios civiles:*

Una vez los usuarios hayan ingresado a la página web, se mostrará una vista de bienvenida:



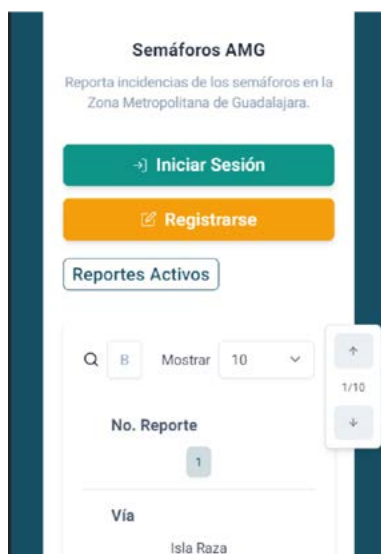


Fig. 3. Vista de bienvenida de la página web de Semáforos AMG. En esta vista es posible registrarse e iniciar sesión para realizar reportes de incidencias de semáforos dentro del AMG.

En la vista principal de la página web se muestra un listado de reportes que ya han sido validados y están en consideración por los operadores. La finalidad de este listado es evitar la duplicidad de reportes ya que los usuarios pueden consultarlos desde la página de bienvenida.

Una vez que los usuarios verifiquen que su incidencia no ha sido reportada, ellos podrán realizar el reporte y para ello es necesario que inicien sesión al sistema. Los usuarios pueden registrarse proporcionando su nombre y un correo electrónico para hacer su verificación posterior.

Los ciudadanos que inicien sesión en la página verán una vista de resumen general en donde podrán realizar varias operaciones:

- Realizar un nuevo reporte.
- Consultar los reportes realizados.
- Acceder a la sección de preguntas frecuentes.
- Consultar el manual de usuario.



Fig. 4. Página de resumen general que se muestra a los ciudadanos. En ella los ciudadanos tienen acceso directo a la realización y consulta de reportes.

## 2) Registro de reportes para usuarios civiles:

Para realizar un reporte, basta que los usuarios den clic en la opción “Realizar nuevo reporte” para ser redirigidos a un formulario y describir la incidencia en cuestión.

Primeramente, es requerido brindar información acerca de la incidencia, así como el tipo de incidencia a tratar y de manera opcional, una descripción detallada sobre la situación.

**Detalle del reporte**

Incidencia  
Requerido

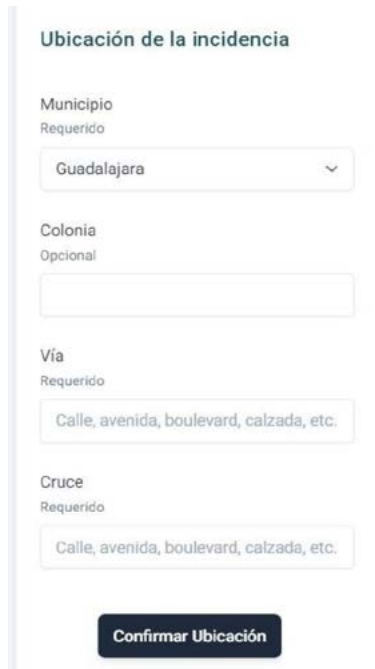
Semáforo con luces averiadas ▾

Descripción detallada  
Opcional

Fig. 5. Sección del formulario para realizar un nuevo reporte, la cual tiene el objetivo de describir la incidencia en cuestión.

Posteriormente, es necesario proporcionar información acerca de la ubicación de la incidencia a reportar; vía, cruce, municipio y de saberlo, la colonia.

Cabe mencionar que al tratarse del sistema web, no se piden coordenadas en tiempo real del usuario, ya que esa funcionalidad es exclusiva de la aplicación móvil.



Ubicación de la incidencia

Municipio  
Requerido

Guadalajara

Colonia  
Opcional

Vía  
Requerido

Calle, avenida, boulevard, calzada, etc.

Cruce  
Requerido

Calle, avenida, boulevard, calzada, etc.

Confirmar Ubicación

Fig. 6. Sección del formulario para realizar un nuevo reporte, la cual tiene el objetivo de brindar información acerca de la ubicación del semáforo reportado.

Debajo del apartado de “Ubicación de la incidencia”, se encuentra un botón con la leyenda “Confirmar Ubicación”, el cual se encarga de tomar la información completada en los campos de la Fig. 6 para así mostrar a manera de coordenadas la ubicación descrita con anterioridad.

El sistema web no dejará realizar el envío del formulario hasta que se confirme la ubicación de la incidencia. De esta forma, los operadores del sistema pueden asegurarse de que la dirección proporcionada en el reporte es certera.



Fig. 7. Mapa que señala la confirmación de la ubicación proporcionada por el usuario. La marca roja representa el punto exacto del cruce.

Como último punto en el formulario y de manera opcional, se pide al ciudadano adjuntar una fotografía de evidencia que capture al semáforo reportado.

### Fotografía de evidencia

Envíanos una fotografía del/los semáforo(s) en cuestión:  
Opcional | Formato JPG o JPEG

Elegir foto

Fig. 8. Sección del formulario para adjuntar una fotografía de evidencia. La fotografía debe enfocar al semáforo reportado.

Una vez completados los apartados anteriores, el sistema permitirá el envío del reporte para su posterior validación por personal operativo del sistema.

### 3) Consulta de reportes para los usuarios civiles:

Al enviar el reporte, se redireccionará al usuario a un panel de información del reporte creado, en donde se podrá consultar el detalle del mismo, así como realizar comentarios de este y consultar el seguimiento de su incidencia.

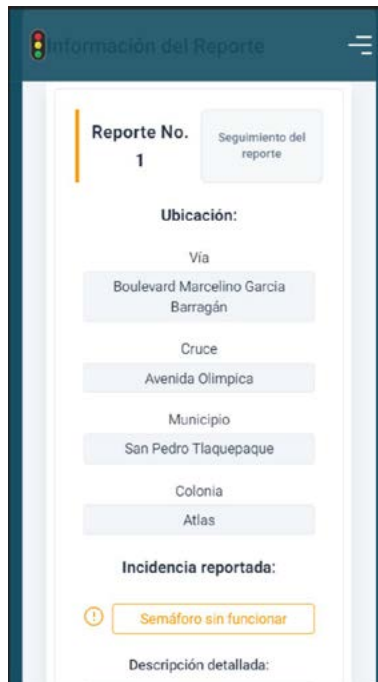


Fig. 9. Panel de Información del reporte desde la perspectiva del usuario civil.

Se muestra la información descrita por el usuario al crear el reporte.



Fig. 10. Panel de información del reporte en donde se muestra la fotografía anexa al mismo, además de su situación actual.

Como se puede apreciar en la Fig. 10, una vez el usuario es redirigido a la información del reporte, ya puede consultar la situación de este, la cual consta de los siguientes valores:

- En espera
- Validado
- Atendiendo
- Finalizado

Las situaciones anteriores se predefinen automáticamente, ya que cada vez que un reporte es enviado, de manera simultánea y sin que el ciudadano lo note, se realiza un procesamiento en la imagen anexada al reporte para predecir la existencia de un semáforo en la fotografía de evidencia.

De esta manera, se automatiza el proceso de validación ya que al tener confirmada la ubicación de la incidencia así como la presencia de un semáforo en escena, el reporte pasa de tener un estatus de “En espera” a tener un estatus “Validado”, dejando así los valores “Atendiendo” y “Finalizado” para los operadores que darán atención al reporte en el sistema.

Los ciudadanos podrán consultar el seguimiento de los reportes y también podrán realizar comentarios respecto a ellos, teniendo así una comunicación abierta entre la ciudadanía y las cuadrillas de atención.



Fig. 11. Sección de “Seguimiento” y de “Comentarios” que se puede consultar en el panel de información del reporte.

### 3) Seguimiento de reportes para los operadores:

Los operadores del sistema se encargan de validar los reportes que no pudieron ser validados por el sistema y además, gestionan el seguimiento por medio de un board dinámico.



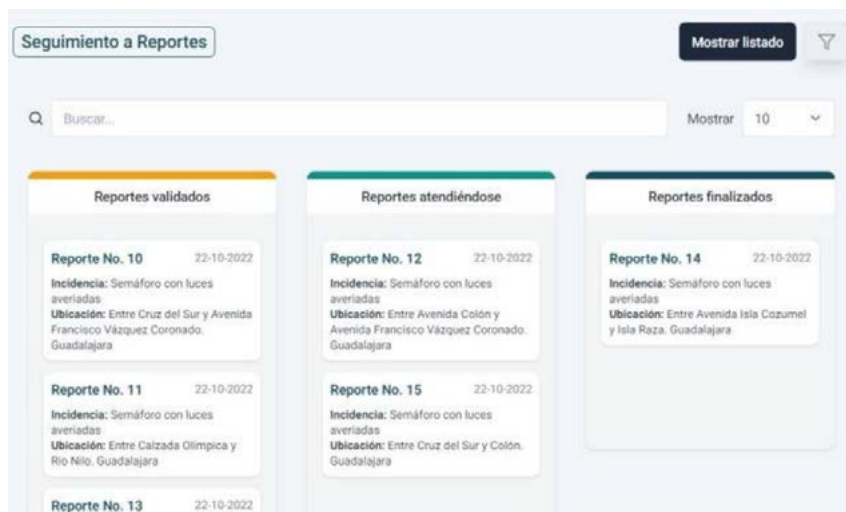


Fig. 12. Tablero dinámico cuya finalidad es facilitar la gestión del seguimiento de los reportes. Los reportes pueden ser arrastrados a las columnas “Reportes validados”, “Reportes atendiéndose” y “Reportes finalizados” según sea su caso.

Al dar clic en los reportes enlistados, los operativos pueden consultar información extra de los reportes para la validación de los mismos, así como la fotografía anexa, la ubicación confirmada en coordenadas y el análisis realizado por el sistema a través del predictor de semáforos del sistema.



Fig. 13. Panel de seguimiento de los reportes desde la perspectiva de los operadores. En este panel es posible realizar comentarios y marcar el seguimiento de las incidencias a tratar en el reporte.

Conforme se realiza el seguimiento de los reportes, se le notificará al autor del reporte cada una de las actualizaciones del mismo vía correo electrónico:

---

Seguimiento Reporte No. 15 [Atendiendo] - Seguimiento del reporte No. 15 Su reporte está siendo
Seguimiento Reporte No. 14 [Finalizado] - Seguimiento del reporte No. 14 El seguimiento de su rep
Seguimiento Reporte No. 12 [Atendiendo] - Seguimiento del reporte No. 12 Su reporte está siendo.
Seguimiento Reporte No. 6 [En espera] - Semáforos AMG Seguimiento del reporte No. 6 Su reporte
Seguimiento Reporte No. 5 [En espera] - Semáforos AMG Seguimiento del reporte No. 5 Su reporte
Seguimiento Reporte No. 4 [En espera] - Semáforos AMG Seguimiento del reporte No. 4 Su reporte
Seguimiento Reporte No. 3 [En espera] - Semáforos AMG Seguimiento del reporte No. 3 Su reporte
Seguimiento Reporte No. 2 [En espera] - Semáforos AMG Seguimiento del reporte No. 2 Su reporte

---

Fig. 14. Listado de correos electrónicos enviados automáticamente para notificar el seguimiento de los reportes a sus propios autores.

## Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

### A. Uso de lenguajes de programación:

Se definen los lenguajes de programación utilizados para cada proyecto:

- 1) Sistema web: El sistema se programó en PHP para el *back-end*, mientras que para el *front-end* se utilizó HTML y CSS, con apoyo de JavaScript.
- 2) Aplicación Móvil: Se desarrolló con ionic usando los lenguajes de TypeScript, HTML y SCSS.
- 3) Detector de semáforos: Se implementó en Python usando Tensorflow Keras para modelar y entrenar la red neuronal.

### B. Uso de bases de datos y/o estructuras de datos.

Para el sistema web, la información se almacena en una base de datos de MySQL y se implementaron diversas estructuras de datos para la gestión y procesamiento de información.

### C. Metodología de programación a seguir:

Se siguió la metodología scrum, como está descrito en la sección III.

### D. Elementos de ingeniería de software:

Se incluyeron diversos elementos para gestionar la lógica y planeación del proyecto, así como documentación para desarrollo en el futuro del mismo. Entre los elementos contemplados, tenemos el diagrama de Gantt, diagrama de componentes, de casos de uso, tarjetas CRC, diagrama ER y un diccionario de datos de la base de datos.

## Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes

Se implementa una CNN (red neuronal convolucional) para la justificación de sistemas inteligentes, ya que ha demostrado un rendimiento excelente en muchos problemas de aprendizaje automático y visión artificial [16].

Se recolectó y etiquetó un *dataset* de imágenes de semáforos para entrenar la CNN. Dicho *dataset* se sigue incrementando y se compone de fotografías de semáforos tomadas desde distintos ángulos y lugares dentro del área metropolitana de Guadalajara. También se incluyen fotografías random en el *dataset* para evitar el sobreentrenamiento o sesgo de la red neuronal.

Se usaron técnicas de data augmentation para incrementar el volumen del *dataset*.

El modelo entrenado de la CNN se alojó en un servidor de Flask que será consultado a través de peticiones desde el sistema Web a partir de ciertos eventos.

Se utilizó un algoritmo de preprocesamiento de imágenes para alimentar a una arquitectura de red convolucional que realiza la tarea de clasificación binaria para identificar la presencia de algún semáforo en la imagen de entrada.

En cuanto a la red neuronal convolucional, se hicieron distintas pruebas en los hiperparámetros de la arquitectura utilizada.

### **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Se implementaron dos API-rest para realizar la intercomunicación entre los distintos recursos del proyecto. La primera API es la que gestiona la comunicación entre la aplicación móvil y el sistema web para consulta y registro de los reportes que realicen los usuarios. La otra API fue producto de las cargas distribuidas entre el sistema web y el detector de semáforos para el procesamiento de imágenes adjuntas a los reportes y la detección de semáforos en las mismas. La API-rest para la aplicación móvil implementa la autenticación basada en JWT.

### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Acorde a los objetivos iniciales, se lograron los siguientes objetivos:

- Se logró el objetivo de que un ciudadano pueda realizar reportes de semáforos en cualquier área de la Zona Metropolitana de Guadalajara por medio de la aplicación móvil.
- Se cumplió el objetivo de registrar el seguimiento de las incidencias reportadas, de tal forma que la información almacenada puede ser consultada.
- Se pudo agilizar el proceso de validación de reportes gracias al uso de la inteligencia artificial para el reconocimiento de semáforos en imágenes.

### **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

El producto final es un sistema con la capacidad de gestionar de manera eficiente los reportes de los semáforos. La solución puede cubrir la demanda de los reportes gracias a la distribución y los servicios utilizados. El sistema puede acelerar el proceso de validación de incidencias gracias a la red neuronal convolucional implementada y esto permitirá ganar tiempo al personal encargado de reparar las averías de los semáforos.

Se entiende perfectamente que el sistema implementado requiere de la participación de la ciudadanía para que cumpla con su utilidad. Se espera que los ciudadanos tengan una buena adopción en esta clase de soluciones, ya que sus atribuciones son el mejor recurso que podemos tener para la innovación y automatización de procesos.

Semáforos AMG es un proyecto con más potencial del que inicialmente se pensó, ya que con el tiempo, es posible agregar nuevos *features* como el monitoreo de la ubicación de los usuarios para tener referencias del flujo vehicular en distintas áreas de la Zona Metropolitana de Guadalajara, o la posibilidad de alertar a los usuarios de incidencias de semáforos que estén cerca de ellos para que ellos mismos tomen precauciones. Claramente el proyecto tiene muchas opciones de escalabilidad una vez esté en uso.

De igual manera, la arquitectura diseñada para el sistema puede aprovecharse en el futuro para realizar una arquitectura de microservicios, donde cada microservicio se encargará de distintos elementos relacionados a la infraestructura vial, como señalamientos o detección de baches.

## Reconocimientos

Reconocimientos al Dr. Carlos Villaseñor por su asesoría y conocimiento en la realización de la red neuronal convolucional utilizada en el presente proyecto.

Agradecimientos Mtro. Samuel Mercado Garibay por sus sugerencias para el desarrollo del módulo de sistemas distribuidos.

Agradecimientos a la AMIM por su cooperación para informarnos sobre su proceso de gestión de reportes para los señalamientos de tráfico.

## Referencias

- [1] Página de la AMIM [Online]. Available: <https://amim.mx>.
- [2] Tráfico ZMG. “La lluvia de este miércoles provoca desincronización de semáforos” [Online]. Available: <https://traficozmg.com/2021/09/la-lluvia-de-este-miercoles-provoca-desincronizacion-de-semaforos/>.
- [3] AMIM. (2021). “Programa de Infraestructura para la Movilidad Inteligente en el AMG” [Online]. Available: [https://amim.mx/pdf/GCT\\_SUBPROGRAMAS.pdf](https://amim.mx/pdf/GCT_SUBPROGRAMAS.pdf).
- [4] Tráfico ZMG. “El vandalismo afecta a los semáforos de la ZMG” [Online]. Available: <https://traficozmg.com/2021/12/vandalismo-afecta-los-semaforos-de-la-zmg/>.
- [5] Tráfico ZMG. “Habilitan línea de atención para reportar semáforos descompuestos” [Online]. Available: <https://traficozmg.com/2021/10/habilitan-linea-de-atencion-para-reportar-sem-aforos-descompuestos/>.
- [6] Página oficial de facebook de la AMIM [Online]. Available: <https://www.facebook.com/AgenciaAMIM>.
- [7] Página oficial de twitter de la AMIM [Online]. Available: <https://twitter.com/AgenciaAMIM>.
- [8] América Economía. “Así se daña tu auto cuando estás en un embotellamiento” [Online]. Available: <https://www.americaeconomia.com/articulos/asi-se-dana-tu-auto-cuando-estas-en-un-embotellamiento>.
- [9] Uniminuto. “Contaminación ambiental producida por el tránsito vehicular y sus efectos en la salud humana” [Online]. Available: <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/view/2612>
- [10] Univisión. “Roban a mano armada a automovilistas que quedaron varados en embotellamiento” [Online]. Available: <https://www.univision.com/noticias/america-latina/robo-pistola-automovilistas-que-durante-embotellamiento-mexico>.
- [11] Proyecto Ciudadapp para la atención de reportes en la ciudad [Online]. Available: <https://mapa.guadalajara.gob.mx/ciudadapp>.
- [12] “Scrum Manifesto” [Online]. Available: <http://www.scrummanifesto.org/>.
- [13] “A successful Git branching model” [Online]. Available: <https://nvie.com/posts/a-successful-git-branching-model/>

- [14] J. Wang, y L. Perez. “*The effectiveness of data augmentation in image classification using deep learning*”. Convolutional Neural Networks Vis. Recognit, 11, 1-8. 2017.
- [15] Keras. “Mobilenet, MobilenetV2 and MobilenetV3” [Online]. Available: <https://keras.io/api/applications/mobilenet/>.
- [16] J. Wu, “*Introduction to Convolutional Neural Networks*” M.S. thesis, Nanjing University, China, 2017.





# Capítulo 9

---

## ***Gadget de monitoreo de plantas, entretenimiento y vigilancia local integrado en Mascota Virtual***

*I. I. López Murillo*

*A. M. Molina Aceves*

*J. L. D. Bonilla Carranza*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*ismael.lopez7590@alumnos.udg.mx*

*andres.molina2886@alumnos.udg.mx*

*jose.bcarranza@academicos.udg.mx*

## Resumen

Plants care culture is hard to inculcate in children and youth, the usual teaching method is usually not enough to make a change in their perspective and to generate empathy with nature. It is demonstrated that playing with gadgets and toys is an efficient way to educate people, also, virtual pets are a tool to generate a bond and make a sense of responsibility in young people. Taking advantage of these technologies described above, a recreative flowerpot gadget with interactive functions such as face recognition and friendly animations displayed in a screen was developed, this prototype includes the implementation of a virtual pet whose feelings are based on environment conditions and human interactions, as well as its own online tracking system to make users empathize with the plant and its care, spreading the idea that this plant is a living being that needs attentions.

## I. Introducción

Las generaciones más jóvenes son herederas de grandes desaciertos generacionales respecto a la pérdida de ecosistemas y al cambio climático, y la educación es uno de los medios más importantes que tenemos para afrontarlos [1]. Sin embargo, la cultura del cuidado de la naturaleza presenta carencias al aplicarse en niños y jóvenes, ya que suele ser un tema de educación general pero cuya aplicación práctica no suele ser incluida como parte de esta.

Además de esto, el cuidado casero de plantas provee de un beneficio tanto psicológico como ambiental en el hogar.

Tener una actitud abierta y flexible a la integración de metodologías y estrategias de intervención es una metodología para mejorar la relación de las personas con su entorno y contribuye a la solución de este problema [2]. Por estos motivos, se busca crear un medio tanto de educación y difusión, como de entretenimiento, dirigido a sector de la población joven, con el cual transmitir una cultura de cuidado a través de métodos tecnológicos modernos, como lo son los gadgets, el internet de las cosas, la visión artificial, las mascotas virtuales y los sistemas web.

Mediante la implementación de un prototipo de *gadget* en forma de maceta inteligente, se dará el medio para dar una personalidad, voz y sentimientos a una planta, encapsulándolo en una mascota virtual cuyas condiciones ambientales e interacciones que tenga con el usuario estén representadas mediante sentimientos, animaciones y estados.

El desarrollo de este prototipo incluye también proveer al usuario de las interfaces necesarias para el seguimiento tanto local como remoto del *gadget*, así como los medios para interactuar con la planta, siendo estos el reconocimiento de imagen y cambios en las condiciones ambientales, los cuales son expresados mediante animaciones e imágenes a través de una pantalla.

## II. Trabajos relacionados

El concepto de maceta inteligente se remonta al 2008, con Digital Pot de Yanko Design, el cual se planteaba como una maceta con una pantalla LCD integrada, la cual le daba una personalidad a la maceta, dependiendo de su temperatura y humedad mediante diez diferentes animaciones y una conexión a computadora para configurar [3].

Posteriormente, en 2019, Mu Design anunciaba Lua a través de Indiegogo, un concepto similar a Digital Pot, ahora con un diseño de maceta más sencillo y moderno, 15 animaciones que dependen de sus sensores de humedad, luminosidad, temperatura y movimiento y el rango de medidas aceptables para los factores ambientales a los que está sometida la planta, los cuales son establecidos mediante una aplicación móvil [4].

Un trabajo similar a este es el más reciente proyecto Ivy de Plantsio, prototipo de 2020 que integra inteligencia artificial para procesar la interacción por medio de gestos en la maceta y mostrarlo mediante 70 diferentes expresiones, cuenta con integración con asistentes virtuales como Alexa, así como con las funcionalidades antes mencionadas de los proyectos anteriores: sensores de nivel de agua, vibración, luminosidad, humedad de aire, humedad de tierra, temperatura y sensores al tacto y una pantalla [5].

De estos proyectos anteriormente mencionados solo uno sigue en ejecución, siendo este el último mencionado, Ivy, el cual en la actualidad se encuentra en proceso de envío de prototipos a los contribuyentes de la plataforma Indiegogo. El primero mencionado, Digital Pot quedó como

una idea no desarrollada que nunca se pudo probar, y el segundo, Lua, quebró debido al alto coste de los componentes derivados del problema de cadena de suministros por la pandemia del COVID-19.

Podemos rescatar varios conceptos de estos antecedentes, como la capacidad de darle a nuestra planta sentimientos que son afectados dependiendo de su cuidado y condiciones ambientales, pero todos carecen de un seguimiento más allá de lo local y la interacción personalizada con sus usuarios, además, fallan en aprovechar el vínculo que se puede generar con la planta para transmitir un mensaje positivo respecto a la educación ambiental.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

El desarrollo de este proyecto se dividió en cinco fases, tanto de estudio como de ejecución, teniendo en cuenta siempre el objetivo final de transmitir una idea positiva a través de un medio que tenga las capacidades de generar una influencia en niños y jóvenes.

#### ***A. Selección e interfaz con el hardware y sensores del sistema embebido del gadget***

Primeramente, para poder comenzar con el desarrollo del proyecto, fue necesario definir qué variables físicas son necesarias monitorear para tener el correcto cuidado de una planta. Asimismo, también fue necesario seleccionar cuáles serán las interfaces de hardware para interactuar con este gadget, siendo seleccionada la opción de una pantalla.

Otro detalle importante dentro de esta fase fue investigar la unidad de procesamiento a elegir, así como la cámara y el microcontrolador que será encargado de realizar el procesamiento y visión artificial de imagen.

Tras la investigación en hojas de datos, variedades y alternativas de sensores y necesidades de lectura del ambiente, se definieron así los siguientes sensores y variables físicas, así como su interfaz de conexión y protocolo de comunicación, las características de cada sensor pueden verse en la Tabla I.

Tabla : Lista de sensores seleccionados

Variable	Sensor	Protocolo	Características
Humedad de tierra	Yl 69	Análoga	0 % -100 % +/- 10 %
Humedad de aire	DHT22 [6]	Protocolo propietario	0 % - 100% +/- 5 %
Temperatura	DHT22	Protocolo propietario	-40 °C - 80 °C, +/- 0.5 °C
Luminosidad	BH1750 [7]	2C	0 lx - 65535 lx +/- 20 %
Entorno (cámara)	OV2640 [8]	SCCB	2 MP, UXVGA @ 15 fps
Salida (pantalla)	ST7789 [9]	SPI	TFT LCD 1.3" 240x240, 65 k colores

Una vez seleccionado el hardware, se siguió la elección del microcontrolador que pudiera manejar conexión a Internet, la lectura e interfaz con los sensores seleccionados y que tenga suficiente escalabilidad en cuanto a hardware para próximas implementaciones. Con ello, se decidió optar por una distribución de carga de procesamiento, principalmente porque la visión artificial es una tarea pesada, y la lectura de sensores y peticiones a un servidor pueden ser más sencillas.

Se terminó eligiendo el microcontrolador ESP32 para las tareas de sensores, conexión a internet y manejo de pantalla, ya que su velocidad de 240MHz, procesador de dos núcleos de arquitectura de 32 bits, cantidad GPIO, conexión 802.11, el soporte de todos los protocolos a emplear [10] y su bajo coste lo hacen el candidato ideal para encargarse de estas funciones.

Estas características, sobre todos las velocidades de procesamiento y memoria RAM de 520Kb y 4Mb externa lo hace también un buen candidato para el procesamiento de imagen; existe una kit de desarrollo que tiene incluida la cámara elegida, el ESP32-CAM [11], así que terminó siendo el microcontrolador escogido.

Así, con los protocolos especificados por el fabricante y el uso de un par de librerías abiertas como TFT\_eSPI y DHTStable, se pudo comunicar con los sensores, realizar mediciones cada dos segundos, ya que la frecuencia de muestreo del DHT22 es de segundos [6], utilizar la pantalla para mostrar algunos mensajes y cargar un sketch de prueba usando la cámara integrada.

## B. Recolección, almacenamiento y consulta de datos

Una vez obtenidas las mediciones de las variables con los sensores y nuestro microcontrolador, el siguiente paso fue definir un sistema capaz de almacenar dichos datos, mantenerlos accesibles, así como establecer la relación entre las medidas obtenidas, la planta de la cual provienen y el usuario que es dueño de este.

Así, se definió un modelo de bases de datos no relacional, ver [12], el cual nos permitirá ir almacenando tantas medidas, plantas y usuarios como sea necesario. El sistema gestor de bases de datos seleccionado fue MongoDB, el cual tiene soporte para bases de datos NoSQL y acceso remoto.

Posteriormente, se necesitó de una interfaz para acceder a dicha base de datos, es decir, un servidor *backend*. Se optó por un servidor de Express, usando el *framework* de Node.js, el cual permite crear aplicaciones escalables, además de tener un soporte para formato JSON nativo, simplificando, en el futuro, las tareas de consulta y manejo de datos.

Dicho servidor tiene que ser accesible fuera de la red local, por lo que su despliegue fue hecho en la plataforma Digital Ocean, con un servidor VPS de Linux.

Una vez con el servidor en la nube y sus servicios de *backend* implementados, se pudo probar su funcionalidad tanto con el software para pruebas Postman, como con peticiones HTTP realizadas a través del sistema embebido.

## C. Consulta remota de datos y gráficas para su comprensión

Una vez teniendo la fuente de datos y la forma en que estos pueden ser almacenados y consultados, se optó por la programación de una interfaz remota que le permita al usuario consultar las mediciones realizadas en su planta, el estado actual de la misma y su comportamiento en tiempo real a través del tiempo.

Para ello, un sistema web resultó ser lo más apropiado, específicamente una aplicación progresiva web (PWA) desarrollada con el framework de Angular, el cual permite crear proyectos escalables y de navegación en una sola pantalla, ideal para tener una experiencia de usuario óptima.

Se realizó el diseño de interfaces mediante el uso de HTML y SCSS para estilos, así como el *framework* de Bootstrap para acelerar el proceso de diseño.

De la misma forma, la parte lógica fue desarrollada con el lenguaje TypeScript, que también cuenta con soporte nativo de formato JSON, así como módulos y servicios integrados para realizar conexiones a web remotas, diseño de componentes modulares y routing entre páginas.

Se conectó al backend de forma exitosa con el módulo integrado en el *framework*, posteriormente se programó tanto en el backend como en el frontend la lógica de sockets con la librería de Socket.io, para, de esta manera, poder recibir las mediciones de una planta conforme el servidor backend las recibe, acercándonos a una consulta en tiempo real, compartiendo un proceso de forma distribuida en distintos sistemas sin consumir demasiados recursos.

Finalmente, para proveer al usuario con una herramienta simple de análisis de datos y visualización gráfica de información, se integró la librería de Chart.js dentro de la aplicación web, esta librería permite generar gráficos diversos, como de línea, de barras o de pastel con un conjunto de datos especificado, proporcionando al usuario interfaces tanto para ver las mediciones históricas de las últimas horas de la planta, como para ver el comportamiento de las variables físicas en tiempo real de una manera más visual y llamativa, como se ilustra en la Fig. 1.



Fig. 1. Gráficas de visualización de datos en tiempo real.



#### D. Detección de rostros e integración con el gadget mediante inteligencia artificial

Retomando el sistema embebido realizado en la primera sección, y una vez integradas las partes principales del sistema, se continuó con el desarrollo del *gadget*.

Primeramente, para poder realizar la visión artificial, es necesario inicializar un servidor web con nuestro ESP32-CAM, de forma que nos sirva como interfaz para visualizar lo que la cámara está captando. Para la interacción mediante la cámara, se hizo uso de visión artificial, tomando como base el algoritmo de Viola-Jones, algoritmo desarrollado por Paul Viola y Michael Jones, el cual es de utilidad para el reconocimiento facial con alta detección de resultados y baja posibilidad de falsa alarma, además de estar optimizado con un coste computacional reducido y también permitir identificar objetos que no son necesariamente caras [13].

Tomando como base el servidor de cámara del ESP32-CAM, se integró con la página web realizada previamente, para darle al usuario también un medio por el cual visualizar el entorno en el que está su *gadget*, sirviendo como un sistema básico de seguridad.

Se tomó apoyo de la librería de visión por computadora, esp-face de ArduCAM, la cual nos permitió realizar la detección básica de rostros y gestos en el microcontrolador, y que en apoyo con el algoritmo Viola Jones nos proporcionó la base de la interacción personalizada con el *gadget* haciendo uso del reconocimiento facial.

#### E. Modelado del gadget e integración con Mascota Virtual

Para continuar con el desarrollo del *gadget*, requerimos del diseño y modelado de nuestra maceta inteligente, se optó por un diseño modular, el cual consta de las siguientes partes:

- 1) Base para la planta: Dentro de esta parte se contendrá la tierra y la planta misma, asimismo, en esta sección se colocarán los sensores físicos, más no su cableado ni la unidad de procesamiento o cable de alimentación.
- 2) Reserva de agua: Este contenedor está aislado de la tercera base, pero junto a la primera, la base de la planta, dentro de este contenedor se

puede vaciar agua para poder tener una reserva de cuidado para nuestro *gadget*.

- 3) Contenedor de electrónicos: En esta pieza se guardan los microcontroladores encargados de leer los sensores y enviar las señales, así como su cableado y alimentación. La pantalla y la cámara dan hacia el exterior, pero se encuentran dentro de este contenedor, aislado de la humedad y la tierra.

Tras definir el diseño del contenedor del *gadget* y su posterior impresión en 3D, cuyo resultado se puede visualizar en la Figura 2, se prosiguió con la última, pero más cargada, parte del desarrollo de este proyecto: la integración de inteligencia artificial y las animaciones personalizadas dentro del *gadget*.

La inteligencia artificial fue desarrollada en la fase anterior, sin embargo, solo el microcontrolador ESP32-CAM tiene conocimiento de lo que pasa, es por ello por lo que para compartir los sentimientos y detecciones que está haciendo la cámara, se diseñó un protocolo propio de mensajes, basado en el protocolo serial, para comunicar los microcontroladores, procesar de un lado la imagen y simplemente compartir la detección con el microcontrolador encargado de la interfaz con pantalla.



Fig. 2. Prototipo del *gadget* con pantalla.

Ahora bien, continúa la integración con la mascota virtual. El uso de “mascotas virtuales” ha demostrado ser un motivador para activarse tanto física como socialmente, siendo agente de cambio en las actitudes de niños y jóvenes [14]. A su vez, se ha comprobado que su correcta implementación genera un cambio de mentalidad en las actitudes de su usuario [15], además de que en niños más pequeños mejora su sentido de seguridad y autoconfianza [16], aunado a un sentimiento de pertenencia y unión con la mascota virtual [17]. La implementación de esta mascota virtual tendrá efectos positivos al objetivo de transmisión y difusión de mensajes, pero para crear esta mascota virtual fue necesario definir sus estados y sus interacciones con el usuario.

Se definieron los posibles estados de nuestra planta, tomando en cuenta las variables físicas que tenemos se puede realizar una tabla de estados con las animaciones, ya sea si la variable está en un estado correcto o si estamos fuera del rango. Es posible manipular estas variables con acciones físicas, como colocar en un lugar más caliente, rociar la planta, regarla o moverla a la sombra.

Se pueden visualizar los principales estados básicos de la planta en la Tabla II.

Variable	Debajo de rango	Rango aceptable	Superior al rango
Temperatura	“Congelado”	“OK”	Muy caliente”
Humedad aire	“Seco”	“OK”	“Sofocado”
Humedad tierra	“Seco”	“OK”	“Ahogado”
Luminosidad	“Vampiro”	“OK”	“Encandilado”

Tabla II. Estados dependiendo de variables físicas.

Estos estados variarán con el tiempo si más de una variable está fuera del rango aceptable.

Asimismo, cada que se detecte un rostro se saludará con una animación dependiendo del estado de las condiciones, así como un mensaje predefinido personalizado, de manera que nuestra planta genera una personalidad y puede transmitirnos mensajes de cómo se siente, dando una voz a la planta y un medio de interacción y juego al usuario.

## Modulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

El sistema propuesto incluye el desarrollo de tres sistemas independientes, siendo el primero el sistema embebido programado en C++, usando los sensores anteriormente descritos y el par de microcontroladores ESP3; el sistema de *backend* programado con JavaScript con el *framework* de Express de Node.js, conectado a una base de datos y servido desde una plataforma Linux mediante el proveedor de Digital Ocean; y el sistema de frontend realizado con el *framework* de Angular con TypeScript, HTML y SCSS y alojado también en la plataforma Linux en Digital Ocean.

Asimismo, el proyecto incluye el uso de una base de datos no relacional y su sistema gestor de bases de datos, MongoDB. Durante la programación del sistema se hicieron uso de listas, como para almacenar las múltiples mediciones de una planta, las diferentes plantas de un usuario, etcétera.

Durante el desarrollo del proyecto se tomó una metodología ágil, con fundamentos en Scrum, tomando juntas constantes, planeación por *sprints* y generación de requerimientos mediante *Design Thinking*, pero también se tomaron componentes de Kanban, como el tablero Kanban y componentes de XP, como los seguimientos de mejores prácticas al momento de programar; toda esta metodología se justifica en la forma de trabajar que tuvimos en el equipo, de avanzar poco a poco y evaluar el rumbo cada cierto tiempo, además de tener una base de código sustentable y bien estructurada, de forma que pueda ser fácilmente mantenido y escalado.

## Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes

El proyecto por sí solo es parte del internet de las cosas, ya que conectamos un objeto de la vida cotidiana a la red y lo hacemos de cierta forma accesible remotamente. Además, se incluyen elementos de robótica por el uso de microcontroladores, sensores e interfaces de salida, todos estos interconectados en una unidad de procesamiento pequeña, el microcontrolador ESP32.

Asimismo, el proyecto incluye el uso de visión artificial mediante la cámara OV2640 y la placa de desarrollo ESP32-CAM. Esta visión artificial es aprovechada con inteligencia artificial para el reconocimiento facial de individuos, usando el algoritmo de Viola Jones, el cual es ideal para la detección de objetos, ya que provee un alto porcentaje de aciertos, tiene pocas fallas y su consumo de recursos para el procesamiento es relativamente bajo, lo que además lo hizo ideal para integrar en el microcontrolador ESP32.

### **Modulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Principalmente, el proyecto se divide en tres sistemas aislados, pero que dependen el uno del otro para funcionar de forma correcta. Estos sistemas multiplataforma se encuentran separados entre sí, pero comparten, almacenan, generan y muestran los mismos datos de forma concurrente, haciendo uso de las herramientas de estabilidad y velocidad de MongoDB.

Asimismo, se hizo uso de *sóquets* entre el *frontend* y el *backend* para mostrar información en tiempo real, o al menos tan rápido como se reciba la información, de las medidas tomadas en el sistema embebido, esto sin gastar demasiados recursos de procesamiento o de red, asimismo se usaron *sóquets* entre el microcontrolador encargado de la visión artificial y el *frontend* para mostrar el video de la cámara en tiempo real.

Otra implementación es la distribución del procesamiento en el sistema embebido, usando una unidad de procesamiento para el reconocimiento facial y otro para la lógica de sensores, conexión a internet e interacción con pantalla, aprovechando en este último del procesamiento de doble núcleo del microcontrolador, asignando un núcleo solo a las peticiones HTTP y el otro a la interfaz con sensores y pantalla.

Finalmente, es posible conectar diversos dispositivos a través de internet, como lo son los diversos clientes de *frontend* con el servidor de *backend*. De igual forma, se usaron los protocolos HTTP para las peticiones por medio de red, pero también los protocolos de comunicación SPI, I2C, Serial, y un protocolo de comunicación propietario en un sistema embebido para la comunicación entre sensores y microcontroladores, la variedad de protocolos se origina por las diferentes interfaces que implementan los sensores y para la evasión de colisiones en la lectura de datos.

#### IV. Resultados obtenidos del proyecto

Durante el desarrollo y planificación del proyecto, pudimos encontrar una gran ventaja respecto al costo de los componentes de hardware utilizados, especialmente en las unidades de procesamiento, es decir, el microcontrolador ESP32, que provee una unidad muy potente con suficientes módulos y una amplia capacidad de programación, pero también tomando en cuenta los sensores e interfaces de entrada/salida empleados. Aprovechando este bajo costo y alto rendimiento y beneficio, se pueden realizar un sinnúmero de aplicaciones llamativas tipo *gadget* para inculcar diferentes valores.

El internet de las cosas aplicado, la visión artificial y la integración de la mascota virtual, entre otras implementaciones, en el sistema embebido permitió analizar las capacidades de hardware y software de las tecnologías actuales, además de que su correcta ejecución en aplicaciones recreativas permitió crear un *gadget* educativo. La lectura de sensores, interfaz con pantalla y cámara, conexión a internet y comunicación entre dispositivos permitió entregar este *gadget* que cumplió con el objetivo de dar una personalidad y sentimientos a una planta, transmitiendo ese mensaje de cuidado a sus usuarios y empatía con la planta, además de proveer de un sistema de seguimiento de condiciones e interacción física.

Respecto a la integración de los sistemas embebidos y web, pudimos acoplar de forma correcta diversos clientes para proveer de un sistema confiable, íntegro y accesible para poder tener un seguimiento, incluso en tiempo real, de una variable de forma remota, logrando así un cuidado más constante de las plantas en sí con el usuario.

El recibimiento por parte del sector joven fue mayormente positivo, pudiendo decir con certeza que este tipo de *gadget* sigue siendo una herramienta llamativa y eficiente para transmitir ideas.

Además de esto, se observó un recibimiento también positivo no solo por parte de la población joven, extendiéndose a sectores de población con más edad. Sin embargo, habría que analizar el efecto que tiene este *gadget* sobre la educación ambiental, la empatía con la mascota virtual y el cuidado de la planta contenida en el *gadget*.

## V. Conclusiones y trabajo a futuro

Con el desarrollo de este proyecto pudimos analizar los alcances a los que se pueden llegar aplicando las nuevas tecnologías disponibles, tanto a nivel de software, con la implementación de visión artificial, internet de las cosas, sistemas web, uso de s $\acute{o}$ quets, entre otros; como a nivel de hardware, con la integraci3n de microcontroladores, sensores e interfaz de costo accesible y altas prestaciones.

Este proyecto contribuye a la difusi3n de ideas mediante m3todos de aprendizaje utilizando herramientas alternas, como lo son los *gadgets* y las mascotas virtuales. Asimismo, el mensaje de cuidado que genera en la poblaci3n objetivo se transmite de una forma m3s concreta y con un mayor porcentaje de integraci3n en los usuarios.

Adicionalmente, las herramientas que se proveen para llevar el registro de condiciones ambientales y los m3todos de notificaci3n al usuario por medio del *gadget* permiten tener un mayor control y conciencia ambiental en la planta residente.

El desarrollo de *gadgets* tiene un objetivo muy importante m3s all3 de la integraci3n de rutinas cotidianas con la tecnolog3a, y es el de difusor, el c3mo podemos compartir una cultura e idea positiva a trav3s de proyectos llamativos a la audiencia joven.

Respecto al futuro del proyecto, el sistema, tanto a nivel de hardware como de software, qued3 abierto y posiblemente escalable a la implementaci3n de nuevos sensores e interacciones con el usuario. Conforme lleguen nuevas ideas, este proyecto podr3a ser escalado e incluso comercializado, pero su enfoque principal ser3 con la integraci3n de nuevo hardware y la explotaci3n local de datos obtenidos a trav3s del tiempo.

En futuras l3neas de investigaci3n, nos gustar3a explorar la difusi3n de otras ideas, valores y culturas por medio de *gadgets*, ya que pudimos concluir que son una herramienta muy 3til y eficiente al momento de difundir ideas.

## Reconocimientos

Agradezco el apoyo a mis padres, hermanos, amigos y compañeros universitarios, quienes me apoyaron de diversas maneras durante el desarrollo del proyecto, con ideas, propuestas, retroalimentación y conocimiento técnico.

De la misma manera, agradecer a la comunidad del laboratorio Inventores de CUCEI, y sobre todo a nuestro asesor José Luis David Bonilla Carranza, quien nos apoyó en este proyecto desde sus etapas más tempranas, creyó en nosotros y nos impulsó a continuar con el desarrollo de este prototipo, a la vez que nos proporcionó las herramientas suficientes para culminar con éxito esta idea que ahora es realidad.

Asimismo, quiero agradecer públicamente a Carlos Luis Bernal Quintero, mentor que pude tener gracias al programa de mentorías de mi trabajo, Intel Corporation, así como a todo el equipo de MVSHW y especialmente a mi grupo, MEO, que siempre ha creído en mí y me ha apoyado en mi desarrollo profesional, educativo y personal.



## Referencias

- [1] R. Calixto-Flores, “Representaciones sociales y prácticas pedagógicas en educación ambiental”. *Educação e Pesquisa*, vol. 47, 2021.
- [2] R. Castro, J. Aragonés, M. Américo, *Psicología ambiental en Educación Ambiental*, Madrid: Pirámide, 2000.
- [3] J. Heo, (2008) The Pet Plant Digital Pot by Junyi Heo. [Online] Available: <https://www.jebiga.com/the-pet-plant-digital-pot-junyiheo/>
- [4] V. Muller, (2019) Lua, the smart planter with feelings! [Online]. Available: <https://www.indiegogo.com/projects/lua-the-smart-planter-with-feelings/>
- [5] G. Sun, (2020) PLANTSIO Ivy - Smart Flowerpots, Endless fun. [Online]. Available: <https://www.indiegogo.com/projects/plantsio-ivysmart-flowerpots-endless-fun/>
- [6] Digital-output relative humidity and temperature sensor/module DHT22. Aosong Electronics Co., Ltd., 2009.
- [7] Digital 16-bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC. Rohm Semiconductors, 2011.
- [8] OV2640 Color CMOS UXVGA (2.0 MegaPixel) CameraChip with OmniPixel Technology, OmniVision, 2006.
- [9] ST7789VW, Sitronix Technology Corporation, 2017
- [10] ESP32, Espressif Systems, 2022.
- [11] ESP32-CAM Development Board, DFRobot, 2022.
- [12] A. M. Molina Aceves, I. I. López Murillo, Modelo de Base de Datos [Online] Available: <https://docs.google.com/document/d/1ui1o2-yzVkZoMBCepJkLkI9qHZinS49W9Z43F8dUq70/edit?usp=sharing>
- [13] C. Barroso Heredia, Implementación del algoritmo de detección de caras de Viola Jones sobre una FPGA. Universidad Carlos III de Madrid, 2014.
- [14] M. Ruckenstein, “Toying with the world: Children, virtual pets and the value of mobility”, *Childhood*, vol. 17, núm. 4. SAGE Publications, pp. 500-513, nov. 2010.
- [15] S. J. (Grace) Ahn, K. Johnsen, J. Moore, S. Brown, M. Biersmith, y C. Ball, “Using Virtual Pets to Increase Fruit and Vegetable Consumption in Children: A Technology-Assisted Social Cognitive Theory

- Approach”, *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, vol. 19, núm. 2. Mary Ann Liebert Inc, pp. 86-92, feb. 2016.
- [16] L. C. Pogrebin, “Among Friends”, Nueva York, McGraw-Hill, 1987.
- [17] K. Nakajima y M. Niitsuma, “Effects of Space and Scenery on Virtual Pet-Assisted Activity”, *Proceedings of the 8th International Conference on Human-Agent Interaction*. ACM, nov. 02, 2020.



# Capítulo 10

---

## **PneumoniApp**

*Juarez Escobedo Esteban Andres  
Ortiz Bravo Eliseo Alberto  
Villaseñor Padilla Carlos Alberto*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*esteban.juarez7909@alumnos.udg.mx  
eliseo.ortiz4380@alumnos.udg.mx  
carlos.villasenor@academicos.udg.mx*

## Resumen

En este documento se describe el proyecto modular desarrollado, el cual es una aplicación auxiliar en el diagnóstico de casos de neumonía mediante el análisis de radiografías, aplicando inteligencia artificial a través de un modelo de redes neuronales. Se contextualiza el proyecto en la actualidad, donde el entendimiento fisiopatológico de las afectaciones pulmonares provocadas debido al COVID-19 [4] nos ha permitido entender de mejor manera los casos de neumonía asociados al COVID-19 [5]. Tomando en consideración esto, aunado a los antecedentes del uso de las redes neuronales para la detección de patrones en fotografías para el posible descubrimiento de padecimientos tales como cáncer de melanoma, afectaciones pulmonares [7], algunos tipos de lesiones en la piel, entre muchas otras, se ha propuesto desarrollar un sistema especializado en casos de neumonía, si bien existen sistemas capaces de detectar múltiples enfermedades [6], nuestro proyecto tiene como objetivo la especialización en casos posibles de neumonía, buscando realizar nuestra aportación al estado del arte, el cual ha sido bastante explorado estos últimos años.

El sistema es desplegado sobre una arquitectura cliente-servidor utilizando comunicación TCP entre dos servidores, uno encargado del análisis y otro responsable de mostrar los resultados. Con nuestra implementación obtuvimos un porcentaje de precisión de casi 88 % en la detección de casos de neumonía, lo cual nos posiciona como una opción viable frente a las demás alternativas (descritas brevemente más adelante); implementamos nuestros conocimientos y adquirimos algunos nuevos durante nuestra investigación, logrando obtener resultados satisfactorios y demostrando nuestra capacidad de mejorar nuestra trayectoria académica y laboral.

## I. Introducción

Nuestro entorno se ha visto alterado en los últimos años, el alza de casos de neumonía derivados de enfermedades como el COVID-19 propone un gran reto: agilizar la detección de casos activos de neumonía. Nuestro proyecto propone una solución mediante el uso de redes neuronales y su capacidad de reconocer patrones, a través del análisis de alrededor de

5000 radiografías hemos logrado desarrollar un sistema capaz de detectar casos de neumonía, aunque este proyecto no busca sustituir el diagnóstico médico profesional, sino más bien fungir como un auxiliar para el personal médico, esto debido a que la detección temprana de esta enfermedad es crucial, beneficiando tanto a los pacientes como al médico, el cual será capaz de intervenir utilizando los tratamientos adecuados. Mediante la solución planteada el médico será capaz de utilizar el sistema a través de una interfaz gráfica amigable, permitiendo que el médico analice y sea capaz de acceder a los resultados obtenidos.

### *A. Planteamiento del problema*

Actualmente debido a la pandemia mundial causada por el virus SARS-CoV-2 (COVID-19) se ha presentado un incremento considerable en la cantidad de personas diagnosticadas con enfermedades graves como la neumonía derivada como una secuela de la enfermedad causada por el virus. Los pacientes que han tenido un compromiso pulmonar por COVID-19 pueden presentar distintas lesiones pulmonares durante la evolución de su enfermedad. En epidemias anteriores por coronavirus como SARS y MERS, la neumonía organizada (NO) inducida por virus ha sido un hallazgo frecuente y bien descrito [1]. Esta es una condición histológica de daño pulmonar caracterizada por un llenado en los alvéolos y ductos alveolares con fibroblastos en forma de huso y miofibroblastos, los cuales posteriormente forman un tejido de granulación [2]. En el caso del SARS, la prevalencia de la NO y su variante histológica denominada neumonía organizada fibrinoide aguda (AFOP) se ha estimado entre 30 % y 60 % en pacientes que estuvieron en terapia intensiva [1]. En COVID-19, su patrón tomográfico es casi idéntico al de NO [3]. Por su parte, también se ha reportado la existencia del patrón histopatológico de AFOP en pacientes con COVID-19 [4], [5].

Los síntomas de la neumonía varían en su nivel de gravedad según distintos factores como la edad, el tipo de germen que causó la infección, etcétera. Los signos y síntomas pueden incluir lo siguiente:

- Dolor en el pecho al respirar o toser
- Desorientación o cambios de percepción mental (en adultos de 65 años o más)

- Tos que puede producir flema
- Fatiga
- Fiebre, transpiración y escalofríos con temblor
- Temperatura corporal más baja de lo normal (en adultos mayores de 65 años y personas con un sistema inmunitario débil)
- Náuseas, vómitos o diarrea
- Dificultad para respirar

Cuando una persona piensa que presenta síntomas de neumonía puede solicitar distintas pruebas a su médico como lo son:

- Una radiografía de tórax analiza si hay inflamación en los pulmones. Se suele usar una radiografía de tórax para diagnosticar neumonía.
- Los análisis de sangre, como un hemograma completo (CBC), se usan para saber si el sistema inmunitario está luchando contra una infección.
- La oximetría de pulso mide la cantidad de oxígeno en la sangre. La neumonía puede impedir que los pulmones dejen pasar suficiente oxígeno a la sangre. Para medir las concentraciones de oxígeno, se coloca un pequeño sensor, llamado oxímetro de pulso, en un dedo de la mano o en la oreja.

## **II. Trabajos relacionados**

En la actualidad se han desarrollado herramientas para la detección de enfermedades o posibles afectaciones en seres vivos. Se han creado sistemas que utilizan esta técnica para la detección de cáncer de pulmón implementando distintos modelos. Por la naturaleza del funcionamiento de las redes se han utilizado modelos similares para el entrenamiento de redes capaces de detectar anomalías en lunares en la piel, afectaciones en los pulmones y otros órganos, afectaciones en hojas de plantas y frutos, etcétera.

La detección de neumonía mediante radiografías de tórax ha sido un problema durante muchos años [6], [7], siendo la principal limitación la escasez de datos disponibles públicamente. Chandra y Verma [9] segmentaron las regiones pulmonares a partir de imágenes de rayos x de tórax y extrajeron ocho características estadísticas de estas regiones, que usaron para clasificarlas. Implementaron cinco clasificadores tradicionales: per-

ceptrón multicapa (MLP), bosque aleatorio, optimización mínima secuencial (SMO), clasificación mediante regresión y regresión logística.

Evaluaron su método en 412 imágenes y lograron una tasa de precisión del 95.39 % con el clasificador MLP. Las CNN (Redes neuronales convolucionales) son excepcionales para la clasificación de datos de imágenes porque extraen automáticamente características invariantes en la traducción a través de la convolución de la imagen de entrada y los filtros.

Durante el desarrollo del proyecto utilizamos un repositorio público de radiografías llamado “Chest X-Ray Images (Pneumonia)” [10] el cual contiene más de 5000 radiografías separadas clasificadas correctamente para el entrenamiento de la red neuronal.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto**

#### *A. Definición de la metodología de trabajo*

Previo al inicio de la codificación se definió la metodología de desarrollo a utilizar por parte de ambos integrantes, según nuestra experiencia, consideramos que el uso de metodologías ágiles nos beneficiaba en este desarrollo, pues al ser un proyecto nuevo para ambos, la adquisición de conocimientos nuevos y la flexibilidad de estas metodologías nos permitirían introducir cambios de forma más fluida, sin afectar el trabajo de alguno de los integrantes. Una vez con este tipo de metodologías en mente, se decidió utilizar un acercamiento iterativo, propio de las metodologías ágiles, tal como se utiliza en Scrum; definimos ciclos de desarrollo cortos, siendo lapsos de una semana y realizando sesiones de actualización diarias, para mantenernos al tanto del progreso o bloqueos encontrados, pudiendo solucionar la mayor parte de ellos durante estas sesiones.

#### *B. Requerimientos*

Posterior a la metodología de desarrollo, realizamos la definición de los requerimientos y funcionalidades principales del proyecto, los cuales se enlistan a continuación.



Para el servidor encargado del análisis de las radiografías:

- Tener la capacidad de entrenar el modelo clasificador de imágenes.
- Almacenar el estado del modelo en cualquier punto del entrenamiento.
- Poder recuperar el estado del modelo según los archivos de guardado creados con base en el requerimiento anterior.
- Ejecutar el análisis correspondiente y brindar un resultado.
- El resultado deberá contener las predicciones para ambas posibilidades, es decir, ser un caso probable de neumonía o no.
- El servidor deberá ser capaz de comunicar su resultado a través de la comunicación con el otro servidor.

Para el servidor encargado de mostrar los resultados:

- Servidor capaz de recibir y procesar peticiones.
- Acceso a la aplicación mediante un navegador web.
- Interfaz gráfica sencilla e intuitiva que facilite el uso de la aplicación.
- Posibilidad de carga de imágenes para su procesamiento.
- Almacenamiento de información y resultados.
- Debe permitir establecer comunicación entre servidores.
- Capacidad de mostrar los resultados obtenidos.

### C. Tecnologías utilizadas

Lo primero que hemos definido ha sido el lenguaje de programación a utilizar para el desarrollo del proyecto, debido a nuestra experiencia con el lenguaje, además de brindarnos mayor facilidad de lograr los objetivos propuestos, hemos seleccionado Python como el lenguaje de programación a utilizar, tanto para realizar el análisis de las radiografías como para presentar la interfaz al usuario final.

Una vez con un lenguaje de programación definido, hemos realizado una investigación acerca de marcos de trabajo o librerías que nos permitirían alcanzar los requerimientos, nos hemos encontrado con bastantes opciones por parte del análisis de radiografías: Pytorch, Keras, Tensorflow, Scikit-learn son algunas de las tecnologías escritas en Python para el desarrollo de redes neuronales, pero finalmente nos hemos decantado por Keras, adicionalmente utilizamos la extensión KerasTuner, la cual es un

framework de optimización de hiperparámetros escalable y fácil de usar que resuelve los puntos débiles de la búsqueda de hiperparámetros; por otro lado, para la interfaz de usuario hemos encontrado también varias opciones: Flask y Django siendo dos de las más conocidas, sin embargo, debido a que contamos con experiencia previa en desarrollo con Django, fue este nuestra elección final.

Posteriormente, decidimos el servidor web a utilizar para el despliegue de la aplicación desarrollada en Django, aquí las dos opciones más populares son Apache y NGINX, sin embargo, nuestra decisión fue clara desde un inicio, debido también a que contábamos con experiencia utilizando y configurando el servidor web Apache, por lo que nos decidimos por este.

Finalmente, para poder comenzar con la codificación, el control de versiones fue indiscutido, seleccionando nuestra opción favorita: GitHub. Debido a la necesidad de codificar dos servidores fue que se decidió crear una “organización” en GitHub, con la finalidad de mantener ambos códigos independientes y organizados; la organización se llama “PneumoniApp”, mientras que los repositorios llevan por nombre “classification-server” y “web-server” para el servidor encargado de clasificar las imágenes y el servidor web, respectivamente. Se puede encontrar la organización en el siguiente enlace: <https://github.com/PneumoniApp> y dentro de ella los repositorios anteriormente mencionados.

#### *D. Implementación*

Debido a nuestro desconocimiento sobre los mejores modelos para clasificación basado en reconocimiento de patrones, debimos comenzar una búsqueda acerca de ellos, encontramos bastantes modelos en diferentes trabajos relacionados: AlexNet [8], VGG16, VGG19, DenseNet169 [12], GoogLeNet, ResNet-18, DenseNet-121 [15], Xception, InceptionV3, DenseNet201, NASNetMobile, ResNet152 [13], e incluso hay quienes diseñaron su propio modelo [11] como solución para la clasificación, por lo que llegamos a la misma conclusión que el resto de los autores, no existe ningún modelo por encima del otro, incluso, en la mayoría de los casos, puede que los modelos (ya entrenados) sean inservibles para casos reales, debido a las condiciones de las radiografías, el ruido que pueden contener y muchísimos otros factores que escapan a nuestro control.

Dada la variedad de trabajos relacionados, decidimos optar por un acercamiento diferente: investigar modelos y su funcionamiento, analizando sus características con respecto a los otros, fue así que encontramos un modelo llamado “EfficientNet” el cual es “un modelo de red neuronal convolucional y un método de escalado que escala uniformemente todas las dimensiones de profundidad/anchura/resolución utilizando un coeficiente compuesto. A diferencia de la práctica convencional que escala arbitrariamente estos factores, el método de escala EfficientNet escala uniformemente el ancho, la profundidad y la resolución de la red con un conjunto de coeficientes de escala fijos” [14]. Al ser uno de los trabajos implementados más cercanos a los objetivos de nuestro proyecto decidimos realizar pruebas con este modelo y logramos entrenar una red capaz de clasificar imágenes de rayos x de la caja torácica de forma correcta. Realizamos el entrenamiento utilizando el *dataset* antes mencionado, el cual se encontraba debidamente clasificado en tres subconjuntos de imágenes: entrenamiento, validación y prueba. Las imágenes son preprocesadas antes de comenzar el entrenamiento del modelo, normalizando las dimensiones de las imágenes y alterando ligeramente la rotación de estas, permitiendo la clasificación aún si la imagen no se encuentra adecuadamente posicionada.

Lamentablemente, esta versión de la implementación no fue considerada como satisfactoria por nuestro asesor para alcanzar los objetivos planteados en el proyecto además de cumplir con los requisitos del comité de titulación, por lo que se descartó y se inició una nueva implementación, siguiendo con sus recomendaciones, utilizamos un modelo llamado “MobileNet V2”, esto debido a sus bajos requerimientos de implementación y entrenamiento, lo cual nos ayuda a reducir el costo de cómputo implicado al utilizar este modelo, dado que ninguno de los integrantes del equipo contamos con el hardware especializado requerido para poder implementar y entrenar redes convolucionales de forma rápida y eficiente, por lo que entrenar un modelo ligero y eficaz nos ha parecido el acercamiento adecuado a una solución compleja.

## *MobileNets*

MobileNets se basa en una arquitectura simplificada que utiliza convoluciones separables en profundidad (depth-wise separable convolutions) para construir redes neuronales profundas y livianas. Presenta dos hiperparámetros globales simples que compensan de manera eficiente la latencia y precisión. Estos hiperparámetros permiten elegir el modelo del tamaño adecuado para su aplicación en función de las limitaciones del problema. Las MobileNets son efectivas en una amplia gama de aplicaciones y casos de uso, incluida la detección de objetos, la clasificación de grano fino, los atributos faciales y la geolocalización a gran escala.

## *MobileNetV2*

La arquitectura de MobileNet V2 se basa en una estructura residual invertida en la que la entrada y la salida del bloque residual son capas delgadas de cuello de botella opuestas a los modelos residuales tradicionales que usan representaciones expandidas en la entrada. La MobileNet V2 usa convoluciones ligeras en profundidad para filtrar características en la capa de expansión intermedia. Se encontró que es importante eliminar las no linealidades en las capas estrechas para mantener el poder de representación. Se demostró que esto mejora el rendimiento sobre la versión 1 de las MobileNets.

Type / Stride	Filter Shape	Input Size
Conv / s2	$3 \times 3 \times 3 \times 32$	$224 \times 224 \times 3$
Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 32$ dw	$112 \times 112 \times 32$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 32 \times 64$	$112 \times 112 \times 32$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 64$ dw	$112 \times 112 \times 64$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 64 \times 128$	$56 \times 56 \times 64$
Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 128$ dw	$56 \times 56 \times 128$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 128 \times 128$	$56 \times 56 \times 128$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 128$ dw	$56 \times 56 \times 128$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 128 \times 256$	$28 \times 28 \times 128$
Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 256$ dw	$28 \times 28 \times 256$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 256 \times 256$	$28 \times 28 \times 256$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 256$ dw	$28 \times 28 \times 256$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 256 \times 512$	$14 \times 14 \times 256$
5× Conv dw / s1	$3 \times 3 \times 512$ dw	$14 \times 14 \times 512$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 512 \times 512$	$14 \times 14 \times 512$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 512$ dw	$14 \times 14 \times 512$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 512 \times 1024$	$7 \times 7 \times 512$
Conv dw / s2	$3 \times 3 \times 1024$ dw	$7 \times 7 \times 1024$
Conv / s1	$1 \times 1 \times 1024 \times 1024$	$7 \times 7 \times 1024$
Avg Pool / s1	Pool $7 \times 7$	$7 \times 7 \times 1024$
FC / s1	$1024 \times 1000$	$1 \times 1 \times 1024$
Softmax / s1	Classifier	$1 \times 1 \times 1000$

Fig. 1. Arquitectura de la MobileNet [16].

Input	Operator	$t$	$c$	$n$	$s$
$224^2 \times 3$	conv2d	-	32	1	2
$112^2 \times 32$	bottleneck	1	16	1	1
$112^2 \times 16$	bottleneck	6	24	2	2
$56^2 \times 24$	bottleneck	6	32	3	2
$28^2 \times 32$	bottleneck	6	64	4	2
$14^2 \times 64$	bottleneck	6	96	3	1
$14^2 \times 96$	bottleneck	6	160	3	2
$7^2 \times 160$	bottleneck	6	320	1	1
$7^2 \times 320$	conv2d 1x1	-	1280	1	1
$7^2 \times 1280$	avgpool 7x7	-	-	1	-
$1 \times 1 \times 1280$	conv2d 1x1	-	k	-	-

Fig. 2. Arquitectura de la MobileNet V2. Cada línea describe una secuencia de 1 o más capas idénticas, repetidas “n” veces. Todas las capas en la misma secuencia tienen el mismo número “c” de canales de salida. La primera capa de cada secuencia tiene un paso “s” y todos los demás usan el paso 1. Todas las convoluciones espaciales usan núcleos de  $3 \times 3$ . Tomada de: ver referencia [17].

La convolución separable en profundidad reduce el cálculo en comparación con las capas tradicionales en casi un factor de  $k^2$ . MobileNet V2 usa  $k = 3$  ( $3 \times 3$  circunvoluciones separables en profundidad), por lo que el costo computacional es de 8 a 9 veces menor que el de las convoluciones estándar con solo una pequeña reducción en la precisión.

### *Implementación propia*

Se decidió desarrollar una red propia, para su construcción es necesario conocer los mejores hiperparámetros, fue así que para lograr solucionar este primer desafío encontrado, se utilizó KerasTuner, que nos permitió entrenar diversos modelos dado un rango de hiperparámetros previamente especificados. Se configura fácilmente su espacio de búsqueda con una sintaxis bastante simple: basta con especificar el hiperparámetro, su valor mínimo y su valor máximo posible, y su incremento entre dichos valores.

Una vez definidos los hiperparámetros a buscar, se define uno de los algoritmos de búsqueda disponibles para encontrar los mejores valores para cada uno de los hiperparámetros para el modelo que está siendo entrenado. KerasTuner cuenta con algoritmos de optimización bayesiana, hiperbanda y

búsqueda aleatoria incorporados, cada uno de estos algoritmos entrena distintas posibles arquitecturas del modelo para encontrar cuales son los hiperparámetros adecuados para el uso del modelo con el *dataset* proporcionado y, como es de esperar, cada algoritmo funciona de forma diferente.

Antes de comenzar con la búsqueda, se realizaron pequeñas pruebas de entrenamiento, con la intención de medir el tiempo que tomaba entrenar un modelo por época, llegando así a la conclusión de que el tiempo de entrenamiento por época oscilaba entre un minuto con 30 segundos y un minuto con 40 segundos. Una vez conociendo cómo implementar los hiperparámetros y sabiendo cuánto toma entrenar una época, se comenzó con la construcción del modelo personalizado donde se utiliza como base el modelo clásico de la MobileNet V2, removiendo las capas finales de este y adjuntando la implementación, la cual consta de 3 capas densas, y termina con la capa de salida, la cual es binaria; para la implementación personalizada acudimos con nuestro asesor, el cual nos dio un rango de valores que él considera decente para una búsqueda de hiperparámetros en un problema de clasificación binario como el nuestro, esto, claro, tomando en cuenta su experiencia en el campo; el espacio de búsqueda fue el siguiente:

- Función de activación (para cada capa): relu, tangente hiperbólica o sigmoide,
- Primera capa densa: 256 como valor mínimo y 1024 como valor máximo posible,
- Segunda capa densa: 128 como valor mínimo y 512 como valor máximo posible,
- Tercera capa densa: 32 como valor mínimo y 256 como valor máximo posible, y
- Learning rate:  $1e-5$  como valor mínimo y  $1e-2$  como valor máximo posible.

Para las capas densas se utilizó un incremento de 32 unidades entre cada uno de los valores mínimos y máximos.

Finalmente, se decidió buscar 50 modelos diferentes, entrenando cada uno de ellos durante 50 épocas. Esto también debido a recomendaciones de nuestro asesor, el cual nos comentó que no recomendaba entrenar ningún modelo por menos de 50 épocas, debido a que puede ocultar pro-

blemas de rendimiento. La búsqueda de hiperparámetros se realizó por partes en diferentes días, totalizando alrededor de 70 horas de cómputo en nuestro hardware.

```

{"trial_id": "10", "hyperparameters": [{"class_name": "Choice", "config": {"name": "dense_activation", "default": "relu", "conditions": [], "values": ["relu", "tanh", "sigmoid"], "ordered": false}}, {"class_name": "Int", "config": {"name": "first_layer_units", "default": null, "conditions": [], "min_value": 256, "max_value": 1024, "step": 32, "sampling": null}}, {"class_name": "Int", "config": {"name": "second_layer_units", "default": null, "conditions": [], "min_value": 128, "max_value": 512, "step": 32, "sampling": null}}, {"class_name": "Int", "config": {"name": "third_layer_units", "default": null, "conditions": [], "min_value": 32, "max_value": 256, "step": 32, "sampling": null}}, {"class_name": "Float", "config": {"name": "learning_rate", "default": 0.001, "conditions": [], "min_value": 1e-05, "max_value": 0.01, "step": null, "sampling": "log"}}], "values": {"dense_activation": "sigmoid", "first_layer_units": 256, "second_layer_units": 512, "third_layer_units": 192, "learning_rate": 0.01}}, {"metrics": [{"metrics": [{"loss": {"direction": "min", "observations": [{"value": 0.2795412838459015, "step": 12}], "accuracy": {"direction": "max", "observations": [{"value": 0.863113522529602, "step": 12}], "val_loss": {"direction": "min", "observations": [{"value": 0.4845494329929352, "step": 12}], "val_accuracy": {"direction": "max", "observations": [{"value": 0.75, "step": 12}]}}]}], "score": 0.75, "best_step": 12, "status": "COMPLETED"}

```

Fig. 3. Muestra de un modelo construido por el buscador (muestra los hiperparámetros probados). Tomado de los resultados obtenidos.

Una vez obtenidos los hiperparámetros a través de la búsqueda con KerasTuner, realizamos el entrenamiento correspondiente de la mejor red neuronal encontrada utilizando el *dataset* previamente mencionado, se creó un modelo con los hiperparámetros encontrados y se procedió a entrenar durante 500 épocas, el cual, traducido a tiempo de cómputo, fue equivalente a casi 13 horas de entrenamiento. Para evitar la sobre-especialización del modelo, se utilizó un *callback* provisto por Keras, llamado “Model-Checkpoint”, el cual nos permite almacenar el mejor modelo encontrado previo a sufrir sobre-especialización o almacenarlo con una frecuencia determinada. Una vez completado el entrenamiento la red neuronal está lista para predecir las imágenes proporcionadas por el usuario.



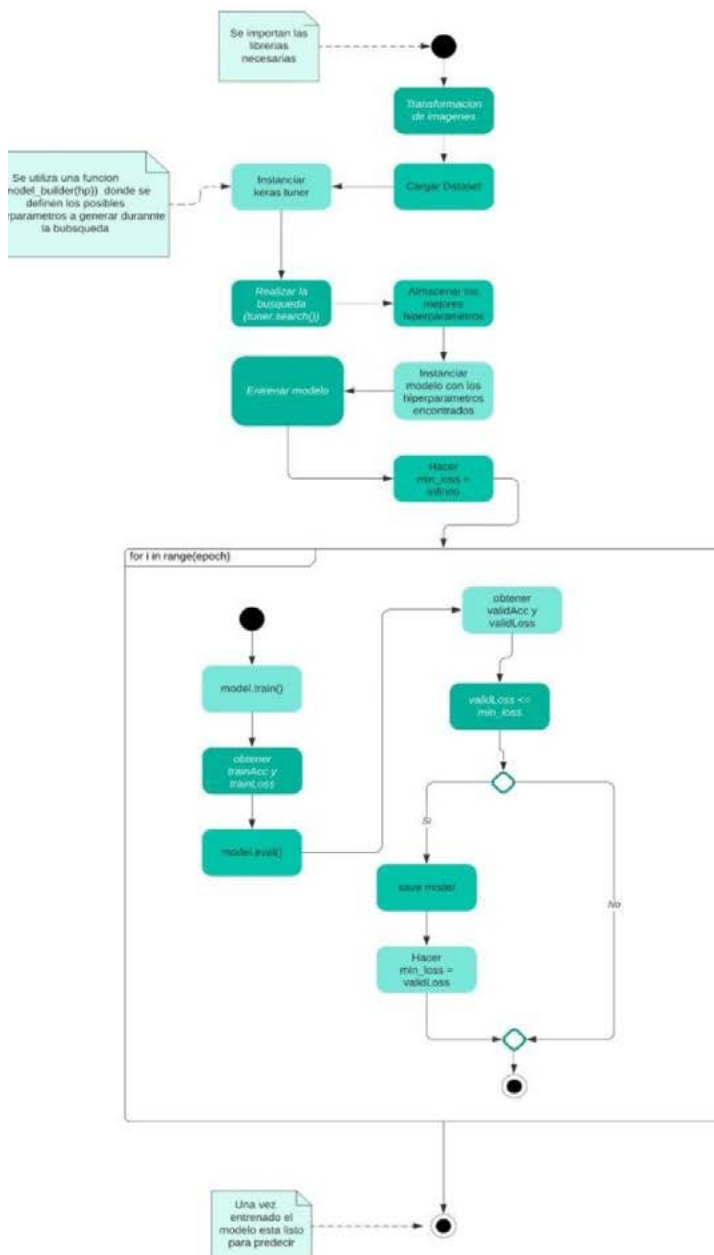


Fig. 4. Diagrama de actividades del entrenamiento de la red neuronal. Tomada de autoría propia.

Posteriormente realizamos una interfaz gráfica amigable para el usuario, esto se logró mediante la creación de una interfaz web, la cual permite la interacción del usuario final con la aplicación, facilitando la carga de imágenes.

Desarrollamos la interfaz gráfica del usuario utilizando “Django” el cual es un framework de desarrollo web escrito en python que utiliza el patrón de diseño conocido como “modelo-vista-controlador”. La aplicación desarrollada se comunica con las bases de datos para resguardar y desplegar la información proporcionada por los usuarios, de la misma manera, la aplicación se comunica con el servidor que contiene a la red neuronal para obtener los resultados de las predicciones solicitadas por los usuarios. La aplicación está disponible a través del dominio [pneumoniapp.tech](http://pneumoniapp.tech).

Adicionalmente, utilizamos los sistemas gestores de bases de datos mysql el cual nos permitió crear y administrar bases de datos relacionales almacenando las tablas necesarias. Deshabilitamos el acceso root a las bases de datos y delimitamos el acceso a las bases de datos creando usuarios específicos para las bases de datos. Una base de datos almacena los registros de la aplicación, guardando la dirección de las imágenes alojadas en el servidor web, la otra base de datos funciona como un servidor de respaldo, en caso de que las imágenes sean eliminadas del sistema de archivos la aplicación web es capaz de recuperar las imágenes.

Desarrollamos una REST.API que nos permitiera comunicar el servidor con la inteligencia artificial y la aplicación web utilizando Flask, la aplicación desarrollada contiene la red neuronal entrenada y se encarga de responder a las peticiones recibiendo imágenes de radiografías y preprocesándolas antes de predecir un resultado. Utilizamos este framework minimalista debido a su sencillez y su capacidad para ejecutar instrucciones escritas en el lenguaje Python.

Utilizamos servidores virtuales proporcionados por Digitalocean, un proveedor de servidores virtuales privados también llamados Droplets, creamos los Droplets utilizando imágenes del sistema operativo Debian 11x64. Una vez instalado el sistema operativo reconfiguramos el servicio de acceso remoto, instalamos y configuramos en el servidor web Apache para desplegar las aplicaciones, estas cuentan con entornos virtuales los cuales nos permiten tener un mejor control sobre los paquetes necesarios para cada aplicación.

Comparamos el nombre de dominio con el proveedor Hostinger y configuramos los name server para utilizar los servicios que DigitalOcean ofrece, configuramos los registros DNS para redireccionar a los usuarios a los servidores correspondientes.

Para los servidores que contienen las bases de datos instalamos y configuramos el servicio de mysql para ser capaz de procesar peticiones fuera de la máquina local.

## **Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

La planeación, diseño y desarrollo del proyecto se realizó conforme a las prácticas mencionadas anteriormente, todas ellas fundamentadas en la teoría de la ingeniería de software, más específicamente en las metodologías ágiles.

## **Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

El propósito de este proyecto gira en torno al uso de redes neuronales, su entrenamiento y uso en predicciones de casos de neumonía.

## **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Se distribuye el procesamiento de cálculos (un servidor para análisis de radiografías y uno web), se realiza la comunicación entre ambos servidores mediante la creación de una REST API (utilizando *Flask*), además de la obvia comunicación http provista por el servidor web.

## **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Realizamos la lectura del *dataset* utilizado de 5216 imágenes para entrenar y 624 imágenes para comprobaciones.

Preprocesamos el *dataset* para generar rotaciones aleatorias y creamos lotes para el entrenamiento del modelo.



Fig. 5. Radiografía antes del preprocesamiento. Tomada de: “Chest X-Ray Images (Pneumonia)” [10].



Fig. 6. Radiografía después del preprocesamiento (rotación). Imagen original tomada de: “Chest X-Ray Images (Pneumonia)” [10].

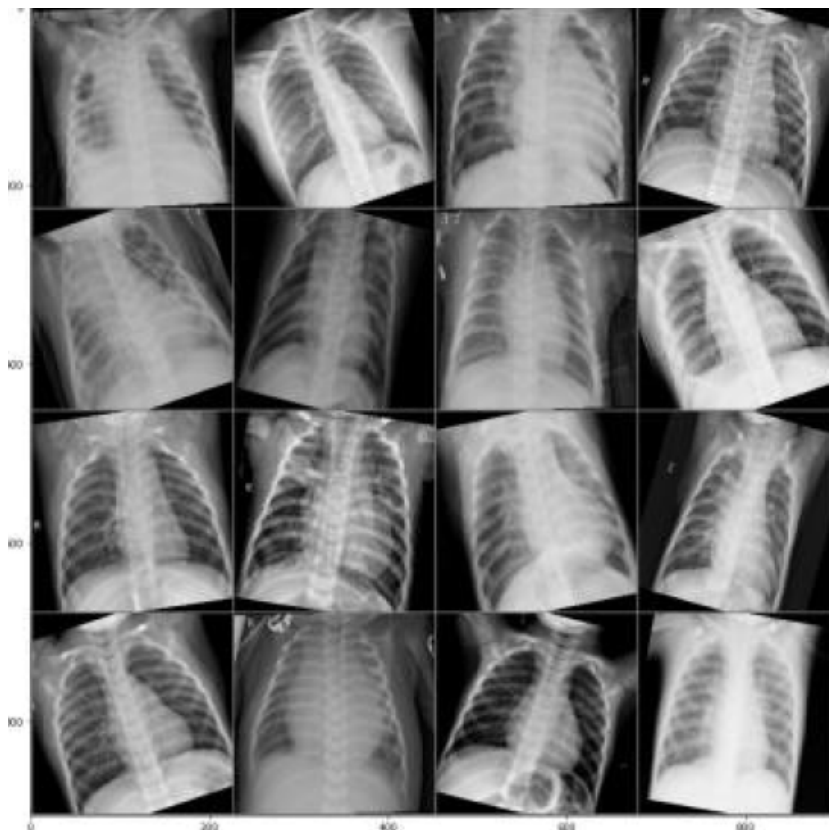


Fig. 7. Radiografías después del preprocesamiento (lotes). Imágenes originales tomadas de: “Chest X-Ray Images (Pneumonia)” [10]

Entrenamos satisfactoriamente el modelo después del preprocesamiento, debido a la gran cantidad de imágenes este proceso fue algo lento.

Obtuvimos una precisión sobre el set de pruebas del 87.98 % utilizando el modelo EfficientNet. Posteriormente implementando la MobileNetV2 obtuvimos una precisión del 88.30 %.

```

Train - loss: 0.1412830650806427 - accuracy 0.9741181135177612
Test - loss: 1.2124505043029785 - accuracy 0.8830128312110901
Classification report:

```

	precision	recall	f1-score	support
0	0.99	0.69	0.82	234
1	0.84	1.00	0.91	390
accuracy			0.88	624
macro avg	0.92	0.84	0.87	624
weighted avg	0.90	0.88	0.88	624

```

Confusion matrix:
[[162  72]
 [  1 389]]

```

Fig 8. Resultados de las métricas obtenidas. Tomada de la salida de la IA.

Obtuvimos la clasificación de las imágenes ingresadas en el set de pruebas según lo esperado.

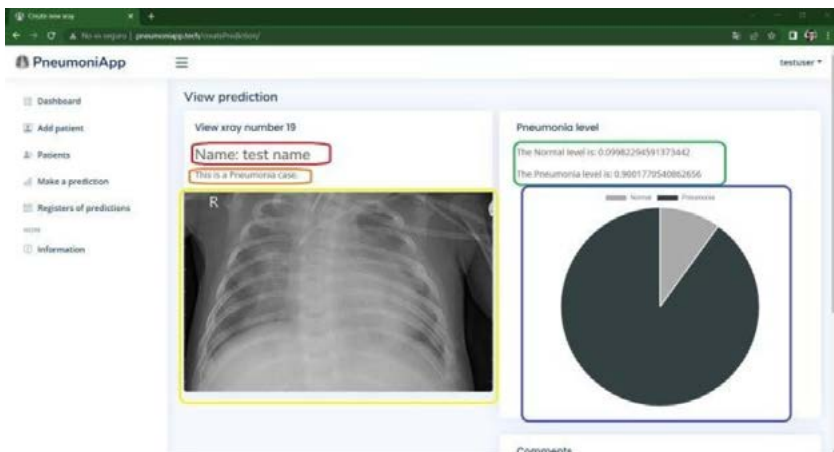


Fig 9. Predicción de test set. Tomada de la aplicación desarrollada.

Presentamos los resultados de forma clara y sencilla para el usuario logrando desplegar la aplicación en un sistema de servidor.

Establecimos la comunicación entre los servidores de presentación y procesamiento. Los servidores son capaces de almacenar y recuperar información de la base de datos.

## V. Conclusiones y trabajo para el futuro

Una vez finalizado el desarrollo del proyecto, podemos concluir lo siguiente:

1. Las redes neuronales artificiales tienen un uso bastante amplio y efectivo en la industria; utilizando el modelo propuesto llegamos a una solución efectiva al problema planteado.
2. Obtuvimos una precisión sobre el set de pruebas del 87.98 %.
3. El sistema es de gran utilidad para sus usuarios (en este caso el personal médico) debido a la eficiencia del modelo así como su intuitivo manejo.
4. Utilizando un servidor para la aplicación el sistema se vuelve accesible desde cualquier parte del mundo con acceso a internet.
5. Al colocar la red neuronal en un servidor distinto al presentador, distribuimos la carga en el procesamiento de cálculos.
6. Sugerimos probar la eficiencia de las soluciones utilizando distintos modelos e hiperparámetros.
7. Utilizar *datasets* distintos y bien clasificados podrían mejorar los resultados obtenidos.

## Reconocimientos

Agradecemos a los docentes de la Universidad de Guadalajara por brindarnos sus conocimientos y hacer posible la realización de este proyecto. Extendemos agradecimientos especiales a nuestro asesor el Dr. Carlos Alberto Villaseñor Padilla por guiarnos y motivarnos a lo largo del desarrollo de este proyecto.

## Referencias

- [1] Hwang DM, Chamberlain DW, Poutanen SM, Low DE, Asa SL, Butany J. “Pulmonary pathology of severe acute respiratory syndrome in Toronto”. *Mod Pathol*, vol. 18, núm. 1, 2005, pp. 1-10. DOI: 10.1038/modpathol.3800247
- [2] S. J. Kligerman, T. J. Franks, J. R. Galvin, “From the radiologic pathology archives: organization and fibrosis as a response to lung injury in diffuse alveolar damage, organizing pneumonia, and acute fibrinous and organizing pneumonia”, *Radiographics*, vol. 33, núm. 7, 2013, pp. 1951-1975. DOI: 10.1148/rg.337130057
- [3] Y. Wang, C. Jin, C. C. Wu, H. Zhao, T. Liang, Z. Liu et al., “Organizing pneumonia of COVID-19: time-dependent evolution and outcome in CT findings”. *PLoS One*, vol. 15, núm. 11, e0240347, 2020. DOI: 10.1101/2020.05.22.20109934
- [4] M. C. Copin, E. Parmentier, T. Duburcq, J. Poissy, D. Mathieu , et al., “Time to consider histologic pattern of lung injury to treat critically ill patients with COVID-19 infection”, *Intensive Care Med.*, vol. 46, núm. 6, 2020, pp. 1124-1126, DOI: 10.1007/s00134-020-06057-8
- [5] P. Kory, J. P. Kanne, “SARS-CoV-2 organising pneumonia: has there been a widespread failure to identify and treat this prevalent condition in COVID-19?” *BMJ Open Respir Res.*, vol. 7, núm. 1, e000724, 2020. DOI: 10.1136/bmjresp-2020-000724
- [6] S. Albahli, H. Rauf, A. Algosaiibi y V. Balas, “AI-driven deep CNN approach for multi-label pathology classification using chest X-Rays”. *PeerJ Computer Science*. 7 pp. e495, 2021) pmid:33977135.
- [7] S. Albahli, H. Rauf, M. Arif, M. Nafis, A. Algosaiibi, “Identification of thoracic diseases by exploiting deep neural networks”. *Neural Networks*. vol. 5, 2021, p. 6.
- [8] A. U. Ibrahim, M. Ozsoz, S. Serte, F. Al-Turjman, y P. S. Yakoi, “Pneumonia Classification Using Deep Learning from Chest X-ray Images During COVID-19”, *Cognit Comput*, enero 2021, pp. 1-13. doi: 10.1007/s12559-020-09787-5.
- [9] T. Chandra y K. Verma, “Pneumonia detection on chest X-Ray using machine learning paradigm”. *Proceedings Of 3rd International Con-*



- ference On Computer Vision And Image Processing. pp. 21-33, 2020.
- [10] “Chest X-Ray Images (Pneumonia)”. Disponible en <https://www.kaggle.com/datasets/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia> [Accedido el 31 de agosto de 2022].
- [11] D. Nguyen et al., “Deep Learning–Based COVID-19 Pneumonia Classification Using Chest CT Images: Model Generalizability”, *Frontiers in Artificial Intelligence*, vol. 4, 2021, [En línea]. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frai.2021.694875>
- [12] H. T. Thanh, P. H. Yen y T. B. Ngoc, “Pneumonia Classification in X-ray Images Using Artificial Intelligence Technology”, en *2020 Applying New Technology in Green Buildings (ATiGB)*, mar. 2021, pp. 25–30. doi: 10.1109/ATiGB50996.2021.9423017.
- [13] Nillmani et al., “Four Types of Multiclass Frameworks for Pneumonia Classification and Its Validation in X-ray Scans Using Seven Types of Deep Learning Artificial Intelligence Models”, *Diagnostics*, vol. 12, núm. 3, p. 652, mar. 2022, doi: 10.3390/diagnostics12030652.
- [14] “Papers with Code - EfficientNet Explained”. <https://paperswith-code.com/method/efficientnet> (consultado el 31 de agosto de 2022).
- [15] R. Kundu, R. Das, Z. W. Geem, G.-T. Han, y R. Sarkar, “Pneumonia detection in chest X-ray images using an ensemble of deep learning models”, *PLOS ONE*, vol. 16, núm. 9, p. e0256630, sep. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0256630.
- [16] Howard, Andrew G. et al., “MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications”. arXiv, 16 de abril de 2017. arXiv.org, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1704.04861>.
- [17] M. Sandler et al. “MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks”. arXiv, 21 de marzo de 2019. arXiv.org, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.04381>.

# II



**Industria y educación**



# Capítulo 11

---

## **MateAyuda**

*Iván Herrera Barrios  
Jorge Sebastián Rosas Gómez  
Luis Alfredo Pérez Hidalgo  
Francisco Javier Quintanilla Moreno*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*eivan.hbarrios@alumnos.udg.mx  
jorge.rosas4150@alumnos.udg.mx  
luis.perez4560@alumnos.udg.mx*

## Resumen

“Si México desea constituirse, no tiene otra vía que la educación” [17].

La iniciativa para realizar el proyecto surgió de la necesidad de reformar la carencia de motivación en la etapa escolar, la falta de motivación, que no debe confundirse con la procrastinación, puede darse por varios motivos, la monotonía de realizar la misma tarea por el mismo tiempo sin un cambio en la realización de dicha actividad, la falta de motricidad, aunque sea básica en las tareas que se deben realizar, entre otros, son las principales razones que producen el aburrimiento y en otras circunstancias provocan distractores, es sabido que afecta a la educación, en especial, la educación básica: preescolar, primaria y secundaria.

Este proyecto trata de una plataforma web educativa orientada al desarrollo matemático, llamado: MateAyuda, siendo considerado un software educativo. Se utilizará un Chatbot que permita retomar lo aprendido durante el uso de la plataforma. La finalidad de este proyecto es que sea utilizado por los docentes de nivel básico, ayudando así a facilitar el aprendizaje en todos los alumnos de primaria, especialmente tercer grado, para mejorar el nivel de desempeño y la apropiación de los conocimientos en el ámbito matemático. Una de las cualidades de este proyecto es la interactividad, siendo considerado como principal indicador para su uso. El proyecto empleará JavaScript, MySQL, Rasa, Python, ayudas visuales como CSS y HTML para la elaboración del software pedagógico. El proyecto está orientado a la educación básica, tomando como referencia la Primaria Unidad Modelo. Específicamente con los alumnos de tercer y cuarto grado de acuerdo con los planes y programas de estudio vigentes.

Los resultados obtenidos al término del proyecto y su posterior uso en la escuela pública Escuela Unidad Modelo, dio a conocer la importancia del uso de las TIC como un medio de apoyo dinámico y novedoso para la implementación en el sector educativo básico. A su vez, al momento de probar la plataforma con los niños, pudimos percatarnos de comportamientos tales como:

- Les resultó sencillo el uso del dispositivo.

- Unos hicieron operaciones a papel y otros mentalmente. Todos pasaron las actividades propuestas.
- Un grado de primaria no define la inteligencia de un niño.
- Se divertían con el Chatbot (Roboto).

## I. Introducción

La realidad educativa requiere con urgencia la implementación de recursos tecnológicos que aporten saberes básicos de manera poco convencional, y brinden apoyo a las tareas importantes. Con este trabajo se pretende despertar el interés y fomentar la participación de los niños de tercero, cuarto, quinto y sexto de primaria hacia temas de aritmética básica, orientado hacia números y sus operaciones aritméticas básicas, empleando una plataforma virtual que permita sortear las dificultades e innovar de una forma diferente el pensamiento crítico que se desarrolla en los niños durante la etapa del aprendizaje, permitiendo mejorar la autoconfianza orientando a los niños a resolver los problemas propuestos y a su vez fomentar la imaginación mediante el uso de juegos con diseño colorido y jugabilidad.

La atención que los niños prestan a su aprendizaje ha estado disminuyendo significativamente, en contraste con los demás niveles educativos, esto se puede atribuir a factores derivados del aburrimiento como lo son: confusión, falta de autonomía e intolerancia.

Confusión, por ejemplo con la b y la d, no estar seguro de donde colocar números en una línea imaginaria, conflictuarse en problemas matemáticos que requieren que se comiencen del lado derecho y continuar hacia la izquierda, pensar en números como peras y manzanas, son problemas que los niños deben enfrentar a diario al no poder asociar de forma correcta conceptos, llegando a mezclar temas similares y desconocidos entre ellos sin tener conciencia propia de ello.

Falta de autonomía, instintivamente las personas son sociables por naturaleza y les gusta permanecer en grupo, pero se debe de separar aquello con los temas dependencia e independencia, dependencia sería la situación de la persona o cosa que depende de otras, mientras que independencia sería poder realizar actividades del día a día con total naturalidad sin necesidad de depender de otros. Estos temas entran en conflicto en edades

tempranas; son, de hecho, un estado de conflicto entre estos temas pues por un lado las instituciones educativas están más orientadas a dependencia y por otro el lado autónomo del individuo que ejerce independencia.

Intolerancia, el sentido del tiempo y la percepción de rutinas no suele ser captado por infantes. En una edad adulta es bastante fácil calcular en cuanto tiempo se lleva a cabo realizar una actividad, rutinaria o no, una tarea o labores domésticas, esto es gracias a las experiencias pasadas, mismas que se usan para sacar promedios temporales y tener una percepción del tiempo necesario para poder realizar dicha tarea, el conflicto surge en edades tempranas donde no se tienen demasiados promedios temporales e inclusive experiencias de aprendizaje vividas y eso provoca en la mayoría de los casos intolerancia que puede volverse en impaciencia en el futuro y no poder tolerar fallos después.

Para solucionar el problema ya presentado, junto con su contexto, se implementó la plataforma *MateAyuda* para facilitar a los niños el aprendizaje matemático, de manera que se mantenga tanto su atención como su motivación, sin descuidar que el desempeño se vea afectado negativamente. Para ello, se prioriza un diseño amigable y llamativo para el público objetivo, desarrollando interfaces amigables, así como el uso y la implementación de animaciones para estimular el interés por parte de los usuarios.

La idea principal es que la plataforma funcione como aditamento o herramienta para el aprendizaje escolar y orientado al nivel educativo primaria, en un rango de edad de entre 8 a 12 años, no tanto para sustituir el sistema de enseñanza actual o al mismo profesor, al contrario, lejos de eso es considerado como una herramienta de enseñanza más, tal cual como: *Edmodo*, *Cerebriti Edu*, *ClassDojo*, *EDPuzzle*, *GoConqr*, *Genially*, etcétera.

Inclusive está pensado para funcionar de forma ajena a una herramienta escolar, puede verse también como una plataforma educativa de entretenimiento orientado al autoaprendizaje, como *Duolingo*, una herramienta que pueda servir para divertirse y aprender de forma autodidacta desde casa o fuera de entidades educativas, sin necesidad de estar sujeta a una escuela obligatoriamente sino como una fuente de aprendizaje online.

Por consiguiente, se espera que el impacto que pueda generar tanto a nivel local e inclusive global sea satisfactorio, ya que funciona a nivel

primaria, tanto en modalidad virtual como en modalidad presencial, en especial ahora, debido a la situación actual, las escuelas e instituciones educativas de todos los niveles y con todos los recursos con los que estos contaban se tuvieron que poner creativos en la implementación de las TIC para poder seguir brindando el servicio de la educación, por consecuencia, salieron a flote plataformas que si bien no eran desconocidas dieron un giro, por ejemplo Meet, Classroom, Zoom, etc. Si bien dichas plataformas están más enfocadas en video llamadas o mensajes a distancia para realización de clases virtuales, es cierto que plataformas orientadas a la enseñanza como EDPuzzle salieron a flote y cada vez fueron descubriéndose más y más dichas herramientas y volviéndose de uso diario, apoyando tanto a maestros como a alumnos, y la plataforma MateAyuda no es la excepción pues dado las circunstancias y el cómo poco a poco las TIC han demostrado ser un gran aliado para la enseñanza a distancia e inclusive presencial.

Por ello, este proyecto parte de la realidad de un cambio y persistir en el desarrollo educativo y creativo de una forma integradora al público infantil, permitiendo así apoyar a los profesores y porque no, indirectamente padres de familia, ya que es considerada una herramienta novedosa en el entorno educativo.

Los objetivos de la solución planteada son los siguientes:

- 1) Desarrollar la imaginación de una forma equitativa, la plataforma cuenta con una IA en forma de Chatbot. Permitirá mantener una conversación fluida con el usuario, a medida que este pueda llegar a desarrollar la creatividad por sí mismo, pues el objetivo de este apartado es orientar al usuario a encontrar las respuestas que necesita de una forma amigable e imaginativa, claro todo sin salir del tema principal: las operaciones aritméticas básicas.
- 2) Aumentar la confianza así como, enseñarle a ser pacientes, los juegos de patio o juegos enfocados para niños fueron pensados para enseñar dos cosas: confianza, el poder terminar el juego y paciencia, el proceso que dura el juego adaptándose al niño, los juegos de mesa no van muy desencaminados de ese rubro, requieren paciencia para terminar y empezar otro, es un camino largo pero la recompensa es poder terminarlo y pasar a otro juego o volver a empezar, no puedes avanzar o continuar si no has terminado, la plataforma mejora el nivel de paciencia y el poder terminarlo mejorará su confianza.



- 3) Implementar una interfaz que sea amigable con el tipo de usuarios al que nos dirigimos, haciéndolo llamativo visualmente a través de colores vistosos, animaciones, figuras móviles y tipografías atractivas. A su vez, haciéndolo lo suficientemente e intuitivo en su manejo como para que el usuario pueda navegar en la plataforma de forma autónoma, aprovechando en su totalidad los recursos que ofrece la plataforma.
- 4) Apoyar el desempeño educativo mediante una serie de juegos de índole educativo, desarrollando la capacidad lógica, la iniciativa y la toma de decisiones, potenciando el aprendizaje, tanto de manera académica como independiente. Los juegos de mesa que se encuentran en el catálogo de autoayuda tienen el objetivo de reforzar dichas capacidades:

*Memorama:* Busca la asociación de las operaciones con el resultado, logrando además un refuerzo en la memorización.

*Número misterioso:* Busca fomentar de manera independiente el uso de la lógica para la resolución de problemas

*Números revueltos:* Busca mejorar la habilidad de resolver varios problemas a la vez, además de reforzar operaciones lógicas.

El presente trabajo muestra el panorama de la enseñanza- aprendizaje de la ciencia e indagación orientada a las matemáticas en escuelas de educación básica, considerando alumnos y docentes de escuelas, y porque no, ambientes de autoaprendizaje y estudiantes autodidactas. Esto obedece al origen del proyecto, en su conjunto, busca impactar en la enseñanza-aprendizaje de la indagación, con el fin que se genere una cultura científica a nivel básico, no solo mediante materias relacionadas con las ciencias experimentales o como se llaman hoy en día, exactas.

“Las acciones pueden también ser posibilitadas por la forma en que se interactúe con los otros estudiantes y profesores que deben apoyarle (o condicionarle) en esta actividad de búsqueda y uso, además de otros agentes que en los procesos de búsqueda y uso de información cumplen roles específicos como intermediarios” [20].

La iniciativa para realizar el proyecto surgió de la necesidad de complementar el conocimiento actual acerca de la enseñanza de las matemáticas en la educación en general.

En este mundo que se globaliza, nuevas herramientas deben surgir para el apoyo humano y desarrollo en el bien común, apareciendo la educación en todos los niveles como un área de provecho para el beneficio de los alumnos y su aprovechamiento.

La transmisión y adquisición del conocimiento se produce globalmente en cuatro contextos: la calle, la escuela, la familia y los medios de comunicación e informáticos. Solemos aprender cuando nos encontramos sumergidos en las clases, un libro, la familia, los amigos, la computadora, el celular y durante los tiempos libres, siendo desde el principio una labor colaborativa, individual y del entorno para reforzar el aprendizaje.

Por lo anterior, no cabe duda que la innovación está en constante cambio según avanza el tiempo, mejorando ciertas herramientas o cambiando los procesos de aprendizaje para poder sacar el mejor provecho, dicho eso, es común que las herramientas se mejoren para poder tener un mejor provecho, y uno de esos factores es la aceptación y adaptabilidad del público a los cambios, ya sean constantes o permanentes, deduciendo así que los cambios en la educación son de gran aporte, en especial en el mundo de las Tecnologías de la Información donde todo se encuentra en constante cambio.

## **II. Trabajos relacionados**

A continuación, se presentan las ideas de diversos trabajos analizados para llevar a cabo la definición, modelado y desarrollo de *MateAyuda*.

“El uso de herramientas como la computadora, el Internet y la pizarra electrónica posibilita que una actitud de creatividad, participación e involucramiento de los estudiantes fluya con mayor facilidad durante las clases” [19].

En primer lugar, se menciona a la tesis presentada por Luz Dari del centro de estudios superiores, Tecnológico de Monterrey, pues su tesis “El uso de software educativo para el fomento del desarrollo del lenguaje de la primera infancia, a través de cuentos interactivos de literatura infantil”,

aportó información sobre la creación y diseño de recursos gráficos, el uso de gama de colores y dinamismo a una interfaz gráfica que pueda resultar llamativa y fácil de usar.

“Los recursos didácticos siempre han sido herramientas fundamentales para los docentes, ya que estos son diseñados para servir de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje” [3].

La tesis de grado: Tutor inteligente de programación Java basado en metodologías de aprendizaje *m-learning* de Jazmin Cussi, fue una introducción sobre cómo usar las diferentes ramas de la IA en un entorno educativo, mostrando el entrenamiento supervisado y no supervisado que puede usarse en la rama de NLU o procesamiento del lenguaje natural.

“Desde que la humanidad vio la necesidad de transmitir el conocimiento de una generación a otra, se han desarrollado muchas técnicas y teorías acerca de los mecanismos para la adquisición de nueva información” [2].

La tesis Construcción de una página web con PHP y LATEX para el aprendizaje de las matemáticas de Hueyo Maura fue un prólogo sobre la importancia de los recursos del servidor al momento de montar un sitio web, pues es importante la implementación del Backend para un tener un sistema robusto.

“Una página de internet está constituida por dos partes: estructura y contenido” [11].

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto**

Adoptamos Scrum, perteneciente a las metodologías ágiles, para el desarrollo del proyecto, de esta forma, fragmentando el proyecto en entregas más pequeñas y en tiempos más cortos, distribuyendo las tareas a realizar en el *Sprint Backlog*.

A continuación, presentaremos los requerimientos del proyecto.

	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>P</b>
RF1	Autenticación	La plataforma contara con un sistema de registro y autenticación.	Alta
RF2	Almacenamiento	Se usará MySQL para el almacenamiento(datos)	Alta
RF3	Chatbot	Se implementara un Chatbot de preguntas y respuestas	Alta
RF4	Cartas	Las cartas podrán moverse/girar con libertad	Baja
RF5	Restricción	No se podrá entrar a la plataforma hasta que 1a se esté registrado.	Media
RF6	Movimientos	Se mostrarán los movimientos realizados por el usuario	Baja
RF7	Aciertos	Se mostrarán los aciertos del usuario.	Media

Fig. 1, I. Herrera, 2022, Tabla requerimientos funcionales, Guadalajara, México.

	<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>P</b>
RNF1	Funcionalidad del servidor	El servidor debe funcionar en el puerto 80, 5002, 5005 y 5055.	Alta
RNF2	Tiempo de respuesta	El tiempo de respuesta los usuarios debe ser menor a 5 minutos.	Alta
RNF3	Interfaz	Los tableros deben tener bordes redondos.	Baja
RNF4	Funcionalidad del navegador	Deberá ser compatible con Google Chrome.	Media
RNF5	Funcionalidad del dispositivo	Será compatible con computadoras y <i>laptops</i> .	Alta
RNF6	Disponibilidad	La plataforma estará disponible mientras el servidor este habilitado.	Alta
RNF7	Tonalidad de colores	Los tonos deben ser claros.	Baja

Fig. 2, I. Herrera, 2022, tabla requerimientos no funcionales, Guadalajara, México

Con el propósito de diseñar la estructura de la base de datos se elaboró un diagrama Entidad-Relación, definiendo la cardinalidad que se mantendrá entre las entidades, esto para simplificar la comprensión para el equipo de desarrollo, para su posterior implementación en el sistema gestor de base de datos MySQL.

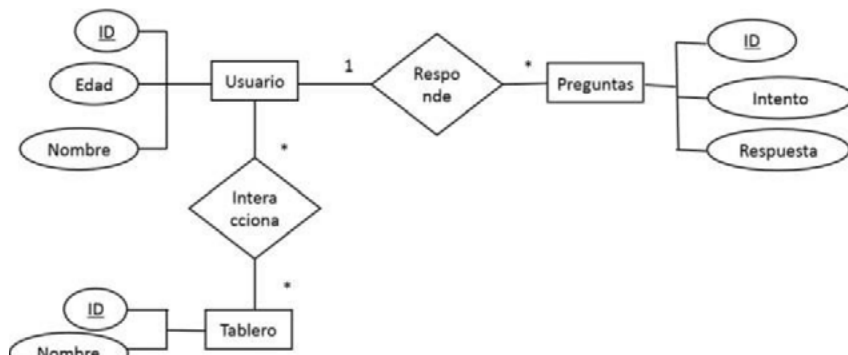


Fig. 3, I. Herrera, 2022, diagrama entidad relación, Guadalajara, México.

Con el fin de clarificar el funcionamiento general del sistema, así como las partes más importantes del mismo, optamos por elaborar un diagrama de casos de uso, ya que simplifica de forma efectiva los roles que tiene cada una de las partes involucradas y la interacción de los actores con el sistema.

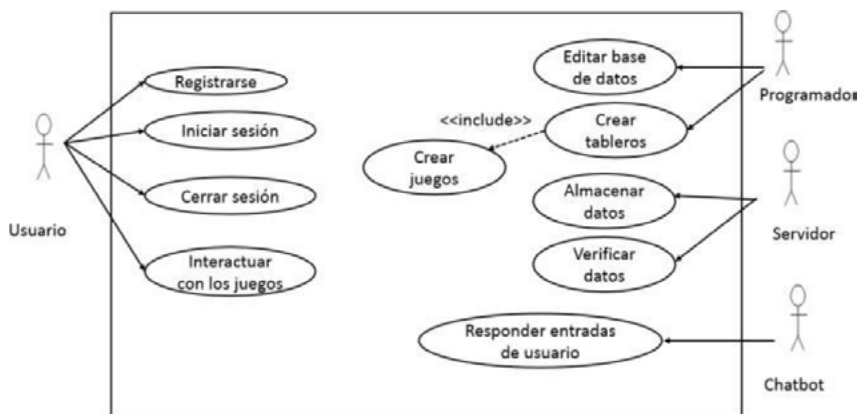


Fig.4, I. Herrera, 2022, diagrama de casos de uso, Guadalajara, México.

Para poder visualizar de una manera gráfica y detallada el comportamiento de nuestro sistema se empleó el diagrama de actividades. Así se puede representar el flujo de control y la secuencia de cada actividad, dividiendo cada estado en un grupo representativo tomando en cuenta el entorno de los actores.

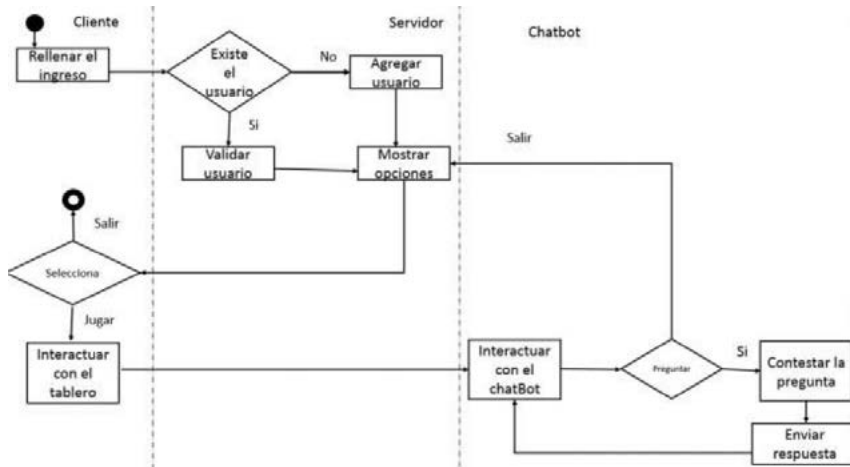


Fig.5, I. Herrera, 2022, diagrama de actividades, Guadalajara, México.

Para representar visualmente la interfaz del sitio web de una forma ordenada se implementó el mapa de sitio, partiendo de la intención de que este sirva como una guía para que el usuario pueda navegar fácilmente por la plataforma y sus recursos.

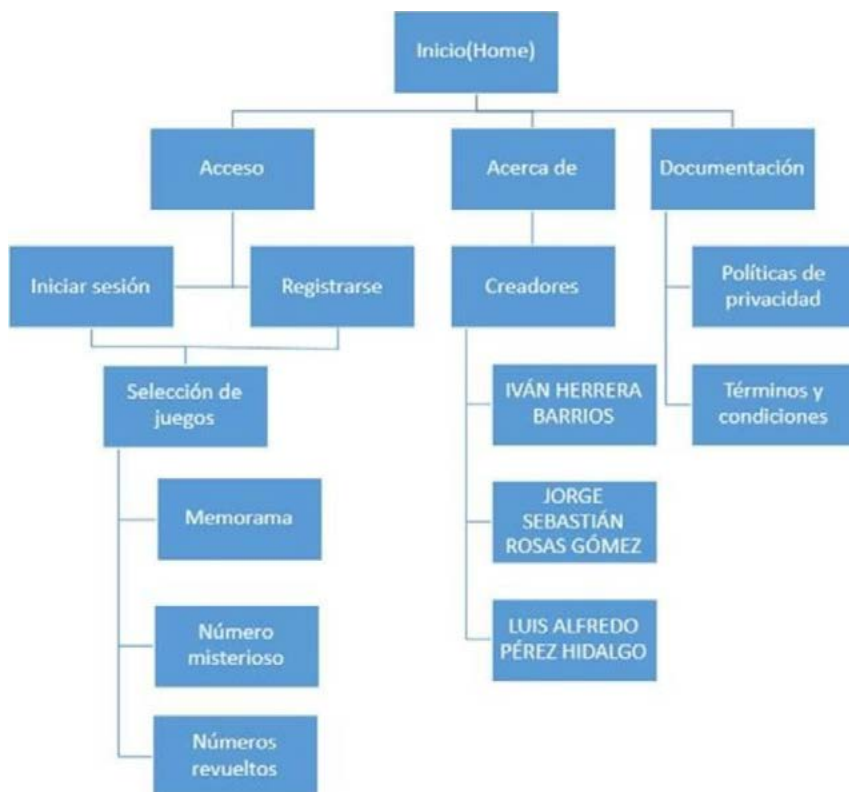


Fig.6, I. Herrera, 2022, diagrama de actividades, Guadalajara, México

El proyecto presenta el uso de HTML, que proporciona la estructura de la plataforma web, CSS para el diseño de la plataforma y los recursos en los juegos infantiles, JavaScript, para la movilidad de los juegos presentes.

Por el lado del servidor se encuentra presente php y MySQL para el procesamiento de la información, como los son los datos de los usuarios.

El proyecto cuenta con un Chatbot NLU, realizado en Rasa. Rasa es un Framework compatible con Python y con entornos web, pues este cuenta con librerías para conectarse con servidores.

Gracias a NO-IP se puede trabajar con apertura de puertos, logrando que un servidor local pueda visualizarse en diferentes equipos mediante el puerto 80, entre otros, un proveedor de recursos relativamente nuevo pero muy potente.

El presente trabajo se encuentra en el siguiente repositorio de GitHub: <https://github.com/JSRG-73/Mateayuda>

Se aplicaron las pruebas de caja blanca y caja negra, la idea principal es identificar los datos de prueba y el resultado esperado del sistema.

La ventaja de usar los pentest (“Penetration Test”), o prueba/test de penetración/intrusión, fueron:

- Prevención a errores con un conocimiento medio o superior del sistema.
- Prevención a errores sin un conocimiento medio o superior del sistema.

Para la implementación del *Frontend* se realizó el maquetado combinando las tres tecnologías fundamentales en el desarrollo web, es decir, HTML, CSS y JavaScript a la par que se desarrolló el modelo entidad-relación de la base de datos.

La implementación del *Backend* se realizó gracias a php a la par que se implementaba el diagrama entidad relación en MySQL.

Para la realización del Chatbot se creó un conjunto de datos de entrenamiento y las posibles salidas de acuerdo con los datos, esto debido a que es un entrenamiento supervisado, para después proceder a entrenar el modelo con 200 épocas, posterior se creó la interfaz gráfica del chat, teniendo inspiración en las salas de chat de páginas conocidas como Facebook.

Para la creación de un servidor local se usaron los puertos 80, 5002, 5005 y 5055.

Para el despliegue, mediante NO-IP, se asignó un ddns (dynamic domain name system) para trabajar con ips dinámicas, este proceso fue llevado a cabo gracias a la apertura de los puertos antes mencionados, logrando hacer que el localhost no trabaje solamente en LAN, sino, trabaje en WAN. Para su implementación, cada integrante del equipo realizó ciertas actividades en concreto pero la mayoría de estas, generalmente intervinieron todos los integrantes del equipo para realizar este proyecto.

### *Actividades de Iván Herrera Barrios*

- 1) Crear recursos gráficos: Para esta actividad, se usaron recursos como CSS y la implementación de bootstrap. La gama de colores usados en el menú son azul claro, en cuanto a los tableros de juego, entre otros, se optó por diferentes tonos a elección, para dar una imagen fresca entre



- el tablero y el juego seleccionado, cuidando detalles como letras visibles y evitar conflictos entre el color de fondo y el color de las letras.
- 2) Entrenar la IA: La fase de entrenamiento, es necesario una gran cantidad de datos de entrada para proporcionar un mejor rendimiento, gracias al entrenamiento supervisado, para lograr un entrenamiento correcto se usara la terminal de comandos junto con un `.yml` de entrenamiento y un filtro pipeline.
  - 3) Desarrollar la IA: En este punto, se programa la IA, mediante el tipado YML y otras herramientas como `Actions.py` se agrupan nubes de entradas y nubes de salidas, usando `Actions.py` para desarrollar aún más este tema. En este punto es importante contar con la mayor información posible para su desarrollo, pues el entrenamiento supervisado necesita la mayor cantidad de ejemplos.
  - 4) Diseño de la IA: Es indispensable tener un diseño de la IA para usarse, en este punto lo que se realizó fue planear las posibles entradas del usuario hacia el Chatbot y a su vez caracterizarlos con una etiqueta que agrupe dichas entradas, también planear las posibles respuestas del Chatbot al usuario para mantener una conversación fluida dando la impresión que se trata de otra persona.

### *Actividades de Jorge Sebastián Rosas Gómez*

- 1) Probar el software: Se usaron los métodos de caja negra y caja blanca para probar el software, también conocidos como: *white-box testing and black-box testing*. El objetivo de esta tarea es evaluar los defectos del producto para su posterior corrección y el propósito principal es asegurar que la aplicación desarrollada cumpla con los estándares y se ofrezca al cliente un producto de calidad.
- 2) Montar el servidor: Para llevar a cabo esta actividad, se optó por usar el modelo de tipo: cliente-servidor, tomando en cuenta que, el usuario no requiere descargar ningún archivo o documento en su computador, sino que, solamente ingrese con usuario y contraseña ya registrados o caso contrario crear un registro nuevo de usuario. Por lo tanto, solo estaría realizando peticiones al servidor, lo cual este modelo se adapta perfectamente al mismo, ya que el cliente realiza las consultas por me-

dio de la red, mismas que son recibidas y procesadas por el servidor. Es necesario implementar los protocolos 80, 5002, 5005 y 5005 para garantizar robustez en la implementación web, además de contar con dynamic dns para mejorar la flexibilidad de las consultas.

- 3) *Responsive design*: Para esta actividad, se usaron recursos de CSS, por ejemplo *flexbox*. Es importante la implementación de *Responsive Design*, puesto que gracias a este se pueden visualizar elementos de forma correcta y manteniendo un estilo propio y único.
- 4) Implementación de la base de datos: Esta tarea es llevada a cabo, luego del diseño de la base de datos, se usó MySQL para tratar y almacenar la información. Después, se monta la base de datos previamente configurada, se ingresan a la carpeta raíz todos los archivos de la página y finalmente queda totalmente funcional para que pueda ser usada sin ningún problema.

### *Actividades de Luis Alfredo Pérez Hidalgo*

- 1) Desarrollar videojuegos: Las animaciones son importantes en el tema del desarrollo de videojuegos, pues estos dan movilidad y una sensación de dinamismo e interacción con el usuario. El uso de JavaScript fue una parte fundamental para el desarrollo de estos pues es bien sabido que JavaScript otorga movilidad en el desarrollo web, logrando arrastrar objeto e incluso girar estos, la implementación fue dada gracias a la etiqueta HTML *script* que permite llamar a los archivos JS de una carpeta especial.
- 2) Realizar la documentación: Satisfacer las necesidades del cliente es el objetivo principal de esta tarea, pues deben realizarse diferentes diagramas para diversos propósitos como lo es el diagrama de actividades, que ilustra la naturaleza dinámica de un sistema mediante el modelado del flujo ocurrente de actividad en actividad, diagrama de casos de uso, una descripción de las acciones de un sistema desde el punto de vista del usuario, etc. La finalidad de los diagramas es presentar diversas perspectivas de un sistema, a las cuales se les conoce como modelo.
- 3) Diseño de la base de datos: Es indispensable tener un diseño de la base de datos, pues este es un paso importante para lo que se conoce como

normalización de base de datos, es importante no tener problemas de dependencias funcionales entre otros posibles errores en el resguardo de los datos, aplicando la 1FN, 2FN y 3FN, para el correcto manejo de los datos. Además de trabajar con un modelo entidad relación que tenga coherencia y pueda usarse.

- 4) Diseño de videojuegos: El diseño de un videojuego es vital cuando se va a trabajar con este, es necesario tener pautas, pues la idea principal radica en que existen numerosas ideas. Sin embargo, muchas de ellas son imposibles de lograr. Por eso, en el diseño de videojuegos se debe conocer el sector, saber qué ideas se pueden implementar y cuáles no, así como los mecanismos necesarios para ello. Para el diseño, se usó CSS para poder otorgar formas y colores llamativos e interactivos para tener un atractivo visual.

## **Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

“Las TIC, al igual que cualquier otro material o recurso didáctico, posibilitan el desarrollo y puesta en práctica de distintas tareas de aprendizaje de naturaleza diversa” [14]. Este proyecto cubre las necesidades del primer módulo. Primeramente, se utilizará como método de almacenamiento MySQL para llevar la administración completa de la información. Por ello, se tiene previsto que se realizarán las funciones de almacenamiento de los datos de los usuarios y registros. Al igual que, el desarrollo de la plataforma en página web apoyándonos de: HTML para la estructura de la plataforma, CSS para el diseño y creación de recursos gráficos, JavaScript para la movilidad y animaciones, Rasa (el popular framework basado en Python) para la implementación del Módulo II “Sistemas inteligentes” y php para la navegación eficiente del sitio web. Además, el proyecto tendrá una serie de requisitos a cumplir para lograr los objetivos descritos.

La Ley Federal de Educación de noviembre de 1973 establecía que la educación debía ser congruente con los cambios que experimentaba el país, y con el desarrollo científico y tecnológico del mundo; promovía la conciencia crítica mediante métodos de enseñanza que ya no se fundamentaran en la memorización sino en la capacidad de observación y análisis; la edu-

cación debía centrarse en el maestro, pero se enfatizaba el papel activo del alumno en el aprendizaje; por ello, se evitaría dar a este el conocimiento elaborado para buscar en cambio que aprendiera por sí mismo. [4]

## **Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

La existencia de políticas de TIC en el sector de la educación es una condición necesaria para que tenga lugar la integración de las tecnologías digitales en los centros de enseñanza en la esfera de los sistemas educativos. [18]

Los niños son curiosos, la mayoría de las veces les gusta experimentar a la vez que aprenden cosas, es por ello por lo que el uso de una IA usando comprensión del lenguaje natural (NLU) es una manera de mantenerlos atentos y en aprendizaje por medio de las TIC. Con el apoyo de Rasa, herramienta orientada al desarrollo IA enfocado a web, ligeramente inspirado y basado en las funcionalidades de Python, se planteará el modelo matemático y sus respectivos algoritmos y metodologías. Rasa cuenta con archivos y templates orientados al diseño de Chatbots, se usará el template actions y el archivo nlu.md, ambos permiten tener una nube de respuestas definidas necesarias para que el Chatbot responda preguntas dadas por el usuario, además se usará el archivo config.yml mismo que permite configurar algoritmos de entrenamiento y trabajar la NLU, es necesario para entrenar al Chatbot y para el funcionamiento general de Rasa. Internamente Rasa cuenta con la clase ActionHelloWorld, el cual posee los métodos name, encargado de ejecutar los templates vistos, y run, para la ejecución del Chatbot.

Para tener en cuenta, los niños tienen un lenguaje simple por lo que para interactuar con ellos de forma exitosa, se usará su mismo lenguaje y de esta manera resultará interesante y motivador para que realicen sus ejercicios con creatividad aunado a su entusiasmo. Esto permitirá la interacción entre el usuario (estudiante) y un Chatbot de forma más amigable y sencilla, permitiendo seguir aprendiendo y conocer más temas de forma fácil y efectiva. “Una de las características más importantes de esta revolución

tecnológica es la masificación de la información, el mundo digital donde todos pueden interactuar, cada persona crea un sinfín de datos y metadatos diarios” [17]

### **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Este proyecto cubre las necesidades del tercer módulo, mediante el manejo de datos en tiempo real, así mismo logrando la distribución de cálculos, aplicando la efectividad del algoritmo del modelo Cliente-Servidor utilizando el servicio de No-IP, y la comunicación entre dos dispositivos: Comunicación por Red por medio del internet. Logrando la mejor efectividad de conexión.

Resaltando el uso de los puertos 5002, 5005 y 5055, para el envío y la recepción de datos por parte del usuario. Así como el puerto 80 para el uso del protocolo HTTP por medio de Apache y el intérprete miniConda3.

Se utilizó un router marca Huawei, modelo HG8245Q2 para montar el servidor, para ello se hizo uso del broadcast 192.168.56.1, haciendo además uso de la IP pública dinámica que este provee gracias a la apertura de puertos del router antes mencionado en cuestión.

El servicio de dominio y *host* así como los servicios de DNS dinámico fueron brindados gracias a No-IP para poder obtener el dominio de <http://mateayuda.ddnsking.com/>, enlazando la IP pública dinámica con la que contamos con un nombre de dominio, permitiendo al usuario poder acceder fácilmente a la plataforma web educativa sin tener que utilizar directamente la dirección del servidor.

### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

En este apartado presentaremos los resultados obtenidos en orden cronológico. Aumentar la competencia digital y el uso de plataformas en Educación básica.

La mayoría de estos trabajos inciden en el estudio de la situación en el Distrito Federal, aunque en los últimos años se han iniciado algunas investigaciones sobre este nivel educativo en los estados de Jalisco, Veracruz, Campeche y Michoacán. [13]

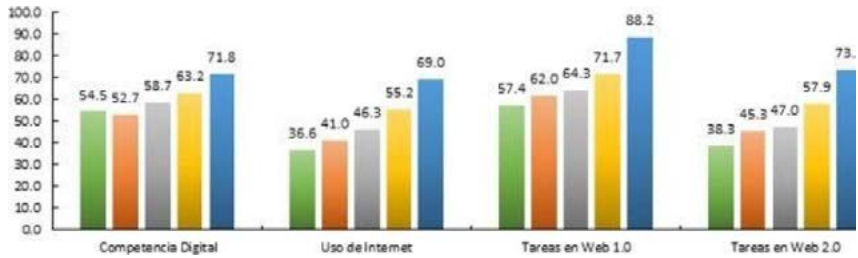


Fig. 7. D. Zempoalteca, 2022, Gráfica de las actividades y la aceptación en el entorno educativo, Guadalajara, México. [19]

Disminuir el rezago hacia las TIC en el medio educativo. “Las ventajas y desventajas de las herramientas que provee la informática en el entorno educativo, estarán siempre presentes” [5].

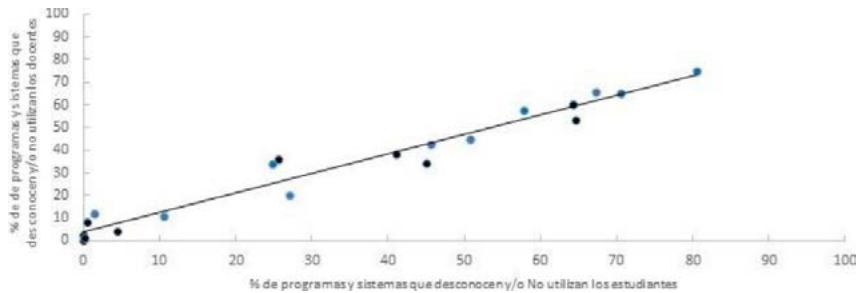


Fig. 8. D. Zempoalteca, 2022, gráfica porcentaje del dominio de las tic según el alumnado y planta docente, Guadalajara, México [20].

Adaptabilidad hacia tecnologías que se desconocen en la actualidad.

“Internet nos ofrece posibilidades de presentarnos al mundo” [16].



Fig. 9. D. Zempoalteca, 2022, gráfica tecnologías usadas y su porcentaje según alumnos y docentes, Guadalajara, México [21].

“La quinta y última característica de la desinformación tiene que ver no tanto con el contenido como con el modo de planificar su transmisión y la determinación de quién es el encargado de ejecutarla” [17].

Mejoro el aprendizaje del alumno en un entorno animado y colorido, que a la vez que divierte a los mismos refresca los temas de aritmética básica.



Fig.10, I. Herrera, 2022, portada de inicio de la plataforma, Guadalajara, México.[6]

“La brecha digital conlleva para los marginados perder una buena oportunidad para el desarrollo y para el progreso en todos los ámbitos, y retroalimenta otras brechas existentes aumentando las diferencias” [12]



Fig. 11, I. Herrera, 2022, juego memorama, Guadalajara, México [7].

“La idea básica de la realidad virtual es provocar la sensación de ‘estar ahí’, pues proporciona a los sentidos, a la vista por lo menos, lo mismo que recibirían si uno estuviese realmente ahí y, más importante aún, cambia instantáneamente la imagen cuando se cambia de punto de vista” [1].



Fig. 12, I. Herrera, 2022, juego números revueltos, Guadalajara, México. [8]

Se logró el reconocimiento del lenguaje natural o NLU, mediante la integración de Rasa y la correcta aplicación del aprendizaje supervisado.

Se implementó un servidor local, gracias a ddns o dynamic domain name system, que permite trabajar con IP dinámicas para la expansión masiva de MateAyuda.



Se documentó toda la información obtenida en la documentación del proyecto para que esté presente como material de referencia y consulta.

El uso del proyecto está disponible para su consumo y consulta de forma abierta y gratuita

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Combinar las ramas más importantes de la carrera de ingeniería en computación, es decir, arquitectura de sistemas, programación de sistemas, sistemas inteligentes, sistemas distribuidos y sistemas concurrentes en un solo proyecto modular fue una característica fundamental que sirvió para solidificar el sistema de una manera profesional y competente, de igual forma, el uso y aplicación de RASA en un ambiente como Python fue muy útil, ya que esta herramienta permite tratar las entradas de datos con una nube de respuestas precargadas y poder realizar la NLU de una forma más organizada ya que mezcla perfectamente la IA con el servidor elaborado en cuestión.

La implementación del Chatbot fue una gran adición, gracias a que, con la ayuda de Rasa, este es capaz de adaptarse al usuario según el nivel que el usuario tenga y los conceptos que haya aprendido.

La idea de crear la plataforma virtual MateAyuda surgió gracias a la explotación de las TIC hoy en día en todos los ámbitos educativos y sus respectivos niveles básico y superior. La hipótesis planteada es concluida y versátil, gracias a su funcionamiento los niños son capaces de asociar las operaciones aritméticas básicas, dígame suma, resta, multiplicación y división, no solo teniendo que relacionar figuras similares o colores similares, sino relacionar las operaciones y sus respectivos resultados.

La construcción de las cartas fue pensado para que se generen de forma aleatoria y así de esta forma si el usuario quiere volver a jugar el nivel, este no sea exactamente igual y deba volver a resolver el desafío, además la implementación de cambio de operación y resultado fue pensado para asociar de una mejor forma los conceptos.

Cabe concluir, por tanto, que el programa completo converge, a una mezcla de diversos temas vistos y conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, pero esta vez orientados hacia una problemática del mundo real en el campo de la educación, aplicando los conocimientos para el uso del bien común.

## **Reconocimientos**

Agradecimientos especiales a la directora Marcela Barrios Oliva por apoyarnos en la fase de prueba al permitirnos probar el programa en la Escuela Unidad Modelo.

## Referencias

- [1] N. Arques, “Aprender comunicación digital”, 2ª ed. Madrid: Paidós, 2009.
- [2] J. Cussi, “Tutor inteligente de programación java basado en metodologías de aprendizaje m-learning”, 3ª ed. Trinidad: UMSA, 2016.
- [3] L. Dari, “El uso de software educativo para el fomento del desarrollo del lenguaje de la primera infancia, a través de cuentos interactivos de literatura infantil”, 3ª ed. Monterrey: TEC, 2013.
- [4] S. Gómez, “Historia A través de los tiempos de México”, 2ª ed. D.F: Prentice Hall, 1999.
- [5] I. Harassim, “Online-Education: perspectives on a new Environment”, 2ª ed. New York: Praeger, 1990.
- [6] I. Herrera, “Portada de inicio de la plataforma” <http://mateayuda.ddnsking.com/> (accedido el 9 de diciembre del 2022).
- [7] I. Herrera, “Juego memorama” <http://mateayuda.ddnsking.com/> (accedido el 9 de diciembre del 2022).
- [8] I. Herrera, “Juego números revueltos” <http://mateayuda.ddnsking.com/> (accedido el 9 de diciembre del 2022).
- [9] M. Hueyo, “Construcción de una página web con PHP y LATEX para el aprendizaje de las matemáticas”, 2ª ed. Atempam: UAP, 2015.
- [10] P. Marquez, “Las Tics y sus aportaciones a la sociedad”, 2ª ed. Rosario: UAB, 2005.
- [11] R. Menínez, “La historia de la educación en México; nuevos enfoques y fuentes de investigación”, 3ª ed. Monterrey: TEC, 2009.
- [12] M. Moreira, “Introducción a la tecnología educativa”, 2ª ed. San Cristóbal de La Laguna: US, 2009.
- [13] N. Negrofonte, “El mundo digital”, 2ª ed. Barcelona: EB, 1995.
- [14] A. Salvador, “El formador en el espacio educativo de las redes”, 3ª ed. Madrid: MRE, 1996.
- [15] J. Roland, “La desinformación: una manipulación del poder”, 3ª ed. Madrid: Espasa Calpe, 1998.
- [16] G. Sunkel, “La integración de las tecnologías digitales en las escuelas de América Latina y el Caribe”, 2ª ed. Santiago de Chile: SCC, 2012.
- [17] G. Sunkel “Las tecnologías digitales frente a los desafíos de una edu-

cación inclusiva en América Latina”, 2ª ed. Santiago de Chile: SCC, 2012.

- [18] I. Uribe, “El aprendizaje y la enseñanza de competencias informacionales”, 3ª ed. Cali: UCC, 2009.
- [19] Zempoalteca D. Zempoalteca, “Gráfica de las actividades y la aceptación en el entorno educativo” <https://www.redalyc.org/journal/688/68851069006/movil/> (accedido el 9 de diciembre del 2022).
- [20] D. Zempoalteca, “Gráfica Porcentaje del dominio de las tics según el alumnado y planta docente” <https://www.redalyc.org/journal/688/68851069006/movil/> (accedido el 9 de diciembre del 2022).
- [21] D. Zempoalteca, “Gráfica Tecnologías usadas y su porcentaje en cuanto alumnos y docentes” <https://www.redalyc.org/journal/688/68851069006/movil/> (accedido el 9 de diciembre del 2022c



# Capítulo 12

---

## CONECTA2

*Pedro Morales Enríquez  
Juan Manuel Balderrama González  
Oscar Eduardo Maciel Castillo*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*pedro.morales@alumnos.udg.mx*

*juan.balderrama5174@alumnos.udg.mx*

*oscar.maciela@academicos.udg.mx*

## Resumen

Este documento es parte complementaria del proyecto modular llamado “Conecta2” donde se justifican los tres módulos requeridos para la acreditación de dicho proyecto.

La problemática principal de la educación es su acceso y pedagogía empleada, la cual no siempre se adapta a la economía de los interesados o los márgenes de enseñanza-aprendizaje no se ven actualizados conforme a las tendencias actuales. Conecta2 es una aplicación móvil que pretende fomentar la educación libre y gratuita respecto al aprendizaje del idioma inglés como lengua extranjera, de tal modo que puedas interactuar con otras personas que de igual manera desean expandir su conocimiento del inglés, ya sea mediante una comunicación directa vía chat en línea o mediante tarjetas de estudio que refuercen tu conocimiento del inglés y fomenten el aprendizaje.

## I. Introducción

Conecta2 es una aplicación para móvil. Dicha aplicación se basa en la recopilación de vocabulario y la práctica constante con otras personas para el aprendizaje del idioma inglés. Como bien sabemos, existe una gran infinidad de aplicaciones para aprender cualquier otro idioma, pero la problemática que encontramos con estas aplicaciones es que se basan en el aprendizaje tradicional, donde debemos seguir una serie de clases y auto-completar frases para así ir aprendiendo reglas gramaticales. Sin embargo, esto a largo plazo trae grandes beneficios, ya que nos permite aprender un nuevo idioma de la forma más correcta posible, siempre y cuando se consiga vencer una de las partes más complicadas que consiste en la perseverancia del estudio dedicado para aprender un nuevo idioma, donde la curva de aprendizaje puede ser la mayoría de veces, muy lenta debido al poco tiempo invertido para seguir una rutina de estudio. Para ello, hemos pensado en Conecta2, una aplicación donde podrás conectar con otras personas con gustos afines a los tuyos para practicar un nuevo idioma, y además de esto estar continuamente leyendo frases y palabras hechas por otras personas que podrás guardar en tu diccionario personal.

La interacción social es un fundamento práctico de nuestros días, vivimos en la era de la información donde las nuevas tecnologías no solo han cambiado nuestra manera de vivir, sino de comprender un mundo, el cual es alimentado por contenido digital donde las actitudes sociales participativas son influyentes en la búsqueda y adquisición de conocimiento. En el pasado la comunicación se basaba estrictamente en interacciones sociales físicas, procesos interactivos de intercambio de diálogo o de cartas, medios de comunicación buenos, pero muy lentos. En la actualidad y gracias a la tecnología se puede tener una conversación instantánea sin importar en lugar del mundo en el que te encuentres [1].

No es ningún misterio que con la globalización y el internet se han acortado las distancias entre los países, es por ello por lo que el aprendizaje del idioma inglés resulta primordial para el pleno desarrollo profesional y personal. Pero ¿por qué elegir el inglés? El inglés es considerado el idioma más aprendido como segunda lengua [2]. Por lo que no solo en el ámbito profesional te trae grandes beneficios aprenderlo, sino que también en el ámbito personal, al viajar a otros países, o bien, conocer personas a través de internet, es muy probable que el inglés sea el idioma con el que podrás comunicarte.

Pero ¿cuál es el principal problema de aprender un nuevo idioma? Seguramente estés pensando en el poco tiempo que tienes al día para estudiar o incluso en las pocas oportunidades que tienes de poder practicarlo en el ámbito cotidiano, pero lo cierto es que dichas problemáticas las podemos resumir en la poca consistencia que tenemos como estudiantes. Es verdad que las reglas gramaticales pueden resultar tediosas y aburridas de estudiar y esto provoca el abandono temprano en el aprendizaje, también hoy en día con la cantidad excesiva de distractores que tenemos, el darnos un tiempo para estudiar también se vuelve una tarea complicada. Además, encontrar otro grupo de personas con la disponibilidad necesaria y el nivel de inglés adecuado para instruirte en la práctica y el aprendizaje del idioma también representa un gran obstáculo por vencer.

Ahora que conoces un poco el origen de porqué nos cuesta tanto trabajo aprender algo complejo como un idioma. Desmenuemos el principal problema: la constancia. ¿Por qué no tenemos constancia? Para entender esta situación analicemos cómo utilizamos el tiempo en nuestro día a día. Según un estudio hecho por la marca de teléfonos Motorola, reveló que



el 54 % de jóvenes en México de entre 10 y 19 años pasan la mitad de su día, es decir, 12 horas utilizando el teléfono [3]. ¿Pero por qué nos atrae tanto el uso del teléfono? Es muy simple, estamos en un punto de la historia donde cualquier relación o comunicación que tengas con tu entorno lo haces a través de este. No es ningún secreto que las redes sociales nos hacen liberar endorfinas y estas terminan provocando una adicción en las personas lo cual las vuelve dependientes del uso de estas aplicaciones [4]. Es por ello por lo que Conecta2 pretende dar la vuelta a este problema y en lugar de buscar ignorar el problema más común durante el aprendizaje, que es la falta de constancia y disciplina, mejor utilizaremos este deseo del ser humano de conocer lo que otros piensan y la posibilidad de poder interactuar con estas mismas personas en calidad de aprendizaje.

Conecta2 tiene cuatro pantallas principales. La primera pantalla es la del perfil de usuario, ahí se mostrará toda la información personal del usuario así como sus datos para iniciar sesión los cuales serán modificables. La segunda pantalla es la del diccionario, aquí el usuario podrá eliminar y agregar nuevas palabras y frases para su vocabulario. La tercera pantalla es la del Chat. Está pantalla, como su nombre lo indica, simplemente tendrá una aplicación de mensajería donde se enlistaran los usuarios a los que se han enviado mensajes y un link a la conversación privada. Y en la cuarta pantalla se listaran las sugerencias de nuevas palabras o frases, en caso de querer guardar una frase el usuario deberá dar en me gusta.

Esta aplicación no fue creada para ser una competencia con las aplicaciones de estudio ya creada, sino que surge como una aplicación con un método de estudio diferente, donde funcione como una aplicación alternativa a los métodos clásicos y rigurosos de estudio o como una aplicación complementaria a estos para reforzar todavía más tus conocimientos y poder seguir ampliándose siendo abordados desde otro punto de vista u otra forma de estudio no guiado, abonando así a poder formar parte de ser una competencia digital.

## **II. Trabajos relacionados**

En el mundo de aplicaciones móviles existen un sinnúmero de plataformas que permiten aprender un nuevo idioma. Cada una tiene sus diferentes metodologías, algunas utilizan libros, otras películas y canciones o también

hay aplicaciones que usan los juegos. Tenemos aplicaciones más robustas las cuales tienen foros para practicar o bien clases grabadas para estudiar gramática. Sin duda estamos ante una de las problemáticas más exploradas en el mercado de aplicaciones.

Entre estas plataformas se encuentran Duolingo, una plataforma de aprendizaje de idiomas diseñada para aprender sintiéndose como un juego [5]. Su misión se centra en ofrecer una educación gratuita, divertida y accesible para todos. Su efectividad ha sido comprobada científicamente. Entre sus diversas variaciones se encuentra “Duolingo por Schools” que es una herramienta gratuita para maestros que ayuda a los estudiantes a aprender idiomas a través de la app de Duolingo, tanto dentro como fuera del salón de clases [6]. Otra plataforma es Babbel, diseñada para el aprendizaje interactivo de diferentes idiomas en línea de lecciones centradas en asemejarse a una conversación cotidiana con un hablante nativo de la lengua seleccionada. Su método educativo está basado en estudios cognitivos y científicos que permite un condicionamiento del cerebro para facilitar lo que se aprende [7].

Wibbu English: Es un curso de inglés digital creado por el periodista y diseñador Benjamín Romero y el experto en Marketing Jonay Suárez, ambos expertos en idiomas y desarrollo informático. Este curso fue creado como un estudio de educación y entretenimiento especializado en la creación de juegos, historias y contenido que fomenta un amor por el aprendizaje de por vida [8]. Su método de enseñanza se basa en la corrección de las equivocaciones más comunes por parte de la comunidad de habla hispana, permitiendo así al estudiante aprender “mejor y más rápido”.

Aba English: Es una academia digital de inglés con recursos prácticos y teóricos necesitados para alcanzar el éxito, se ofrece que en tres meses se pueda subir de nivel y obtener un Certificado Oficial de ABA English [9].

El idioma inglés ha sido reconocido como el idioma de mayor uso en el mundo como parte de una globalización lingüística, donde su uso pretende vencer barreras del idioma entre diversas naciones, sociedades y culturas con la finalidad de agilizar diversos procesos que van desde la industria hasta el campo educativo. Debido a esto su uso se ha propagado más allá de ser la enseñanza o el aprendizaje de una lengua extranjera a ser un idioma el cual pueda unificar personas de todo el mundo con la finalidad de crear oportunidades de progreso y creación en conjunto.

### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

Proveer de una aplicación móvil y web que permita a las personas poder conectarse con otras personas que deseen practicar inglés y además estar constantemente compartiendo y recabando nuevo vocabulario con el resto de los usuarios. Y así incentivar a las personas a utilizar constantemente el idioma y lograr vencer la falta de constancia.

#### A) Api Rest

Objetivo 1: Levantamiento de requerimientos.

Objetivo 2: Desarrollar un sistema de autenticación con una cuenta de google y un sistema de registro de usuarios.

Objetivo 3: Diseñar e implementar el *frontend* y *backend* de la aplicación.

Objetivo 4: Crear un sistema de registro de frases y palabras llamadas tarjetas que se desplegaran dentro del diccionario.

Objetivo 5: Crear una aplicación de mensajería que permite conectar a dos usuarios utilizando el servicio de *stream* de Getstream para el chat y *Firebase* para las notificaciones [10].

Objetivo 6: Modelar y construir la base de datos para el almacenamiento de los datos del usuario así como la información de la tarjeta a través del servicio de base de datos que provee *Firebase*.

Objetivo 7: Crear un sistema de *likes* para calificar las frases que otros usuarios compartan.

Objetivo 8: Crear un sistema que permita guardar frases de otros usuarios.

Objetivo 9: Implementar un sistema de recomendaciones usando un algoritmo de clasificación supervisado como lo es K-NN mediante la correlación de Pearson.

1. Cronograma de actividades
2. Diseño de *Mockups*
3. Diseño de la base de datos
4. Implementación de la base de datos relacional
5. Diseño e implementación de pantalla de *Login* y registro de usuarios
6. Implementación de Api rest
7. Diseño e implementación de Chat
8. Diseño e implementación de diccionario personalizado
9. Diseño e implementación de sistema de recomendación de cards

10. Diseño e implementación del feed de cards creadas

11. Diseño e implementación de perfil de usuario para su edición

### Sprint 1: Base del proyecto

ID Task	Historia	Task	Prioridad	Fecha de inicio	Fecha final estimada	Asignado
1	H1	Diseñar <i>Mockups</i> en Balsamiq.	4	15/02/22	20/02/22	Pedro
2	H2	Diseñar modelo entidad relación	3	15/02/22	20/02/22	Juan
4	H3	Implementar modelos de la base de datos	1	22/02/22	28/02/22	Juan
5	H4	Diseñar pantalla de login y registro	2	22/02/22	28/02/22	Pedro
6	H8	Diseñar pantalla de recomendaciones	2	1/03/22	5/03/22	Juan
7	H9	Diseñar pantalla de feed de cards.	2	6/03/22	10/03/22	Juan

- Pruebas: 11/03/22
- Release: 12/03/22

**Sprint 2: Chat y algoritmo IA**

ID Task	Historia	Task	Prioridad	Fecha de inicio	Fecha final estimada	Asignado
8	H6	Diseño del chat	1	15/03/22	4/04/22	Pedro
9	H6	Conectar chat a api get stream chat	1	5/04/22	20/04/22	Pedro
9	H8	Diseño del algoritmo de filtro colaborativo para las recomendaciones	1	15/03/22	4/04/22	Juan
10	H8	Implementación del algoritmo de filtro colaborativo para las recomendaciones.	1	5/04/22	20/04/22	Juan

- Pruebas: 22/04/22
- Release: 23/04/22

**Sprint 3: Frontend**

ID Task	Historia	Task	Prioridad	Fecha de Inicio	Fecha final estimada	Asignado
11	H10	Diseño de pantalla de perfil de usuario	2	25/04/22	31/04/22	Juan
12	H10	Diseño de pantalla de edición de perfil	3	1/05/22	11/05/22	Juan
13	H10	Diseño de pantalla de solicitudes de amistad	3	11/05/22	20/05/22	Juan
14	H7	Diseño de pantalla de categoría de cards	2	25/04/22	2/05/22	Pedro
15	H7	Diseño de pantalla de cards por categoría	2	3/05/22	11/05/22	Pedro

- Pruebas: 12/05/22
- Release: 14/05/22

Sprint 4: Backend						
ID Task	Historia	Task	Prioridad	Fecha de Inicio	Fecha final estimada	Asignado
16	H10	Endpoints para el usuario	2	16/05/22	25/05/22	Juan
17	H9	Endpoints para las cards	1	16/05/22	25/05/22	Pedro
18	H7	Endpoints para los me gusta	1	26/05/24	1/06/22	Pedro
19	H7	Endpoints para las cards guardadas	1	2/06/22	14/06/22	Pedro
20	H8	Endpoints para el sistema de recomendaciones	1	26/05/22	14/06/22	Juan

- Pruebas: 15/06/22
- Release: 17/06/22

Sprint 5: Servicios (Conectar Frontend y Backend)						
ID Task	Historia	Task	Prioridad	Fecha de inicio	Fecha final estimada	Asignado
21	H10	Servicios para el usuario	1	19/06/22	31/06/22	Juan
22	H9	Servicios para las cards	1	19/06/22	28/06/22	Pedro
23	H7	Servicios para dar me gusta a cards	1	29/06/22	04/07/22	Pedro
24	H7	Servicios para guardar cards	1	05/07/22	15/07/22	Pedro
25	H8	Servicios para el sistema de recomendaciones	1	01/07/22	15/07/22	Juan

- Pruebas: 16/07/22
- Release: 20/07/22

Fig. 1. Tabla de los *sprints* hechos durante toda la etapa del proyecto.

## B) Base de datos

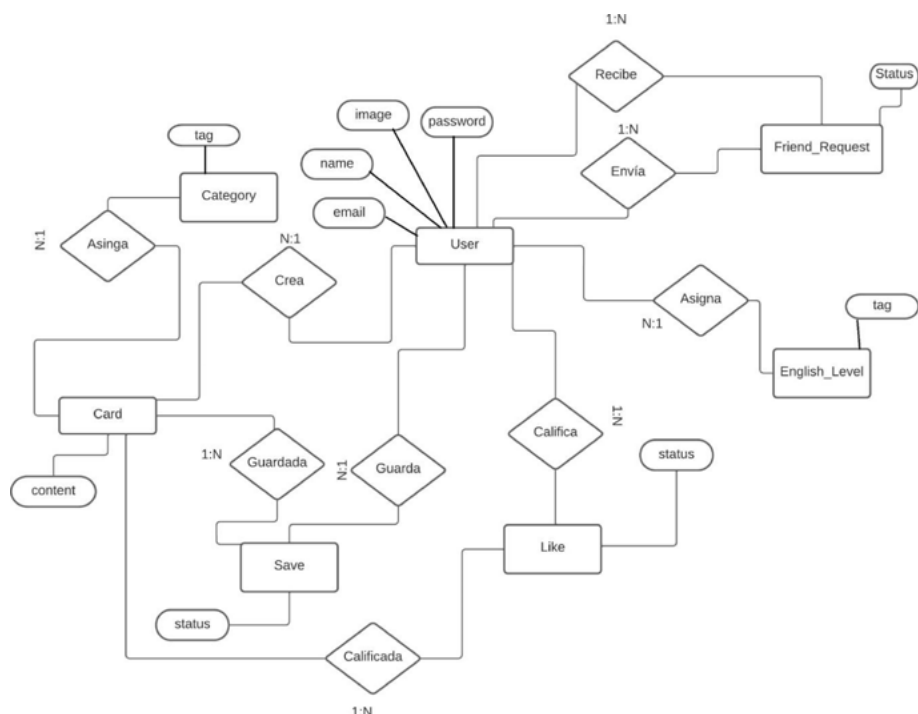


Fig. 2. Modelo relacional de la base de datos.

Como se muestra en la Fig. 2, una vez que se tiene el diseño y estructura del sistema, se comenzaron a instalar las herramientas que consideramos que nos permitirían alcanzar los requerimientos. Se instalaron los gestores de bases de datos PostgreSQL y se creó la conexión entre Django. Una vez establecido lo anterior, se empezaron a hacer los modelos para Django. Django nos permite el modelado en clases de las tablas para la base de datos, de manera que estas sean más simples de gestionar. Ya terminado lo anterior, se podrán migrar los datos correspondientes a las bases de datos y, en el caso de PostgreSQL, crear las tablas correspondientes a los modelos creados y direccionados a este, además de tablas extras que Django necesita para funcionar correctamente.

Este proceso Django lo realiza automáticamente, ingresando los comandos “makemigrations” y “migrate”.

## A) Requerimientos funcionales

- En la pantalla de registro el usuario tendrá que ingresar como datos: Nombre, Correo, Contraseña, Nivel de inglés y además deberá elegir 10 tarjetas de frases de un total de 30 tarjetas seleccionadas aleatoriamente, las cuales ya estarán precargadas inicialmente en la base de datos.
- Se contemplarán un total de cuatro pantallas para navegar:
  - Perfil: En esta pantalla tendremos la información básica del usuario (nombre, contraseña, nivel de inglés) la cual podrá ser editada, además la opción para cerrar sesión.
  - Diccionario: En esta pantalla simplemente se mostrará la colección de tarjetas de frases o palabras que el usuario ha creado y guardado.
  - Chat: En esta pantalla se encontrará exclusivamente la aplicación del chat, aquí se listarán todas las conversaciones que ha tenido con otros usuarios.
  - Sugerencias: En esta pantalla se listarán las tarjetas con frases o palabras que otros usuarios han hecho y que la aplicación considera que podrían gustarte o enriquecer tu diccionario.
- La pantalla del Diccionario cuenta con la opción de eliminar una tarjeta con tan solo un clic y una confirmación. También dicha pantalla tiene un pequeño botón que despliega un mini formulario para crear nuevas tarjetas, donde simplemente se ingresa la frase o palabra en inglés y su traducción al español.
- La pantalla de sugerencias enlista las tarjetas de otros usuarios, las cuales el usuario tiene la opción de darles *like* o de guardar en su diccionario.
- Además, cada tarjeta que sea mostrada en el apartado de sugerencias tiene el nombre del usuario que escribió la tarjeta para que puedas enviarle una solicitud para practicar con dicho usuario.

## C) Api Rest

Para establecer un canal de comunicación entre nuestra base de datos y Frontend de la aplicación implementamos una api rest, con Django. El desarrollo de esta aplicación nos permite tener una mayor escalabilidad del proyecto y simplicidad en las pruebas.



Una vez establecida la conexión en la base de datos en nuestro proyecto de Django, el siguiente paso fue crear una aplicación, de nombre API, el siguiente paso es definir las vistas, esto se hace en el archivo “views.py”, para esto vamos a tener que hacer uso de los modelos que definimos para nuestra base de datos y del lenguaje ORM de Python para realizar operaciones sobre las tablas. Cada vista tiene diferentes operaciones, entre las cuales se encuentran: GET, POST, PUT, DELETE.

La operación GET se utiliza para traer información de la base de datos, la operación POST para insertar datos, la operación PUT para actualizar datos y la operación DELETE para eliminar datos. Un ejemplo de una operación anterior se observa en la Figura 3.

3. En dicha operación estamos indicando en traer todas las cards que no pertenezcan al usuario y, además, traer información adicional como si ya le dio *like*, la guardo y la cantidad de *likes* que tiene cada card. El siguiente paso es configurar el archivo “urls.py”. Después de definir las vistas se necesita definir la url como en la Fig. 4 para cada método de la vista. Ahora deberemos exportar la vista hecha anteriormente en este archivo para poder invocar sus operaciones GET, POST, PUT, DELETE.

Después de configurar los URL probaremos la api, haciendo uso del software Insomnia el cual nos permite ingresar la url, elegir la operación y regresar los datos Json como se muestra en la Fig. 5.

```

class CardPostView(View):
    @method_decorator(csrf_exempt)
    def dispatch(self, request, *args, **kwargs):
        return super().dispatch(request, *args, **kwargs)

    def get(self, request, id_user):
        user = User.objects.get(id=id_user)
        cards = list(CardPost.objects.annotate(isLike=Count(
            'like_card', filter=Q(like_card_status=True, like_card_user_id=user))).annotate(isSave=Count(
            'save_card', filter=Q(save_card_status=True, save_card_user_id=user))).annotate(countLike=Count(
            'like_card', filter=Q(like_card_status=True)).values('id', 'user_id_name', 'content',
            'category_id', 'user_id', 'isLike', 'isSave', 'countLike'))

        if len(cards) > 0:
            data = {'cards': cards}
        else:
            data = {'message': 'Cards not found...'}
        return JsonResponse(data)

```

Fig. 3. Operación GET Card.

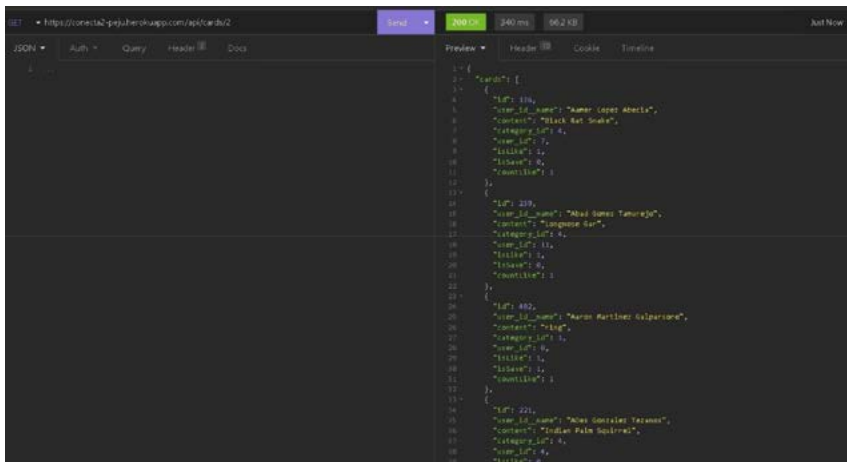
```

from django.urls import path
from .views import CardPostView, LikeView, SaveView, CardsUserView, AllCardsUserView, UserView

urlpatterns = [
    path('cards/<int:id_user>', CardPostView.as_view(), name='get_cards'),
    path('cards/', CardPostView.as_view(), name='post_cards'),
    path('users/', UserView.as_view(), name='get_cards'),
    path('likes/<int:id_user>/<int:id_category>',
        LikeView.as_view(), name='get_likes'),
    path('likes/', LikeView.as_view(), name='post_likes'),
    path('saves/<int:id_user>/<int:id_category>',
        SaveView.as_view(), name='get_saves_category'),
    path('saves/', SaveView.as_view(), name='post_saves'),
    path('create_card/<int:id_user>/<int:id_category>',
        CardsUserView.as_view(), name='get_cards_create_category'),
    path('all_create_card/<int:id_user>',
        AllCardsUserView.as_view(), name='get_all_cards_create'),
]

```

Fig. 4. Vistas.



```

[
  {
    "cardId": 1,
    "user_id": 10,
    "user_id_name": "Name Lopez Alberto",
    "content": "Black cat smile",
    "category_id": 4,
    "user_id": 10,
    "likes": 0,
    "countlikes": 0
  },
  {
    "user_id": 10,
    "user_id_name": "Abel Gomez Tamara",
    "content": "Language cat",
    "category_id": 4,
    "user_id": 10,
    "likes": 0,
    "countlikes": 0
  },
  {
    "user_id": 10,
    "user_id_name": "Naran Martinez Galperron",
    "content": "pig",
    "category_id": 1,
    "user_id": 10,
    "likes": 0,
    "countlikes": 0
  },
  {
    "user_id": 20,
    "user_id_name": "Alex Gonzalez Texmon",
    "content": "English Pale Squires",
    "category_id": 4,
    "user_id": 4,
    "likes": 0,
    "countlikes": 0
  }
]

```

Fig. 5. Archivo JSON de la metodología Kanban.

## D) Aplicación Android

Se hizo el desarrollo de una aplicación para la plataforma Android la cual funcionará como aplicación cliente donde los usuarios podrán hacer uso de esta para entrar al catálogo completo de funcionalidades de la misma.

## 1. Splash



Fig. 6. Splash.

La figura 6 muestra la imagen inicial al momento de abrir la aplicación la cual se muestra por un periodo de dos segundos en lo que el sistema hace las validaciones iniciales para poder abrir la aplicación.

## 2. Inicio de sesión

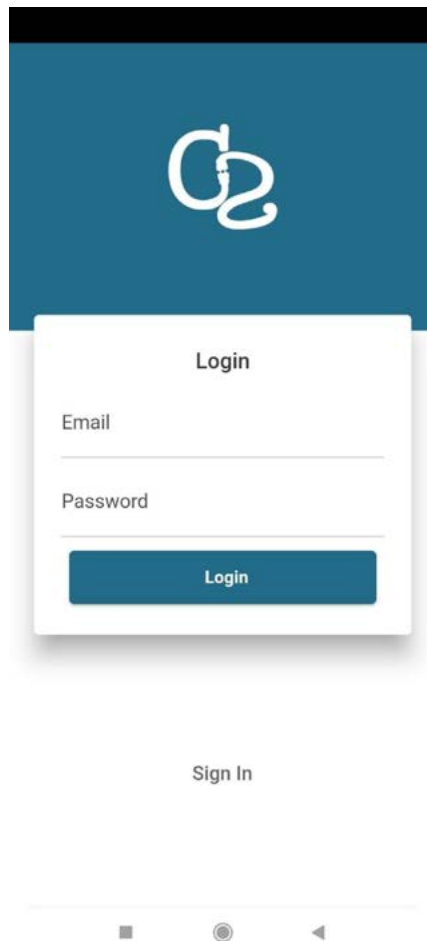


Fig. 7. Inicio de sesión.

La figura 7 muestra una pantalla donde se puede iniciar sesión en la aplicación, solicitando un correo y una contraseña registrados en la plataforma. En caso de no estar registrado aún en la aplicación, se dará la opción de crear un usuario mediante el botón de “Signup”.

### 3. Menú lateral

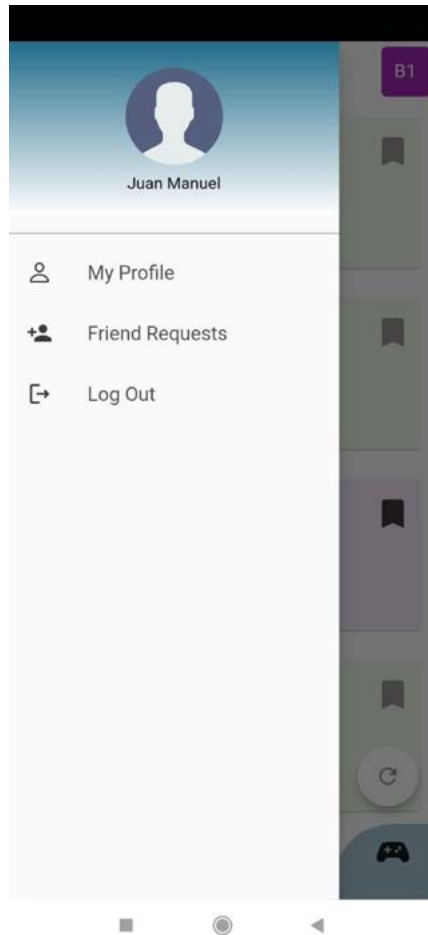


Fig. 8. Menú lateral.

La figura 8 presenta el menú lateral, donde se puede entrar al perfil del usuario, revisar las solicitudes de amistad pendientes o bien cerrar sesión.

## Pantalla inicial de Cards

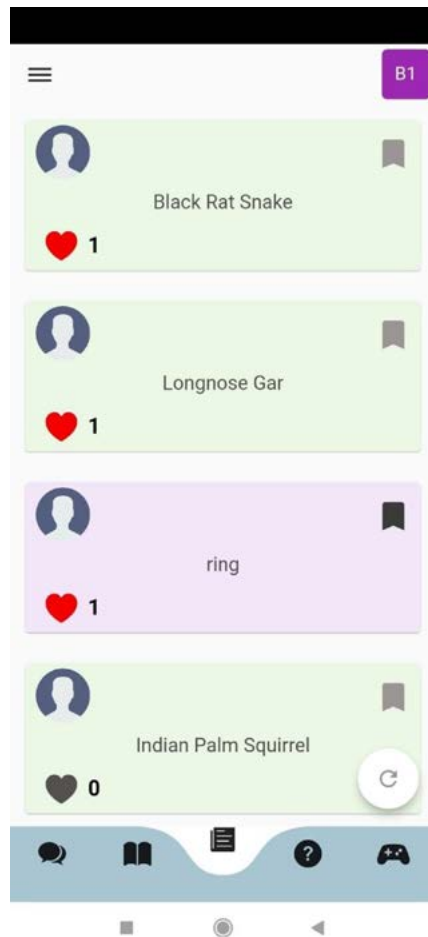


Fig. 9. Cards.

La figura 9 presenta las 100 cards más recientes que los usuarios hayan creado, desplegándose 100 más al momento de llegar a la última y así sucesivamente. En esta pantalla será posible el “likear” una card o guardarla para tenerla a tu disposición.

## 5. Pantalla de chats



Fig. 10. Pantalla de chats.

La figura 10 mostrará los chats actuales que el usuario tenga en conjunto con otros usuarios, pudiendo acceder a ellos para iniciar una nueva conversación. De igual manera en esta pantalla se puede iniciar una nueva conversación con un usuario con quien no tenga una conversación previa.

## 6. Chat

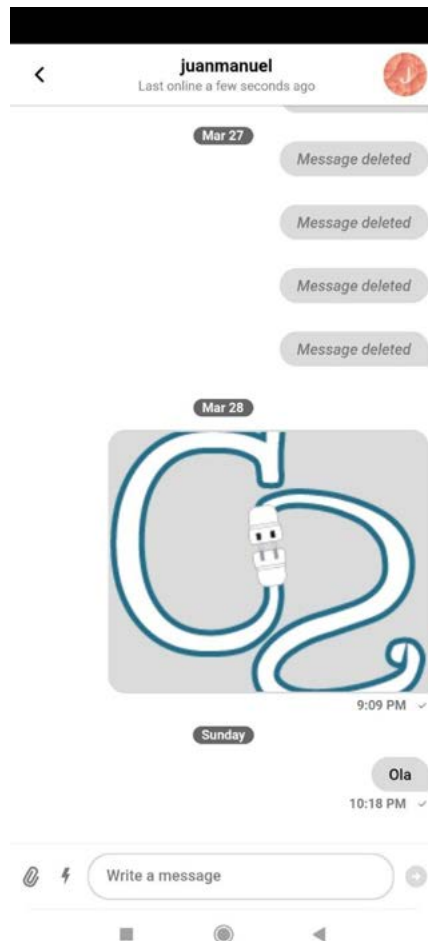


Fig. 11. Chat.

Fig. 11 muestra que al ingresar a un chat de la pantalla anterior, se logra visualizar los mensajes enviados y recibidos, de igual manera se logra enviar imágenes, borrar mensajes anteriores y ante cada mensaje enviado recibir un pequeño aviso gráfico respecto a si el mensaje fue enviado o no.



## 7. Pantalla de cards creadas

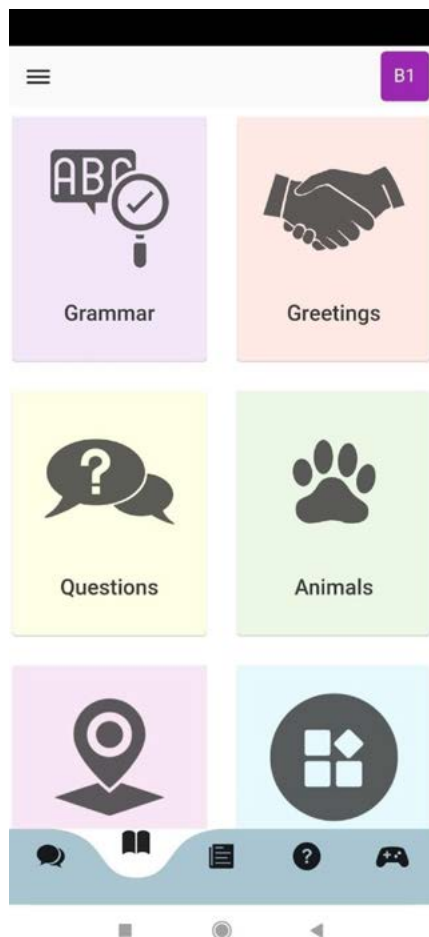


Fig. 12. Pantalla de cards creadas.

La figura 12 despliega un menú interactivo donde se logra observar por categorías las cards que hayan sido creadas al momento. Se cuenta actualmente con seis categorías que son: *Grammar*, *greetings*, *questions*, *animals*, *places* y *others*.

## 8. Traducción de cards

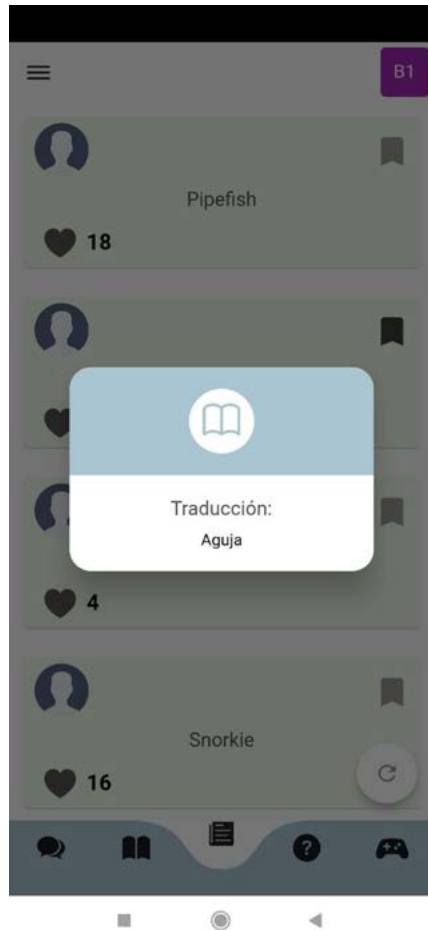


Fig. 13. Cards creadas.

La figura 13 muestra que al dar clic sobre el texto de algunas de las cards, aparece una ventana de diálogo con el texto traducido al español.

## 9. Cards creadas

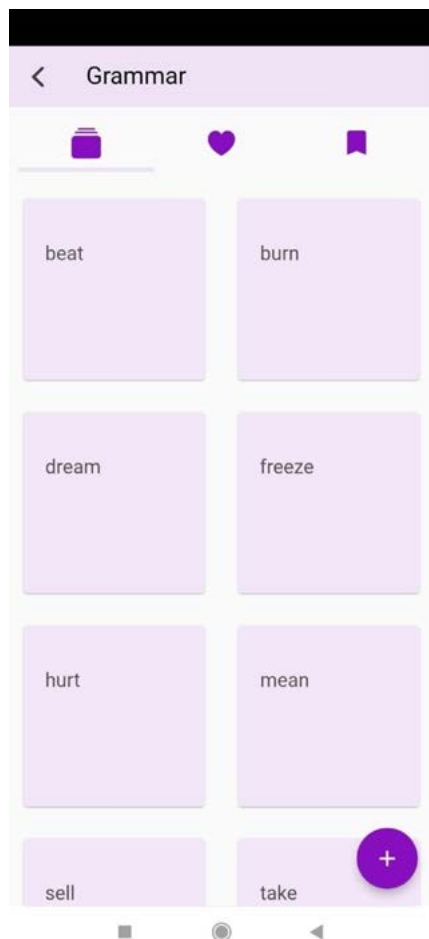


Fig. 14. Cards creadas.

La figura 14 muestra las cards al seleccionar una categoría de la anterior pantalla mostrada en la figura anterior, en este caso “Grammar” es una categoría de las tarjetas y trae del servidor todas las tarjetas que hayamos creado dentro de esa categoría. Desde aquí se podrá interactuar con el botón de “+” para agregar una nueva card.

## Cards qué te gustan



Fig. 15. Cards qué me gustan.

La figura 15 muestra todas aquellas cards a las que el usuario les ha dado me gusta, es decir, las que han marcado con un corazón en la pantalla principal.

### 11. Cards guardadas

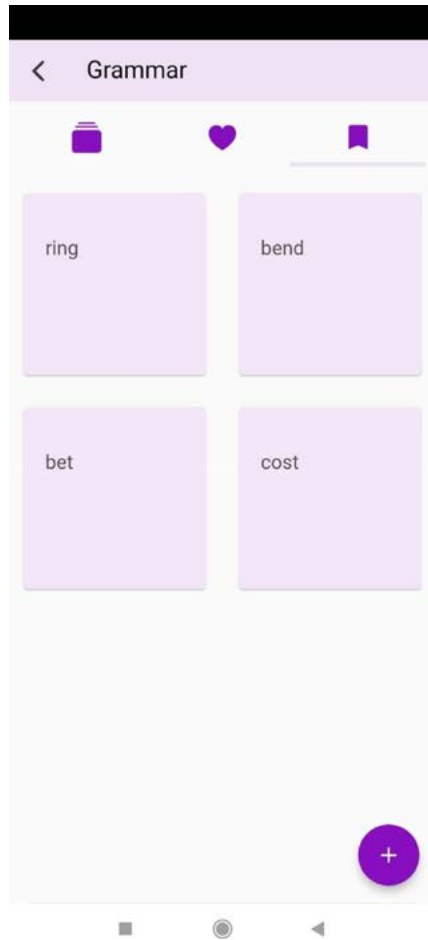


Fig. 16. Cards guardadas.

La figura 16 muestra todas aquellas cards que el usuario ha guardado, o bien aquellas cards marcadas con el icono de guardar.

## Crear cards

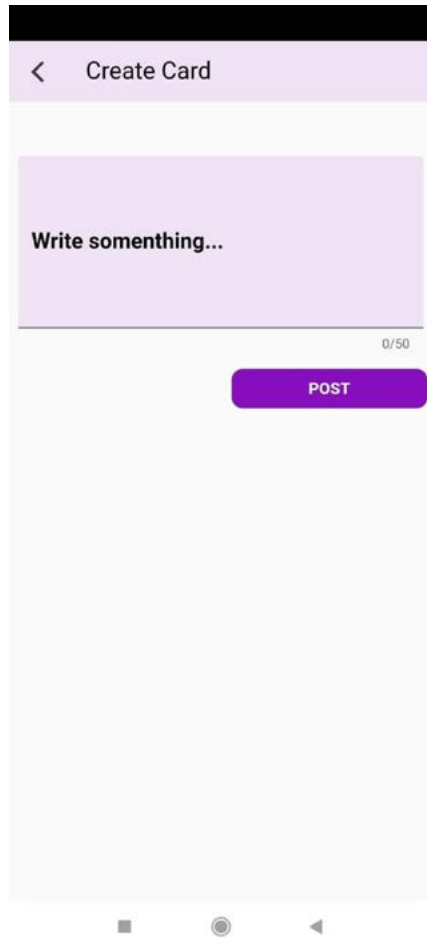


Fig. 17. Crear cards.

Figura 17 muestra que al apretar el botón de “+” de la pantalla anterior, se logrará crear nuevas tarjetas de la categoría en la que estemos.

### 13. Card rechazada

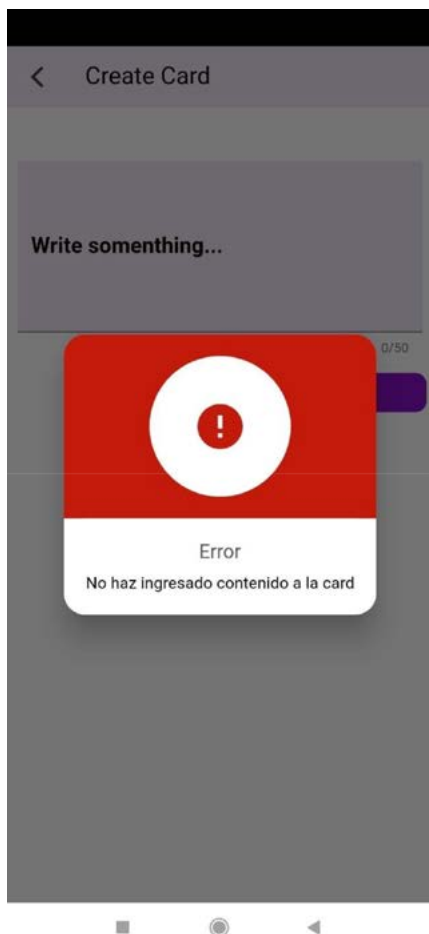


Fig. 18. Card rechazada.

Figura 18 muestra que en caso de no llenar los datos correspondientes de la Fig. 17, se lanzará un mensaje de error en caso de que no se haya llenado correctamente.

## 14. Card aceptada

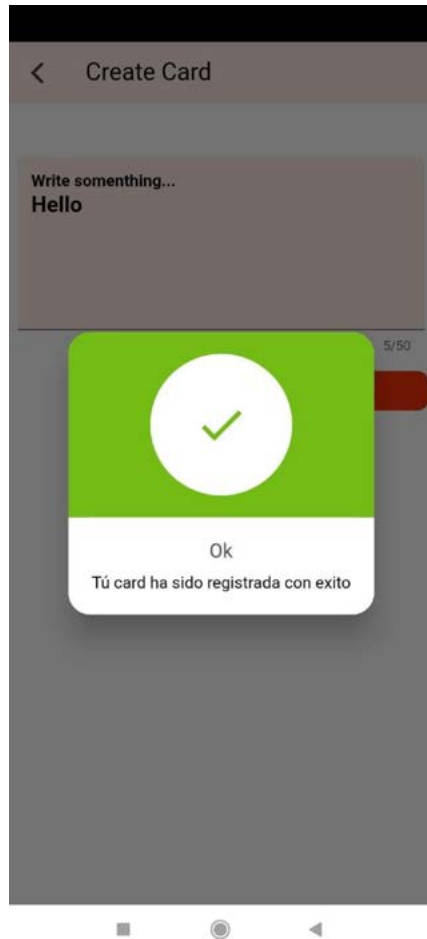


Fig 19. Card aceptada.

Figura 19 muestra que en caso de llenar correctamente los datos correspondientes de la Fig. 17, se lanzará un mensaje de éxito en caso de que la card se haya registrado correctamente.



### 15. Perfil con amigos

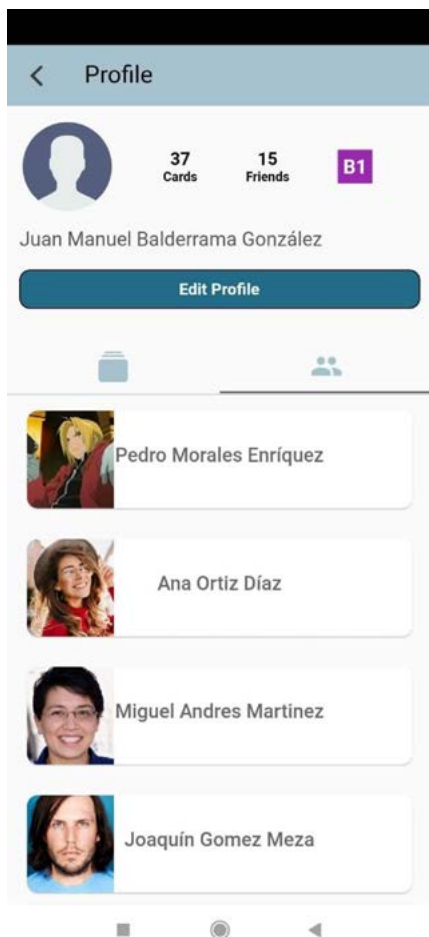


Fig 20. Perfil con amigos.

Figura 20 muestra que al entrar en el menú lateral mostrado en la Figura 7 y seleccionando el botón “Perfil”. En esta pantalla se visualiza el perfil del usuario con un recuento de cards creadas, amigos y nivel de inglés, se puede hacer una edición de su perfil y en la parte inferior se listará su lista de amigos.

## 16. Perfil con cards

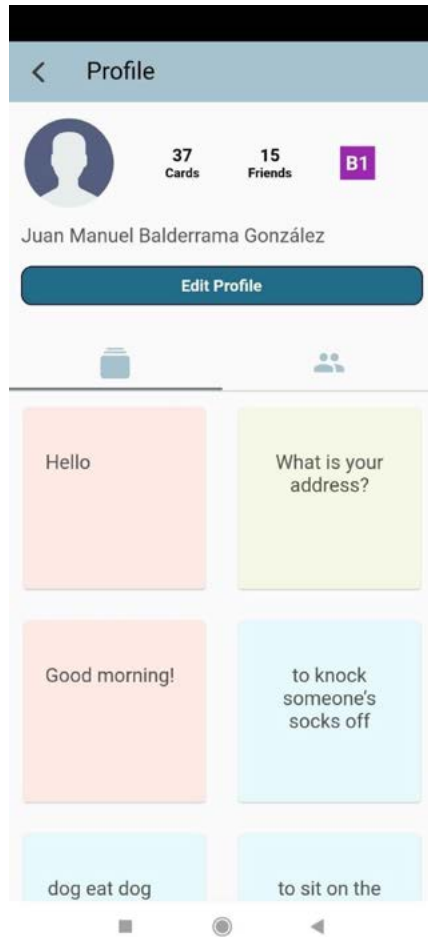


Fig 21. Perfil con cards.

Figura 21 muestra el perfil del usuario, pero haciendo un enfoque en su cards creadas.

### 17. Solicitudes de amistad

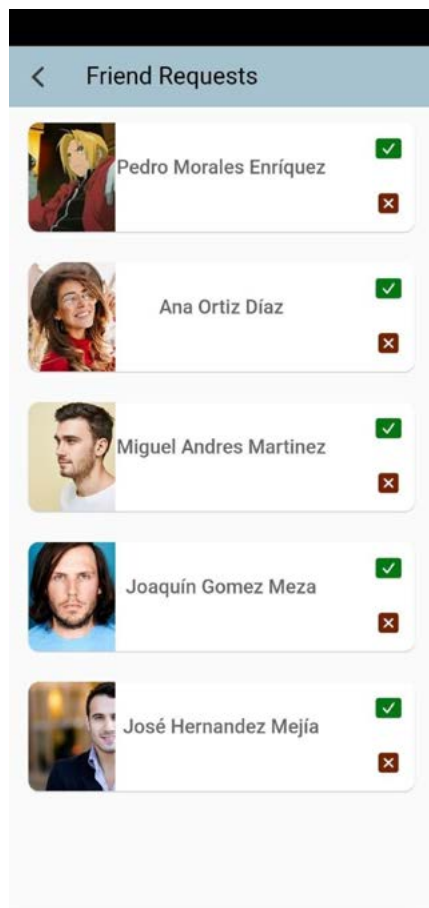


Fig 22. Solicitudes de amistad.

Figura 22 muestra las solicitudes de amistad que ha recibido el usuario, estas pueden ser rechazadas o aceptadas.

## 18. Aceptar o rechazar solicitud

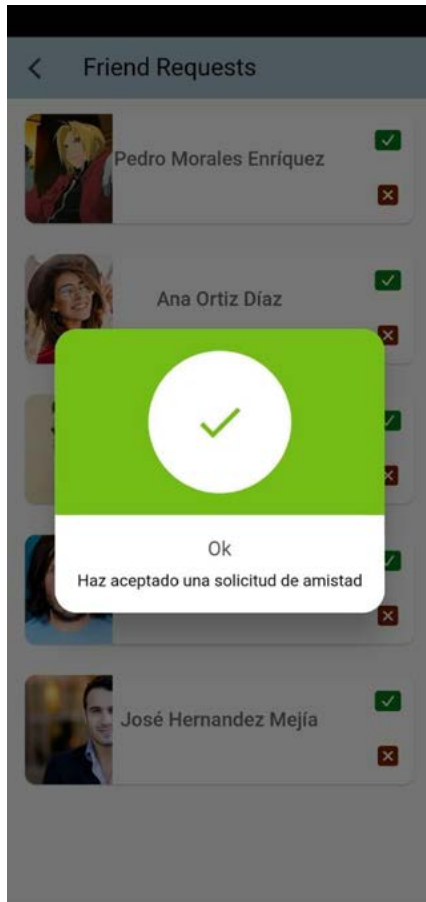


Fig. 23. Aceptar o rechazar solicitudes.

Figura 23 muestra que al rechazar o aceptar una solicitud se muestra una ventana de diálogo con un mensaje de éxito después de procesar el registro.

## E) Tecnologías utilizadas

Las tecnologías utilizadas en este proyecto fueron variadas constando desde librerías para manipulación y análisis de datos hasta librerías para implementación de interfaces gráficas y entrada de datos. A continuación se hace un listado y explicación breve de cada librería utilizada en el proyecto.

1. *Asgiref*: Es un estándar para aplicación y servidores web asíncronos de Python, de tal manera que estos puedan comunicarse entre sí. Su función se basa en “envolver” o “decorar” funciones como asíncronas o de sincronización para llamarlas previamente desde otro estilo, es decir, para que se puedan llamar funciones asíncronas desde un subproceso síncrono o viceversa [11].
2. *Decouple*: Es una herramienta genérica independiente que ayuda a organizar la configuración del servidor de tal manera que los parámetros puedan ser cambiados sin la necesidad de tener que volver a implementar su aplicación. Ayuda en el almacenamiento de parámetros en archivos ini o .env, permite convertir valores al tipo de dato correcto. Es una herramienta muy completa para separar la configuración del código [12].
3. *Django*: Django es un *framework* de desarrollo web de código abierto escrito en Python de alto nivel, el cual fomenta un desarrollo rápido en un diseño limpio y pragmático. Creado por desarrolladores experimentados, este se ocupa en gran parte de las molestias del desarrollo web, siendo así que se puede concentrar más en escribir la aplicación sin la necesidad de “reinventar la rueda”.  
Este *framework* de uso libre ofrece herramientas que agilizarán el desarrollo de una aplicación así como ofrece herramientas de seguridad para la vulnerabilidad de tus datos, además Django ofrece una escalabilidad alta pudiendo complementarse con diversas herramientas de Python haciéndolo extremadamente escalable [13].
4. *Dj-database-url*: Es una herramienta que permite utilizar la variable de entorno DATABASE\_URL de tal manera que devuelve un diccionario

de conexión de base de datos de Django, lleno con todos los datos especificados en la URL. Esta herramienta es compatible con diversas bases de datos como lo son PostgreSQL, PostGIS, MySQL, MySQL (GIS), Oracle, Oracle (Gis), Redshift, CockroachDB y SQLite [14].

5. *Firestore*: Firestore es una plataforma basada en la nube para el desarrollo de aplicaciones web y móviles disponibles para diversas plataformas como lo son iOS, Android y Web. Creada en el 2011 y adquirida por Google en 2014, comenzó como una base de datos en tiempo real donde a medida de su desarrollo se le implementaron más funciones, permitiendo agrupar los SDK de productos de Google con distintos fines. Su objetivo principal es hacer el proceso más fácil de desarrollo tanto de aplicaciones web como móviles sin perder calidad [15].
6. *Gstream*: Gstream es un SDK el cual nos permite crear cualquier tipo de experiencia inmersiva de tipo chat o mensajería instantánea para sistemas como Android, iOS, web y escritorio. Para este proyecto fue utilizado el SDK de Flutter ya que Flutter es nuestro SDK para el desarrollo de la aplicación móvil [16]. Esta paquetería consta de cuatro paquetes primordiales los cuales son:
  - 1. `stream_chat`: Es un paquete puro de Dart que proporciona un cliente de bajo nivel para acceder al servicio “Stream Chat”.
  - 2. `stream_chat_flutter`: Es una librería que incluye un SDK de chat de bajo nivel y un conjunto de componentes de interfaz de usuario personalizables.
  - 3. `stream_chat_persistence`: Provee de un cliente para obtener y guardar datos de chat localmente.
7. *Gunicorn*: Es un servidor HTTP de Python WSGI para UNIX. Este es un servidor ampliamente compatible con diversos *frameworks*, es de fácil implementación y utiliza en poca medida los recursos del servidor, haciéndolo bastante rápido. Las ventajas que Gunicorn posee son la admisión nativa de WSGI, Django y Paster, cuenta con gestión automática de procesos de trabajo, es de configuración sencilla y permite múltiples configuraciones [17].

8. *Heroku*: Es una plataforma de servicios en la nube Paas (Platform as a Service) que permite manejar los servidores y las configuraciones, escalamiento y administración del mismo, se enfoca principalmente en las aplicaciones y la experiencia del desarrollador en torno a las aplicaciones. Es un servicio flexible y fácil de usar ya que ofrece un camino más fácil para poder desarrollar una aplicación [18].

9. *NumPy*: Es un paquete fundamental para la computación científica en Python, esta biblioteca proporciona un objeto de matriz multidimensional y varios objetos derivados tales como matrices y matrices enmascaradas, además de una variedad de operaciones rápidas en matrices que incluyen la manipulación matemática, lógica, de formas, clasificación, selección, Entrada/Salida, transformadas de Fourier, álgebra lineal básica, operaciones estadísticas básicas, simulación aleatoria entre otras [19].

10. *Pandas*: Pandas es un paquete de Python el cual proporciona estructura de datos rápidas, flexibles y expresivas diseñadas para que trabajen con datos del tipo “relacionales” o “etiquetados” de tal manera que sea fácil e intuitivo [20].

El objetivo principal de Pandas es ser un tipo de “bloque de construcción” de alto nivel para realizar análisis prácticos de datos del mundo real en Python.

Pandas cuenta con características primordiales que beneficiaban en gran medida al proyecto, características tales como:

- Fácil manejo de datos faltantes siendo representados como NaN
- Mutabilidad del tamaño para inserción y eliminación de columnas de DataFrames
- Alineación automática y explícita de datos
- Agrupación por funcionalidad flexible y fuerte para dividir-aplicar-combinar operaciones en diversos conjuntos de datos

11. *Psycopg-binary*: Es un adaptador de PostgreSQL para el lenguaje Python, de tal manera que funciona como un contenedor para la interfaz de libpq, la cual es la librería de cliente oficial de PostgreSQL [21]. Este

paquete está diseñado para tener una rápida iniciación para empezar a utilizar la base de datos de PostgreSQL desde python sin la necesidad de cumplir diversos requisitos de compilación.

12. *Sqlparse*: Es un analizador SQL para Python que proporciona diversas herramientas para poder analizar, dividir y formatear diversas sentencias del tipo SQL [22].

13. *Translator*: Translator es una API la cual nos permite pasar una cadena de texto de un idioma a otro, mediante el paso de parámetros podemos indicarle la cadena que queremos traducir, idioma en el que se encuentra y el idioma al que se quiere traducir.

Esta herramienta es muy práctica al ser de bajo consumo de recursos y tiene una fiabilidad muy alta al ser una API que conecta con el servicio de traducción de Google [23].

Es gratuita bajo la licencia MIT.

14. *Whitenoise*: Es un servicio de archivos estáticos simplificado para aplicaciones web de Python. Permite que las aplicaciones web sirvan de sus propios archivos estáticos de tal manera que se convierte en una unidad independiente que se puede implementar en cualquier lugar sin depender de servicios como nginx, Amazon S3 o cualquier otro tipo de servicio externo, es muy útil en servidores como Heroku, OpenShift y otros proveedores de PaaS.

Su ventaja, además de las ya mencionadas, es su funcionalidad compatible con WSGI, además puede utilizar contenido comprimido como formatos gzip y Brotli [24].

F) *Repositorio Backend*

<https://github.com/Jhonnyfasio/Conecta2>

G) *Repositorio Frontend*

<https://github.com/Pedrome203/conecta2peju>



## Módulo 1. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

El Proyecto será desarrollado en el lenguaje de programación Dart con el SDK de Flutter.

Dicho lenguaje y tecnología nos permitirá crear una aplicación móvil para el sistema operativo Android.

Como Gestor de base de datos se utilizará la tecnología PostgreSQL, y además el uso de algunos servicios de Firebase para facilitar las notificaciones push y el servicio de Getstream para la mensajería instantánea en tiempo real. La metodología que utilizaremos para el desarrollo de nuestro proyecto será Scrum.

Scrum es una metodología ágil que se basa en la idea de trabajar sobre una pila de prioridad donde las funcionalidades más importantes deberán ser implementadas. Además de esto también el trabajo se realiza en iteraciones llamadas *Sprint*. Al final de cada *sprint* se debe hacer una liberación de las nuevas funcionalidades y posteriormente la planificación del siguiente. En caso de que algunos objetivos no sean cumplidos en el *Sprint* estos se volcaran sobre el *Backlog* para poder priorizarlos para el siguiente *sprint*.

Para el desarrollo del proyecto se ha decidido dividir en cinco *Sprints*:

A) *Sprint 1: Base del proyecto.*

Consideramos este *Sprint* como el más importante ya que nos permitirá establecer un canvas sobre dónde trabajar. En este *Sprint* la meta es tener el diseño del registro e inicio de sesión así como la estructura de la base de datos, tanto en diagrama como en PostgreSQL.

B) *Sprint 2: Chat y Algoritmo IA.*

El siguiente *sprint* tiene como meta la implementación del chat para los usuarios y el diseño e implementación del algoritmo de filtro colaborativo para recomendaciones.

C) *Sprint 3: Frontend.*

El tercer *sprint* tiene como objetivo realizar el frontend completo de la aplicación.

#### D) *Sprint 4: Backend.*

La meta del siguiente *sprint* es la implementación de una API REST con python sobre Django para el envío de datos a nuestro *frontend*.

#### E) *Sprint 5: Servicios.*

Finalmente, el último *sprint* busca la conexión de nuestro *backend* y *frontend* implementando servicios dentro de nuestra aplicación y utilizando la librería de provider para el manejo de datos entre pantallas.

## Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes

El proyecto originalmente contará con un diccionario donde el usuario podrá guardar sus palabras y frases que le servirán de apoyo para aprender tanto nuevo vocabulario como gramática del inglés. Estas frases y palabras que serán guardadas en la base de dato las llamaremos cards las cuales serán conformadas por una única palabra o frase y un usuario podrá crear sus propias cards, ver las cards de otros usuarios, dar un puntaje a las cards de otros usuarios y guardar cards de otros usuarios para poderlos utilizar posteriormente.

Las cards creadas podrán ser recomendadas a otros usuarios que comparten gustos similares respecto al puntaje que cada card tenga y el nivel de inglés similar al tuyo que otros usuarios puedan tener.

De esta manera se pretende diseñar e implementar un algoritmo de filtro colaborativo basado en modelos para las recomendaciones de estas cards.

Se decidió utilizar el método de filtro colaborativo basado en el usuario el cual utiliza un método basado en memoria con el algoritmo de K-NN. Se decidió usar este método debido a que además de ser de fácil implementación, es muy eficaz para este tipo de problema, ya que estaremos haciendo un filtrado basado en usuarios con gustos similares, por lo que la misma interacción de los usuarios harán una correlación más acertada de usuario-card.

K-NN nos da una ventaja de hacer una comparación de un usuario con todos los demás usuarios haciendo una complejidad cuadrática, la cual a pesar de ser una carga computacional muy fuerte, no necesita estudiar o extraer la información de la card a ser sugerida, ya que únicamente se

basará en la similitud del usuario y el puntaje de las cards que este mismo les haya dado.

Por otro lado, este algoritmo nos permite que sea un algoritmo que se adapte a las tendencias actuales de los gustos de los usuarios, es decir, que según cómo cambian los puntajes de las cards por diversos usuarios, las recomendaciones se ajustarán para ser lo más cercana a las tendencias de las cards con mejor puntaje o con mayores puntajes.

Para la similitud entre usuarios se utilizará la correlación de Pearson, ya que es un método que no varía con la escala de escala, esto resulta en una gran ventaja debido a que en caso de que dos usuarios podrían tener cards puntuadas de manera completamente opuestas, sin embargo, serían usuarios similares o parecidos con puntuaciones de igual manera parecidas pero que dicha escala es variada u opuesta.

El algoritmo consta de diversos pasos para hacer una recomendación personalizada a cada usuario, siendo estos pasos los siguientes:

- Escoger un usuario con las cards que haya evaluado.
- Encontrar un índice de similitud de un usuario con todos mediante la correlación de Pearson basado en su índice de evaluación.
- Encontrar a los k-vecinos más cercanos mediante el algoritmo del vecino más cercano “K-nearest neighbors”.
- Estimar una predicción con los vecinos más cercanos mediante el método de agregación de evaluación (método “Weighted Average”).
- Recomendar las cards con los puntajes más altos.

Para la similitud de correlación de Pearson de dos usuarios  $x$ ,  $y$  se define de la siguiente manera como en la Fig. 24.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Fig. 24. Coeficiente de correlación de Pearson.

Donde:

- $n$  es el tamaño de la muestra
- $x_i$ ,  $y_i$  son puntos muestrales individuales indexados con  $i$
- $\bar{x}$  denota la media muestral definida por  $x$  como en la Fig. 25

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Fig. 25. Media muestral

Una vez obtenida la correlación de Pearson, como el algoritmo indica, se obtendrá un *dataframe* de similitud entre usuarios donde se dará un valor resultante entre  $r = -1$  y  $r = 1$  siendo  $r = 1$  una correlación positiva perfecta y  $r = -1$  una correlación negativa perfecta.

Una vez teniendo la correlación de Pearson de cada usuario para el resto de ellos se hará una búsqueda de los vecinos cercanos para cada usuario el cual su distancia será respecto a su correlación, quedándonos así con los usuarios más similares.

Ya con los k-vecinos más cercanos se necesitará de hacer una ponderación del índice de evaluación para cada card que los usuarios hicieron multiplicado por su correlación, es decir, se hace una predicción de la evaluación media que hayan hecho los usuarios ponderados por su similitud de su correlación de Pearson, teniendo así la siguiente fórmula en la Fig. 26.

$$\hat{r}_{u,i} = \frac{\sum_{n \in N_{u,i}} sim(u, n) \cdot r_{n,i}}{\sum_{n \in N_{u,i}} sim(u, n)}$$

Fig. 25. Fórmula “Weighted Average”.

Cuando ya se tiene una matriz de predicciones de cards para cada usuario, se deberá hacer una nueva matriz donde a cada usuario se le recomiende las cards que este no haya evaluado anteriormente, estando estos ordenados de manera descendente respecto a la mayor nota de predicción que hayan tenido, de esta manera, queda una matriz de recomendaciones para cada usuario, la cual recorrerá la matriz de voto y recomendará únicamente los que no hayan sido evaluados por el usuario.

El uso de este algoritmo basado en el vecino más cercano resultó ser de gran utilidad para resolver este problema de sugerencias basadas en relación con el gusto de los usuarios, haciéndolo así un algoritmo social

donde los mismos usuarios que utilizan la plataforma sugieren de manera indirecta contenido que le puede gustar a usuarios con sus mismos gustos, siendo así que es una retroalimentación positiva fuerte, donde todo el conocimiento se basa primordialmente en el mismo usuario y de manera no tan primordial en una computadora.

### **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Para el módulo de sistemas distribuidos la plataforma gestionará la interconexión entre usuarios registrados en el sistema y permitirá la comunicación entre usuarios en un chat en tiempo real. Así mismo se hará la implementación de compartición de archivos tales como imágenes, esto logrado en tiempo real mediante un chat privado entre usuarios, todo esto con el fin de enriquecer la comunicación entre los usuarios mediante texto e imágenes.

Para este módulo, la prioridad principal consiste en el desarrollo de una API sobre Django la cual será consumida por la aplicación para la consulta de la información dentro de nuestra base de datos alojada en el servidor. En el desarrollo de dicha tecnología se deberán usar técnicas para la seguridad de la Api, esto incluye el uso de tokens de autorización dentro del Header de los endpoints de la Api. Para el control de mensajes en sistemas Android se utiliza una capa de transporte de Android ATL con servicios de Google Play, para sistemas IOS se utiliza un servicio de notificaciones PUSH de Apple APNS, para el sistema web se utiliza un protocolo web push de aplicaciones web.

La base de datos es de tipo NoSQL la cual es alojada en una nube donde los datos son sincronizados en tiempo real con los usuarios y almacenados en un formato JSON, además se pueden mantener disponibles sin conexión.

El flujo de ciclo de vida del mensaje funciona de la siguiente manera:

- Se registra el dispositivo para recibir mensajes de FCM el cual es una instancia de la app cliente para registrar y recibir mensajes, obteniendo así un token de registro que identifica de forma única cada instancia de dicha app.

- Se envía y recibe mensajes descendentes donde el servidor de apps envía mensajes a la app del cliente.
- El mensaje se compone en el entorno de confianza y se envía una solicitud de mensaje al backend de FCM.
- Se recibe la notificación en el *backend* de FCM y se genera un ID de mensaje y otros metadatos, los cuales son enviados a la capa de transporte específica de la plataforma.
- Si el dispositivo está en línea, el mensaje se envía a través de la capa de transporte específica de la plataforma del dispositivo.
- En el dispositivo, la aplicación cliente recibe el mensaje o la notificación.

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Para este proyecto se obtuvo una aplicación Android la cual ha demostrado un alto nivel de eficiencia respecto a la estructura en la cual fue desarrollada, abarcando desde su estructura lógica uniendo diversas tecnologías en una misma aplicación, su estructura inteligente teniendo un algoritmo de recomendación basado en la interacción social de los usuarios y su estructura social al ser una aplicación intuitiva y fácil de manejar para cualquier usuario sin la necesidad de ser un usuario promedio.

Se obtuvieron grandes conocimientos respecto al desarrollo de aplicaciones móviles y se implementaron nuevos mecanismos de programación para eficientar su estructura lógica, partiendo desde nuevas maneras de conexiones entre usuarios en línea optimizando su rendimiento así como en su inteligencia para hacer grandes cálculos u ordenamientos en un tiempo mucho menor.

La aplicación, además de lo ya mencionado, puede aportar nuevos retos de desarrollo de aplicaciones, la cual puede servir de base para crear aplicaciones más complejas que prescindan de un algoritmo basado en un filtrado colaborativo extraído de los gustos de los usuarios o crear aplicaciones que necesiten incorporar diversas tecnologías en una sola.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Este proyecto nos resultó no solo en un gran reto como estudiantes, nos resultó en un gran aporte de conocimientos y experiencia el cual nos acercó bastante a problemáticas de la vida real, teniendo que hacer un desarrollo desde cero partiendo con las tecnologías ya conocidas y aprender otras nuevas. El aporte fue muy grande porque no solo nosotros pudimos aprender nuevas maneras de programación, nuevas tecnologías o nuevas maneras de combinar la interacción real y social y aplicarlo a diversas situaciones de interacción social entre usuarios.

Conecta2 fue además de un proyecto modular, una nueva manera de emplear y reforzar nuestros conocimientos, nos abrió un panorama diferente a como actualmente la información proporcionada por un usuario es tan importante como la propia información que tú le proporcionas al usuario, pudiéndose ambos retroalimentar respecto a lo que una persona como usuario necesita y una persona como desarrollador necesita proporcionar.

### **Reconocimientos**

Extendemos nuestro agradecimiento a diversas personas que nos apoyaron a lograr este proyecto, a nuestras propias familias que fueron soporte emocional muy grande, a amistades de la carrera que nos apoyaron retroalimentando nuestro trabajo, a amistades personales que nos apoyaron a no desistir en continuar el proyecto, y a nuestras mascotas como un gran soporte emocional.

## Referencias

- [1] Apellidos, N. (n. d.). *Interacción social en la era de la información*. Retrieved October 7, 2022, from <https://es.slideshare.net/LINAMARjaimes/interaccion-social-en-la-era-de-la-informacion>
- [2] Argentina, W. S. E. (n.d.). *Razones por las que el inglés es el idioma más hablado en el mundo*. <https://www.wallstreetenglish.com.ar/blog/razones-por-las-que-el-ingles-es-el-idioma-mas-hablado-en-el-mundo>
- [3] Staff, F. (2019, 16 enero). *Los adolescentes mexicanos pasan 12 horas al día en sus celulares*. Forbes México. Recuperado 16 de octubre de 2022, de <https://www.forbes.com.mx/los-adolescentes-mexicanos-pasan-12-horas-al-dia-en-sus-celulares/>
- [4] Por: Lic. Carolina Numata. Especialista en Psicología Clínica y Psicoterapia Psicoanalítica. Publicado: Jun 29, 2021 9:54:30 AM. (n.d.). *La peligrosa adicción a las redes sociales*. <https://blog.tecsalud.mx/la-peligrosa-adiccion-a-las-redes-sociales>
- [5] T. (2020, 6 noviembre). *Qué es Babel y cómo usarlo para aprender idiomas de forma correcta*. Trabajar por el Mundo: Empleo, Formación, Nómada Digital. <https://trabajarporelmundo.org/babel-que-es-y-como-usarlo/>
- [6] *¿Qué es Duolingo?* (s. f.). Centro de Ayuda de Duolingo. Recuperado 30 de septiembre de 2021, de <https://support.duolingo.com/hc/es/articles/204829090--Qu%C3%A9-es-Duolingo->
- [7] W. (2020b, marzo 24). *Education Games that Connect the World*. Wibbu. <https://wibbu.com/>
- [8] *Cómo funciona*, ABA English. (s. f.). ABA English (ES). Recuperado 30 de septiembre de 2021, de <https://www.abaenglish.com/es/como-funciona/>
- [9] Duolingo. (s. f.). *Duolingo - Aprende un idioma completamente gratis @duolingo*. Recuperado 1 de octubre de 2021, de <https://es.duolingo.com/>
- [10] López, S. (2020, 17 de mayo). *Qué es Firebase: funcionalidades, ventajas y conclusiones*. DIGITAL55. <https://www.digital55.com/desarrollo-tecnologia/que-es-firebase-funcionalidades-ventajas-conclusiones/>
- [11] asgiref. (2022, May 16). PyPI. <https://pypi.org/project/asgiref/>
- [12] *python-decouple*. (2022, February 2). PyPI. <https://pypi.org/project/python-decouple/>



- [13] *Documentación de Django, Documentación de Django, Django*. (n.d.). Retrieved October 7, 2022, from <https://docs.djangoproject.com/es/4.1/>
- [14] *dj-database-url*. (2022, July 29) PyPI. <https://pypi.org/project/dj-database-url/>
- [15] *ecastillo@nts-solutions.com*. (2022, September 21). *¿Qué es Firebase? ¿Qué ventajas ofrece en 2022 a nuestras apps?* NTS SEIDOR. <https://www.nts-solutions.com/blog/firebase-que-es.html>
- [16] *Flutter Introduction - Flutter chat*. (n. d.). <https://getstream.io/chat/docs/flutter-dart/?language=dart>
- [17] *Gunicorn - WSGI server — Gunicorn 20.1.0 documentation*. (n.d.). <https://docs.gunicorn.org/en/stable/>
- [18] *luisclausin@gmail.com*. (2022, June 7). *¿Qué es Heroku? ¿Para qué sirve? ¿Con Salesforce cómo se integra?* NTS SEIDOR. <https://www.nts-solutions.com/blog/heroku-que-es.html>
- [19] *NumPy*. (n.d.). <https://numpy.org/>
- [20] *pandas documentation — pandas 1.5.1 documentation*. (n. d.). <https://pandas.pydata.org/docs/>
- [21] *psycopg2-binary*. (2022, October 25). PyPI. <https://pypi.org/project/psycopg2-binary/>
- [22] *sqlparse*. (2022, September 23) PyPI. <https://pypi.org/project/sqlparse/>
- [23] *GitHub - gabrielpacheco23/google-translator: Free Google Translator for Dart*. (n. d.). GitHub. <https://github.com/gabrielpacheco23/google-translator>
- [24] *WhiteNoise 6.2.0 documentation*. (n. d.). <https://whitenoise.evans.io/en/latest/>

# Capítulo 13

---

## **Matesversity**

*Jesús Alejandro Palacios Barrera*

*Oscar Eduardo Ramírez Mora*

*Oscar Eduardo Maciel Castillo*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*jesus.pbarrera@alumnos.udg.mx*

*oscar.ramirez5981@alumnos.udg.mx*

*oscar.maciela@academicos.udg.mx*

## Resumen

La universidad requiere de esfuerzo por parte de los estudiantes para completar de manera satisfactoria los trabajos en clase, tareas, exámenes y prácticas. Sin embargo, el panorama no es el mismo para todos los estudiantes; pueden trabajar medio tiempo, tiempo completo, muchos son foráneos, y, para la gran mayoría, es la primera carrera universitaria que cursan. Por ello, los estudiantes necesitan ser eficientes para superar todos los retos que tienen por delante.

Matesversity facilita el proceso de interactuar con personas que comparten el interés por el estudio, poner en práctica estrategias de estudio en grupo que les permitan retener la información que reciben en clase, prepararse académicamente y formarse como verdaderos profesionales.

A través de una aplicación web intuitiva y funcional, los usuarios podrán formar grupos de estudio basados en distintos intereses, comunicarse y compartir conocimientos. Un sistema de recomendación inteligente les permitirá descubrir nuevos grupos de interés.

## I. Introducción

Para hablar sobre los inicios de la educación debemos retroceder al año 2000 a. C. cuando fueron descubiertos los primeros libros de matemáticas. En ese mismo tiempo se tiene registro de las primeras escuelas formales en China [1]. A partir de entonces, los fines de la educación han cambiado al paso de los años, dependiendo de las necesidades de la civilización. Por ejemplo, en la antigua Grecia, en la era de Pericles (455 d. C. - 431 d. C.) la mayoría de las ciudades habían adoptado un sistema formal de educación; los espartanos utilizaron su sistema de educación para formar jóvenes militares. En la época 50 a. C. sucedió el desarrollo de las escuelas romanas. Estas tuvieron una gran influencia en los sistemas educativos griegos. Muchos niños, después de aprender a leer y escribir, asistían a la escuela para aprender latín. Estas escuelas no eran muy distintas a las que podemos encontrar en el siglo XX.

La conversación respecto a la historia de la educación podría continuar, pasando por sucesos importantes como la invención del pizarrón, las contribuciones de célebres figuras de autoridad en materia de educación, la

creación de organizaciones de educación hasta llegar a tiempos contemporáneos. Sin embargo, la presente introducción se centra especialmente en los cambios que la educación ha sufrido en la última década.

En el nivel de educación superior, el proceso del aprendizaje es un factor crítico para la adquisición del conocimiento de los estudiantes en un curso en particular. Aprender temas de complejidad avanzada y desarrollar el potencial humano que tiene cada uno de los estudiantes son tareas que benefician tanto el sector público como privado y a las organizaciones. Para conseguir dichos objetivos, diversas universidades están adoptando distintas formas de mejorar las habilidades que tienen los estudiantes para aprender a incrementar su capacidad de convertir el recurso que tienen como potencial humano para mejorar al mundo. Existen algunas universidades que se están enfocando en crear grupos de estudio como un método de enseñanza y otras universidades que están adoptando métodos de estudio individuales.

Un estudio sugiere que, después de analizar el impacto de estudiar en grupo contra el estudio individual, aquellos estudiantes que formaron grupos de estudio fueron capaces de desarrollar sus habilidades para resolver problemas de una manera mucho más satisfactoria y también fueron capaces de tener un mejor entendimiento del material que se estudió. En contraste, algunas escuelas creen que el estudiar de manera individual es mucho más productivo que estudiar en grupos y que el estudiante puede aprender más mientras estudia por su propia cuenta, ya que puede hacerlo a su ritmo, en su tiempo y en el ambiente que le permita concentrarse. Sin embargo, estudiar en grupo tiene beneficios que son innegables, puesto que cada uno de los involucrados puede tener habilidades únicas y fortalezas que le da una oportunidad a sus compañeros de aprovechar dichas habilidades para ayudarse unos a otros a cubrir las debilidades del grupo de estudiantes. Por ejemplo, un estudiante puede ser bueno en matemáticas y puede ayudar a aquellos que tengan dificultades resolviendo problemas de matemáticas, así como otro miembro que tenga facilidad en aprender sobre historia, puede ayudar a sus compañeros a mejorar su estudio en el área de historia.

Respecto al tamaño de los grupos de estudio, hay evidencia que defiende que es mejor trabajar en grupos pequeños con personas que ya se conozcan entre sí. El número de integrantes ideal para un grupo de estudio

debe ser no mayor a cinco o seis estudiantes. Cualquier grupo que sea más grande podría comenzar a tener inconvenientes, como las distracciones o fallos en la comunicación. A su vez, en un grupo más grande puede que no siempre exista la oportunidad para que todos colaboren, participen o hablen de manera frecuente.

Internet ha cambiado la forma en que se educa dentro y fuera del aula de clases [2]. Hoy en día se tiene acceso a información sobre casi cualquier tema del que se quiera aprender, utilizando únicamente una conexión a internet y un dispositivo capaz de establecer dicha conexión. Sin embargo, y a pesar de estos cambios, la estructura de un salón de clases se ha mantenido; se tiene un maestro enfrente del salón de clases, y al grupo de estudiantes sentados en filas, escuchando al maestro. En los últimos años, diversos estudios han trabajado en entender si esta es la manera más eficiente para adquirir nuevo conocimiento, o si existen alternativas que produzcan un beneficio mayor para el estudiante.

Diversos estudios [3] han demostrado que estudiar en grupos pequeños ayuda a los estudiantes a aprender de una manera más eficiente. Por supuesto, esto no resulta sencillo de implementar para academias y universidades en un sistema educativo como el que tenemos actualmente. Resulta mucho más sencillo tener sesenta salones con treinta estudiantes cada uno que tener trescientos salones de seis alumnos cada uno.

En un estudio realizado en la Universidad de Washington [4] se encontró lo siguiente: Se dieron cuenta de que el hecho de que un alumno leyera las notas de su cuaderno, levantara la cabeza para mirar a sus compañeros, y terminara de explicar lo que estaba leyendo en sus notas era un signo de que el nivel de comprensión de ese tema era mayor. En estos casos, el conocimiento de las notas y los apuntes pasan a formar parte del conocimiento y el entendimiento del alumno.

El patrón de mirar las notas tomadas en clase, comprenderlas y después explicarlas con las propias palabras al resto de los compañeros es la explicación de por qué el grupo de estudio los ayudaba a comprender el material de estudio en un nivel más profundo.

Los grupos de estudio son eficientes debido a que permite a los estudiantes hacer del conocimiento de las notas de clase verdaderamente suyo al discutir, conversar y entenderlo.

Las diferencias entre un grupo de estudio y una clase tradicional son varias. Los grupos de estudio se concentran en un número inferior de integrantes comparado con el número de integrantes de una clase. Además, en una clase tradicional los alumnos normalmente están ocupados tomando notas, escuchando la voz del profesor y escribiendo cosas que necesitan recordar. Esto es diferente en un grupo de estudio, ya que se cuenta con el tiempo no solo de discutir una idea, sino de proponer nuevas, estudiar las ya conocidas y esto permite absorber mejor el conocimiento que se pretende adquirir en clase.

En otro estudio de la universidad de Melbourne se encontró que el estudio tiene como fin presentar la información y los descubrimientos claves en materia de ciencia educacional. Los principios del constructivismo como modelo de aprendizaje han atraído soporte para la forma en que se enseña dentro de un salón de clases. Desde la segunda mitad de los años sesenta se han comenzado a estudiar y defender los marcos de aprendizaje basados en grupo (Australian Science Education Project, 1974, influenciado por la teoría Piagetiana). Piaget [5] argumentaba que los niños se beneficiaban enormemente del shock de poner sus pensamientos en contraste con los pensamientos de otros niños, al tener que coordinar su pensamiento con el de sus compañeros.

Otros personajes, como el psicólogo Vygotsky [6], creían que el aprendizaje era intrínsecamente social. Eso respaldado por la idea de que el aprendizaje social significa ganar acceso a sistemas de representación para organizar y comunicar la experiencia humana. Así pues, el aprendizaje en grupo ofrece oportunidades para explorar los diversos sistemas a través de la interacción con compañeros motivados a aprender y colaborar.

Autoridades en investigación educacional y entendimiento de la enseñanza y el aprendizaje, como Elton-Lee, Nuthall y Patrick, Fawns y Sandler han argumentado que la manera en que se administran los grupos de estudio en una clase es pobre debido al bajo entendimiento de los maestros, que adoptan una perspectiva errónea. Otras investigaciones (Bennett, 1991; Bennett, Desforges, Cockburn y Wilkinson, 1984; Galton, Simon y Croll, 1980) han encontrado que el hecho de que un grupo de estudiantes se sienten en una butaca, todos dentro de un salón, no significa que trabajen en equipo, sino que realmente trabajan en sus tareas de manera

independiente. En estas circunstancias, la cooperación y los beneficios de trabajar y estudiar en equipo son realmente bajos [7].

Todos estos errores en el entendimiento y administración al momento de trabajar con grupos de alumnos en equipo se pueden deber a que no existe demasiada investigación en el campo.

Louis Cohen encontró en un estudio que los niños que hablaban y trabajan en conjunto más seguido aprendían más que aquellos niños que hablaban y trabajaban por su cuenta. Además, los alumnos con un alto estatus académico hablaban y trabajaban más en equipo que aquellos que tenían un estatus académico bajo. Cohen [4] concluyó que el estatus académico puede desempeñar el aprendizaje de los estudiantes con un bajo estatus en comparación con aquellos que tienen un alto estatus. Esto puede ser una razón por la cual el aprendizaje en equipo puede fallar.

Estudios de investigación experimental en la administración de comunicación verbal en pequeños grupos (Yager, Johnson y Johnson, 1985; Ross y Raphael 1990; Sadler, 1993; Sadler y Fawns, 1993; Cohen 1994; Gomes, 1994; Smeh, 1996) han buscado explicar el éxito de estrategias del aprendizaje cooperativo en términos de patrones de comunicación verbal en pequeños grupos.

Un estudio comparó los efectos del aprendizaje cooperativo en un grupo de estudiantes de segundo grado trabajando en una unidad en la cual las discusiones orales eran estructuradas, aprendizaje cooperativo en donde las discusiones orales no eran estructuradas y otro donde el aprendizaje era individual. Se estudió el logro diario, el logro posinstruccional y la retención [8].

En el grupo donde las discusiones eran organizadas se asignaron roles de líder de aprendizaje u oyente de aprendizaje. El rol del líder de aprendizaje involucraba hacer un resumen de los puntos principales de la lección del día. El rol del oyente de aprendizaje era hacer preguntas, recordar temas que se habían dejado de lado u omitido, y discutir las ideas o los hechos que fueron resumidos equivocadamente. Los roles asignados se rotaban diariamente. El grupo lo conformaba un líder de aprendizaje y tres o cuatro oyentes de aprendizaje.

En el grupo donde las discusiones no estaban organizadas, no se asignaban roles. A este grupo solo se le instruyó continuar trabajando y discutiendo el material asignado.

En el grupo donde el aprendizaje era individual, a los estudiantes se les instruyó que continuarán trabajando por su cuenta, sin hacer equipos, que evitaran interacción con otros estudiantes, que buscaran asistencia únicamente de su profesor, trabajar a su propio ritmo y que completarán todo el trabajo posible.

Los resultados mostraron que los grupos que trabajaron en equipo rindieron significativamente mejor en el rendimiento diario que el grupo que estudió por su cuenta y de manera individual. Los estudiantes en el grupo donde las discusiones orales eran estructuradas tuvieron los puntajes más altos en los test de retención y postinstruccional que los estudiantes en los otros dos grupos. Además, los estudiantes en las discusiones orales no estructuradas puntuaron mejor en el test de retención y postinstruccional que aquellos estudiantes en las condiciones individuales.

Matesversity es una plataforma web que permite a los alumnos conectar con otros estudiantes de una manera más familiar, amigable, sencilla y divertida.

La Universidad de Guadalajara cuenta con una red de estudiantes universitarios provenientes de diferentes circunstancias, con diversas habilidades e intereses, pero todos con un mismo objetivo: convertirse en los profesionales que el mundo necesita.

Matesversity está pensada para (aunque no limitada a) estudiantes de la Universidad de Guadalajara. Gracias a esta plataforma, los estudiantes pueden formar grupos de estudio y reunirse en los centros universitarios para reforzar sus conocimientos adquiridos en clase, incluir nuevos y debatir con sus compañeros. Matesversity ofrece a los estudiantes un perfil en el que pueden dar a conocer sus intereses de estudio, mandar mensajes a integrantes de grupos a los que pertenecen, crear nuevos grupos, crear nuevas amistades, entrar a grupos existentes. Debido a que en el centro universitario solo pueden acceder estudiantes y personal docente, se aprovecha esto para que los encuentros sean en lugares seguros aprovechando los centros universitarios. Con las recomendaciones de la aplicación, los alumnos pueden descubrir nuevos grupos de estudio.

La misión de la plataforma es que todos los alumnos de la Universidad de Guadalajara que tengan dificultades para estudiar por su cuenta, no sean autodidactas, no tengan amigos/conocidos en la carrera o se moti-



ven al aprender en equipo, puedan conectar con personas como ellos, con los mismos intereses; de una manera sencilla y segura. La aplicación tiene como objetivo facilitar a los estudiantes universitarios formar grupos de estudio y así fomentar el estudio en grupo para aprovechar las ventajas que esta técnica ofrece. Sin anuncios, sin notificaciones invasivas, sin recopilación de información, sin costo.

Por otra parte, la visión es que Matesversity sea la plataforma a la que los estudiantes acuden cuando requieren de estudiar con otros estudiantes sobre temas vistos en clase o para un examen. Dichos estudiantes no solo mejoran sus habilidades cognitivas y sociales, sino también sus calificaciones.

Los seres humanos somos intrínsecamente sociales. Sin embargo, no todas las personas que conocemos a lo largo de nuestra vida permanecen en ella. Quizá por diferencia de intereses, valores, ideales o sencillamente porque alguien no te agrada. Algo similar sucede cuando se trata de conocer compañeros de estudio. No todos los estudiantes de universidad ponen el mismo empeño en la carrera, quizá porque algunos solo disfrutan de algunas materias particulares, otros porque tienen responsabilidades además del estudio, y algunos más por pereza. En todos estos casos, encontrar al grupo de personas adecuadas para acoplarse puede resultar en un mejor rendimiento académico, un estudio más organizado y eficiente o motivación para superarse.

¿Se puede facilitar el proceso de conocer a un compañero de estudio?

¿Es posible encontrar a compañeros afines a nuestros intereses a través de filtros y algoritmos de recomendación?

Matesversity cree que la respuesta a ambas preguntas es “sí”, y pretende ser el medio por el cual los alumnos obtengan los beneficios de estudiar en grupo, así como entablar nuevas amistades y hacer su vida universitaria más amena.

Algunas dificultades comunes a las que se enfrentan los estudiantes:

- Iniciar una conversación cara a cara con nuevas personas en los primeros semestres de la carrera.
- Encontrar compañeros interesados en crear un grupo de estudio.
- Iniciar una línea de comunicación con estudiantes de otras clases.
- Entender los temas expuestos en clase con el método tradicional de enseñanza.

- Clarificar dudas específicas sobre un tema.
- Motivación para estudiar.

Y estas son algunas de las soluciones que Matesversity puede ofrecer:

- Facilidad para encontrar personas con intereses similares.
- Formar grupos de estudio.
- Organizarse para estudiar en grupo.
- Motivación para estudiar al trabajar en equipo.
- Genera una competencia sana y ganas de apoyarse entre alumnos.
- Previene la procrastinación.
- Ganas nuevas perspectivas y conocimientos.

Habiendo establecido este contexto y con la evidencia recabada, los objetivos de este proyecto son, que la plataforma de Matesversity permita:

- Que los estudiantes dispongan de un espacio virtual enfocado específicamente al estudio y libre de distracciones.
- Que puedan formar, crear y unirse a grupos de estudio, sobre cualquier tema o materia.
- Que puedan compartir información, así como tener la posibilidad de discutir y brindar o recibir retroalimentación.
- Que los usuarios puedan interactuar entre sí.
- Que reciban recomendaciones de grupos de estudio que pudieran ser de su interés o utilidad.
- Que reciban sugerencias de personas con las que comparten intereses y pudieran trabajar colaborativamente.
- Representar un espacio seguro, evitando el contenido inapropiado.

Con lo que se pretende obtener los siguientes beneficios:

- Aumentar la eficiencia de los estudiantes para realizar sus tareas o actividades.
- Incrementar las posibilidades de encontrar personas y grupos de estudio que favorezcan el desarrollo del estudiante en los temas de su interés.
- Aumentar el tiempo de trabajo en estado de concentración.
- Favorecer la discusión y reforzar el aprendizaje de manera colaborativa.
- Mejorar la retención de información, y, por lo tanto, de conocimientos adquiridos.

## **II. Trabajos relacionados**

En el año 2020 el mundo dio un giro inesperado debido a la pandemia mundial por COVID-19. Esto promovió la ejecución de actividades, que tradicionalmente se realizan presencialmente, de manera virtual. En la actualidad existen plataformas que permiten colaborar de manera remota cuando se requiere estudiar en grupo. Algunas de estas plataformas son: Open Study, una plataforma con usuarios provenientes de todos los países. Su dinámica consta en realizar preguntas en formas de publicaciones y estas son respondidas por otros estudiantes. Existe un sistema de puntuación que funge de recompensa para aquellos usuarios que ayudan contestando preguntas. Existe la posibilidad de formar grupos de estudio o unirte a grupos existentes.

**StudyBlue:** Fomenta el repaso de material de estudio al crear tarjetas de estudio con preguntas. El usuario tiene la posibilidad de seleccionar un conjunto de tarjetas existente en una base de datos o crear tarjetas propias.

**ThinkBinder:** Esta plataforma está enfocada en crear grupos de estudio virtuales. Una vez dentro de un grupo de estudio se tiene la posibilidad de entrar a sesiones en vivo y subir preguntas para que sean contestadas de manera virtual. Cuenta con un calendario y un organizador de archivos.

**ExamTime:** Permite crear grupos de estudio para discutir temas de estudio. Se pueden crear mapas mentales y tarjetas con preguntas. También existe la posibilidad de realizar anotaciones y crear exámenes para poner a prueba lo aprendido.

**Wiggio:** Posee herramientas para facilitar el estudio en grupo, colaborar por medio de conferencias y enviar mensajes de texto.

## **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

El marco de trabajo para este proyecto es Scrum, un marco de trabajo enfocado en trabajos colaborativos. Este marco de trabajo fomenta la colaboración activa entre equipos, el aprendizaje de cada individuo a través de las experiencias empíricas, la organización individual y colaborativa para abordar un problema y trabajar en su solución y a reflexionar sobre los logros y fracasos con el fin de identificar aquellos puntos que deben mejorar continuamente.

La metodología es AGILE, una metodología distinguida por su enfoque en la rapidez y flexibilidad. De esta manera, el proyecto se puede dividir en pequeñas partes para completarse. Incluye realizar reuniones, listas de tareas, tableros de actividades, herramientas y funciones que ayudan a organizar al equipo, estructurar el proyecto y gestionar el trabajo. De esta forma, se puede maximizar la cantidad de software funcional, mantener un registro de tiempo requerido e invertido, gestionar la lista de tareas y manejar los cambios e imprevistos que también son contemplados en una lista de riesgos y mejora continua en cada iteración. Esto también pone a la mano herramientas de gran utilidad para el proyecto: el tablero Kanban, los sprints y la creación de historias, entre otras.

Con la metodología Scrum se trabaja en conjunto con el cliente, de forma que el mismo se compromete en el desarrollo del proyecto. Debido a que se trabaja con Sprints, que consisten en iteraciones con duración que pueden variar entre dos y cuatro semanas, existe la flexibilidad para hacer ajustes y cambios funcionales o de diseño al proyecto cuando esto es conveniente o requerido, sin ningún problema.

Esta metodología promueve el trabajo en equipo, la innovación, motivación y compromiso del equipo que forma parte del proyecto. Algunos de los beneficios son:

- Se cumplen expectativas: Se establecen expectativas en forma de requerimientos funcionales, con apoyo de *user stories*, para darle forma y prioridad a las peticiones del cliente. De esta manera, resulta más fácil entregar cambios que ofrezcan valor al cliente y cumplir expectativas.
- Flexibilidad a cambios: La metodología permite una alta capacidad de reacción ante cambios de requerimientos generados por las necesidades del cliente.
- Reducción del time-to-market: Esto permite que el cliente utilice y pruebe las funcionalidades más importantes del proyecto antes de que el producto final sea entregado.
- Mayor productividad: Debido a la organización que ofrece el Kanban board, se tiene conocimiento de la prioridad reflejada en las tareas más importantes a realizar, así como un tiempo estimado de entrega, lo que permite organizar y completar tareas de una forma eficiente.

Para ejercicio de la metodología y su implementación en el proyecto, los autores fungimos también el rol de cliente, con el objetivo de representar e identificar las necesidades de los distintos tipos de usuarios en la plataforma. Mediante este proceso, se definieron los siguientes requerimientos principales:

- Permitir el registro de usuarios, gestión de su cuenta y de un perfil en la plataforma.
- Incluir catálogos dinámicos de categorías/intereses, e instituciones académicas.
- Permitir la creación y gestión de grupos de estudio.
- Permitir la visualización y el proceso de unirse a grupos de estudio existentes.
- Facilitar el descubrimiento de grupos de estudio de interés para el usuario, utilizando inteligencia artificial.
- Permitir visualizar la información existente en los grupos de estudio.
- Permitir compartir nueva información en los grupos de estudio, así como comentar y dar retroalimentación.
- Permitir la interacción entre usuarios a través de solicitudes de amistad y mensajes por medio de un chat en tiempo real.
- Facilitar el descubrimiento de grupos de estudio de interés para el usuario, utilizando inteligencia artificial.
- Proteger el acceso y manejo de la información, utilizando métodos de autenticación que garanticen la seguridad de la plataforma.
- Garantizar la estabilidad y disponibilidad de la plataforma.
- Permitir el acceso simultáneo de usuarios a la información y uso del sistema de chat, sin comprometer la velocidad de tiempo de respuesta de la plataforma.
- Evitar el alojamiento de imágenes con contenido inapropiado, utilizando inteligencia artificial.

La aplicación elegida para llevar a cabo la gestión del proyecto siguiendo la metodología Agile de Scrum fue Jira. En ella podemos catalogar los requerimientos, definir los épicos, historias de usuario y tareas por hacer, asignar las tareas a un usuario y visualizar el trabajo por hacer, en curso y realizado a través de una hoja de ruta, un tablero y un *backlog*.

En la Fig. 1 se muestra un ejemplo donde se pueden visualizar los épicos en los que se dividieron las tareas y cómo fueron redactadas algunas de las historias de usuario, las cuales se interpretan como requerimientos y se traducen en tareas por hacer que, finalmente, durante el desarrollo del proyecto son convertidas en características y funcionalidades de la aplicación.



Fig. 1. Backlog del progreso del proyecto con épicos e historias de usuario.

El tablero de un *sprint* muestra el progreso mediante las tareas por hacer, en curso y finalizadas, etiquetadas según el área de desarrollo y su prioridad, como en la Fig. 2.

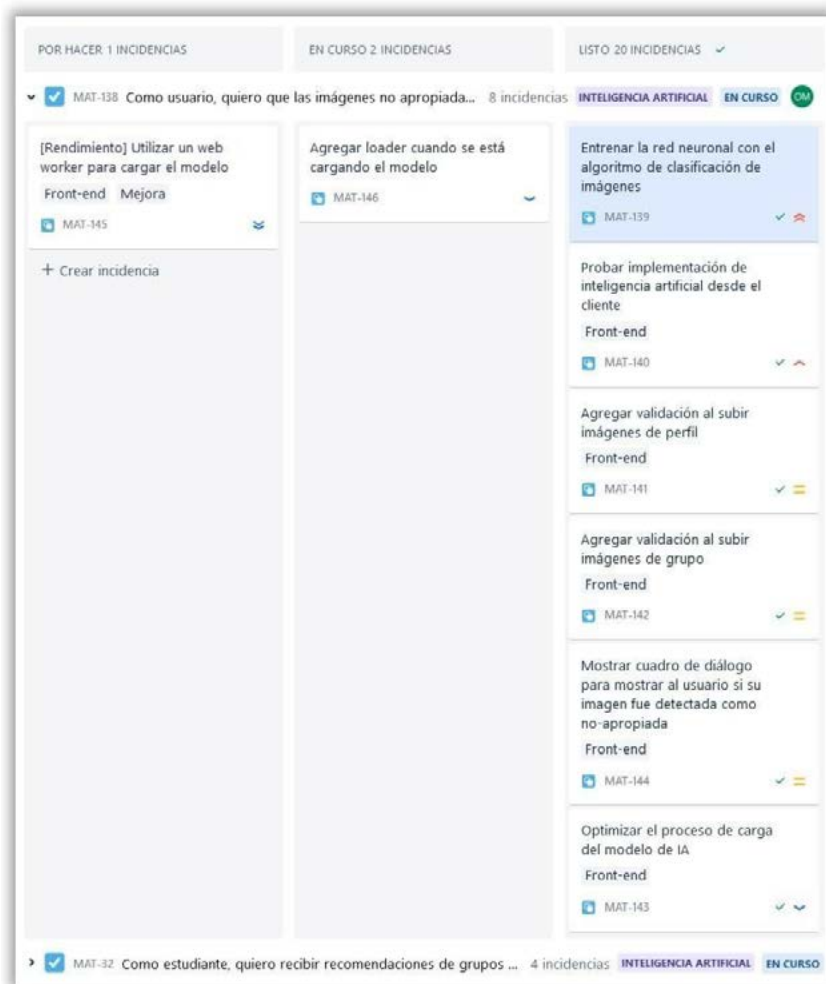


Fig. 2. Tablero del progreso del proyecto con épicos e historias de usuario.

Con el objetivo de evaluar las soluciones desarrolladas y el cumplimiento de los requerimientos planteados, se realizaron las siguientes pruebas:

- Calidad y coherencia en las recomendaciones de grupos de estudio: Para un usuario que, como parte del llenado de información en su perfil, solo expresó interés en las categorías de “Computación”, “Desarrollo web” y “Bases de datos”, es lógico que entre sus recomendaciones aparezcan los grupos de estudio de “Machine Learning” y “Algorit-

nia”, por ejemplo. Sin embargo, como el algoritmo recolecta también información implícita a través del análisis de la actividad del usuario, y este tiene múltiples publicaciones en grupos con la categoría de “Filosofía” y “Matemáticas”, se le han recomendado también los grupos de “Filosofía estoica” y “Cálculo integral”, con un puntaje interno acorde a la ponderación del cálculo de intereses para dichas categorías. Así, las recomendaciones de grupos de estudio generadas para este usuario se muestran en la Fig. 3.

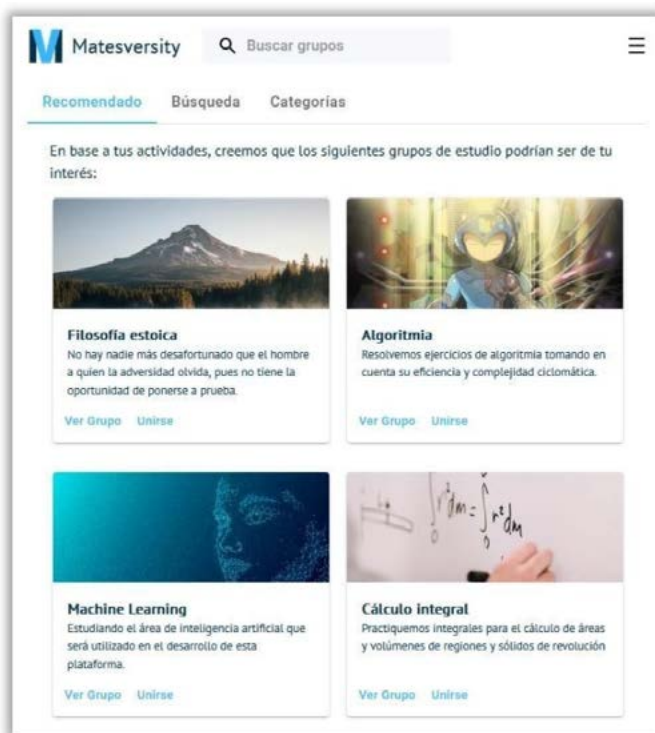


Fig. 3. Vista de la sección de “Explorar” con las recomendaciones de grupos de estudio generadas para el usuario.

- Eficiencia y tiempo de respuesta en el algoritmo del sistema de recomendación de grupos de estudio: Cuando un usuario accede al apartado de “Explorar” por primera vez, el algoritmo debe recolectar la información explícita e implícita, para entonces calcular la similitud del



usuario con las distintas categorías (o intereses) y, finalmente, calcular la ponderación de similitud entre el usuario y los grupos de estudio existentes. Como se muestra en la Fig. 4, esta solicitud ha tomado en total 194 milisegundos en completarse, desde el momento en el que se envió la petición al servidor hasta que se recibió su respuesta.

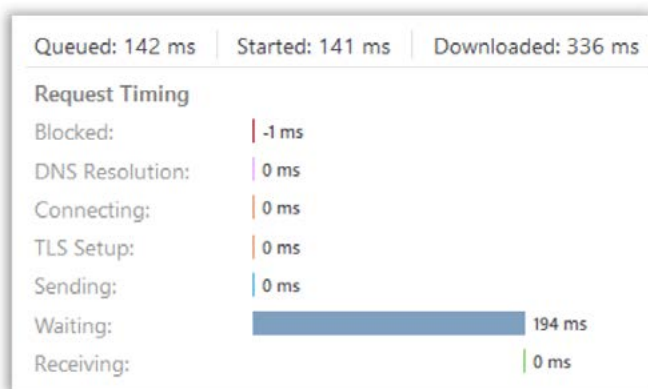


Fig. 4. Vista de la sección de “Explorar” con las recomendaciones de grupos de estudio generadas para el usuario.

En los posteriores accesos del usuario a esta sección, la solicitud ha tomado desde tan solo 20 ms hasta alrededor de los 194 ms iniciales, dependiendo de si este usuario ha realizado cambios en sus intereses o ha tenido actividad relevante, por lo que el algoritmo determina si puede devolver las recomendaciones previamente generadas (y almacenadas) o debe realizar nuevos cálculos.

- Calidad y coherencia en la clasificación de imágenes potencialmente inapropiadas: Cuando el usuario intenta subir una imagen de portada para un grupo de estudio, en este caso, una fotografía donde se observa un pizarrón con ecuaciones matemáticas y alguien escribiendo en él (Fig. 5), la imagen es clasificada apropiadamente, aceptada y posteriormente presentada en el grupo de estudio, como se muestra en la Fig. 6.



Fig. 5. Vista del modal de carga de imágenes con una fotografía que muestra un pizarrón con ecuaciones matemáticas y alguien escribiendo en él.

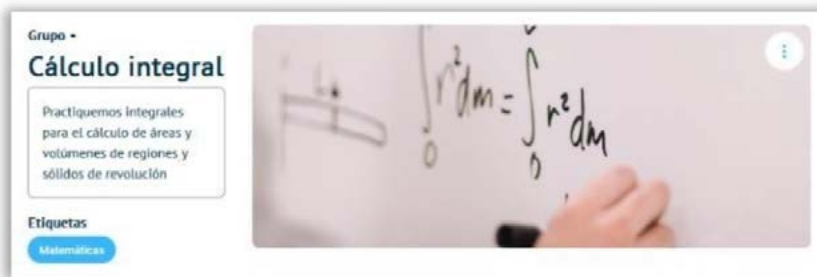


Fig. 6. Vista del grupo de estudio con la imagen actualizada.

Sin embargo, si este intenta subir la fotografía, por ejemplo, de una modelo en traje de baño (Fig. 7), la imagen es clasificada con éxito como inapropiada, por lo que es rechazada y se le informa al usuario de la razón, como se muestra en la Fig. 8.

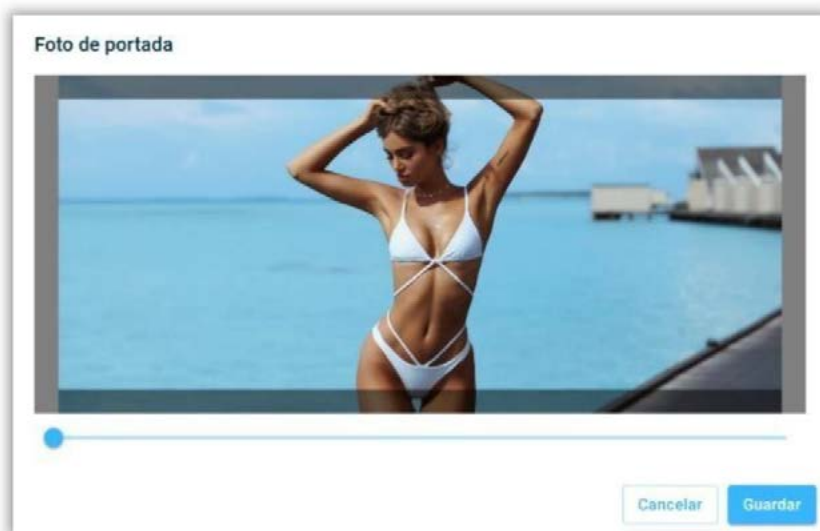


Fig. 7. Vista del modal de carga de imágenes con una fotografía que muestra a una modelo femenina en traje de baño.

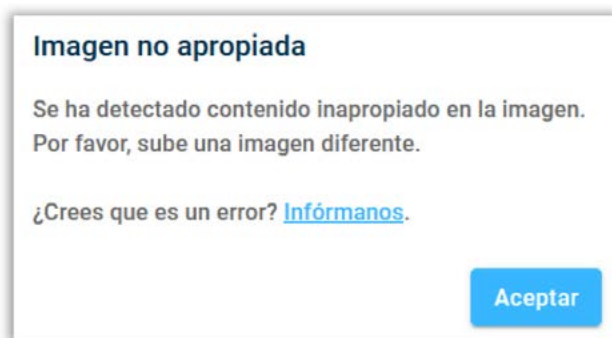


Fig. 8. Vista del cuadro de diálogo mostrado al rechazar una fotografía.

- Eficiencia y tiempo de respuesta en el algoritmo del sistema de recomendación de clasificación de imágenes: El modelo generado mediante el entrenamiento de la red neuronal convolucional es cargado por el cliente para poder realizar la clasificación de las imágenes que desea subir, por lo que la primera vez que este accede a la funcionalidad de cargar una imagen en la aplicación, puede presentar un tiempo de espe-

ra de hasta dos segundos con una conexión a internet de 10 Mb/s. Sin embargo, una vez descargado por primera vez, la aplicación almacena el modelo de manera local en el dispositivo, por lo que los futuros accesos son mucho más rápidos y no representan un mayor tiempo de espera.

- Revisión de fluidez de la interfaz y accesibilidad a todas las secciones y vistas de la aplicación: Mediante el uso de la aplicación de parte de otros usuarios y recepción de sus comentarios, se logró confirmar satisfactoriamente que la aplicación resulta intuitiva, funcional y además agradable al usuario final. El diseño y presentación de la página principal se muestra en la Fig. 9.

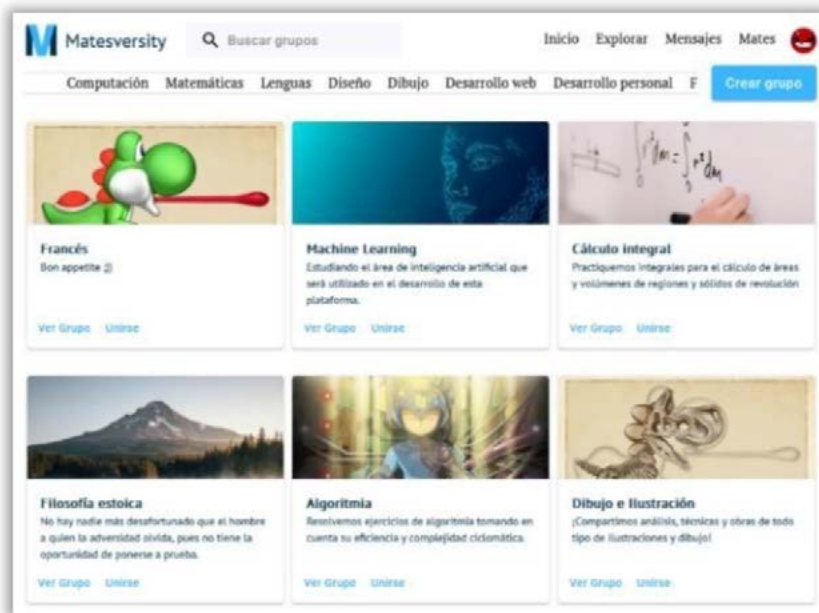


Fig. 9. Vista de la aplicación en la sección de inicio.

## **Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

El proyecto es desarrollado utilizando distintas tecnologías de desarrollo web; se utilizan los lenguajes de programación JavaScript y TypeScript, tanto para la interfaz de usuario como para el desarrollo de los servidores utilizando el entorno de ejecución Node.js. Para los servidores se desarrolló una API que permite gestionar el comportamiento y lógica de la aplicación, y se emplean los frameworks de NestJS y Express, con TypeORM para la conexión a la base de datos mediante el sistema de gestión PostgreSQL, mientras que para la parte frontal que involucra el diseño y desarrollo de la interfaz de usuario se hace uso de la biblioteca de React, implicando la práctica de conocimientos desde HTML, CSS, JavaScript y la biblioteca misma.

En todo momento, se utiliza Git como software de control de versiones, gestionando las distintas partes del proyecto a través de repositorios de GitHub.

Para el hospedaje y despliegue de la aplicación, se utilizarán los servicios Amazon Web Services y Netlify o Vercel como plataformas de servicio de computación en la nube.

Durante el desarrollo del proyecto, se sigue el marco de trabajo de desarrollo ágil “Scrum”, con el objetivo de lograr un progreso en el proyecto lo más eficientemente posible y con capacidad de respuesta al cambio por un mayor beneficio.

## **Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

Matesversity implementa metodologías de inteligencia artificial, partiendo de la rama de Aprendizaje automático (*Machine Learning*) para desarrollar un sistema de recomendación, implementando un algoritmo de filtrado basado en contenido, los cuales “se enfocan en las propiedades de los artículos, y la similitud de los artículos es determinada por calcular la similitud entre sus propiedades” [9]. Esto con el objetivo de generar un motor de recomendaciones que es utilizado para establecer relaciones usuarios-usuarios y usuarios-grupos, para, finalmente, darle a la aplicación

la capacidad de sugerir compañeros y grupos de estudio que sean relevantes para el usuario final. De esta manera, la plataforma no solo ofrece el acceso a grupos de estudio de interés, sino que facilita su descubrimiento y el de compañeros de estudio con intereses en común, lo que facilita las conexiones que tienen como propósito apoyarse en el proceso de estudio.

Sin un sistema como este, y cuando existen muchas opciones disponibles, los usuarios tardan más en interpretar y tomar una decisión, según la ley de Hick-Hyman [10], lo que además presenta la posibilidad de que abandonen la plataforma antes de hacerlo. Para prevenirlo, se implementan estos sistemas, cuya automatización provee conveniencia, lo cual les da a los usuarios una mejor experiencia utilizando la aplicación y permitiéndoles encontrar con facilidad opciones relevantes.

Para lograrlo, también fue necesario implementar un proceso en el que se recolecta información (implícita y explícita), que deberá ser almacenada, filtrada y analizada para entonces poder ser interpretada y procesada por el sistema de recomendación.

Además, para reforzar la integridad de Matesversity como un espacio seguro, la plataforma implementa un clasificador de imágenes “no-apropiadas”, también partiendo de la rama de *Machine Learning*, pero utilizando una red neuronal convolucional [11], cuyo proceso de entrenamiento permite “enseñar” al programa a reconocer objetos en las imágenes [12] según el “dataset” o conjunto de datos, en este caso imágenes, utilizado para este proceso, además aprovechando el desempeño sobresaliente de este tipo de redes neuronales en tareas de clasificación de imágenes [13]. Esto se realiza con el objetivo de agregar a la plataforma la capacidad de analizar las imágenes que suben los usuarios, rechazando imágenes detectadas como no apropiadas, con el objetivo de prevenir un mal uso de parte de usuarios malintencionados y así evitar almacenar y mostrar contenido no deseado a otros usuarios, lo cual además automatiza la moderación de contenido en la plataforma.

### **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

La arquitectura del proyecto incluye dos servidores (separados) para los sistemas de dos bases de datos: Una relacional (SQL con el gestor Post-

greSQL) y una no-relacional (NoSQL con el sistema MongoDB), con el objetivo de mantener una separación de su arquitectura, donde precisamente su naturaleza relacional o no-relacional presenta un beneficio tanto para el desarrollo como para la implementación y rendimiento de la aplicación funcional. Además de estos componentes, el servidor web proveerá la aplicación al usuario final. Por último, la aplicación también cuenta con un servicio de chat en tiempo real, la cual es implementada mediante el uso de s<sup>ó</sup>quets con los que se logra la sincronización entre los usuarios comunicados. Estos servicios web permiten que varios usuarios puedan acceder a la aplicación desde cualquier ubicación a través de internet, desde distintos dispositivos, representable con el modelo cliente/servidor.

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

A lo largo del desarrollo del proyecto y guiados por los objetivos establecidos del proyecto, se consiguieron los siguientes resultados:

Se logró realizar una aplicación web que consiste en una plataforma que permite a todos los estudiantes registrarse y crear un perfil de usuario con la posibilidad de añadir y editar su información personal, académica e intereses de estudio, lo que les permite presentarse y posiblemente dar inicio a la interacción con otros estudiantes. Se incluyeron características de relaciones de amistad, que permiten a los usuarios enviar solicitudes y eventualmente relacionarse, facilitando la interacción entre estudiantes con un proceso previo de invitación-aceptación. Se agregaron las funcionalidades de crear grupos de estudio, unirse a grupos de estudio existentes y buscar nuevos grupos en la plataforma. Se habilitó la capacidad de compartir contenido en forma de publicaciones dentro de los grupos, así como realizar comentarios para contribuir o dar y recibir retroalimentación de la información que se comparte. Se implementó un sistema de Chat en tiempo real a través de sockets que permite a los usuarios comunicarse de manera eficiente, rápida, y segura para organizarse con otros usuarios y colaborar dentro de la plataforma. Se facilitó la tarea de encontrar grupos de estudio basados en su temática gracias a un sistema de etiquetas que permite filtrar los grupos dependiendo del interés del usuario.

Se implementó un sistema de recomendación inteligente con la capacidad de sugerir grupos de estudio que pueden ser relevantes para los usuarios de manera particular, así como compañeros que puedan compartir intereses y de esa forma promover la conexión y colaboración entre estudiantes. Además, se implementó un clasificador inteligente de imágenes “no-apropiadas”, lo que permite prevenir contenido no deseado que pudiera provenir de usuarios malintencionados, automatizando lo que de otra forma sería una posible necesidad de moderación de contenido en la plataforma, para lograr así convivencia en un espacio seguro.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

En la actualidad, debido a la sobrecarga de información proporcionada por los medios que la era digital ha implantado como habituales en la sociedad, la hiperestimulación y la gratificación instantánea, ahora “encontramos dificultades para concentrar energía en la recepción de una información que profundice” [14]. De manera general, la población requiere de un mayor esfuerzo para dirigir su atención y recursos a su preparación de forma eficaz, y esto, sumado a las complicaciones y retos debido a las problemáticas que cada estudiante pueda presentar en su entorno, aumenta considerablemente la dificultad de desarrollarse académica y profesionalmente.

Para alcanzar un mejor equilibrio en el uso de las tecnologías de la información, debe considerarse que, en primer lugar, “la persona ha de acotar el foco de su atención, que es continuamente bombardeada por múltiples estímulos cognitivos” [15]. Con el desarrollo y uso de la plataforma, se consigue un espacio en el que los estudiantes tienen la posibilidad de trabajar y practicar los conocimientos y actividades que su desarrollo académico exige, de manera eficiente y buscando reducir las distracciones al tener un espacio destinado específicamente para este propósito.

Además, cada vez son más las universidades que adoptan distintas estrategias para mejorar las habilidades de aprendizaje de los estudiantes con el fin de incrementar su capacidad de convertirse en un recurso humano potencial para su país [16].

Durante la planeación del proyecto y el desarrollo de este, se identificaron posibles puntos de mejora y funcionalidades que podrían contribuir al objetivo principal de la plataforma. Debido a la delimitación del proyecto,



se decidió implementar aquellas que más valor agregado aportaban, sin embargo, algunas funcionalidades adicionales que podrían ser implementadas en un trabajo a futuro son las siguientes:

- Mayores funcionalidades de administración en grupos de estudio y configuración de los mismos, como podrían ser estados de visibilidad o límites de miembros y control de publicaciones.
- Capacidad de compartir publicaciones o comentarios con formatos de texto enriquecido, mejorando las capacidades de presentación.
- Implementación de guías en técnicas de estudio.
- Integración con plataformas ya existentes y frecuentadas por los estudiantes, principalmente aquellas que proporcionen herramientas o permiten compartir contenido que también podría pertenecer al ámbito académico, como lo son Google Drive, Classroom y bibliotecas de recursos científicos, o herramientas que implementen el trabajo colaborativo y en tiempo real, con el objetivo de facilitar el trabajo en equipo.
- Con el propósito de soportar una mayor afluencia de usuarios, la plataforma podría beneficiarse de integrar contenedores y desplegarse utilizando tecnologías que permitan aumentar su capacidad y estabilidad, logrando una mayor tolerancia a fallas.
- Todas aquellas mejoras en experiencia de usuario, que permitan reducir la “fricción” de un usuario para realizar sus tareas a través de la plataforma, facilitando su uso y reduciendo el tiempo o esfuerzo requerido en medida de lo posible.

## Referencias

- [1] “History of education timeline,” Preceden.com. [En línea]. Disponible en: <https://www.preceden.com/timelines/331186-history-of-education>.
- [2] A. Welsh, “How internet affected the modern educational process,” *Educationbeyondborders.org*. [En línea]. Disponible en: <http://www.educationbeyondborders.org/profiles/blogs/how-internet-affected-the-modern-educational-process>
- [3] N. Schoenherr, “Discovering why study groups are more effective,” The Source, 17-Jul-2006. [En línea]. Disponible en: <https://source.wustl.edu/2006/07/discovering-why-study-groups-are-more-effective/>
- [4] E. G. Cohen, “Talking and working together: Status, interaction and learning,” in *The social context of instruction: Group organization and group processes*, P. L. Peterson, L. C. Wilkinson, and & M. Hallinan, Eds. New York: Academic Press, 1984, pp. 171–187.
- [5] J. Piaget, *The language and thought of a child*. Plume Books, 1974.
- [6] L. S. Vygotsky, *Mind in society: Development of higher psychological processes*. Londres, Inglaterra: Harvard University Press, 1978.
- [7] N. Bennett y E. Dunne, “The nature and quality of talk in co-operative classroom groups”, *Learning and Instruction*, 1991.
- [8] K. Smeh and R. Fawns, “Classroom management of situated group learning: A research study of two teaching strategies,” *Res. Sci. Educ.*, vol. 30, no. 2, pp. 225–240, 2000.
- [9] S. Russell y P. Norvig, “Recommendation Systems,” en *Artificial Intelligence: A modern approach*, 3a ed., Londres, Inglaterra: Pearson Education, 2013, p. 324.
- [10] W. Lidwell, K. Holden, y J. Butler, *Universal principles of design*. Beverly, MA, Estados Unidos de América: Rockport, 2010.
- [11] Deepika Jaswal, Sowmya.V, K.P.Soman, “Image Classification using convolutional neural networks,” [En línea] Disponible en: [https://www.academia.edu/88657838/Image\\_Classification\\_Using\\_Convolutional\\_Neural\\_Networks](https://www.academia.edu/88657838/Image_Classification_Using_Convolutional_Neural_Networks)

- [12] A. O. Tarasenko, Y. V. Yakimov, y V. N. Soloviev, “Convolutional neural networks for image classification,” Ceur-ws.org. [En línea]. Disponible en: <http://ceur-ws.org/Vol-2546/paper06.pdf>.
- [13] F. Sultana, A. Sufian, P. y Dutta, “Advancements in Image Classification using Convolutional Neural Network,” arXiv e-prints, 2019.
- [14] J. S. Puche, “Por una dieta digital: hábitos mediáticos saludables contra la ‘obesidad informativa’”, *Ámbitos Rev. Int. Comun.*, núm. 24, 2014.
- [15] P. Serrano, *La comunicación jibarizada. Cómo la tecnología ha cambiado nuestras mentes*. Barcelona: Península, 2013.
- [16] Dr. Sirajul Haque, “Impact of Study Group and self-study on learning abilities of students at the university level,” [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/29632612/Impact\\_of\\_Group\\_study\\_and\\_Self\\_study\\_on\\_Learning\\_Abilities\\_of\\_Students\\_at\\_the\\_University\\_Level](https://www.academia.edu/29632612/Impact_of_Group_study_and_Self_study_on_Learning_Abilities_of_Students_at_the_University_Level)

## **Reconocimientos**

Agradecemos especialmente al profesor Felipe Sención Echauri, al Dr. Carlos Villaseñor y al Dr. Diego Oliva Navarro, por su apoyo y orientación para llevar a cabo las implementaciones de inteligencia artificial en este proyecto, y a todos los profesores de la Universidad de Guadalajara que, durante nuestro desarrollo académico, han compartido con nosotros sus conocimientos y fomentado el principio “Piensa y Trabaja”.



# Capítulo 14

---

## **MyGraph Software**

*Hernández Díaz Héctor Alejandro  
Valdés López Julio Esteban*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*hector.bernandez@alumnos.udg.mx  
julio.valdes@academicos.udg.mx*

## Resumen

El proyecto descrito en este documento pretende dar una solución alternativa de diseño o aprendizaje mediante un software intuitivo a problemáticas referentes al campo de la teoría de grafos con un enfoque tecnológico. Con la ayuda de algoritmos de inteligencia artificial (IA) basadas en enjambres y técnicas heurísticas se busca resolver estructuras de datos basados en diagramas, árboles y grafos complejos y detallados que buscan modelar, explicar y representar el funcionamiento de los mismos. Acompañado de interfaces amigables y descripciones detalladas los usuarios pueden aprender el funcionamiento de las estructuras anteriormente mencionadas al igual que diseñarlas de manera rápida y sencilla.

## I. Introducción

La teoría de grafos como rama de las ciencias computacionales ha sido un tema ampliamente utilizado sobre todo como una herramienta de optimización de recorridos, abstracción de grandes cantidades de datos, algoritmos de búsqueda, análisis de redes, entre muchos otros, los cuales se basan en conocimientos provenientes de otras áreas científicas tales como las matemáticas, la geometría, el álgebra, la aritmética, entre otros, con un impacto directo en ciencias como la informática y las telecomunicaciones, por lo que es de suma importancia contar con herramientas de software a fin de resolver problemáticas basadas en estos tópicos como el sistema presentado en este documento. Por lo tanto, este proyecto está diseñado para poder crear, diseñar y resolver cualquier estructura de tipo grafo de manera clara, fácil e intuitiva mediante un software de modelado, el cual contará con herramientas que facilitaran el dibujado, creación y abstracción de este tipo de estructuras de datos. Por esta razón, este proyecto está dirigido sobre todo a estudiantes, docentes y profesionistas en el área de informática, computación o sistemas, que buscan una solución eficiente a problemáticas enfocadas en los temas anteriormente mencionados y que además pretendan hacerlo de una manera eficiente.

Para los estudiantes y docentes este proyecto sirve como una herramienta de aprendizaje intuitivo que permite comprender cómo se comportan los grafos y para que pueden ser aplicados, al igual que también

puede ser utilizado por profesionistas que necesiten implementar grafos en sus proyectos, de manera que puedan modelarlos y ejecutarlos fácilmente.

## II. Trabajos relacionados

El campo de la teoría de grafos, algoritmos de búsqueda y el diseño de diagramas está ampliamente arraigada con las ciencias computacionales y la ingeniería de software por lo que los trabajos que se relacionan con este campo son extensas, sin embargo los que están enfocados también a servir como una herramienta de aprendizaje son más escasos y esa es una de las principales justificaciones del proyecto.

Durante el desarrollo del sistema se tomaron como base características de otros proyectos, aplicaciones, páginas web, tales como:

### A. GeoGebra

Es un software educativo matemático enfocado en geometría, estadística, hojas de cálculo, álgebra y grafos en un solo motor. Este software posee cualidades que sirvieron como inspiración para el desarrollo del proyecto, por ejemplo, que es amigable para varios niveles educativos y que es una herramienta potente pero a la vez sencilla de utilizar para resolver problemas matemáticos complejos, ver [1].

### B. Symbolab

Es una aplicación web que permite a sus usuarios aprender y resolver temas matemáticos como álgebra, trigonometría y cálculo mediante soluciones automatizadas, no solo sirve como una calculadora científica, sino que una de las características que lo hacen destacar es que resuelve paso a paso y explica cómo es que se llegó a la solución, esa es las principales características que se buscó implementar en el proyecto, mostrar cómo es que se logró encontrar la solución, una cualidad que lo hace ser realmente una herramienta educativa, ver [2].



### **C. Dia**

Es una aplicación de escritorio pensada para el diseño de diagramas estructurados con diferentes plantillas para gráficas, cibernética, bases de datos, UML, redes, circuitos, entre muchos otros. Es una herramienta con interfaz amigable para el usuario y que sirve para diseñar diferentes diagramas y modelar sistema de forma rápida y sencilla, la cual sirvió como inspiración para diseñar los requerimientos del proyecto [3].

### **D. GraphOnline.ru**

Aplicación web diseñada para la creación de grafos con un enfoque práctico. Este es el sistema más parecido al proyecto descrito en este documento, se tomaron sus características principales y fueron modificadas para cumplir con los requerimientos planteados para la realización del sistema, agregando nuevas herramientas, funcionalidades, algoritmos y modificando parte de su enfoque para servir más al ámbito educativo [4].

## **III. Descripción del desarrollo del proyecto**

Este proyecto fue diseñado combinando ideas y características de varias prácticas y proyectos de materias cursadas dentro de la carrera de ingeniería en computación, proyectos de las materias de ingeniería de software e inteligencia artificial. La idea detrás del proyecto surge tras la propia necesidad de que existiera un software como este que ayudará a entender y aprender mejor cómo es que funcionan varios sistemas, algoritmos y temas relacionados a esas materias. Una vez puesto en marcha el desarrollo, las características fueron ajustándose a nuevos requerimientos y nuevas funcionalidades haciendo que el sistema se volviera una herramienta realmente práctica, pasando por varias etapas de desarrollo, primero un software de dibujo sencillo, después un software orientado a modelado de árboles, para finalizar en lo que es hoy, un software realmente inteligente de modelado orientado a teoría de grafos acompañado de inteligencia artificial y algoritmos heurísticos, con la premisa del desarrollo de un proyecto modular se agregaron varios nuevos requerimientos de funcionalidad.

## A. Requerimientos funcionales importantes

- Diseñar una aplicación de escritorio para Windows utilizando el lenguaje de programación C# que permita la creación y modelado de grafos, subgrafos, árboles, autómatas, etc.
- La aplicación deberá tener una interfaz de usuario avanzada para permitir crear los grafos de manera intuitiva y sencilla de aprender.
- Deberá contar con un lienzo de trabajo donde el usuario podrá modelar los grafos, esta debe ser ajustable a varios tamaños de forma que se puedan modelar grafos con longitudes muy grandes y que le permita al usuario trabajar de forma cómoda.
- Todos los elementos del grafo (vértices, aristas, pesos, dirección, etc.) deben de poder ser alterados, personalizados y modificados a conveniencia del usuario, al igual que herramientas que permitan hacerlo al mismo tiempo y no uno por uno.
- Debe tener una barra de herramientas que permite elegir entre diferentes acciones, como: Agregar vértice, agregar arista, eliminar elemento, modificar elemento, mover elemento, aplicar algoritmo heurístico y aplicar algoritmo de IA todo dividido en secciones en la interfaz fáciles de acceder y de utilizar.
- Debe tener una barra de herramientas que permita mostrar los datos de los elementos a modificar, tales como tamaño de los nodos, posición, color, función, etc.
- Debe tener una barra de herramientas que permita mostrar el tamaño que tiene el lienzo y de la posición del mouse y este debe de cambiar en tiempo real conforme el usuario altere estos valores.

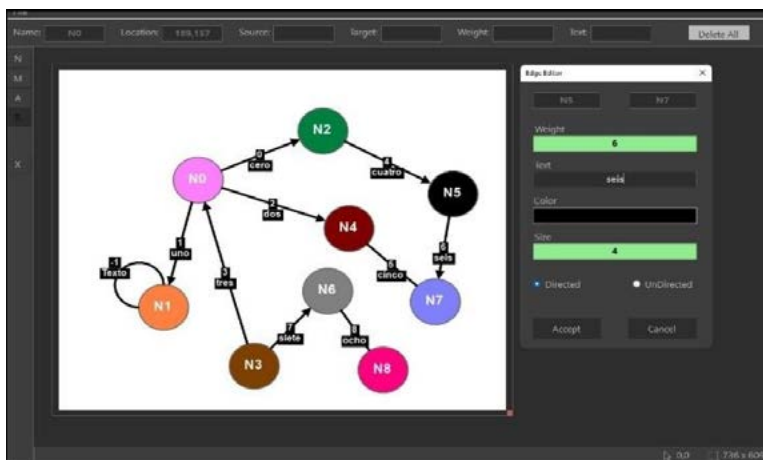


Fig. 1. Muestra la interfaz de usuario con un grafo dibujado en el lienzo, al igual que se muestra las barras de herramientas solicitadas en los requerimientos anteriores.

- La aplicación permitirá importar y exportar el grafo en un archivo de texto personalizado en cualquier momento que el usuario desee.
- Implementar algoritmos de búsqueda para la resolución de los grafos, por ejemplo, algoritmo de Dijkstra, algoritmo Floyd-Warshall, algoritmo de búsqueda A estrella, búsqueda en anchura, búsqueda a profundidad, entre otros [5].
- Implementar algunos algoritmos de inteligencia artificial basados en enjambres para la resolución de los grafos, por ejemplo, optimización de colonia de hormigas, optimización de colonia de abejas, optimización enjambre de luciérnagas o parecidos [6].
- La aplicación debe permitir crear multígrafos, por lo que todos los nodos pueden permitir varios caminos de entrada y salida entre ellos, con cualquier tipo de arista, peso y dirección.
- Los grafos deberán permitir números negativos y poder elegir si un camino puede tener peso cero o nulo en el último caso funcionará como camino inaccesible, por lo que los algoritmos no tendrán en cuenta los pesos nulos, pero si los negativos y con valor cero mientras la propia lógica del problema lo permita.
- Los algoritmos implementados para la solución deben de estar optimizados para funcionar también en multígrafos y grafos inconexos a pesar de que la solución no sea posible, el algoritmo debe de dar la solución más cercana al resultado.

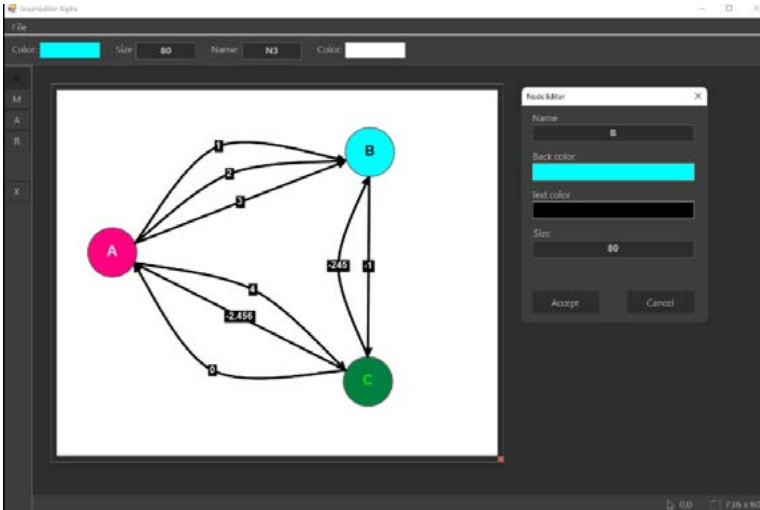


Fig. 2. Ejemplo de la interfaz de usuario con un multigrafo (aristas múltiples).

- Todas las implementaciones y resultados de los algoritmos deben de mostrarse en pantalla como es que se llegó al resultado paso por paso y mostrar la solución y el camino.

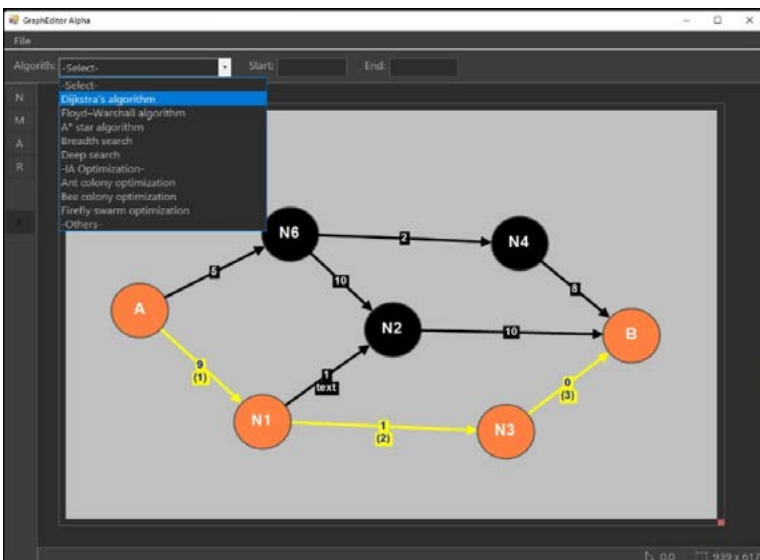


Fig. 3. Ejemplo de resultado obtenido aplicando el algoritmo de Dijkstra en un grafo dirigido, mostrando el camino más corto para llegar del nodo A al nodo B en una simulación.

El sistema está diseñado bajo la tecnología de .Net Framework de Microsoft en el lenguaje de programación de C# orientada a objetos utilizando la plataforma de desarrollo de Windows Form [7] orientado a eventos con ayuda del editor de texto de Visual Studio edición 2022 community [8].

El repositorio del proyecto actual se puede descargar en la siguiente dirección de Google Drive: [https://drive.google.com/drive/folders/1Jiu-Ua5RmGJkUeTqEwQ\\_M7Jnk2sEuUXAm?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1Jiu-Ua5RmGJkUeTqEwQ_M7Jnk2sEuUXAm?usp=sharing). Los avances mostrados en este documento pueden cambiar para el proyecto final.

#### **IV. Justificación de los módulos**

A continuación se desglosan y justifican los criterios de aprobación establecidos por el comité de titulación de ingeniería en computación de CUCEI descritos en el documento que se puede descargar desde esta dirección proporcionada por el comité: <http://www.cucei.udg.mx/carre-ras/computacion/?q=criterios-de-a-probacion>. Los criterios siguientes ya tienen una base de implementación en el avance actual del proyecto, pero algunos aún siguen en desarrollo y estarán presentes en la versión final del proyecto modular en las fechas solicitadas de la entrega final.

#### **A. Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

El proyecto está programado con el lenguaje de Windows C#, justificado en las tecnologías utilizadas en el desarrollo del proyecto descrito como se indicó en la sección III.

La base fundamental de este proyecto modular es la estructura de datos [9] conocida como grafos, el cual está diseñado de manera nativa desde cero sin implementar librerías de terceros para su construcción, empleando las características que describe la teoría de grafos en el lenguaje de programación especificado en la sección III y en [10], [11], [12], [13].

Para almacenar, distribuir y recuperar la información en el software el proyecto utiliza la tecnología de manejo de archivos de escritura y lectura bajo las reglas de operación del lenguaje establecido, permitiendo así que la información sea guardada y recuperada en tiempo real o en el momento que el usuario la necesite.

El sistema utiliza dos principales metodologías de programación, la programación orientada a eventos utilizada por el sistema para las interfaces de usuario y elementos visuales y orientada a objetos para diseñar todo sistema bajo la teoría de grafos y para la implementación de los algoritmos descritos en los requerimientos básicos de funcionalidad descritos en la sección III.

Para la creación del sistema se utilizaron las etapas formales de desarrollo descritas en la ingeniería de software [14].

En la etapa 1 se formulan los requerimientos, una vez que se conoce cuál es el problema concreto y cuál es la solución que el software solventará se describieron los requerimientos básicos del sistema para poder llevar a cabo la solución descrita, este proceso está desglosado en la sección III. A.

En la etapa 2 se hace una descripción del proyecto, una vez que se establecieron los requerimientos básicos del sistema, para poder detallarlos de mejor manera, se llevó a cabo una descripción de cómo debería ser el funcionamiento del software y cómo es que el usuario interactuará con él, de forma que se agregarán como requerimientos, esto se aborda en la sección III.

Para la etapa 3 se resume el diseño y la arquitectura, de forma que permita determinar de manera sencilla cómo es que el software funcionará describiendo todos sus elementos involucrados al igual que justificar las tecnologías que se utilizarán para su desarrollo. Esto se describe en la sección III.

En la etapa 4 se realiza la codificación, es la etapa más larga y compleja del proyecto, ya que es el que lleva meses de desarrollo, una vez que se describió el programa a solucionar, como es que debe de funcionar el sistema y que se establecieron todos sus requerimientos entonces se eligió el lenguaje de programación y se comenzó a escribir el código del proyecto, el *link* del repositorio del proyecto se encuentra al final de la sección III. A.

En la etapa 5 es donde se busca comprobar que el sistema funciona de la forma prevista, de manera que si existen fallas o errores se puedan solucionar antes de la etapa final, esta etapa se realiza en paralelo junto con la etapa 4, actualmente el proyecto se encuentra en estas dos etapas.

En la etapa 6 es donde se compila toda la documentación del proyecto, una vez que ya está terminado, aquí es donde se realizan los manuales de usuario y manuales técnicos, para este proyecto en particular esta etapa se



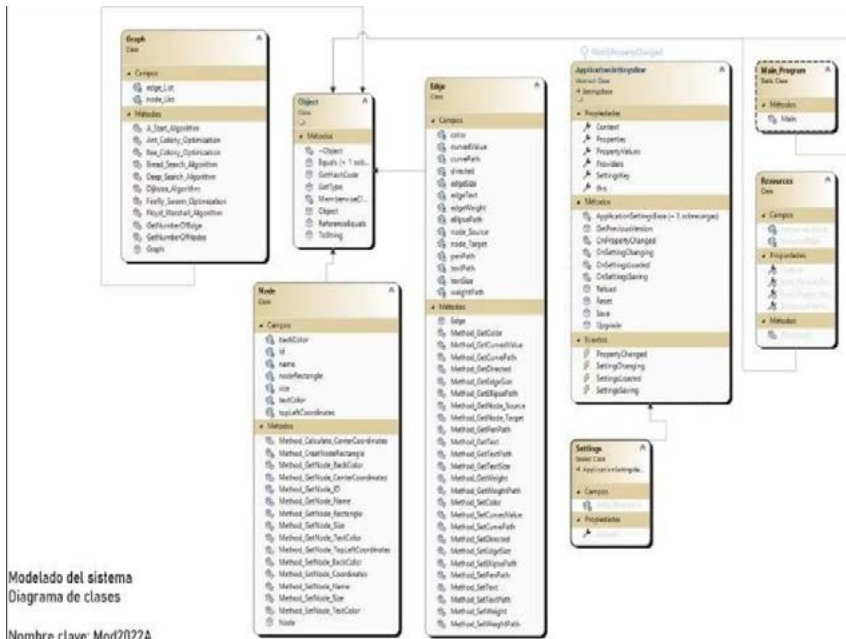


Fig. 5. Diagrama de clases, modelo del sistema para la representación y comportamiento de los grafos.

Dentro del repositorio del proyecto se encuentra el modelado de todo el sistema completo hasta este momento utilizando un diagrama de clases, con el nombre “Mod2022A\_ClassDiagram.cd” al igual que una imagen en formato png.

## B. Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes

Se utilizará la rama de la inteligencia artificial conocida como inteligencia de enjambres, estos son algoritmos que simulan cómo es que un grupo numeroso de insectos logra encontrar comida en su terreno de manera inteligente, por lo que el sistema está preparado para resolver este tipo de problemas y aplicarlos para la resolución de los grafos, por lo que será implementado por lo menos alguno de estos algoritmos: algoritmo de colonia de hormigas, algoritmo de colonia de abejas, algoritmo de enjambre de luciérnagas o derivados [6].



En este modelo cuando se usa un conjunto de individuos (Enjambres) para describir el movimiento colectivo se debe de considerar un total de  $N$  individuos donde la posición  $i$ -ésima partícula se puede representar con la ecuación 1.

$$1) \frac{d\vec{r}_i}{dt} = \vec{v}_i$$

Para aplicaciones de simulación por computadora la ecuación 1 se puede representar utilizando la ecuación 2.

$$2) \vec{r}_i[n+1] = \vec{r}_i[n] + \vec{v}_i[n]\Delta t$$

- a) Representa el siguiente punto de la posición del individuo  $i$ :  $\vec{r}_i[n+1]$ .
- b) Representa el punto actual:  $\vec{r}_i[n]$ .
- c) Representa la velocidad del individuo:  $\vec{v}_i$ .
- d) Representa el incremento del tiempo:  $\Delta t$ .

Para la relación de la variación de la velocidad con respecto al tiempo se representa con la ecuación 3:

$$3) \frac{d\vec{v}_i}{dt} = f\{\vec{r}_1, \dots, \vec{r}_N, \vec{v}_1, \dots, \vec{v}_N\}$$

Si se habla en tiempo discreto la velocidad de un solo individuo se puede calcular utilizando la ecuación 4:

$$4) \vec{v}_i[n+1] = \vec{v}_i[n] + f\{\vec{r}_1[n], \dots, \vec{r}_N[n], \vec{v}_1[n], \dots, \vec{v}_N[n]\} \Delta t$$

Con la ecuación 4 se puede utilizar para presentar las diferentes variaciones de los modelos que buscan describir cómo es que se comportan los enjambres [6].

Los algoritmos de inteligencia artificial basados en enjambres son perfectos para este sistema debido a que deben utilizar un grafo para poder

modelar el problema a solucionar, en este caso servirá para poder encontrar el mejor camino, simulando un comportamiento colectivo para sistemas descentralizados [6].

### C. Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos

El sistema implementará hilos de ejecución (*Threads*) de manera que permitirá dividir el flujo de ejecución de los algoritmos heurísticos y de inteligencia artificial implementados, haciendo que el programa se ejecute de manera concurrente optimizando así su ejecución, al igual que los algoritmos basados en enjambres descritos en sección IV. B, los cuales se ven beneficiados cuando se implementan en sistemas concurrentes.

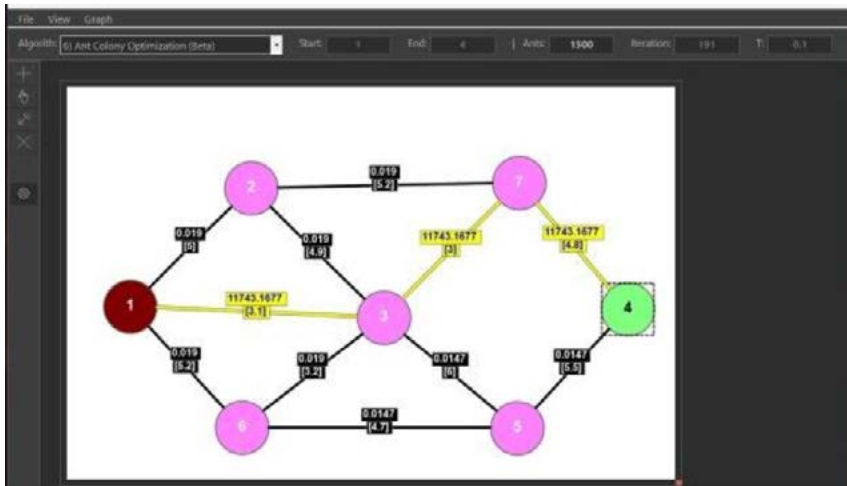


Fig. 6. Ejemplo de un grafo no dirigido diseñado en la interfaz del proyecto, aplicando el algoritmo de optimización por colonia de hormigas, en donde todos los caminos actualizan sus feromonas en un ciclo infinito.

## V. Resultados obtenidos del proyecto

Se observaron varios resultados con la aplicación en su estado actual, todas las imágenes que se tomaron para este apartado fueron diseñadas utilizando el propio proyecto durante su presentación, modelando algunos

ejemplos de grafos, esto demostró que el usuario puede modelar cualquier tipo de diagrama enfocado en teoría de grafos [15].

Una cualidad importante que se observó durante los resultados fue el rendimiento al crear diagramas muy grandes, incluso durante el proceso del desarrollo se enfocaron muchos esfuerzos en mejorar la eficiencia del dibujo, pero que con la implementación de la programación paralela y los hilos, se logró de esta manera mejorar mucho este problema, al igual que se mejoró bastante el tiempo de ejecución de los algoritmos y la responsividad general de la interfaz durante ejecución de código. La interfaz tuvo un enfoque de uso no solo para dispositivos de entrada y salida convencionales, sino que también es bastante sencillo diseñar los grafos utilizando dispositivos táctiles, esto hace que el usuario pueda agilizar el uso de la aplicación y el modelado sin importar el dispositivo, sin importar la complejidad del grafo.

Se pudo demostrar unos resultados eficientes sin importar el tipo de grafo a utilizar, se pudo abstraer la información del grafo creado mostrando su matriz de pesos y de adyacencia, la cual se puede modificar en tiempo de ejecución y se pudo reconstruir grafos a partir de ellas.

En la sección de algoritmos de búsqueda y recorridos pudimos encontrar árboles dentro de grafos usando el algoritmo de Kruskal y Kruskal invertido que nos permitió encontrar el árbol de expansión mínimo y máximo como subgrafo, al igual que se puso en práctica los algoritmos de búsqueda en anchura y de profundidad que nos permitió observar cómo se recorre un grafo usando todos sus vértices al igual que se utilizó el algoritmo de Dijkstra para resolver la problemática de encontrar caminos más cortos o más largos, también se probaron los algoritmos de inteligencia artificial enfocados en enjambres, como el de optimización por colonia de hormigas con el que se pudieron simular búsquedas inteligentes, donde además se pudo observar en tiempo real la ejecución de todos estos algoritmos, cuáles fueron sus resultados y cual es la suma de pesos y costo de los mismos, de forma que el usuario sea capaz de visualizar el proceso completo durante toda la ejecución y en tiempos cortos. Se observó también que se pueden simular de manera rápida y simple el comportamiento de redes neuronales que en un futuro puede llevar a la aplicación a un nuevo enfoque.

Con esto en mente se observó que el proyecto cumplió con las expectativas planteadas en los requerimientos descritos en la sección III. A, al igual que se justificó las tecnologías utilizadas bajo el enfoque lógico del propio proyecto para la implementación de los módulos especificados en la sección IV.

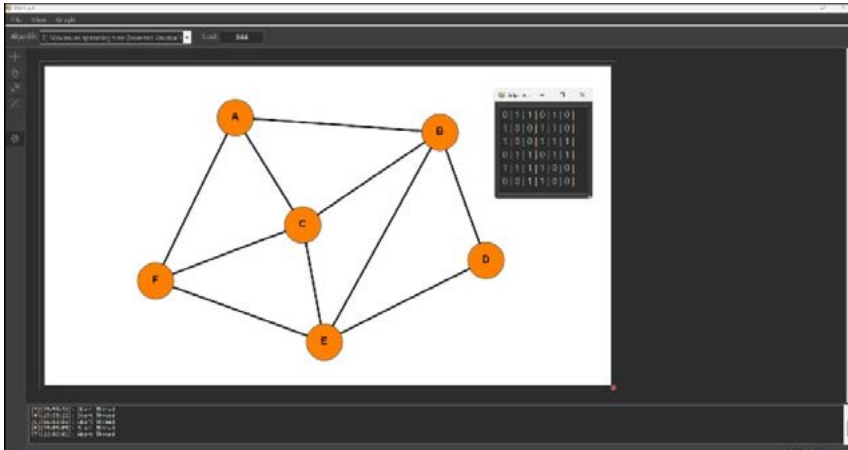


Fig. 7. Ejemplo de un grafo no dirigido con pesos nulos diseñado en la interfaz del proyecto, junto a su matriz de adyacencia.

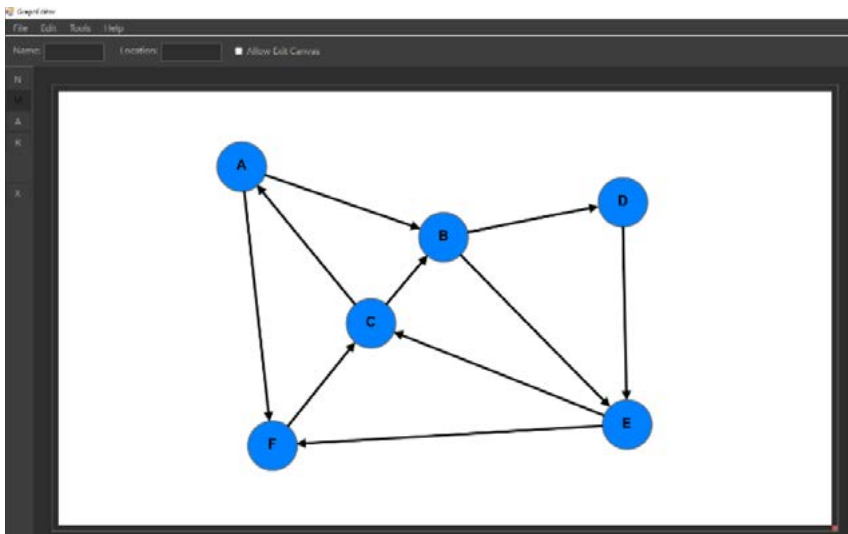


Fig. 8. Ejemplo de un grafo simple dirigido con pesos nulos diseñado en la interfaz del proyecto.

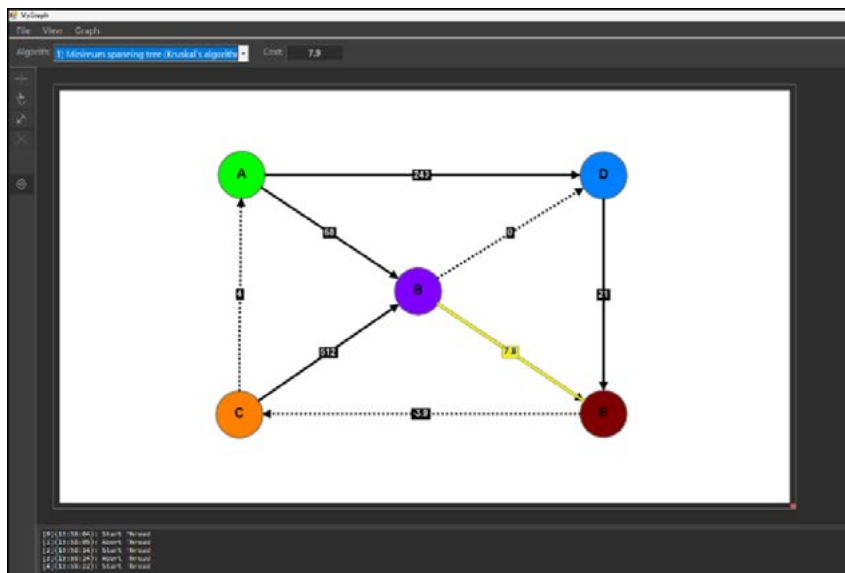


Fig. 9. Ejemplo de un grafo simple dirigido diseñado en la interfaz del proyecto, siendo recorrido por el algoritmo de Kruskal mostrando el árbol de expansión mínimo.

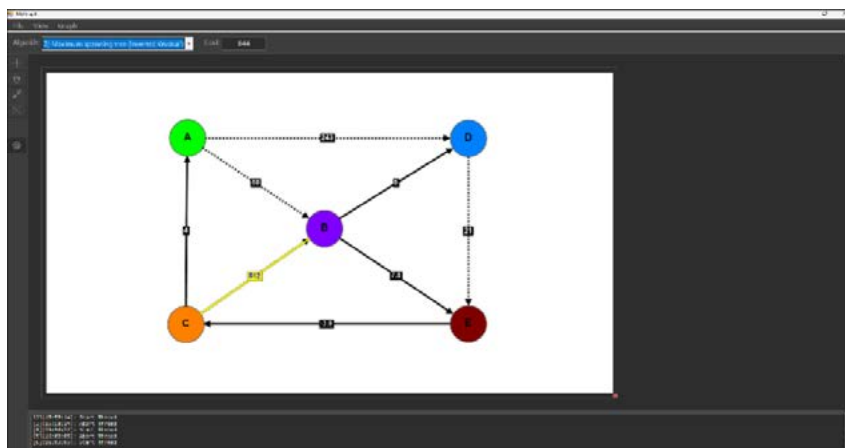


Fig. 10. Ejemplo de un grafo simple dirigido diseñado en la interfaz del proyecto, siendo recorrido por el algoritmo de Kruskal Invertido mostrando el árbol de expansión máximo.

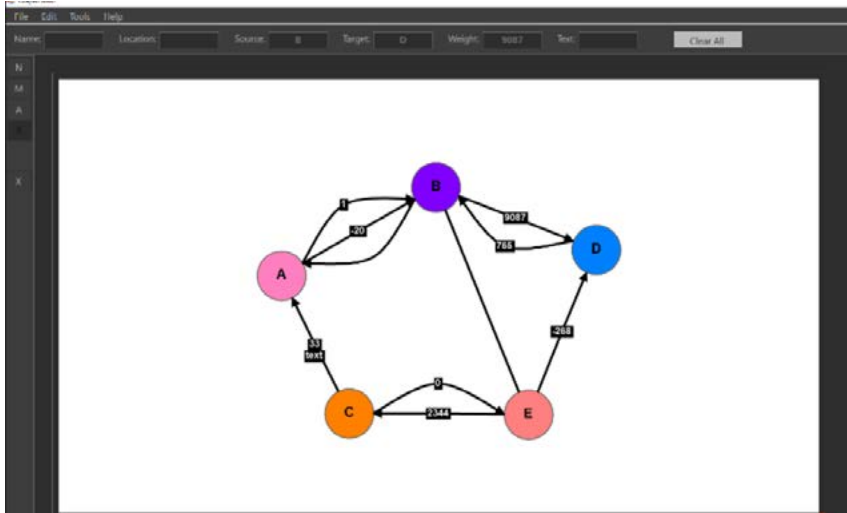


Fig. 11. Ejemplo de un multigrafo simple dirigido diseñado en la interfaz del proyecto.

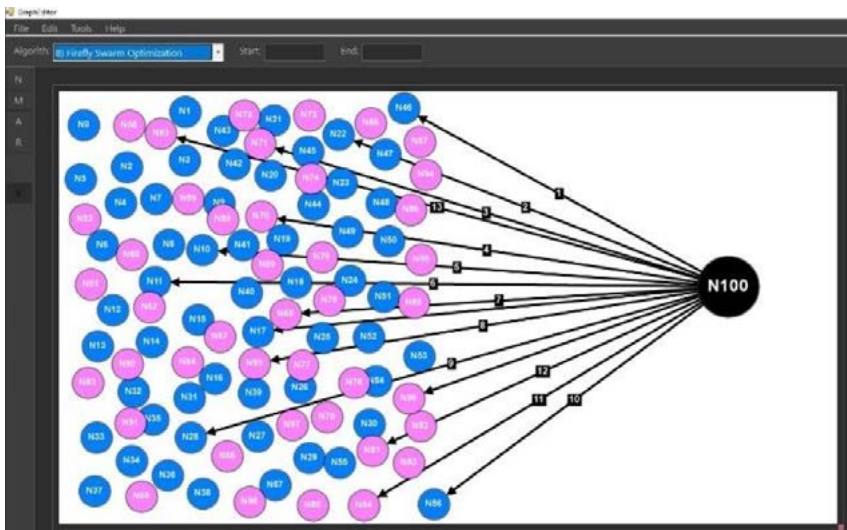


Fig. 12. Ejemplo de un grafo muy grande con 100 nodos diseñado en la interfaz del proyecto.

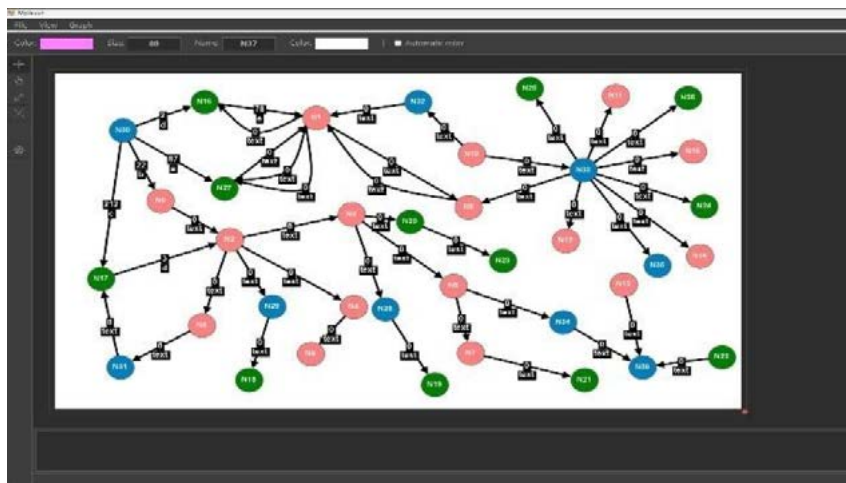


Fig. 13. Ejemplo de un grafo grande dirigido ponderado diseñado en la interfaz del proyecto.

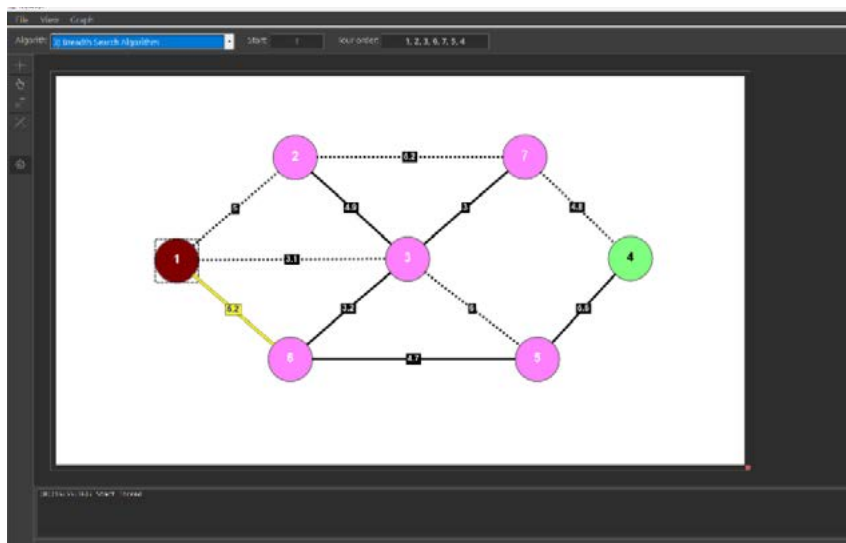


Fig. 14. Ejemplo de un grafo no dirigido ponderado diseñado en la interfaz del proyecto, usando el algoritmo de búsqueda en anchura.

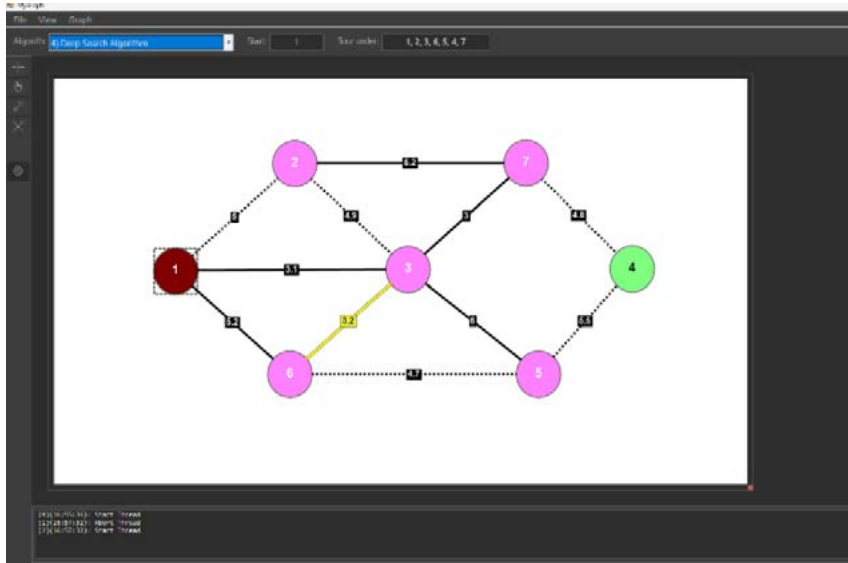


Fig. 15. Ejemplo de un grafo no dirigido ponderado diseñado en la interfaz del proyecto, usando el algoritmo de búsqueda a profundidad.

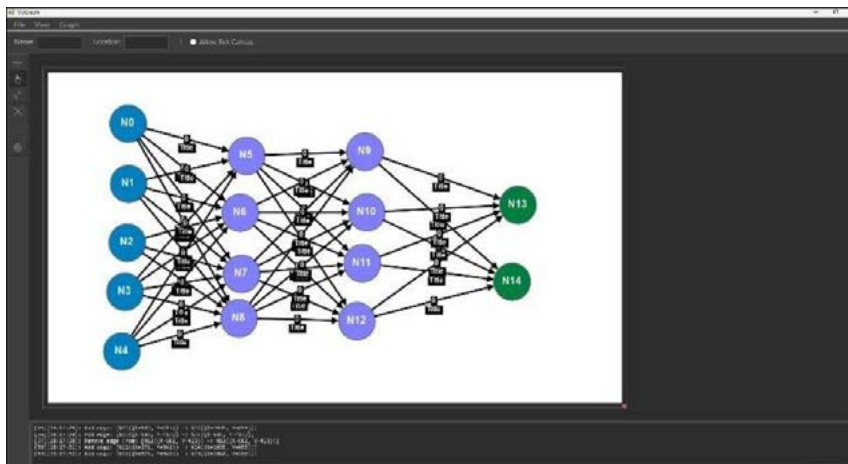


Fig. 16. Ejemplo de un grafo dirigido ponderado diseñado en la interfaz del proyecto, modelando una red neuronal.



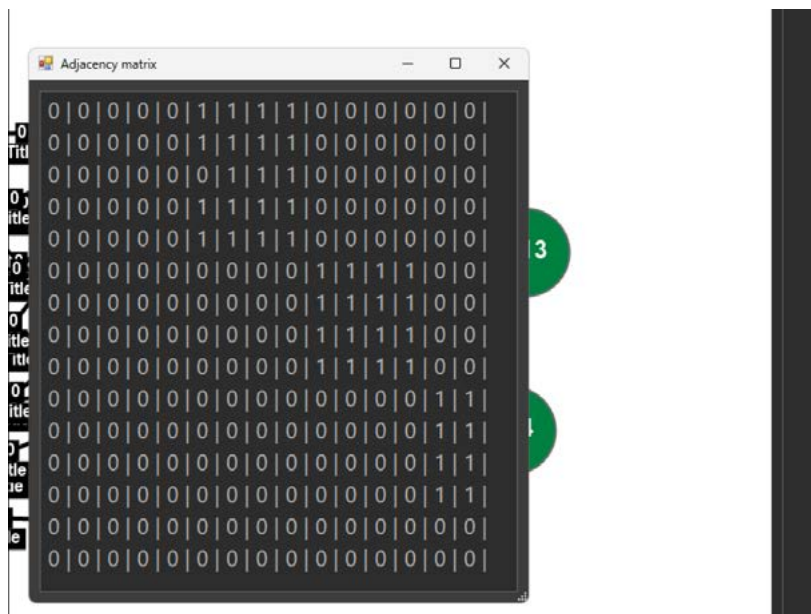


Fig. 17. Ejemplo de una matriz de adyacencia tomando como ejemplo el grafo de la imagen 16.

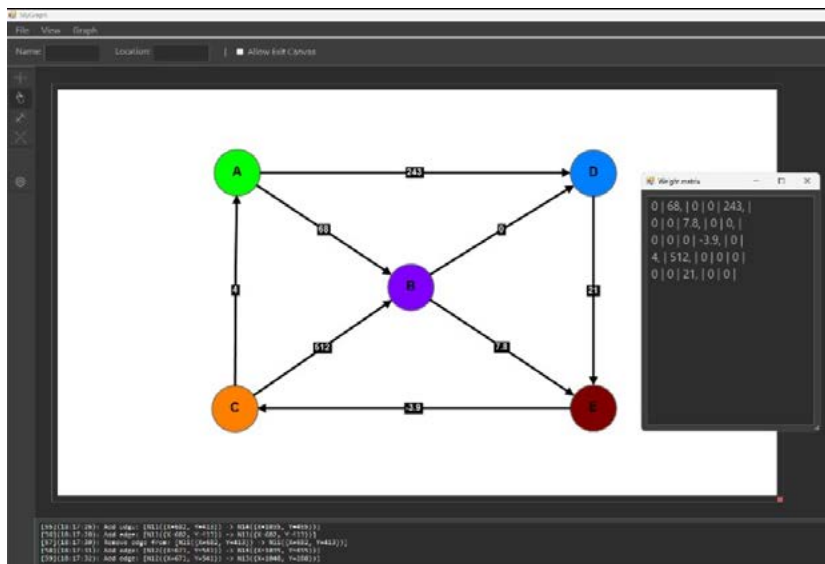


Fig. 18. Ejemplo de una matriz de pesos usando el grafo ponderado dirigido de la figura 9.

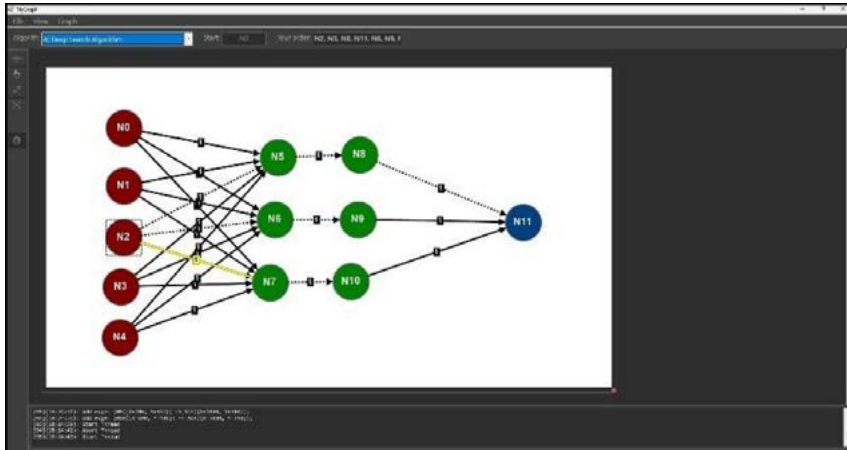


Fig. 17. Ejemplo de una matriz de adyacencia tomando como ejemplo el grafo de la imagen 16.

## VI. Conclusiones y trabajo para el futuro

En conclusión este proyecto reúne características que permiten representar y modelar grafos de manera rápida y sencilla, y mediante algoritmos heurísticos y de inteligencia artificial se podrán resolver y optimizar los grafos que el usuario diseñe, al igual que el programa también está enfocado para servir como una herramienta educativa por lo que permitirá mostrar al usuario como es que funcionan los algoritmos que implementa, las características que tiene un grafo, sus elementos y propiedades, por lo que este software está enfocado sobre todo para ingenieros, docentes o estudiantes de computación o áreas relacionadas. También es importante recalcar que el sistema presentado en este documento aún está en etapas de desarrollo y pruebas por lo que en la versión final se esperan varias mejoras y correcciones de errores al igual que la implementación de nuevas características y mejoras de interfaz.

El sistema también está diseñado para crecer a futuro, fue pensado para soportar varios algoritmos más que no se presentaron en esta versión al igual que también está previsto que se mejore los aspectos gráficos dándole al usuario la posibilidad de crear otro tipo de diagramas, y también poder agregar más características y aspectos de personalización al igual que migrar la aplicación a un sistema multiplataforma.

## Referencias

- [1] GeoGebra teach and learn Mathematics website. (2022). [Online] Available: <https://www.geogebra.org/about>.
- [2] Symbolab Making Math Simpler website. (2022) [Online] Available: <https://es.symbolab.com/about>.
- [3] Dia Diagram Editor website. (2022) [Online] Available: <http://dia-installer.de/index.html.en>.
- [4] Graph Online find shortest path website. (2022) [Online] Available: <https://graphonline.ru/es/>.
- [5] O. Meza y M. Ortega, “Caminos de costo mínimo y grafos de precedencia” en *Grafos y algoritmos*, 2a ed. México: Equinoccio, 2004.
- [6] H. Espitia, J. Sofrony, Review About Models of Swarms Particles with Vorticity Features, *Ingenium*, mayo. 2016.
- [7] Microsoft. “Windows Forms for .NET documentation”. Microsoft Learn: Build skills that open doors in your career. <https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/desktop/winforms/?view=netframeworkdesktop-4.8> (2022).
- [8] Microsoft. “Visual Studio 2022 Community Edition: download the latest version”. Visual Studio. <https://visualstudio.microsoft.com/es/vs/community/> (2022).
- [9] A. V. Aho, *Estructuras de datos y algoritmos*. Wilmington, Del: Addison-Wesley Iberoamericana, 1988.
- [10] J. Ferguson, *La biblia de C#*, 3ra ed. Madrid: Anaya Publishers, 2003.
- [11] A. Hejlsberg, M. Torgersen, S. Wiltamuth y P. Golde, *The C# Programming Language*, 4a ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 2010.
- [12] T. Archer, *A Fondo C#*, 2da ed. Madrid: McGraw-Hill Profesional, 2001.
- [13] D. Bell y M. Parr, *C# para estudiantes*, 1ra ed. México: Pearson, 2010.
- [14] R. S. Pressman, *Ingeniería del software Un Enfoque Práctico*, 7a ed. Buenos Aires: Mc Graw Hill, 2010.
- [15] S. Sepúlveda y J. Benigno, *Teoría de grafos y Modelización*. Madrid: Paraninfo, 2022.

# Capítulo 15

---

## **ShopIAOnline**

*Santiago Alatorre Daniel  
Pérez Torres Griselda*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*daniel.santiago2696@alumnos.udg.mx*

## Resumen

El crecimiento o el éxito de las empresas depende, entre diversos factores, de uno en particular: la posición de esta frente a otras. Para llevar a cabo dicha tarea, lenguajes de programación de alto nivel como por ejemplo Python, pueden adaptarse a diferentes escenarios, donde el que para el caso, nos es de gran ayuda en el desarrollo de aplicaciones web, debido a que día tras día es más común que los dispositivos estén conectados a internet, por lo tanto, el tener dichas aplicaciones nos ayudará a poder conseguir dicha posición deseada. Tras el desarrollo, se obtuvo una aplicación capaz de adaptarse a diversos escenarios, liberando de ciertas tareas a los encargados de administrar los sistemas, junto con la oportunidad de posicionar al negocio por cuenta propia.

## I. Introducción

Muchas veces, las grandes compañías no tienen como público objetivo a los pequeños o medianos empresarios, en su intento por posicionar sus productos en la web, utilizan dichas soluciones, donde en ocasiones no suele tener el impacto deseado, dando como resultado su abandono o búsqueda de otras formas de posicionarse.

Para resolverlo, se desarrolló una solución adecuada a estos casos, una que no solo sea del interés gracias a las funcionalidades que otorga como por ejemplo: predicción en algunos datos financieros (ventas), diseño amigable, sino también tener una capacidad de adaptarse a cualquier situación que el usuario desee.

Siendo de gran ayuda para este tipo de usuarios, el que no tengan que pagar más por tener cierta característica, o que sea más visible sobre otras, les ayudará no solo a potenciar sus ganancias, sino a tener control total sobre las cosas que involucren su sitio.

Teniendo finalmente como objetivos los siguientes: capacidad de adaptabilidad, automatización, empleo de técnicas de inteligencia artificial para predecir comportamientos, tener un diseño simple, pero conciso para los usuarios destinados, fácil mantenimiento, seguridad, entre otros.

## II. Trabajos relacionados

Es cierto, un *e-commerce* que es definido por [1] es concepto que surge cuando las transacciones tienen lugar en medios electrónicos, no es algo realmente innovador hoy en día, debido a que cada vez aparecen más y más sitios relacionados. Y ejemplos tenemos realmente de sobra: Amazon, Mercado libre, Doto, Ali Express, por citar algunas. Lo que sí puede ser novedoso es hacia donde está dirigido ya que no es lo mismo un automóvil que es dirigido para el mercado de consumo general, que un súper deportivo; sí, hacen lo mismo, pero no compiten en el mismo mercado.

Al retomar el párrafo anterior decimos que no todos los productos son enfocados hacia el mismo mercado, es por ello por lo que no todas las soluciones que se implementen podrán satisfacer todas las necesidades que el usuario final necesite. En concreto, en el mercado actual, existe una serie de soluciones similares a la nuestra, siendo el caso de Open-cart y Commerce.js. Donde ambas soluciones son Open Source el cual es según [2]: “cuando los desarrolladores pueden leer, redistribuir y modificar el código fuente de una aplicación”. Esto nos permite que el código fuente de un software sea visible a cualquier persona que lo desee.

Poniéndolo en términos quizá no tan filosóficos, podríamos decir que, el que un equipo de desarrollo sepa cómo está construida una solución permite que los proyectos que nazcan con esta filosofía no terminen abandonados gracias a que la misma empresa decide darle prioridad a un proyecto más nuevo, aun sabiendo que diversos usuarios podrían seguir usando dicho sistema o solución, además de que se pueda adaptar la solución a lo que realmente el usuario necesita y no lo que le obligamos a usar porque se cree que es lo que necesita.

Donde open-cart (<https://www.opencart.com/index.php?route=cms/feature>) tiene como similitudes el que automatiza las tareas de un administrador del sitio, tales como copias de datos y personalización del sitio aunque con ciertos límites.

A lo que llamamos como límites, no es que el sistema no pueda hacer algo, sino que ellos tienen su propio mercado de “extensiones” que no son más que características extras que pudieran necesitarse si el usuario lo desea. El problema consiste en que dichas extensiones si queremos realizar

ciertas configuraciones específicas o el cómo poderla integrar a nuestro sitio, no les queda otra alternativa que adquirir la versión más completa de dicha herramienta, pero si tenemos en cuenta clientes tales como emprendedores, ya la situación no es la misma, y algunas de sus herramientas pueden ser algo costosas de mantener.

Mientras que Commerce.js (<https://commercejs.com/pricing/>) si bien no es totalmente gratuita es un proyecto parecido, debido a que al ser más centrado en las reglas de negocio, que lo visual, proporciona una gran capacidad de personalización del aspecto visual, además de ciertos comportamientos de los datos.

Me gustaría poder explicar un poco más sobre esta herramienta y si, en vista podemos decir que es una alternativa más cercana hacia lo que un usuario final pudiera solicitar como aplicación, el problema comienza justamente con los precios, donde si bien una cuenta “gratuita” podría ayudarnos a decidir si dicha herramienta es la más apta para nuestro caso realmente puede incrementarse significativamente el costo de poder mantenerla, pero no solamente esto sino que, si a la empresa desarrolladora se le ocurre sacar el plan actual, quitar las buenas características de algún plan y solamente reservarlos a versiones más costosas, ya no estaríamos hablando de que pudiera competir en el mismo mercado en el que otras soluciones tales como la anterior, sino en un terreno mucho más alto tan cercano de un mercado con potencial empresarial.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

Desarrollar un proyecto de tales características necesita que el equipo sea consiente de todos los cambios que se realicen en torno al desarrollo. Para esto se empleó la metodología SCRUM, siendo definida por [3] dice que nos ayuda a tolerar los cambios en un proyecto, tener una evolución constante en el software, además gracias a ella priorizamos al cliente y sus necesidades a cubrir.

Debido a que cada semana se pactaba una funcionalidad la cual debía ser atendida, esta se desarrollaba o se presentaban avances. La manera de presentar dichos avances, era a través de un video grabado, explicando cuales eran las funcionalidades que en la semana se habían desarrollado,

en caso de que no se cumpliera dicha funcionalidad se mostraba de igual forma el progreso que se tenía hasta ese momento. En cuanto a los errores corregidos, se hacía una mención sobre dicho error solucionado además de una demostración sobre la solución dada.

Por otro lado, aspectos de diseño tales como la documentación del mismo, se estableció un canal de comunicación constante con el cliente, para comprender todos aquellos requerimientos que eran necesarios para satisfacer sus exigencias, dando así las bases tanto de prototipos de interfaces gráficas, como algunas reglas de negocio.

Para el inicio del desarrollo se realizaron documentos tales como un calendario de actividades en el cual se definían los tiempos que se estimaba para que una parte del sistema quedara completamente funcional y fue dividido en seis diferentes fases: Documentación de proyecto, desarrollo del diseño de la aplicación, desarrollo funcional sin IA, desarrollo diseño responsivo, desarrollo funcional IA, pruebas y correcciones funcionales, además se involucraban los diferentes personajes que debían desarrollar dicha sección, el riesgo de dicho desarrollo, además las fechas en las que se debía iniciar o terminar una tarea.

Por otro lado, ya entrados más en la documentación se realizó el levantamiento de requerimientos con el estándar IEEE 830, el cual describimos de manera detallada todos aquellos requisitos (funcionales o no) que se desean implementar en el sistema con la prioridad en los mismos (alta, media, baja) siendo el del más bajo nivel algo que si bien era deseado si este no estaba presente en el producto final no ocurría nada, simplemente era algo “deseable”.

Siendo a este una lista de documentos que son consecutivos debido a que uno ayuda al anterior a poder realizar los requerimientos funcionales mientras que el otro es una continuación de los dos. Al primero al que nos referimos es a los casos de uso en el cual se detallan aspectos tales como los actores involucrados en el proceso, que cosas son las que terminará realizando el sistema, además de una descripción de cada uno para que fuesen más legibles en futuras consultas.

Ya en el segundo documento al que llamamos diagramas de flujo es donde podemos encontrar sobre el cómo y qué pasos son los que se tienen que realizar para llevar a cabo la funcionalidad del caso de uso, donde si bien las descripciones son casi las mismas la diferencia esta sobre el



diagrama que como se mencionó es un diagrama de flujo con los pasos a desarrollar, ayudando así al equipo de desarrollo a comprender de mejor forma qué es lo que se debe de hacer.

Antes de pasar a la siguiente sección se debe describir un documento al que llamamos Mockups, que son tal cual bosquejos relacionados a las pantallas más relevantes del sistema, para que a estas, una vez terminadas, se les pueda dar una perspectiva más “real” al usuario final dando así una especie de alusión sobre qué es lo que verá exactamente una vez se concluya el proceso del desarrollo del software, este documento fue el más sujeto a cambios dado a gustos y preferencias del cliente, siendo así un apartado muy importante a tomar en cuenta antes de comenzar con las diferentes fases del proyecto.

Pero no solamente esto se detuvo en ello, sino que una vez terminado el desarrollo, se elaboraron documentos que contenían toda la información acerca de los diferentes módulos que incorpora el sistema, así como algunos manuales, tales como: manual de usuario, manual técnico, documentación de la base de datos.

Comencemos describiendo si el manual de usuario, en el que estamos especificando en sí, de todas las pantallas que conforman al sistema, que representa cada una, qué acciones tienen (en caso de existir), cuáles son los errores que se pudieran presentar en algún momento de la ejecución del mismo, además, si existen ayudas contextuales para contribuir al facilitar el uso del programa a un usuario. Por último, en él explicamos de forma breve cuáles son los diferentes caminos que se pudieran tomar acorde a la pantalla donde nos podamos encontrar.

El segundo documento manual técnico, este al no estar orientado hacia el público en general, es donde describimos de forma más específica cuáles son los requisitos que necesita el software para poder funcionar de manera óptima. La cosa no se detiene nada más ahí, sino que también en él, describimos todos y cada uno de los servidores que se han empleado con descripciones tales como: usuario, nivel de privilegios, el sistema operativo que se ha empleado para el servidor, archivos de configuración necesarios para poder iniciar o mantener la aplicación funcionando, además de las direcciones IP (que para mi caso son las IPv4) en las que se alojan los servidores empleados.

También tenemos como documentación a la documentación de la base de datos que no es más que la descripción de forma más detallada sobre cómo es que están constituidas las tablas, cuáles son las propiedades de cada columna, si existen llaves primarias, llaves foráneas, el tipo de dato que emplea dicha columna además de la longitud del dato; junto a ello una descripción alusiva para que un futuro desarrollador, al momento de querer realizar una consulta o actualización, sepa para qué existe ese dato o cuál es la utilidad en el sistema. Junto a este documento se agrega una imagen sobre el diagrama relacional de la base de datos de forma completa dando una mejor descripción sobre las relaciones de las diferentes tablas (si es que existen) de forma más gráfica.

En dado caso de que existiera alguna duda o sugerencia de cambiar dicha lógica se tenían reuniones para aclarar que cosas implicaban el reestructurar una lógica de negocio o introducir una nueva, para que en cuanto a tiempos de desarrollo y procesos posteriores como las pruebas del software no se vieran afectadas o que comprometieran la calidad del producto a entregar.

Algunos de los requerimientos que podemos definir como “declaración abstracta de alto nivel de un servicio que provee un sistema” [4], donde los más relevantes en torno al proyecto son: mecanismo que nos ayuden a realizar respaldos de forma automática referente a las bases de datos, el incorporar la inteligencia artificial para poder predecir ya sea el comportamiento de las futuras ventas de la empresa, o el hecho de poder categorizar en función de las características más relevantes de un producto, cual es el potencial descuento otorgado.

Además, el tener un sistema para el envío de correos electrónicos, evitando así usar un medio de terceros para realizar dicha tarea, adicionalmente, para reducir la carga de trabajo que puedan tener diferentes departamentos relacionados al manejo del dinero, el hecho de poder subir facturas y ver de mejor forma todos aquellos ingresos, egresos dando pie a una mejor toma de decisiones referentes a dichas áreas.

Estos son las novedades más interesantes si pudiéramos llamarlo así de alguna manera, y es que, si bien existen otras características que podrían entrar en esta categoría, el hecho de que sean gratuitas, libres (por lo tanto disponibles para todo público interesado), logran reducir el trabajo de

personas que únicamente deben enfocarse en atender su negocio, el cómo crear una campaña de marketing, qué productos o cosas debe comprar para tener en buenas condiciones su negocio y no de cosas las cuales si bien puede realizar un departamento de desarrollo y soporte, al poder ser costosos de inicio, quitar un gasto ciertamente demandante desde el comienzo es una buena señal para alguien, por ejemplo, que acaba de comenzar su negocio en el mercado virtual.



Figura 1. Comparación de gastos y entradas.

Un requerimiento que ayuda a optimizar el desarrollo de la empresa o también pudiéramos llamar como alcance de la misma, es que dicha solución sea capaz de adaptarse a cualquier pantalla sea un móvil, una computadora de escritorio, etc. Además también podemos agregar el hecho de que al ser un diseño responsive nos quita el tener que desarrollar una aplicación en formato móvil, debido a que día con día más y más personas usan el celular para realizar la mayoría de sus actividades, así que con ello aparte de reducir costos en el desarrollo, aumentamos el alcance potencial en cuanto a usuarios se refiere.

Podemos sumar a ello que la cantidad (stock) de productos disponibles, sea manejado por las diferentes tallas o medidas de cada producto, y es que en el caso de productos tales como la ropa, en diferentes momentos se pueden tener diferentes tallas y de cada talla tenemos una cantidad determinada por lo que, el tener un manejo de stock de cierta manera “independiente”, si lo llamáramos como tal, agiliza mucho el proceso de tener que realizar una búsqueda real en nuestros inventarios, reduciendo así el tiempo efectivo que nos toma decir si un determinado producto tiene o no la suficiente cantidad de piezas.



Figura 2: Autoreplicación de datos.

Otros requerimientos que no son relacionados a las ideas del negocio, tienen que ver con aquellos encargados del rendimiento, y es que es bien sabido que las técnicas de IA, las cuales pueden ser definidas según [5] como todo desarrollo de algoritmos que permitan que una computadora se comporte de manera inteligente, son demasiado demandantes en aspectos tales como uso del procesador (por la cantidad de cálculos de multiplicación de matricial), además de la memoria. Debido a que existen algoritmos que necesitan que ciertas partes de dichos procesos sean almacenadas con un estado anterior para realizar comparaciones, asignaciones o mantener aquellas soluciones que son más adecuadas o acercadas a la solución real, por lo que implementar ya sea un servicio o una aplicación que funcione fuera de nuestra solución principal en el futuro nos puede ayudar a reducir problemas potenciales.

Además de todo lo que se explicó en el párrafo anterior, otra razón es referente al lenguaje de programación elegido, pues este tiende a consumir más recursos y tiempo de procesamiento efectivo para poder realizar la misma tarea, comparado por ejemplo con C, lo que traducido a términos más reales es tener a una persona que realice mucho más lento y con más gasto de sueldo su trabajo que, si lo comparáramos con alguien más especializado.

Incluso podemos agregar una segunda variable, y es que no podemos siempre estimar cuantos son los usuarios que usarán el sitio, por lo que si el servidor donde montamos la aplicación sufre algún daño o ataque, o simplemente está muy saturado, le agregamos el procesamiento de las técnicas de IA, más de una ocasión se experimentará una pérdida temporal en el servicio, es por ello por lo que tenerlo en otro servidor hace que dicho cálculo sea menos costoso para todas las partes involucradas.

Para llevar a cabo tal hazaña, fue necesario emplear el uso de diferentes tecnologías tales como Python como lenguaje de programación elegido, y su *framework* Django, pero ¿qué es un *framework*? El autor [6] nos dice que es una estructura a manera en la cual otro desarrollo de software puede re-usar el código, evitando así el repetir código o tener malas prácticas de programación que “dañen” el proceso de desarrollo del software.

Si bien las desventajas ya las expusimos en párrafos anteriores, esto no significa que sea un mal lenguaje o que no funcione, al contrario, comparado a otros lenguajes como C, su complejidad, al ser mucho menor, ser más para scripting y que este tenga una gran facilidad para el manejo de librerías, hace que los desarrollos que se hagan con este lenguaje sean mucho más rápidos gracias a la simplicidad del mismo lenguaje. Además si hablamos en términos reales a veces es de gran importancia el que una aplicación a desarrollar quede dentro de los tiempos establecidos antes de que este sea más lento o que sus desventajas nos hagan decantar por otro.

Django nos ayuda a desarrollar aplicaciones web con una arquitectura modelo vista template (MVT) el cual el autor [7] menciona que el modelo es aquella representación abstracta de la tabla en la base de datos, la vista que funge como una representación lógica de las reglas del negocio, donde este arroja una respuesta (ya sea positiva o no) y el template, que es tal cual lo que el usuario final llega a ver.

Si bien existen otros *frameworks* para realizar el mismo trabajo, tales como Flask, la curva de aprendizaje es significativamente menor debido a que incorpora menos elementos de inicio que el *framework* elegido. No obstante, en el futuro, el que se disponga desde el comienzo del desarrollo hace que se tenga que invertir menos tiempo efectivo en elementos cuya complejidad sería casi nula, que en sí las reglas de negocio con las cuales está sustentado el proyecto. Como gestor de bases son “una colección de datos interrelacionados y un conjunto de programas para acceder a los mismos”[8] se ha empleado PostgreSQL, ya que, es open source, gratuita y es la que mejor se adapta a Django. Además, si tomamos en cuenta aspectos de que se pretende ser una solución para los mercados pequeños o medianos, el hecho de no tener que pagar licencias disminuye el costo total sobre la implementación del software y desarrollo futuro.

Para el apartado de inteligencia artificial, se usó una librería llamada Numpy, que agiliza el proceso de realizar un algoritmo relacionado. Pero decir agilizar nos referimos a aspectos tales como reducir la complejidad del algoritmo en cuanto a multiplicación matricial y vectorial, además de que esta nos ayuda a realizar los cálculos con más eficiencia y disminuye el tiempo en que se realiza una operación con una alta complejidad.

Por último, el uso de tecnologías como HTML, CSS, JavaScript y algunos *frameworks* como Bootstrap, junto con jQuery, nos ayudan a crear todo el apartado visual del sitio web. Donde es un aspecto sumamente importante ya que a lo que se denomina “interfaz gráfica” es la que nos conectará y hará que el usuario interactúe con todos los servicios, por lo que es un apartado que no se puede dejar sin prioridad o poco tiempo para desarrollar. Sin ella prácticamente cualquier cosa realizada no se verá correctamente o pudiera dar una mala experiencia al momento de usarla aunque por el lado de las reglas de negocio este totalmente “correcto”.

En el apartado de las pruebas del software, estas se dividieron en dos etapas. La primera de ellas se remonta al proceso del desarrollo, en el cual para comprobar si una funcionalidad realizaba la tarea para la que fue asignada se usaron datos “genericos” o no reales con la única finalidad de poder comprobar si los diferentes caminos corresponden a lo que se había planteado desde un inicio. Aunque cabe aclarar que esto no significaba que el proceso de elaboración fuera correcto ya que, al no ser datos reales

estos no podían contemplar escenarios en los que o no se había tomado en cuenta que pudieran suceder, o el que un caso a comprobar no fuera completamente llevado a cabo.

En este mismo, se tomó también en cuenta la comunicación entre las dos instancias para comprobar si de un inicio tenía una respuesta correcta o que pasaba si algún servicio no podía ser ejecutado, simulando así escenarios tales como fallas de comunicación o que un servidor no funcionara correctamente. De igual forma, solamente se le pasaban datos no reales para comprobar las diferentes respuestas que se pudieran presentar, aunque no daban a entender que el software no tuviera errores.

Pero al concluir el proyecto, se realizaron pruebas de caja negra la cual el autor [9] como pruebas que analizan el comportamiento, sin tener en cuenta la estructura interna del programa.

Esto lo podemos describir más a detalle en un documento en el cual se especificaron todas las pruebas que debían realizarse en cada uno de los componentes del sistema que estuvieran involucrados en el documento de “Especificación de requerimientos IEEE 830 1998”. En él detallamos qué es exactamente lo que debe de hacer, la manera de realizarlo y algunos caminos a tomar en cuenta, basándose en los casos de uso presentados, además de los requerimientos funcionales pactados en un inicio.

En documento donde realizamos las pruebas, se ponía el número del requerimiento, alguna descripción que fuera alusiva para futuras consultas, el nombre del módulo involucrado, cual era en sí la funcionalidad a evaluar, que datos debían tener como entrada, cual era el resultado que se esperaba, algunos requerimientos y procedimientos para hacer la prueba, la fecha en que se realizó, dependencias adicionales y el resultado esperado con observaciones y la fecha.

Para tomar como válida la prueba esta debía de realizar el resultado esperado o tomar los caminos alternativos planeados sin que representará un error; existiendo para ello tres estados de la prueba: válida, válida (a mejorar), no válida. Siendo la válida (a mejorar) una forma de decirle al equipo de desarrollo que si bien paso la prueba esta pudiera pulirse más dado que pudiera existir algún error o que la solución no contemplará casos específicos.

Para implementar el proyecto, se usaron varias instancias de bases de datos pudiéndolas describir como “representación integrada de los con-

juntos de entidades instancia correspondientes” [10], en las cuales, si bien todas tienen la misma estructura, no quiere decir que sean iguales.

Y esto se realizó de esta forma debido a que al usar la tecnología que denominamos “autoreplicación de datos”, necesita que todas las bases de datos sean iguales para que en caso de que la base de datos principal sufriera algún desperfecto o simplemente que esta haya sido corrompida por algún ataque o error el sistema, una base de datos que actúa como espejo de la principal, pueda tomar su lugar y que se actué como si nada hubiese pasado.

Además, podemos agregar que tener diferentes bases de datos nos otorga una ventaja con respecto de otras, gracias a que no todo el tráfico estará presente en una sola base de datos sino en varias, lo que nos otorga dos cosas muy importantes, la primera de ellas es: rendimiento por no consultar en un mismo lado, así tomamos en cuenta que podemos tenerlas en diferentes ubicaciones lo que nos daría ya sea una mayor rapidez en la consulta o una alta capacidad de almacenamiento si es que esta lo requiere. Mientras que la segunda es la confiabilidad debido a que todas, al ser la misma pero con diferentes funciones, si una se cae (a menos que fuera la instancia principal), no tendría porque no funcionar la aplicación.

## Estado de la página

### Base de datos principal

Notificación La base de datos default funciona correctamente

### Base de datos stock

Notificación La base de datos color funciona correctamente

### Base de datos color

Notificación La base de datos stock\_product funciona correctamente

### Base de datos espejo

Notificación La base de datos mirror\_database funciona correctamente

Figura 3. Bases de datos del sistema.



Para el apartado de los servidores web, se implementó una arquitectura monolítica que es descrita por el autor [11] como un patrón del desarrollo del software en la que se crea una base única de código, en la que todos sus componentes trabajan en conjunto y utilizan la misma memoria. En la cual podemos describir que el que todos los servicios se encuentren en un mismo lado ayuda mucho a que el equipo de desarrollo además del equipo de soporte actúen de forma más directa con el error en lugar de buscarlo en otros lugares.

Esto se eligió de acuerdo con las siguientes cuestiones, la primera de ellas se relaciona al número de personas las cuales desarrollarán el proyecto y como para el caso que nos acontece únicamente solo era un desarrollador para realizar todo el trabajo, la posible complejidad que pudiera derivar en realizar un desarrollo de software usando la arquitectura de microservicios podía incrementar de manera significativa.

Junto a ello tenemos que, derivado de la naturaleza de la arquitectura, los costes del producto final incrementarían, debido a que al ser partes de un todo, no de manera obligatoria pero si es para respetar el diseño de esta arquitectura, deben alojarse en servidores diferentes, lo que garantiza que si alguno de ellos falla no haría que todo el sistema colapsara de una, pero al mismo tiempo rentar diferentes servidores para cada parte del sistema además claro del servidor dedicado a la base de datos y el *frontend*, vemos claro que el coste ya no es tan rentable (al menos no de inicio) para un negocio con un pequeño alcance.

Otra razón que entra es el tiempo que tomaría desarrollar todo el sistema, ya que si bien este es dividido por partes, el que una sola persona lo desarrolle, implicaría aumentar el tiempo que se tomaría en lograr al objetivo, cosa que para nuestro caso, el tiempo disponible no era el suficiente y se podía comprometer la calidad y resultado final del mismo.

Con todo esto en mente la arquitectura monolítica fue usada en la instancia principal, que es donde se ejecutarán la mayoría de las funcionalidades, tales como el acceso a la tienda, detalles del usuario, etcétera.

Mientras que la instancia secundaria es un API-Rest, definida por [12], una api que se ajusta a la arquitectura REST o transferencia de estado representacional, el cual será el encargado de realizar el procesamiento de

los algoritmos de inteligencia artificial, para no afectar el rendimiento de la instancia principal.

Junto a ello también ganamos dos cosas la primera de ellas es confiabilidad ya que si se cae el servidor donde se aloja la solución este suceso no afecta al servidor principal así que para cuando un evento de esta magnitud se presentará no afectaría en ningún momento la interacción, mientras que, por otro lado, si deseamos actualizar los parámetros, agregar nuevas funciones, entre otras cosas lo podemos hacer de forma independiente donde no causaría ningún inconveniente en otros lados.

En cuanto a temas de seguridad, si bien, el framework proporciona ciertas herramientas ya implementadas (como por ejemplo usuarios y Logins) se personalizaron para agregar ciertas propiedades extra, junto con el manejo de vistas por medio de los perfiles que pueda adquirir dicho usuario, además, si este es un superusuario.

Esto porque desde un principio se definió que según el tipo de usuario es el que accedía al sistema eran las pantallas que podía ver, las acciones a realizar y el grado de administración con la que podía contar en caso de que aplicará dicha propiedad.

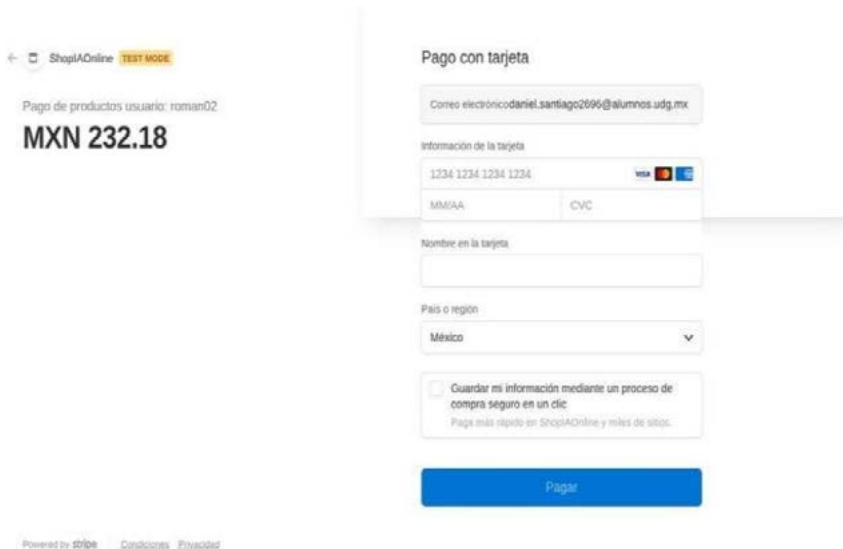


Figura 4. Comunicación *stripe*.

Adicionalmente, la instancia principal es capaz de comunicarse con otros entornos (como el api-rest o el proveedor stripe para la validación de pagos) por medio de peticiones que realiza el servidor hacia por ejemplo el proveedor de *stripe* (que en este caso contaba con sus propias librerías para realizar la tarea) o con el uso de alguna librería estándar que pudiera solicitar un request hacia a algún determinado servidor.

Por último, aún en este apartado, se implementaron dos modos, el de emergencia (que bloquea todo el sitio mostrando únicamente una página de “error”) el cual puede activarse en un momento de necesidad, por ejemplo si algún intruso accede a nuestro servidor y comienza a realizar estragos en el sitio, el poder desactivar cualquier acceso salvo a un superusuario, se podría combatir el problema sin parar la aplicación (salvo que el error o problema a enfrentar tuviera algún tipo de corrección que forzosamente requiera apagar el servidor).

Junto con los respaldos automáticos, que básicamente consiste en que cada actualización de los datos del negocio (por ejemplo algún cambio del color en el producto), no solamente se vea reflejado en la base de datos principal, sino también en la secundaria o a la que denominamos “base de datos espejo”.

## Error del sistema



### Advertencia:

Han ocurrido errores en el sistema, que han obligado al administrador del sistema, ha poner un modo de emergencia. Esto significa que no podras acceder al sistema, debido a algún error que impida que se cargue correctamente el recurso que nos solicitaste. Pero descuida, será temporal y prontamente lo corregiremos. Le agradecemos su comprensión.

Figura 5. Modo de emergencia del sistema.

Para el apartado inteligente, se usaron los algoritmos inteligentes supervisados: regresión lineal, perceptrón multicapa,

Este perceptrón multicapa consiste en una red de perceptrones conectados siendo entrenada por el algoritmo backpropagation el cual según [13] es un algoritmo de entrenamiento supervisado en el que considera dos etapas la primera la propagación del patrón de entrada hacia las siguientes capas de neuronas, para obtener una salida, la cual modificará los pesos logrando coincidir la salida deseada y obtenida, debido a que para poder “avanzar” a soluciones más adecuadas utiliza una gradiente descendiente que nos hará caminar por una superficie del error hasta hacernos llegar a nuestro potencial destino (el cual es la “mejor” solución que pudo aprender).

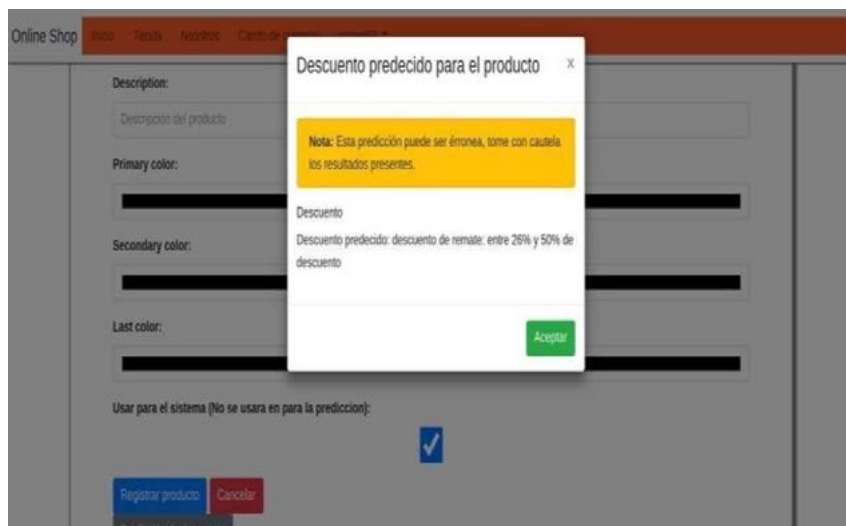


Figura 6. Uso de la inteligencia artificial, para la predicción en el descuento.

Este algoritmo si bien puede resolver casos donde los patrones sean linealmente no separables, este tiene un gran pero y es que si bien decimos que si puede resolver dichos problemas para llegar a las soluciones necesita mucho más tiempo para converger, además de que si encuentra una solución lo suficientemente “convinciente” para tomarla en cuenta como la mejor, pero no es la correcta o la que se estaba buscando como solución es muy complicado hacer que salga de ella, salvo que tengamos diferentes estrategias que resuelvan dichos problemas.

Donde el uso que se definió para este algoritmo fue el poder predecir en función de una clasificación cual sería el descuento potencial que tendría dicho producto basándose en diferentes características tales como la categoría a la que pertenece y el proveedor de dicho producto. Ya que, con esto podemos automatizar o dar una mejor visión sobre qué descuento debería tener el producto, siendo bastante útil en casos donde, por ejemplo, se acerquen fechas como Navidad, día de las madres, entre otros. Para así tener una ventaja con respecto de nuestros competidores al saber poner no solo descuentos más rápidamente sino también acertadamente.

Mientras que, por otro lado, la regresión lineal es definida por [14] es un algoritmo en el que pronostica el comportamiento de una variable dependiente a través de una independiente.

Tomando en cuenta lo que mencionamos en el párrafo anterior, la capacidad de predecir algo en función de otra cosa fue utilizado para saber cual sería la venta (del día de mañana por ejemplo) si tomamos en cuenta las ventas que hemos realizado en días anteriores, con la finalidad de tomar mejores decisiones al “saber” que es lo que puede ocurrir en un tiempo futuro.

Y a lo que nos referimos con mejora en la toma de decisiones se basa en que si nosotros nos anticipamos un poco a que mañana, por ejemplo, será un día con muchas ventas, será un día donde seguramente se decidirá resurtir completamente nuestro almacén sin que esto represente una pérdida en ese mismo día. O claramente todo lo contrario al saber que ese día no tendremos suficientes ganancias podríamos decidir esperar hasta tener un ingreso mayor para poder realizar dicha operación.



Figura 7. Uso de la inteligencia artificial, para la predicción en las ventas.

Estos algoritmos fueron programados en el API-Rest con únicamente la librería de Numpy para los cálculos relacionados a álgebra, con la finalidad de poder controlar de mejor manera como es que el proceso de aprendizaje es llevado a cabo, además de poner a nuestra elección cualquier parámetro que el negocio necesite que se cambie; para que al terminar retorne únicamente la predicción para la que fue solicitada, de acuerdo con los datos que le fueron otorgados como entrada.

Por último, las vistas fueron realizadas en conjunto, donde por un lado el servidor de Django nos permite heredar cierta parte del código HTML, CSS, JavaScript en diferentes archivos y, por el otro, el diseño mayormente

fue desarrollado con CSS, con algunos elementos de Bootstrap. Y diferentes librerías tales como Sweet Alert (para las alertas flotantes del sistema), jQuery (para las peticiones Ajax el cual según [15] son el conjunto de técnicas que permiten que una aplicación web funcione de manera asíncrona sin necesidad de estar “bloqueando” completamente el servidor o CPU para completar un proceso), select2 para el autocomplete (el cual nos ayudo a poder realizar las búsquedas de forma asíncrona), y ChartJs para los gráficos mostrados por pantalla tales como gráficos de barras de pastel entre otros.

Mencionábamos en el párrafo anterior que todas las peticiones que se realizaban al servidor se hacían con un estándar llamado Ajax para realizarlas de forma asíncrona, debido a que el cliente no está obligado a esperar una cantidad de tiempo o tener una espera “eterna” en caso de que el servidor no pueda estar disponible para responderla, debido a que pueden existir ocasiones donde el servidor no responda y como estamos esperando a algún tipo de respuesta (sea exitosa o no) estaría siempre cargando algún elemento (como un modal de espera) o quedarse totalmente en negro si la respuesta desplegaba otra pantalla. Por otro lado, el servidor al no bloquearse nos garantiza que este no estará perdiendo rendimiento debido a que no se bloqueará con cada que una petición llegue, traduciendo en que si existe un momento de alto estrés, dependiendo de las condiciones este tendrá la capacidad de responder la mayoría de solicitudes que se hagan.

Repositorio Github (instancia principal) [https://github.com/DarthDS4711/proyect\\_modular\\_univers\\_ity.git](https://github.com/DarthDS4711/proyect_modular_univers_ity.git)

Repositorio Github (instancia secundaria) [https://github.com/DarthDS4711/api\\_shopia\\_online\\_ia.git](https://github.com/DarthDS4711/api_shopia_online_ia.git)

## **Modulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

Para esta sección, se ha empleado el lenguaje de programación Python, junto con la base de datos de PostgreSQL, en la que se utilizó la metodología SCRUM para el desarrollo del proyecto, ya que, esta nos ayuda a trabajar con todos aquellos complejos, donde las tareas a desarrollar pueden cambiar en cierta medida. Mientras que la estructura del proyecto

consiste en usar un patrón MVT (modelo-vista-template) para la instancia principal, mientras que por el otro se emplea un API-Rest para la instancia secundaria (que es donde se alojó el proceso de inteligencia artificial).

## **Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

Para este módulo, se emplearon dos tipos de algoritmos inteligentes. El primero de ellos es regresión lineal para la predicción del comportamiento en datos continuos. Mientras que el segundo, el perceptrón multicapa (MLP, nos ayuda, para este caso, a categorizar diferentes instancias sin tener que preocuparnos por que nuestro problema no sea linealmente separable.

Todo esto con la finalidad de poder facilitar la toma de decisiones en algún momento donde el usuario no disponga el tiempo suficiente para poderla realizar.

## **Modulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Para este tercer módulo se empleó la distribución del procesamiento de cálculos, debido a que las técnicas de IA suelen ser bastante demandantes en procesamiento y recursos, por lo que el uso de una API que reciba y haga el procesamiento por separado ayuda a mejorar el rendimiento del sitio, además de que al ser separada de nuestra instancia principal, se ha hecho el proceso de comunicación con ella para la solicitud y respuesta de datos.

Logrando al mismo tiempo que la aplicación en su totalidad no este sufriendo intermitencias debido a una alta demanda de recursos que los usuarios del sistema pudieran ocasionar en un determinado momento donde se le necesite.

## **II. Resultados obtenidos del proyecto**

Los resultados reales que se lograron alcanzar en el desarrollo del proyecto, fueron: diseño adaptable, seguridad del sistema y perfiles, reducción de tareas de administración, empleo de la inteligencia artificial para predecir el comportamiento, o categorizar de acuerdo con los datos proporcionados, capacidad de adaptarse a muchas situaciones.



Al describirlas de manera un poco más detallada, la seguridad del sistema al ser implementada como perfiles, además de las sesiones y el tiempo con el que cuenta cada sesión hasta que el sistema decida terminarla junto con el manejo de tokens, nos hace pensar que en caso de existir una vulnerabilidad sea por temas de una infiltración forzada o quizá no nos vayamos tan lejos usar la ingeniería social para obtener los datos de sesión de una persona con un alto cargo en la empresa.

El diseño adaptable, si bien tiene trabajo por hacer debido a que el tiempo disponible no nos dimos a la tarea de optimizarlo a cualquier resolución presente en el mercado, el hecho de que se pueda adaptar a muchas resoluciones nos ayuda mucho a que los usuarios puedan estar consultando el sistema sin necesidad de tener que encender la computadora para realizar esa única tarea.

Para la inteligencia artificial no llegamos a todo el potencial deseado, debido principalmente al tiempo. El resultado en cuanto a las implementaciones ayuda para que un usuario sin mucho conocimiento en el área pueda tener una mejor toma de decisiones de acuerdo con las predicciones otorgadas pudiendo potenciar poco a poco el crecimiento de aquel emprendedor que decidió comenzar su propio *e-commerce*.

Ya por último referente al tema de resultados tenemos a la capacidad de adaptación a cualquier escenario. Aquí realmente es donde podemos decir que cumplió, ya que, si bien las necesidades de cada negocio son diferentes, el hecho de tener una base que ellos pueden personalizar a su gusto y ver el código fuente, hace que en caso de que deseen elegir nuestro producto como algo a implementar, día con día vayan desarrollando sus propias herramientas sin necesidad de tener que pagar más por ello o también que puedan ir aportando un poco al desarrollo global para que otras empresas que en algún momento necesiten la solución que otro desarrollo pueden realizarlo sin ningún tipo de problema por delante.

Pero la solución planteada, y el desarrollo tiene puntos en común, como el haber integrado la seguridad, rendimiento que esta fuera capaz de adaptarse a diferentes escenarios, además de que el procesamiento de ciertas tareas fuera distribuido. En donde sí pudiera estimar un porcentaje, podría estimar de un 75 % - 80 % que objetivos cumplidos a lo largo del desarrollo.

El porqué de dicho porcentaje de basa en factores tales como que la capacidad de poderse adaptar a las pantallas de los celulares, es un poco complicado realizarla principalmente porque los navegadores que empleamos día con día en nuestros *smartphones* (en el caso particular del iPhone) en determinados escenarios puede no interpretar de manera correcta las hojas de estilos que CSS (el lenguaje de diseño web) tiene, por lo tanto, el aspecto final del sitio puede no ser agradable dependiendo de que cosas es las que no llega a interpretar de forma correcta.

Además, día tras día al existir equipos nuevos, no tenemos en cuenta un término y esa es la relación de aspecto del celular, dado que el que cada marca imponga sus propias reglas sobre cual será dicha relación resulta un poco complicado si tenemos en cuenta que por esa dicha relación un componente que estaba alojado en esa posición no se visualizará o si este llega a ser visible, este no se muestre de forma correcta.

Pero ya en un aspecto importante, si bien esta solución es capaz de poder atender muchas solicitudes, qué pasará si el sitio incrementa exponencialmente de usuarios, en ocasiones se verá afectado debido a la arquitectura que hemos elegido, lo que consecuentemente hará que los clientes incrementen la cantidad de recursos disponibles que la aplicación puede tomar, aunque todos sabemos que siempre existe un límite sobre lo que se puede hacer o no. También por el propio diseño si se requiere actualizar el sistema ya sea por soporte o porque simplemente se han de agregar diferentes características al sistema, este tendrá que actualizar todo el sistema (que implica detenerlo completamente) hasta que todas las parten hayan sido actualizadas.

### **III. Conclusiones y trabajo para el futuro**

El desarrollo nunca termina, aunque se hayan podido cubrir todos los aspectos, siempre existirán para el futuro. Con esta premisa, este proyecto tiene por meta, el facilitar el que pequeñas y medianas empresas puedan posicionarse en el mercado, pero no solamente eso, sino que esta redujera el trabajo, e intervención de personal de administración.

Basándonos en esta premisa, si bien es cierto que existen diferentes herramientas que de manera externa calculan datos, tales como balances, o tener automatizaciones con los correos masivos por ejemplo, se tienen

planes para que de forma futura poco a poco se empiecen a integrar cálculos que tengan que ver con los registros contables de las empresas logrando con ello de primera mano el reducir el número de personal efectivo que pueda realizar o interpretar los resultados todo ello sin coste alguno para quien decida usarlo como herramienta.

Otra mejora que pudiera relacionarse a esto, es el poder implementar diferentes servicios que si bien tendrían un coste (pero no sería por parte de nosotros), ayudarían mucho a automatizar el buscar la información del cliente ya sea para obtener los datos referentes a su hogar como las diferentes direcciones, además de ciertos datos personales que pudieran ser necesarios de recabar.

También podemos integrar a esta sección de trabajo futuro, el hecho de tener que depender de un monolito puede ser un problema en una gran escala, se tiene planeado separar todo el sistema en diferentes partes relevantes o relacionadas entre sí, además claro de implementar todo el apartado visual de forma independiente, con el fin de que para un equipo de desarrollo más grande al momento de realizar actualizaciones no tenga que actualizar incluso las partes que no se actualizan, además claro de agilizar los procesos de mejora ya que únicamente se realizara en el componente involucrado.

Por otro lado, tenemos las innovaciones siendo este un apartado un poco difícil de dictaminar gracias a que hoy en día para realizar una innovación, al menos desde mi punto de vista, es sumamente complicado, ya que todos de alguna forma tienen cosas innovadoras. Pero donde entraría nuestra innovación viene por parte de la inteligencia artificial, dado que es un servicio aparte del todo, podemos usarlo para automatizar de a poco (conforme el desarrollo y los recursos lo permitan) cada aspecto como contacto de proveedores, notificaciones a usuarios, compra inteligente para resurtir el stock, manejo de usuarios en función de patrones de comportamiento, disminuir el grado de privilegios si detectamos que un usuario ha comenzado a realizar ciertas actividades que ya rozan en lo ilegal o no ético.

Para concluir, solamente me gustaría decir que el desarrollo de este proyecto no sustituye a las grandes compañías (aunque pudiera aparentarlo) esta va dirigida a un mercado en el que sabemos que aquella emprendedora que recientemente ingresó al mercado, esta no cuenta o puede que no

cuenta con los recursos para poder pagar lo que una empresa como Amazon o Facebook solicitan para usar sus servicios, lo que me hace llegar a la siguiente premisa: el dinero no hace a alguien ganador, sino la capacidad que se tenga para poder ganar.

### **Reconocimientos**

Quiero hacer una mención honorífica a mi pareja, gracias a que ella actuó el rol del cliente para el desarrollo del software además del apoyo emocional brindado. A mi asesora del proyecto que desde el primer momento confío en mí, además de involucrarse en cada etapa del desarrollo del mismo. Por último, a mi familia por ser un gran soporte estos meses que he desarrollado el proyecto.

## Referencias

- [1] unidad1\_pdf1.pdf. [En línea]. Disponible en: [https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/e-commerce/unidad1\\_pdf1.pdf](https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/e-commerce/unidad1_pdf1.pdf) [Accedido: 25 de agosto de 2022].
- [2] Open Source.pdf. [En línea]. Disponible en: <http://www.openbiz.com.ar/Open%20Source.pdf> [Accedido: 23 de agosto de 2022].
- [3] Scrum-Guide-ES.pdf. [En línea]. Disponible en: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/Scrum-Guide-ES.pdf> [Accedido: 24 de agosto de 2022].
- [4] I. Sommerville, Edición, and Capítulo, “Requerimientos del software.” [Online]. Available: [https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2015/08/F\\_Capitulo\\_5\\_Requerimientos\\_del\\_software.pdf](https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2015/08/F_Capitulo_5_Requerimientos_del_software.pdf)
- [5] “Introducción a la Inteligencia Artificial.” [Online]. Available: [https://www.nebrija.es/~cmalagon/ia/transparencias/introduccion\\_IA.pdf](https://www.nebrija.es/~cmalagon/ia/transparencias/introduccion_IA.pdf)
- [6] J. F. R. Briñez, «Frameworks y herramientas para el desarrollo de aplicaciones orientadas a dispositivos móviles», 2011, p. 48.
- [7] «Django Documentation», p. 2060.
- [8] U. Sistema, “Sistemas de Gestión de Bases de datos y SIG.” [Online]. Available: [https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario\\_9.pdf](https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_9.pdf)
- [9] J. M. S. Peño, “Pruebas de Software. Fundamentos y Técnicas”. p. 130.
- [10] O. Pérez, M. Carme, M. Escofet, M. Ginestà, A. Luis, and Santillán, “Rafael Camps Paré Software libre U Formación de Posgrado Bases de datos 71Z799014MO”. [Online]. Available: <https://www.uoc.edu/pdf/masters/oficiales/img/913.pdf>
- [11] Munoz\_Hernandez\_Ricardo.pdf. Accedido: 25 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2672/1/Munoz\\_Hernandez\\_Ricardo.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2672/1/Munoz_Hernandez_Ricardo.pdf)
- [12] “rest-apis”, IBM. <https://www.ibm.com/mx-es/cloud/learn/rest-apis>
- [13] I. M. Hidalgo-Cajo, S. Yasaca-Pucuna, B. G. Hidalgo-Cajo, D. P. Hidalgo-Cajo, and N. B. Latorre-Benalcázar, “Estudio comparativo de los algoritmos backpropagation (bp) y multiple linear regression (mlr) a

través del análisis estadístico de datos aplicado a redes neuronales artificiales”, *Rev. Bol. Redipe*, vol. 9, núm. 3, pp. 144-152, mar. 2020, doi: 10.36260/rbr.v9i3.939.

- [14] J. Dagnino, “Regresión Lineal – Revista Chilena de Anestesia,” *Revista Chilena De Anestesia*. <https://revistachilenadeanestesia.cl/regression-lineal/>
- [15] G. B, “¿Qué es AJAX y cómo funciona?” *Tutoriales Hostinger*, May 09, 2019. <https://www.hostinger.mx/tutoriales/que-es-ajax>



# Capítulo 16

---

## **ASSIST (Asistencia y Soporte Inteligente a Sistemas)**

*Oscar Alejandro Domínguez Duran*

*Francisco Javier Grover Morales*

*André Ángel Humberto Gutiérrez Alatorre*

*Samuel Mercado Garibay*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*oscar.dominguez4686@alumnos.udg.mx*

*francisco.grover4731@alumnos.udg.mx*

*andre.gutierrez4739@alumnos.udg.mx*

*samuel.mercado@cucei.udg.mx*



## Resumen

Dentro del CUCEI existe un área de desarrollo, que a lo largo de siete años se ha encargado de proveer a la UDG varios sistemas de uso interno. Tanto los desarrolladores como los usuarios de dichos sistemas han presentado distintos problemas que en muchas ocasiones sobrepasan las capacidades para dar atención.

Nuestra solución propone un sistema de atención al cliente automatizado mediante un chat, en el que se puedan resolver todas aquellas incidencias menores con una inteligencia artificial y que los casos más complejos sean delegados a un miembro del equipo de soporte del sistema en cuestión.

Se espera que la implementación de este sistema agilice la experiencia de usuario y mejore el flujo de trabajo del equipo de soporte de los sistemas. Asimismo, se espera que este proyecto tenga un mayor alcance dentro de la red universitaria, pudiendo ser la plataforma de soporte para más sistemas de la Universidad.

## I. Introducción

Aunque los sistemas desarrollados para la Universidad de Guadalajara cuentan con documentación clara respecto al uso de estos, los usuarios finales no están exentos de presentar problemas o inquietudes mientras hacen su trabajo en alguno de los sistemas.

En ocasiones la documentación de los sistemas o aplicaciones llega a ser desatendida con el tiempo, lo cual lleva a la obsolescencia de dicha información o simplemente surgen problemas inesperados tanto para los usuarios como los administradores/desarrolladores de estos.

Por estas razones es que es útil contar con un sistema de atención de usuarios, ya que ayuda a mejorar tanto la experiencia de todo aquel que haga uso del sistema como a la plataforma y su contenido en sí, incluso puede llegar a solventar errores que llegaron al sistema en producción.

La implementación de este sistema beneficiará tanto a desarrolladores como a usuarios de cada uno de los sistemas creados por el área de desarrollo de CUCEI de nuestra Universidad.

Nuestro interés en resolver este problema es debido a que nosotros como desarrolladores y usuarios recurrentes de algunos de los sistemas de la universidad, nos hemos llegado a encontrar en este tipo de situaciones, en las que si un sistema falla y necesitamos ayuda o soporte de alguien capacitado para lograr solucionar nuestro problema, nos toparemos con que esta ayuda rara vez llega o simplemente es inexistente. Así que nuestro proyecto busca eficientar este tipo de problemas dentro de los sistemas que nuestra misma universidad gestiona.

El objetivo de este proyecto no solo es la atención de usuarios, sino también la automatización en la resolución de incidencias mediante un sistema de asistencia virtual distribuido en distintos sistemas mediante un chat como canal de comunicación. Esto nos permitiría:

- Liberar la carga de trabajo al equipo de soporte técnico dedicado a resolver dudas y problemas en estos servicios.
- Atención a la documentación desactualizada o mejora de los servicios.
- Agilizar el tiempo de respuesta y resolución de incidencias de las plataformas.

## II. Trabajos relacionados

Los sistemas de soporte y atención al cliente tienen su origen en la misma necesidad de las empresas que, debido al constante avance de las tecnologías, han tenido que buscar herramientas que las ayuden a mejorar la manera en la que gestionan su flujo de trabajo y dan soporte a los problemas/cuestionamientos que tienen sus clientes.

Este tipo de sistemas permiten el acceso a una cantidad ilimitada de solicitudes e incidentes de los clientes. que provienen de distintos canales (chats) y que se gestionan a través de una única interfaz. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas pudieran ser:

- Zendesk [1]
- LiveAgent [2]
- Jira Service Desk [3]
- Happyfox [4]
- Azure Desk [5]

Los anteriores ejemplos poseen una característica en común: poseen un catálogo de precios muy distintos entre sí y sus demos gratuitas están muy limitadas. Además, los asistentes virtuales/chatbots con los que algunos cuentan, poseen respuestas y opciones no tan complejas. Un factor importante a tener en consideración es la información que se intercambia en sistemas de soporte ya que, en muchas ocasiones, las incidencias pueden estar relacionadas con algún fallo del sistema y el dejar este tipo de información en manos de un tercero no es una opción muy segura. Consideramos que pese a ser buenas opciones para solucionar el problema planteado, es una buena alternativa el tener un sistema desarrollado por y para gente de la Universidad de Guadalajara, asegurando que su uso sea exclusivo de esta o afiliados.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

#### **A. Elección de tecnología y arquitectura del sistema**

Lo primero a tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto fue la elección de las tecnologías y plataformas a las que irían dirigido nuestro sistema. En este caso, al ser un servicio de asistencia para plataformas web decidimos trabajar sobre la misma línea que estos y también hacer de este proyecto un sistema web.

El primer paso consistió en reconocer la mejor manera de integrar este servicio a sistemas ya existentes. Tras una larga investigación decidimos utilizar web *widgets* [6], debido a que estos nos permiten desplegar partes de un sitio web e incluso sitios completos en un simple elemento de HTML conocido como *iframe*, el cual prácticamente no afecta o repercute en el rendimiento del sitio donde es utilizado. Con esto en mente, decidimos renderizar una dirección específica de nuestro *frontend*, la cual contenía una vista en la que se mostraba la estructura general de la caja chat, preparada para adaptarse a cualquier tamaño y contenido que esté fuera a albergar, utilizando buenas prácticas de diseño responsivo lo cual lo convirtió en la opción perfecta a ser utilizada en cualquiera de los sitios con los que terminaríamos trabajando.

Para añadir el web *widget* a cualquier sistema, simplemente bastaría con conectar la plataforma con la que se estuviese trabajando con un *script* que tomaría unas cuantas credenciales a forma de parámetros para identificar al usuario y sistema del que se estuvieran generando incidencias, con el motivo de configurar la comunicación entre usuarios, operadores e inteligencia artificial. De esta manera, nos aseguramos que este módulo del sistema sea reutilizable y fácilmente accesible para cuantos sistemas lo requieran implementar.

La arquitectura del sistema *per-se* terminó siendo definida por las bondades que nos ofrece la contenerización de aplicaciones con herramientas como Docker [7] y Docker-Compose, las cuales son:

- Modularidad: Nos permite mantener las diferentes partes de nuestra aplicación separadas y bien definidas.
- Restauración: Nos permite volver a versiones anteriores del contenedor.
- Escalabilidad: Hace más fácil aumentar las funcionalidades de la aplicación, si se tiene todo bien separado.
- Siempre en línea: Si un contenedor llega a tener algún problema o directamente deja de funcionar, puede ser reemplazado por un contenedor nuevo.
- Aislamiento: Evita problemas relacionados a programas externos, configuraciones de red y versiones de bibliotecas instaladas.

Decidimos dividir nuestros sistemas en un *backend* desarrollado con el famoso *framework* de PHP conocido como Laravel [8], el cual es el encargado de gestionar bases de datos, administrar las solicitudes de autorización y de gestionar la comunicación del servicio de atención mediante web *sóquets*. Por otra parte, las diferentes vistas con las que el usuario puede interactuar fueron implementadas con la biblioteca de JavaScript llamada React [9].

La decisión sobre las anteriores tecnologías fue dada debido a que en el equipo de desarrollo de CUCEI, Laravel es utilizado en sus múltiples servicios, por lo que ya cuentan con una gran experiencia y confianza en el uso de ella. Además, resulta conveniente utilizar esta tecnología para que se le dé mantenimiento, se añadan más funcionalidades o simplemente sea

más sencillo para el equipo de desarrollo corregir posibles errores que se puedan presentar en un futuro.

Por otra parte, React es la biblioteca más famosa y utilizada en el ámbito de desarrollo *frontend*. Decidimos hacer uso de ella debido a su gran capacidad de escalabilidad, su fácil curva de aprendizaje y de su gran presencia en el mercado de desarrollo web, así como de su amplio soporte ofrecido de la mano de Facebook, y su comunidad desarrolladora, sin olvidar la ventaja de rendimiento que este tiene comparado contra la solución que ofrece Laravel para manejar el *frontend* (blade templates).

Existen múltiples servicios de mensajería y comunicación de web *sóquets*, pero decidimos inclinarnos por *socket.io* [10], debido a su gran presencia en el mercado y su amplia documentación e integración con Laravel y React [11], además de la posibilidad de hacer canales personalizados y gestionados por nosotros y no de terceros, asegurando así la integridad de los datos transportados a través de este servicio de asistencia.

Del otro lado del desarrollo web, hicimos uso del *framework* de aprendizaje máquina de código abierto «*RASA*» [12], a través del cual fue desarrollada la inteligencia artificial del asistente virtual. La decisión fue hecha debido a la flexibilidad de Python (sobre el cual está desarrollado *RASA*) y la libertad de acoplamiento a nuestras necesidades. Este sería el servicio de nuestra arquitectura encargado de funcionar como intermediario (*middleware*) entre *frontend* y *backend* para garantizar la automatización de incidencias recurrentes.

## B. Requerimientos del sistema

- Comunicación a través de chats privados y encriptados.
- Integración de vista de chat para sistemas ajenos mediante web *widjets*.
- Capacidad de obtener respuestas automatizadas en caso de caer en una incidencia conocida por el sistema.
- Capacidad de ser atendido por un elemento técnico en caso de incidencias complejas.
- Estadísticas del historial de incidencias.
- Estadísticas de los chats atendidos, abiertos o cerrados.
- Capacidad de que varios usuarios de soporte puedan atender a un solo cliente ya sea al mismo tiempo o no.

- Capacidad de llevar seguimiento a incidencias.
- Capacidad de filtrar las incidencias por los sistemas a los que estas pertenecen.

## C. Metodología de trabajo

Durante el desarrollo del proyecto utilizamos la metodología de gestión de proyectos Scrum [13] para el seguimiento del desarrollo de los módulos del proyecto. De esta manera, dividimos el proyecto y todavía cada una de esas subpartes en pequeños productos integrables al proyecto final, al mismo tiempo que cuidamos de su integración y compatibilidad final.

De esta manera, pudimos establecer nuestro MVP (producto mínimo viable), siendo esta la parte de la comunicación en tiempo real entre clientes de los sistemas y los usuarios de soporte; teniendo como un añadido extra para los usuarios finales del sistema todo el apartado del asistente virtual (ChatBot).

Para la definición del flujo de trabajo, asignación de tareas y definición de procesos futuros usamos el método Kanban [14], esto a través de la tabla de issues [15] provista por GitLab mismo, de forma que no haría falta atender una plataforma más para mantenernos al tanto del trabajo, sino que también podemos resolverlo por medio de nuestras propias aportaciones en el código a través de nuestros commits, quedando en dicho control de versiones y en el historial de asignaciones de GitLab.

Al tratarse de un proyecto perteneciente a un área de la Universidad, se tiene especial cuidado con los permisos y accesos a los repositorios, por lo que se realizaron *forks* de los repositorios originales para poder ponerlos en público:

- <https://gitlab.com/AlexDominguez18/assist-backend>
- <https://gitlab.com/AlexDominguez18/assist-frontend>

Al mismo tiempo, para la primera definición de tareas, para el mantenimiento de las tareas futuras y un control de fechas lo hicimos a través de un diagrama de Gantt. Esta definición contiene una fecha inicial del proyecto y una proyección del despliegue final del sistema.

## D. Pruebas realizadas y proceso de implementación

Todo lo planteado anteriormente comenzó con el diseño del diagrama de base de datos. En este tuvimos que definir las tablas (entidades) y el cómo se relacionan entre sí, así como los distintos campos y propiedades de cada una de estas. Lo anterior queda plasmado en el siguiente diagrama de la base de datos:

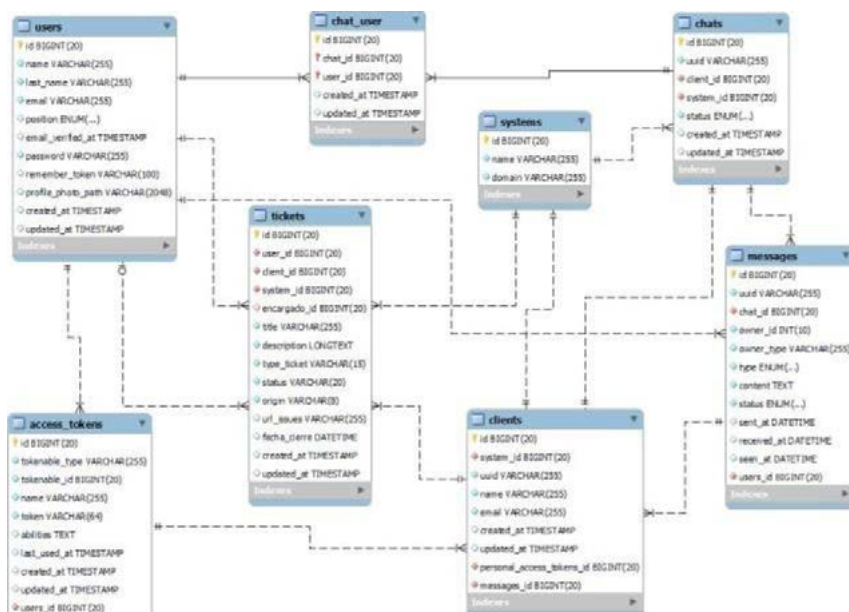


Fig. 1. Diagrama entidad - relación de la base de datos empleada.

Después de diseñar la base de datos, se procedió a crear los repositorios correspondientes (mencionados en el inciso anterior). En ambos repositorios realizamos la instalación de las bibliotecas y paquetes a usar para el proyecto. Del lado del backend instalamos el *framework* de Laravel y del lado del *frontend* instalamos la biblioteca de React.

Ya que se tuvieron las bases de los proyectos instalados, procedimos a definir y diseñar los diagramas de caso de uso de las dos principales tareas del sistema, es decir, la gestión de las incidencias y la comunicación del chat.

Primero definimos el diagrama de casos de uso del apartado de las incidencias (Fig. 2). En él se describen todas las actividades que los usuarios

operativos pueden realizar y cómo interactúan con el sistema. Debido a que todo este módulo del sistema es exclusivamente para usuarios operativos, nuestro único actor involucrado es el usuario operativo.

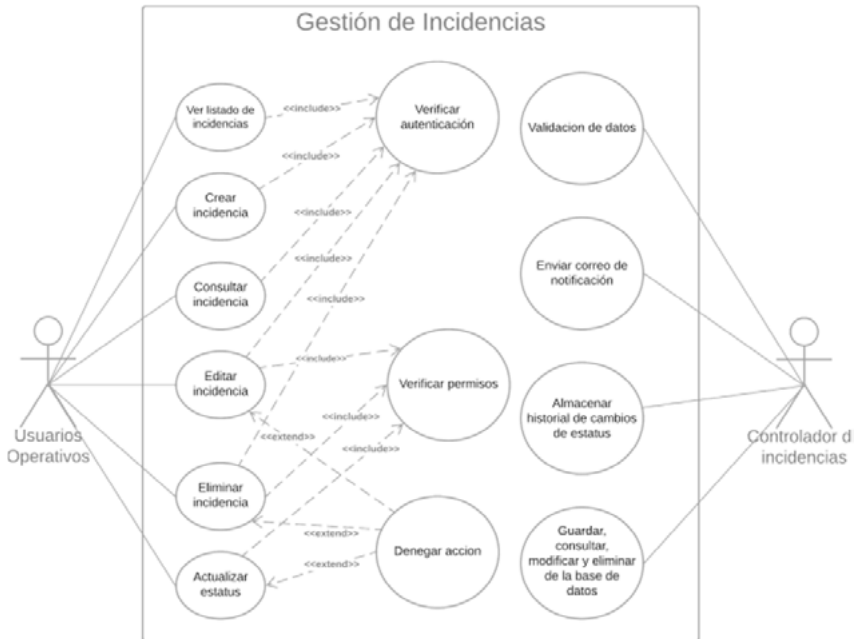


Fig. 2. Diagrama de casos de uso para el apartado de incidencias del sistema.

En la Fig. 3, podemos observar cómo interactúan los clientes con los usuarios operativos dentro del sistema a la hora de comunicarse mediante el chat. En este caso se definen dos actores principales y se muestran los principales casos de uso para ambos.





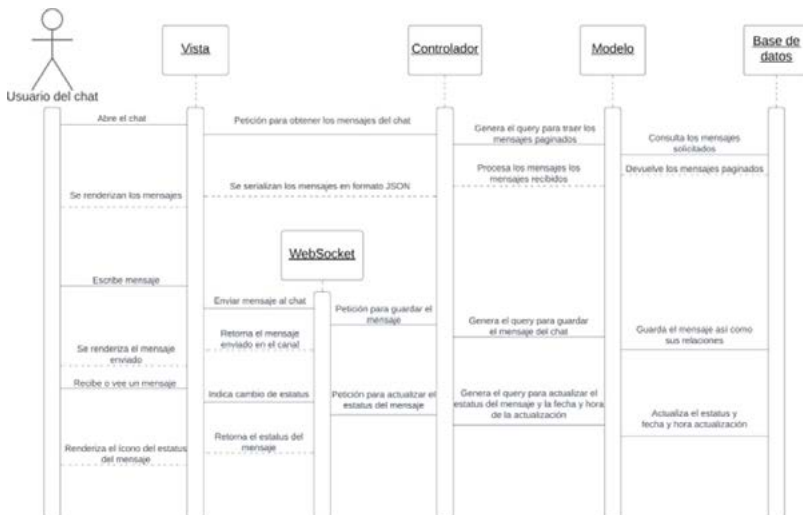
Fig. 3. Diagrama de casos de uso de la comunicación entre clientes y usuarios operativos.

Además de los diagramas de caso de uso, también se diseñaron los diagramas de secuencia para las tareas previamente mencionadas. En la Fig. 4 se aprecia el flujo de cada actividad que el usuario operativo puede realizar en el sistema a la hora de gestionar las incidencias.

Por otra parte, el diseño del diagrama de secuencia de los chats consta de dos partes, una para el caso de la comunicación entre humanos (usuarios operativos con clientes) y otro diagrama para el caso de la comunicación del cliente con el asistente virtual dentro del chat. En la Fig. 5 se nos muestra todo el flujo en el sistema para mandar mensajes a través del chat, en dónde encontramos las entidades necesarias para no solo almacenar los mensajes sino también para enviarlos en tiempo real a los demás usuarios que mantengan conexión con el sóquet. Mientras que en la Fig. 6 se describe el flujo del sistema cuando el cliente se comunica con el asistente virtual, el cual actúa como otra entidad.



✘ Fig 4. Diagrama de secuencia para la gestión de incidencias.



✘ Fig 5. Diagrama de secuencia de un usuario del chat.

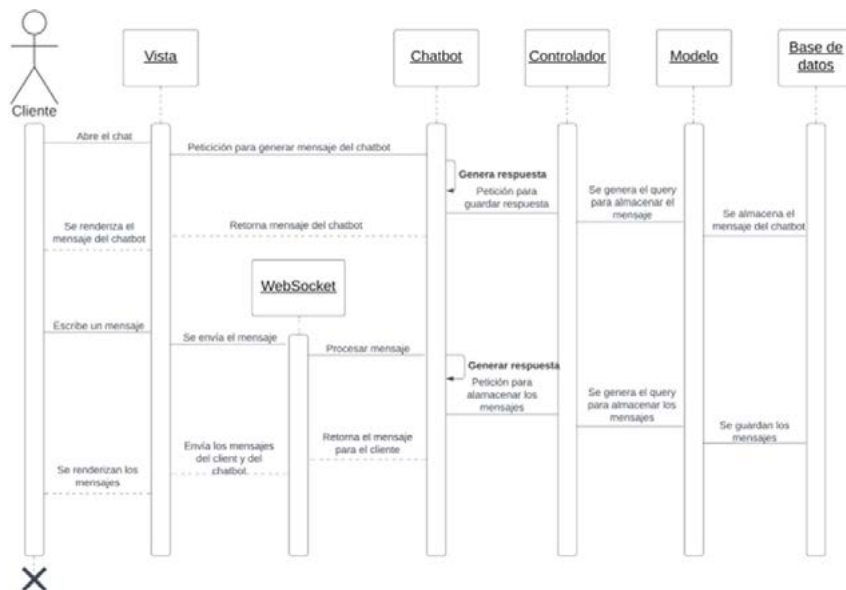


Fig. 6. Diagrama de secuencia para la comunicación entre cliente y asistente virtual.

Posterior al desarrollo de los diagramas mencionados, procedimos a montar los servicios en los contenedores de docker. Para esto se realizó un archivo de configuración de docker para describir y detallar la manera en la que los contenedores se comunican. Los servicios que terminamos montando son los siguientes:

- API (*backend*)
- Aplicación cliente (*frontend*)
- Webserver para el *backend*
- Webserver para el *frontend*
- API para el asistente virtual
- Servidor de node para los *sockets*.
- Base de datos MySQL
- Colas de trabajo de Redis

Lo anterior puede ser resumido en el siguiente diagrama:

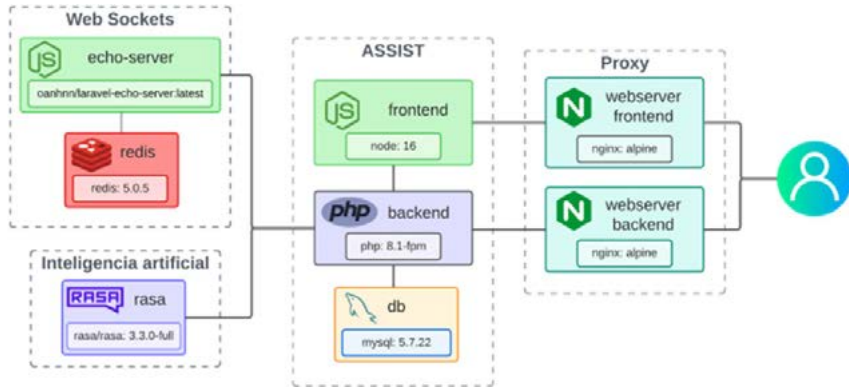


Fig. 7. Diagrama ilustrativo de la arquitectura y comunicación de los servicios del sistema.

Una vez definidos y construidos los servicios en sus contenedores, las actividades posteriores estuvieron ligadas al desarrollo de la autenticación de los usuarios y los clientes. La autenticación de los usuarios consta de un inicio de sesión mediante credenciales (correo electrónico y contraseña) que genera un JSON Web Token y mediante el cual podrá realizar peticiones a la API del sistema siempre y cuando el token no haya expirado. Para la autenticación de los clientes también se genera un *token* pero no se les solicita un inicio de sesión, cada nueva conexión que realiza verifica si el cliente cuenta con un *token* válido para poder hacer uso del chat, de lo contrario se realiza una petición para poder renovar el token.

Con la autenticación terminada, empezamos a desarrollar los módulos esenciales del sistema (la gestión de las incidencias y la comunicación entre clientes y usuarios operativos). El primer apartado del sistema en ser terminado fue el de las incidencias, ya que, en comparación con el desarrollo del chat, este suponía una complejidad menor.

Teniendo una versión funcional del módulo de incidencias, se empezó a priorizar el desarrollo del chat a la par de que se trabajaba en el modelo de inteligencia artificial para el asistente virtual. A los chats se les añadiría una autenticación también para evitar posibles filtraciones de las conversaciones, por lo que el *token* que empleamos para autenticar a los usuarios y los clientes en el sistema nos fue de utilidad para también validar que todos los mensajes de los chats solo sean accesibles por usuarios del sis-

tema. Aunado a lo anterior, también se trabajó en una encriptación *end to end*, haciendo uso del cifrado AES128 (Advanced Encryption Standard) con una llave de cifrado de 128 bits (de ahí su nombre). De esta manera, se logra que todos los mensajes se encripten y desencripten únicamente del lado del cliente con las llaves privadas de estos.

Ya que tuvimos todos los chats funcionando de manera correcta para el envío de mensajes y archivos, pasamos a diseñar y desarrollar la lógica necesaria para establecer cuando los clientes de los sistemas se estarían comunicando con el asistente virtual y cuando con un usuario operativo. Para solucionar lo anterior se optó por implementar un modelo de estados para los chats, considerando los siguientes estados posibles:

- Abierto: En este estado el cliente ha mandado una solicitud para conversar con un usuario operativo.
- En atención: En este estado el usuario operativo ha aceptado la solicitud del cliente y se ha unido al chat correspondiente.
- Cerrado: En este estado el usuario operativo ha atendido la incidencia del cliente o le ha dado solución a su situación. Es en este estado cuando el asistente virtual puede comunicarse con el cliente hasta que el mismo cliente decida abrir el chat, es decir, solicitar conversar con un usuario operativo.

Con esta lógica desarrollada, ya solo quedó el integrar el modelo entrenado del asistente virtual para que respondiera los mensajes del cliente, tal y como se describe en la Fig. 6.

Finalmente, el tiempo restante de desarrollo lo dedicamos a pulir detalles visuales o solucionar pequeños bugs que surgieron a la hora de hacer pruebas unitarias y de funcionalidad. Tras casi 4 meses de desarrollo teníamos no solo el MVP listo, sino que también estaba integrado el añadido del Chatbot. En la Fig. 8 podemos observar como luce el chat dentro del sistema del SIGI (Sistema Integral de Gestión de Información). Así mismo, en la Fig. 10, se muestra la versión final del sistema para los usuarios operativos.

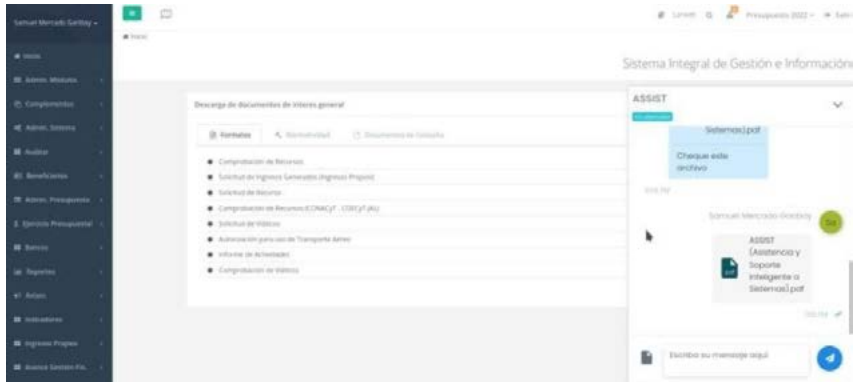


Fig. 8. Implementación del chat en el SIGI.

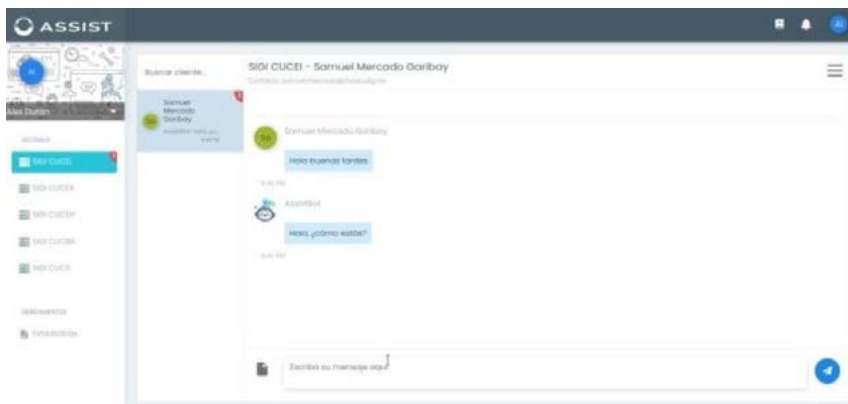


Fig. 9. Versión final del módulo de chats para usuarios operativos.

Por último, en la Fig. 10 se muestra la versión final (y actualmente en producción) del módulo de incidencias y administrativo para los usuarios operativos.

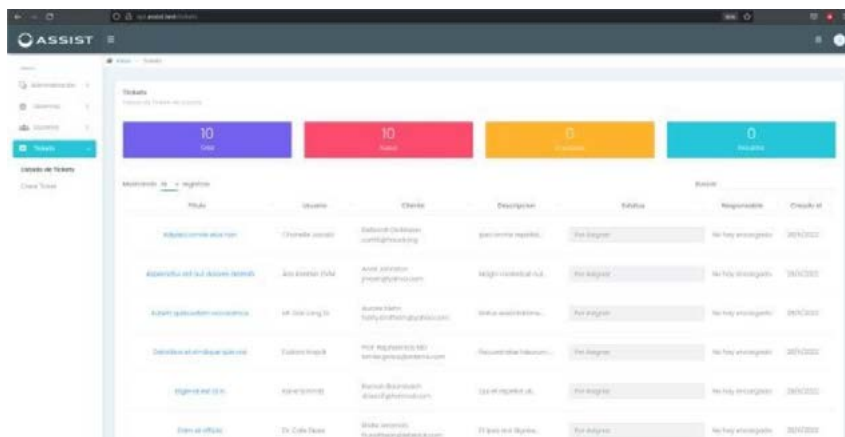


Fig. 10. Versión final del módulo administrativo de incidencias del usuario operativo.

## Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

Empleamos una arquitectura tipo cliente-servidor, basada en microservicios. Dividido en Backend y Frontend, en donde el Backend se conecta a una base de datos relacional desarrollada con MySQL y el Frontend se encarga de mostrar la información necesaria al cliente.

Del lado del Backend, se gestiona la base de datos, la autenticación y una API Restful la cual es consultada por el Frontend (las interfaces del lado del cliente) el cual fue concebido mediante el uso de componentes, toda nuestra aplicación sigue esta filosofía y cada elemento visible en las vistas del cliente es un componente reusable.

La comunicación entre chats está realizada a través de un servidor de Web Sockets, el cual está ligado a ambas partes (*backend* y *frontend*) haciendo uso de canales, de esta manera, cada chat se construye sobre un canal al cual los usuarios y clientes pueden unirse para recibir y mandar mensajes.

El asistente virtual por su parte, funciona como un servicio aparte el cual se comunica con el *Backend* de esta manera, cada petición/mensaje del cliente pasa a través de este antes de llegar al servicio del Chatbot; el cual procesa la información mandada y devuelve una respuesta al cliente (tal y

como se muestra en la Fig. 6). Dejarlo como un servicio a parte nos permite segmentar y dividir de mejor manera el sistema y así crear módulos que sean independientes unos de otros.

Respecto a los lenguajes de programación que utilizamos para realizar el proyecto podemos destacar los siguientes:

- PHP (Para el lado del servidor)
- JavaScript (Para el lado del cliente)
- Python (Para gestionar y controlar al asistente virtual)

La razón por la cual se decidió optar por los lenguajes previamente mencionados es debido a que los frameworks que empleamos están contruidos sobre estos mismos lenguajes, por lo que su conocimiento resulta indispensable para el correcto uso de las herramientas seleccionadas.

En la base de datos diseñada nos encargamos de almacenar la información de los clientes, los usuarios operativos, las conversaciones y las incidencias levantadas (así como todo lo relacionado a estas). Se optó por utilizar una base de datos relacional debido al tipo de problema a resolver, ya que a excepción de los mensajes, el resto de información no estará en constante actualización por lo que las propiedades y características de este tipo de bases de datos se adecúan de manera idónea al problema, además de brindarnos una abstracción mucho más detallada de la estructura del sistema y cómo los usuarios interactúan con este. Esto último se traduce en una mejor sostenibilidad, mantenimiento y escalabilidad del sistema.

Utilizamos la metodología Scrum y metodologías ágiles para el seguimiento del desarrollo de los distintos módulos del proyecto haciendo uso de herramientas de planeación y control de proyectos como Kanban, un diagrama de Gantt y un sistema de control de versiones (Git). La razón detrás de esta metodología fueron los tiempos de entrega y las fechas límite para cada funcionalidad, ya que el modelo de Scrum junto con las metodologías ágiles nos permiten estar desarrollando de manera constante e incremental, lo que permite adecuarnos a las necesidades del cliente y el poder ir liberando las funcionalidades básicas para el funcionamiento del sistema. La comunicación entre miembros del equipo fue fundamental en cada sprint ya que cada semana se realizó una junta para ver avances, solucionar dudas/problemas y planear lo siguiente por resolver o desarrollar.



Una constante retroalimentación entre miembros del equipo permitió un desarrollo más eficiente y enfocado.

Respecto a la documentación, cabe mencionar que pese a hacer uso de la metodología Scrum somos conscientes de que todo software requiere una documentación tanto para los desarrolladores como para los usuarios finales, es por esto por lo que decidimos realizar documentación técnica (compuesta por diagramas UML, diagramas de caso de uso) y manuales de usuario (mostrados y detallados en el apartado de D. Pruebas realizadas y proceso de implementación).

Durante el desarrollo del proyecto, además de realizar continuas integraciones a los repositorios, también se procuró el realizar testing (pruebas al código realizado) tanto unitario como de funcionalidades. Los test realizados cubren tanto aspectos del backend como del frontend, por ejemplo, todas las rutas de la API pasaron a través de distintos tests para corroborar que la información que retornaban o las acciones que realizaban en el servidor eran las correctas. Realizar distintas pruebas a las partes esenciales de nuestro proyecto nos permitió solucionar posibles problemas y bugs, además de mejorar apartados y contemplar casos que no se nos hubieran ocurrido en un primer momento.

## **Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

Se desarrolló un asistente virtual capaz de automatizar las respuestas a las solicitudes de los clientes con base en la retroalimentación de experiencias previas y los manuales de usuario de los sistemas en los que se integra.

El propósito general de este asistente virtual es filtrar todas aquellas peticiones recurrentes y que pueda solucionar aquellos problemas sencillos que, gran parte de las veces, son explicados en la documentación oficial del sistema. De esta manera, logramos dos cosas: aligerar la carga de trabajo de los usuarios de soporte e incitar de manera no invasiva a que los clientes de los sistemas lean la documentación de estos para poder mejorar y reducir este tipo de problemas e incidencias menores.

El asistente virtual fue desarrollado haciendo uso de un *framework* de código abierto llamado RASA debido a que su arquitectura está pensada para el entendimiento de lenguaje humano natural (NLU) y ofrece una amplia documentación para el desarrollo de asistentes virtuales personalizados.

RASA tiene dos componentes principales que lo convierten en uno de los frameworks más utilizados de su segmento, manteniéndolo competitivo ante sus pares:

- RASA NLU: Es una herramienta de comprensión de lenguaje natural, es decir, el lenguaje con el que nos comunicamos diariamente. Esta herramienta de código abierto permite la clasificación de intenciones y la extracción de las entidades en forma de datos estructurados, lo cual ayuda al chatbot a comprender qué se está diciendo y con qué intención se hace.
- RASA core: Es un marco de gestión de diálogo basado en *machine learning* que toma la entrada estructurada del NLU y toma la mejor acción basada en un modelo probabilístico de una red neuronal.

Básicamente RASA interpreta las entradas de los usuarios en forma de datos estructurados y el marco probabilístico de la red neuronal decide tomar el conjunto de acciones definidas para ser realizadas por el chatbot.

Por defecto, el *framework* de RASA cuenta con un modelo para el entendimiento del lenguaje natural en inglés, a través de spaCy (biblioteca de Python para el procesamiento de lenguaje natural), por lo que el grado de precisión respecto a las respuestas era muy inferior. Es por esto por lo que añadimos un modelo de spaCy preentrenado para poder procesar texto en español, con el fin de poder reconocer de una manera mucho más precisa todas aquellas reglas gramaticales, léxicas y semánticas que componen a nuestro idioma.

El entrenamiento preliminar del asistente virtual consiste en retroalimentar al asistente con los manuales de usuario y documentación existente del sistema. Se rescataron palabras clave, enunciados y secciones fundamentales para poder asociarlos con posibles respuestas, las cuales serían links/urls de la misma documentación con la que fue entrenada o texto con instrucciones en el caso de preguntas muy concisas.

Cabe mencionar que gracias a la flexibilidad del modelo sobre el cuál trabaja RASA, fue posible obtener respuestas acertadas con tan solo un entrenamiento del modelo. Lo anterior nos permitió centrarnos en el enfoque de la plataforma sobre la cual se implementó el proyecto. Obteniendo así, un modelo capaz de solventar y responder de manera acertada las cuestiones planteadas en su entrenamiento.

### **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Todo nuestro proyecto está montado en contenedores de Docker para manejar y conectar todos los servicios de una manera segura y no monolítica.

Manejar los principales apartados del sistema como servicios nos permite tener una organización y estructura más clara y sencilla de mantener a largo plazo, además de que dada la posibilidad de que algún servicio falle o se caiga, el resto de servicios y el sistema en general no dejarán de funcionar, por lo que sí se suscitan fallas de esta índole, se pueden identificar y solucionar rápidamente sin dejar de operar. Por otra parte, cabe mencionar que todos estos servicios están conectados a una red interna y que no es accesible fuera de los contenedores, lo que agrega una capa de seguridad importante a la comunicación entre estos servicios.

Además de tener el sistema montado en contenedores, el hecho de tener que realizar un chat en tiempo real, requiere que abordemos una comunicación extra entre los servicios del *backend* y *frontend*.

Para abordar esta situación, se hace uso de Websockets para la comunicación en tiempo real y sincronización de información entre los clientes del chat y los usuarios operativos del sistema. Debido a que el lenguaje de PHP (utilizado en el *backend*) no posee una manera nativa de utilizar Websockets, se optó por hacer uso de Redis [16] y una biblioteca capaz de comunicar los canales de Redis con el backend en PHP, de esta manera, cuando se crea la conexión del *socket* ente el cliente y el servidor, la información enviada del cliente pasa a través del servidor de sockets en node para procesar el evento y luego “replicarlo” al servidor y los otros clientes a través de Redis.

Generando esta comunicación entre los servicios mencionados, se da la funcionalidad de mostrar y actualizar la información en tiempo real a la par de esa misma información se procesa y almacena en el servidor.

### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

El primer punto de partida de nuestro sistema fue su instalación en el Sistema Integral de Gestión e Información (SIGI) un sistema cuyo principal objetivo es brindar y facilitar la administración y gestión de presupuesto en los

centros universitarios de las Universidad de Guadalajara. La instalación se realizó a mediados de noviembre del presente año, por lo que llevamos casi tres semanas operando y podemos rescatar algunos puntos importantes.

Lo primero a destacar es que se logró centralizar y unificar el medio por el cual la mayoría de las incidencias eran reportadas ya que previo a nuestro proyecto, las personas encargadas de brindar soporte al sistema del SIGI recibían el 70 % de las incidencias por correo electrónico, un 20 % por llamadas a la extensión del área y un 10 % a través de mensajes de distintas aplicaciones como WhatsApp, por lo que llevar un registro del origen de las incidencias era una tarea innecesariamente tardada.

En el tiempo que lleva operando este sistema, los casos de llamadas telefónicas y los correos electrónicos bajaron de manera considerable, pasando de tener un aproximado de entre 10 y 15 llamadas al día, a solo un promedio de 3 a 5 llamadas, mientras que los correos electrónicos cesaron en prácticamente su totalidad. En parte esto se debe a que dentro del SIGI se les avisó que se dejaría de dar soporte a través de los medios usados y que si los usuarios necesitaban consultar algo esto debería ser directamente a través del chat que les aparece en su interfaz del SIGI. Aunque de seguro existirán usuarios necios a trabajar de la manera antigua, no cabe duda de que en este aspecto, el sistema realizado ayuda a mitigar este tipo de casos y a filtrar las incidencias menores.

Además de crear un registro de la incidencia, al permitirles a los usuarios de soporte el darle seguimiento a las incidencias también se establece una comunicación más transparente y clara con los clientes, de manera que, ellos saben en qué estatus se encuentra la incidencia que reportaron y quién la está atendiendo. Lo anterior se destaca como un resultado positivo debido a que anteriormente, era complicado reportar a los clientes el estatus de su incidencia ya que por la naturaleza de los propios medios que se empleaban, resultaba ser no solo cansado sino que casi imposible el poder llevar a cabo esta tarea, lo que desembocaba en que los clientes volvieran a comunicarse para solicitar información o incluso volver a reportar una incidencia.

Otro aspecto relevante en el que los usuarios de nuestro sistema se vieron beneficiados fue en que, debido a la recurrencia de los reportes de incidencias, también se logró mejorar la atención que se le daba a la

documentación. Primeramente, con ayuda de las respuestas del asistente virtual, incentivamos a los clientes del SIGI a leer los manuales de usuario correspondientes. Esto permitió detectar deficiencias clave en dichos manuales para que fueran corregidos y mejorados (agregando información más detallada o ilustrando de mejor manera cómo realizar ciertas operaciones/acciones dentro del sistema).

Finalmente, esta misma actualización a los manuales de usuario y documentación del SIGI terminó brindando más material para retroalimentar al asistente virtual permitiendo que la relación previa entre la falta de documentación y las incidencias reportadas disminuyera de manera considerable, lo que se traduce en menos carga de trabajo a nivel de documentación y de seguimiento de incidencias para los usuarios de soporte del área.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Las organizaciones trabajan a través de un conjunto tan amplio de servicios y plataformas que únicamente logran abrumar a sus propios usuarios, llegando a ser contraproducente el uso de las mismas para otorgar asistencia o ayuda virtual. Aun cuando está disponible una extensa y detallada documentación, no todos los usuarios la atienden debido a la urgencia en el resto de sus actividades laborales y a la falta de tiempo para leerla, lo que termina generando más problemas en el proceso de su trabajo y para las personas que se encargan de brindarles atención y soporte.

Con todo esto, el soporte técnico se convierte en una necesidad esencial e indispensable para cualquier organización, empresa o institución que se dedique a brindar servicios. El hecho de poder resolver dudas y problemas de cualquier tipo o índole que acongoja a los distintos usuarios de sus plataformas pasó de ser una actividad humana a un proceso perfectamente automatizable con ayuda de herramientas modernas como lo es la inteligencia artificial en cualquiera de sus vertientes. Los asistentes virtuales (chatbots) han demostrado ser capaces de apoyar y resolver muchos problemas de este tipo, donde el equipo de soporte técnico se puede ver sobrepasado por la cantidad de incidencias y su complejidad.

Proporcionar un soporte básico especializado y rápido que mantiene un control y da seguimiento a todas estas incidencias se ha vuelto la norma

si se quiere entregar un software, por lo que consideramos que este proyecto además de pensarse como una solución hecha por y para miembros de la Universidad de Guadalajara (UDEG), puede ser fácilmente trasladada a un modelo de negocios enfocado en el sector privado, en dónde las empresas/instituciones podrían contratar este servicio y no preocuparse por tener su propio sistema dedicado al soporte.

De acuerdo con los resultados obtenidos y a la experiencia de desarrollo, podemos constatar que nuestra solución propuesta además de cubrir los requerimientos solicitados, también ha sido desarrollada de una manera escalable y generalizada por lo que la implementación de nuestro sistema en otros sistemas termina siendo sencilla y adaptable.

Gracias a la estructura y arquitectura del sistema, además de la metodología de desarrollo empleada (Scrum/Metodologías ágiles) hemos dejado un sistema que además de ser funcional, puede seguir creciendo según lo requieran los usuarios y clientes.

## **Reconocimientos**

A Samuel Mercado Garibay y al área de desarrollo de CUCEI conocida como “DevCUCEI” por haber confiado en nosotros al proporcionarnos este proyecto mediante el cual pudimos poner en práctica muchas de las habilidades y conocimientos que adquirimos a lo largo de nuestra estancia en la Universidad de Guadalajara (UDEG) y a esta misma institución por brindarnos la educación y experiencia necesaria para nuestras futuras vidas laborales como ingenieros en computación.

Nos es grato y congratula el haber participado en este proyecto debido a que no solo se queda como un antecedente académico para nosotros como estudiantes, sino que también estamos ayudando a trabajadores de la Universidad cuya labor resulta fundamental para muchos de los procesos que se tienen que gestionar a nivel financiero dentro de la institución.

## Referencias

- [1] Zendesk, (2022). Zendesk: Software de servicio de atención al cliente y CRM de ventas, Lo mejor de 2022. (accedido el 28 de agosto del 2022).
- [2] LiveAgent, (2022). LiveAgent | Software sencillo de soporte al cliente para equipos (accedido el 28 de agosto del 2022).
- [3] ATlassian, (2022). Jira Service Management. Jira Service Management | Una nueva versión del software de ITSM (atlassian.com) (accedido el 28 de agosto del 2022).
- [4] happyfox. “Software de Mesa de Ayuda | Software de soporte al cliente | Sistema de soporte de tickets”. Help Desk Software | Customer Support Software | Support Ticket System. <https://www.happyfox.com/es/> (accedido el 31 de octubre de 2022).
- [5] Azure Desk. “Azuredesk.co | Customer Service and Helpdesk Ticket Software”. Azuredesk.co | Customer Service and Helpdesk Ticket Software. <https://azuredesk.co/> (accedido el 31 de octubre de 2022).
- [6] “Web widgets (Part 2): Widget him!” chatscope. <https://chatscope.io/blog/web-widgets-part-2-widget-him/> (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [7] Docker. “Home - Docker”. Docker. <https://www.docker.com/> (accedido el 7 de octubre de 2022).
- [8] Laravel. “Laravel - The PHP Framework For Web Artisans”. Laravel. <https://laravel.com/> (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [9] Facebook Open Source. “React – A JavaScript library for building user interfaces”. React – A JavaScript library for building user interfaces. <https://reactjs.org/> (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [10] socket.io. “Socket.IO”. Socket.IO. <https://socket.io/> (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [11] S. Bekar. “Build a Real-Time Chat App with Laravel and React”. Medium. <https://towardsdev.com/build-a-real-time-chat-app-with-laravel-and-react-5cae5a7c22d4> (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [12] RASA. “Open source conversational AI”. Rasa. <https://rasa.com/> (accedido el 28 de agosto de 2022).
- [13] J. Francia Huambachano. “¿Qué es Scrum?” Scrum.org. <https://www>.

scrum.org/resources/blog/que-es-scrum (accedido el 7 de octubre de 2022).

- [14] Kanbanize. “¿Qué es Kanban? Principales características y funciones”. Kanban Software for Agile Project Management. <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos/que-es-kanban> (accedido el 7 de octubre de 2022).
- [15] GitLab. “Issues | GitLab”. GitLab Documentation. <https://docs.gitlab.com/ee/user/project/issues/> (accedido el 31 de octubre de 2022).
- [16] “Documentation | Redis” (2022) Redis <https://redis.io/docs/> (accedido el 8 de diciembre de 2022).





# Capítulo 17

---

## **Sistema de acreditación de carreras**

*Christopher Emmanuel Mejia Garcia*

*Yves Luis Angel Garcia Espinosa*

*Victor Manuel Zamora Ramos*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*christopher.mejia7099@alumnos.udg.mx*

*yves.garcia2918@alumnos.udg.mx*

*victor.zamora@academicos.udg.mx*

## Resumen

En este documento se detallan los requerimientos y el proceso de desarrollo de nuestro proyecto. Describimos el software que desarrollamos y el procedimiento que seguimos para realizarlo. Las organizaciones como CACECA, CACEI y CONAIC realizan una evaluación exhaustiva de los programas educativos de los diferentes planteles para garantizar que se cumplan los estándares de calidad deseados. Nuestro software busca facilitar este proceso, haciendo más sencillo el crear y contestar los cuestionarios que se realizan a los académicos.

## I. Introducción

Las actividades de este proyecto tienen como objetivo crear un software que permite a los académicos evaluar y administrar la acreditación de las carreras de los planteles de educación superior para promover una mejor evaluación hacia los programas educativos, basándonos en los criterios de evaluación de los organismos acreditadores que existen, tales como:

- Consejo de Acreditación de Ciencias Administrativas, Contables y Afines (CACECA).
- Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A. C. (CACEI).
- Consejo Nacional de Acreditación en informática y Computación A. C. (CONAIC).

La evaluación y certificación por parte de un agente externo como los que se nombraron anteriormente busca y garantiza la calidad de los programas académicos a través de estándares de calidad y mecanismos de mejora continua.

Estas certificaciones tienen una fecha de caducidad en la que se vuelve a realizar la evaluación, por lo que nuestro proyecto ayuda a automatizar y reutilizar las plantillas para agilizar el proceso, ya que actualmente se realiza de manera cotidiana sin un formato estándar. Esos formularios no tienen la flexibilidad y la estructura que el coordinador necesita para la reutilización de la plantilla.

Las plantillas y las guías se personalizan de la manera en que el evaluador o coordinador lo necesite, sumando que después de la caducidad de la acreditación se puede volver a reutilizar la plantilla y de esta forma beneficiamos a los alumnos, profesores y a las personas que estén involucradas en la institución de educación superior para asegurar una mejor calidad de los programas educativos.

## II. Trabajos relacionados

Actualmente la evaluación de programas educativos se trabaja de manera manual, redactando el formulario en una hoja de texto. Lo que nosotros proponemos es un sistema en el que se realicen estos formularios de forma digital y automatizada.

Para este proyecto nos basamos en el software Google Forms, que realiza una tarea similar pero no contiene las especificaciones que se nos fueron presentadas por algunos académicos, para generar plantillas de evaluación con mejores cualidades, por ejemplo: la carga y descarga de archivos, generar versiones de una plantilla para su reutilización, diferente tipo de preguntas, ya sea abiertas, opción múltiples, y la clasificación de las preguntas por categorías.

## III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

La metodología con la que se decidió trabajar fue SCRUM, que nos permite el trabajo colaborativo y de forma coordinada, ayuda al equipo a estructurar y gestionar el trabajo mientras se aborda un problema [5].

Comenzamos listando las tareas a realizar colocándolas en el backlog del producto para posteriormente asignarlas a las personas responsables a desarrollar la actividad, la dificultad calificada de cada actividad fue asumida utilizando la secuencia de fibonacci, esto nos ayuda para poder estimar el tiempo que nos llevará en terminar la tarea.

Continuamos con el *backlog* del *sprint* donde una vez por semana realizamos una reunión rápida para comentar sobre la actividad que estamos trabajando y si tenemos algún problema en terminarla. En las reuniones se involucran el equipo de desarrollo y en este caso nuestro tutor, las reunio-

nes deben ser colaborativas para implementar alguna solución que pueda ayudar al equipo y poder eliminar cualquier obstáculo. El líder del proyecto debe tener la habilidad para solucionar problemas y de esta manera buscar que el proyecto avance lo más rápido posible y facilitar el trabajo a los miembros del equipo [16].

Los requerimientos principales del software para el proyecto “Sistema de acreditación de carreras” son los siguientes:

- Tres tipos de roles para los usuarios (director, coordinador, maestro).
- Generar la guía de evaluación de acuerdo con el plantel educativo.
- Generar la plantilla dependiendo de la guía de evaluación con los criterios a evaluar y “n” cantidad de preguntas.
- Tipos de preguntas dinámicas (abiertas, opción múltiple, etcétera).
- Carga de archivos como evidencia.

Se planteó también la idea de que el sistema calculara el puntaje obtenido por la institución según las respuestas dadas, sin embargo, se nos dijo que esto no es viable ya que no es posible saber con antelación cuáles serán los criterios de evaluación para determinar una calificación.

Después de identificar las principales necesidades del proyecto comenzamos con la redacción del modelo de negocio donde identificamos las palabras claves y las necesidades principales del usuario, llegando a un acuerdo con nuestro tutor en la forma de resolver el problema e implementar la solución.

Primeramente se planteó la estructura de la base de datos relacional, donde identificamos las diferentes entidades que necesitamos para cumplir con los requerimientos acordados, las entidades principales identificadas fueron: organismo, plantilla, guía, categoría, subcategoría, pregunta, tipo de pregunta, opciones de pregunta, subpregunta, opciones de subpregunta, evidencia de pregunta, adjunto de pregunta.

Conforme fuimos desarrollando el proyecto, algunas de estas clases fueron eliminadas y reemplazadas por atributos de otras clases y de igual manera nuevas clases fueron agregadas.

Después de identificar las diferentes entidades que llevaría la base de datos procedimos a realizar el diagrama entidad relación en el cual dibujamos las relaciones entre las entidades y escribimos los atributos que llevaría

cada una, por otra parte, identificamos nuevas clases que no propusimos durante la fase anterior. Algunas modificaciones fueron realizadas a este modelo conforme se iban presentando necesidades durante el desarrollo.

Al comenzar la fase de desarrollo del proyecto nos planteamos cuál sería el mejor entorno de desarrollo para este, desde el lenguaje hasta el *framework* que utilizaríamos.

El proyecto se complementa con el *framework* Laravel 8 para el *backend* del sistema, laravel crea toda la estructura de una api con sintaxis elegante y expresiva para crear código de forma sencilla, permitiendo multitud de funcionalidades. Intenta aprovechar lo mejor de otros *frameworks* y aprovecha las características de las últimas versiones de PHP. Utilizando código limpio para una mejor experiencia hacia el desarrollador, aplicando el patrón de diseño (MVC) que nos permite desarrollar el software de una forma modular y mantenible para una mejor escalabilidad [4].

El patrón de diseño (MVC) modelo, vista controlador es comúnmente utilizado para implementar interfaces de usuario, datos y lógica de control. Nos ayuda a separar la lógica de negocio y su visualización, esto nos proporciona una mejora en el mantenimiento para el futuro en el proyecto [18].

Las tres partes del patrón de diseño de software MVC se pueden describir de la siguiente manera:

- Modelo: manejo de datos y lógica de negocios.
- Vista: Se encarga del diseño y presentación.

El modelo define qué datos debe contener la aplicación. Si el estado de estos datos cambia, el modelo generalmente notificará a la vista, para que la pantalla pueda cambiar según sea necesario y en ocasiones el controlador. Haciendo la referencia con nuestro proyecto el modelo especificará qué datos deben tener cada entidad de la base de datos, por ejemplo para las guías (*plantilla\_id*, *programa\_educativo\_id*, *nombre\_coordinador*, *fecha\_inicio*, *status*).

La vista define cómo se deben mostrar los datos de la aplicación. En nuestras vistas del proyecto las diferentes vistas definen como se presenta la lista de organismos, usuarios, guías, plantillas, cuestionarios y recibiría los datos para mostrar desde el modelo.

El controlador contiene una lógica que actualiza el modelo o vista en respuesta a las entradas de los usuarios de la aplicación. Entonces, por ejemplo, nuestra aplicación tiene un formulario de entrada y el botón que nos permite crear, eliminar y editar la guía. Estas acciones requieren que se actualice el modelo, por lo que la petición se envía al controlador, que luego manipula al modelo según corresponda, y posteriormente tenemos la respuesta del servidor que regresa los nuevos datos actualizados a la vista.

Sin embargo, es posible que también se desee actualizar la vista para mostrar los datos en un formato diferente, por ejemplo cambiar la lista de las guías dependiendo de su estatus o fecha de creación. En este caso, el controlador podría manejar esto directamente sin necesidad de actualizar el modelo.

Otra de sus principales ventajas de laravel es que tiene soporte para distintas bases de datos relacionales, incluyendo MySQL y tiene una excelente seguridad para la protección de datos. MySQL, es la más popular base de datos a nivel mundial de código abierto, que nos ayuda de manera rentable a ofrecer aplicaciones con bases de datos escalables y de alto rendimiento.

El proyecto modular se desarrolló con el lenguaje de programación PHP 7.3 que en su momento era el más reciente y tiene mayor rendimiento gracias a su equipo de desarrollo. Adicionalmente, se instaló una librería de PHP llamado PHP-ML precisamente para la inteligencia artificial cuyas características principales son la clasificación, regresión, redes neuronales, agrupación, entre otros.

Por ende, se utilizó un perceptrón multicapa que mapea un conjunto de datos de entrada en un conjunto de salidas apropiadas. Para entrenar el perceptrón proporcionamos los datos en una matriz, donde nuestro dataset se toma de un archivo Excel que está ubicado en la carpeta pública del proyecto. Utilizamos un *helper* llamado CsvDataset quien recibe el *path* del archivo Excel, y ejecutamos otro helper llamado TokenCountVectorizer que transforma una colección de datos de texto en un vector de recuentos de *tokens*. Es una estadística numérica que pretende reflejar que tan importante es una palabra en la colección de datos.

Nuestro archivo cuenta con dos categorías, preguntas y respuestas. Se genera un ciclo para obtener su clave valor y se muestra la frecuencia de cada palabra en la oración, la frecuencia se muestra en números de 0 a 1,

donde 0 se refiere que no existe palabra o mayor 0 donde muestra la frecuencia con la que se repite la palabra.

El helper `StratifiedRandomSplit` ordena en dos grupos el *dataset*, en el grupo de entrenamiento y grupo de pruebas junto con sus valores de frecuencia. Los *helpers* mencionados anteriormente se obtienen de la librería `PHP-ML` que como su nombre lo dice, nos ayudan con la manipulación de los datos.

Para lograr esto el constructor de la clase `MLPClassifier` recibe el número de entrada de capas y un arreglo de configuración de capas ocultas, cada valor representa el número de neuronas en cada capa, un *array* de diferentes datos de entrenamiento y el número de iteraciones, clasificados de la siguiente forma: 4 nodos en capa de entrada, 2 nodos en primera capa oculta y 2 etiquetas posibles.

El objeto instanciado tiene el método llamado *train* donde le pasamos los datos que regresa el *helper* `StratifiedRandomSplit` en 2 arreglos, uno llamado *samples* y otro *targets*. Para los datos de salida se ejecuta el método `predict` que nos regresa la predicción de los datos, en este caso alguna pregunta o respuesta sugerida por la red neuronal [3].

Regresando al tema de `laravel`, para poder iniciar el proyecto de `laravel` primeramente instalamos `Composer`, un gestor de paquetes de `laravel` que nos ayuda a iniciar el proyecto preconfigurado y aparte nos ayudó para instalar todas las dependencias o librerías que usamos en el proyecto [19].

Después de haber instalado el *composer* de manera global en nuestro equipo de cómputo, ejecutamos el comando “`composer create-project laravel/laravel:^8.0 accreditation`” este comando inicializa el proyecto preconfigurado para comenzar a trabajar en él. Posteriormente nos vemos a la ruta del proyecto y ejecutamos el comando “`php artisan serve`” para correr un servidor local y visualizar la vista que viene por default.

Después de visualizar que el proyecto se ejecutó de manera correcta, procedemos con la configuración de la base de datos, esta configuración se realiza en el archivo `.env`, que este archivo su principal función es guardar todas las variables de entorno del proyecto y apartarlas del código principal. Las variables de entorno que utilizamos para la conexión de la base de datos son: `DB_CONNECTION`, `DB_HOST`, `DB_PORT`, `DB_DATABASE`, `DB_USERNAME`, `DB_PASSWORD`.



A las variables de entorno se le asignan sus valores para la configuración de la base de datos, en este caso para `DB_CONNECTION` usamos MySQL, `DB_USERNAME` le asignamos el usuario *root*, `DB_PORT` el que utiliza por default MySQL que es 3306, `DB_HOST` el *host* es el del servidor que configuramos para poder hacer el *deploy* del proyecto, más adelante hablaremos de eso.

Para conectarnos a una base de datos local utilizamos el *host* 127.0.0.1, la variable de entorno `DB_DATABASE` es el nombre de la base de datos a cual nos vamos a conectar en este caso le colocamos “evaluación” y por último `DB_PASSWORD` es la contraseña que utilizamos para realizar la conexión y la protección de los datos.

Existen varios comandos dentro del *framework* de laravel para automatizar las creaciones de los *helpers*, las migraciones, *seeders*, modelos, etc. Por lo tanto, después de hacer la configuración de la base de datos, dentro del proyecto ejecutamos el comando `php artisan make:model "nombre del modelo"`, para realizar todos los modelos de acuerdo con las entidades de la base de datos, posteriormente `php artisan make:migration "nombre de la migración"` para crear la clase de la migración donde agregamos todas las columnas, llaves primarias y foráneas con su relación. Este comando se debe ejecutar las veces que sean necesarias para cada una de las tablas existentes.

Las migraciones nos ayudan a llevar una mejor gestión de la base de datos, en caso de que el proyecto se despliegue en diferentes servidores, solo se ejecuta el comando “`php artisan migrate`” para poder migrar todas las clases relacionadas con su modelo a la base de datos, de esta manera, se optimiza la creación de la base de datos.

Para los controladores ejecutamos el comando `php artisan make:controller "nombre del controlador"` esto nos ayuda a crear la clase donde llevaremos toda la lógica de cada modelo y con la ayuda del ORM de laravel llamado eloquent modificamos los registros de la base de datos de una manera muy sencilla.

Existen varias interfaces de aplicaciones escritas en diversos lenguajes de programación, para acceder a las bases de datos MySQL, incluyendo C, C++, C#, Pascal, Java con una implementación nativa del *driver* de Java, Perl, PHP, Python, Ruby, entre otros; cada uno de estos utiliza una interfaz de programación de aplicaciones específica.

Para la manipulación de los registros en la base de datos utilizamos Eloquent, este se le conoce como un ORM, un mapeador objeto-relacional por sus siglas en inglés, el cual está incluido en Laravel. Al usar Eloquent, cada tabla de la base de datos tiene un “Modelo” correspondiente que se usa para interactuar con esa tabla. Además de recuperar registros de la tabla de la base de datos, los modelos Eloquent también le permiten insertar, actualizar y eliminar registros de la tabla [17].

Para llevar la información y la lógica del programa a las vistas se implementó Blade, una tecnología que incluye laravel, que nos permite utilizar código php en entidades de html para mostrar datos en el navegador. Para la parte del sistema de diseño se implementa la librería de Bootstrap 5 que nos proporciona múltiples componentes e iconos para otorgar al proyecto una buena experiencia de usuario.

Bootstrap es una biblioteca multiplataforma o conjunto de herramientas de código abierto para diseño de sitios y aplicaciones web. Contiene plantillas de diseño con tipografía, formularios, botones, cuadros, menús de navegación y otros elementos de diseño basado en HTML y CSS, así como extensiones de JavaScript adicionales, diferencia de muchos *frameworks* web, solo se ocupa del desarrollo *front-end*. Bootstrap nos ayudó ampliamente a mejorar el aspecto visual de la aplicación [10].

Lo siguiente que hicimos fue crear CRUD (Create, Read, Update, Delete) de todas las clases principales del proyecto, como los organismos, que son los que se encargan de evaluar los programas educativos, dígame CACEI, CACECA y CONAIC, de esta forma, es posible agregar un número indefinido de organismos de ser necesario. También realizamos un CRUD de las plantillas, que son la base para crear los cuestionarios, las plantillas guardan el organismo y la versión de la evaluación que se desea realizar.

Después implementamos las guías, que son cada uno de los modelos de cuestionarios a realizar. Para crear una guía, se escoge una plantilla y se procede a la creación del formulario que será la guía. Las guías están implementadas de tal manera que se dividen en categorías, y en cada categoría se agregan preguntas, esto en un formulario html, las preguntas pueden ser de opción múltiple, abiertas o pueden incluso tener subcategorías, además de que se pueden agregar archivos adjuntos a la pregunta en

caso de ser necesario, esto se implementó usando JavaScript y jQuery para agregar elementos al HTML de forma dinámica.

El guardado de archivos se implementó creando una clase en PHP llamada FileControl que se encarga de administrar el almacenamiento en el servidor, en la clase se utilizó un *helper* que viene por default en laravel llamado Storage que te ayuda a guardar o descargar archivos en memoria.

Para que los archivos sean accesibles desde la web, ya sea leer y editar tuvimos que guardar esos archivos dentro de una carpeta llamada “evidencias” y “adjuntosPreguntas” dentro de la carpeta pública que tiene acceso para cualquier usuario, después de desplegar el proyecto en el servidor tuvimos que cambiar los permisos de los archivos para que puedan ser leídos y modificados por cualquier usuario.

Posteriormente, implementamos el módulo en el que se responden los cuestionarios creados a partir de las guías, estos cuestionarios se crean conforme a las preguntas dadas en la guía, y no existe un límite de cuántos cuestionarios se pueden realizar por guía.

El proyecto modular se montó sobre Ubuntu Server 18.04 (LTS) nos permite adaptar una computadora como servidor, esta no instala una interfaz gráfica de usuario para mayor rendimiento y ahorrar recursos de la máquina, por otra parte, se utilizó Apache FastCGI con la finalidad de proporcionar un servidor seguro, eficiente, con mejor desempeño y extensible que brinde servicios HTTP en sincronía con los estándares HTTP actuales [1].

Para esto se necesitó el acceso *root* al servidor por lo que tuvimos que instalar Apache, PHP-FPM, FastCGI, MySQL y Git en el servidor y también crear algunas configuraciones en los archivos de soporte de nuestro *stack*.

Para la instalación de apache se ejecutó el comando “sudo apt-get install apache2-y”, posteriormente se ejecutó el comando “sudo dpkg -i libapache2-mod-fastcgi\_2.4.7~0910052141-1.2\_amd64.deb” para la instalación de FastCGI, después de las instalaciones se reinició el servicio de apache, con el comando “sudo service apache2 restart”.

Continuamos con la instalación de php y MySQL en el servidor ejecutando el comando “sudo apt-get install php7.3-fpm php7.3-mysql php7.3-mbstring php7.3-curl php7.3-dom-y”.

Continuamos con la configuración de apache, esta configuración se debe habilitar globalmente, tuvimos que crear un archivo de configuración

en nuestra instalación de apache. El archivo de configuración contiene información sobre nuestro PHP Fast Process Manager que apache usa para pasar las solicitudes, ejecutamos el siguiente comando para crear el archivo de configuración “`sudo nano/etc/apache2/conf-available/php-fpm.conf`” y dentro de ese archivo agregamos la versión php que utilizamos.

Después de crear el archivo y guardarlo, se reinició nuevamente el servicio de apache para que tomará la nueva configuración.

Por otra parte, para el *deploy* de nuestro proyecto de laravel en Apache, primeramente instalamos todas las dependencias que se mencionaron anteriormente en nuestro servidor, posteriormente descargamos el proyecto desde un repositorio de *git* y para finalizar configuramos el archivo Virtual Host para apuntar al directorio de nuestro proyecto.

El *deploy* se realiza dentro del path de “`/var/www/html`” y se ejecuta el comando *git clone* para descargar el repositorio remoto al servidor [7].

## A. Repositorio

El proyecto se encuentra alojado en la plataforma de GitHub que se puede revisar a continuación en el siguiente enlace: <https://github.com/ChristopherMejia/ProyectoModular>.

El proyecto se encuentra alojado en una plataforma que se llama “GitHub” que su principal objetivo es llevar un control de las versiones del proyecto, nosotros nos organizamos generando una rama principal llamada “main” esa rama tiene el bloqueo para no hacer *push* directamente en esa rama, al menos que el dueño del repositorio acepte el cambio.

Mi compañero de equipo y yo estuvimos trabajando en ramas distintas para evitar conflictos al momento de hacer *merge* con la rama principal, para la creación de una rama del repositorio usamos el comando “`git branch (nombre de la rama)`” de esta manera cada quien trabaja en la actividad correspondiente.

Cuando se terminaba una actividad subimos los cambios en la rama que estuviéramos trabajando, primeramente utilizamos el comando “`git add`” para agregar todos los archivos modificados en *stage*, posteriormente realizamos el *commit* para dejar algún mensaje respecto al cambio que aplicamos con el comando `git commit -m 'mensaje del commit'` y después

de realizar el *commit* usamos el comando “git push origin (nombre de la rama)” para subir los cambios al repositorio remoto.

Al finalizar, con el despliegue del proyecto en el servidor se realizaron varias pruebas para garantizar que todo esté funcionando y que el flujo de los datos se esté guardando correctamente. Notamos que algunas dependencias del proyecto el servidor no las soportaba y tuvimos que instalar algunas dependencias al servidor, entre ellas estaba la librería de la inteligencia artificial.

Después de que el proyecto ya se podía visualizar en la IP del servidor procedimos a realizar las pruebas de usuario y notamos que al querer guardar archivos y querer descargarlos nos marcaba error de permisos de *root*, tuvimos que acceder al servidor para poder cambiar los permisos de las carpetas con el comando “chmod” y le dimos permisos de lectura y escritura.

Otro detalle que notamos es que el contador de las preguntas no estaba correcto y no se podía eliminar opciones de preguntas, entonces tuvimos que trabajar esos pequeños errores que nos aparecían en las pruebas de flujo.

## **Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

El sistema principal consiste en una aplicación web hecha en PHP, la cual se conecta a una base de datos donde almacenamos los formularios generados por el usuario en distintas tablas. Los usuarios tienen tres tipos de rol mencionados anteriormente, donde con la ayuda de los *middlewares* nos apoyamos para mostrar u ocultar ciertos módulos dependiendo del rol de usuario. El software se desarrolló con lenguaje de programación PHP ya que es el lenguaje con el que tenemos más experiencia y por ende se decidió trabajar con laravel incluso está construido bajo este lenguaje y nos ayuda a trabajar de una manera más óptima y eficiente [12].

Continuando con Laravel 8 es un *framework* de código abierto para desarrollar aplicaciones y servicios web con PHP 5, PHP 7 y PHP 8. Su filosofía es desarrollar código PHP de forma elegante y simple, evitando el “código espagueti”. Fue creado en 2011 y tiene una gran influencia de *frameworks* como Ruby on Rails, Sinatra y ASP.NET MVC.

Gran parte de Laravel está formado por dependencias, especialmente de Symfony, esto implica que el desarrollo de Laravel dependa también

del desarrollo de sus dependencias. En la actualidad ya existen versiones nuevas de laravel, eso quiere decir que sigue en constante optimización y mejora de código.

En la parte de MySQL, laravel viene preconfigurado para utilizar este tipo de base de datos pero tampoco descarta el uso de otros tipos por ejemplo, ya sea PostgreSQL. MySQL es muy utilizado en aplicaciones web como Wordpress y otras grandes empresas, y adaptable en plataformas linux, windows y IOS. Su popularidad como aplicación web está muy ligada a PHP, que a menudo aparece en combinación con MySQL.

MySQL es una base de datos muy rápida en la lectura cuando utiliza el motor no transaccional MyISAM. En aplicaciones web hay baja concurrencia en la modificación de datos y en cambio el entorno es intensivo en lectura de datos, lo que hace a MySQL ideal para este tipo de aplicaciones. Sea cual sea el entorno en el que va a utilizar MySQL, es importante monitorizar de antemano el rendimiento para detectar y corregir errores tanto de SQL como de programación.

Así mismo, estamos usando el patrón de diseño MVC (modelo, vista, controlador), donde en el modelo se representan los datos, en la vista se hace la presentación del modelo de datos y el controlador se encargará de manejar y enrutar las peticiones de los usuarios, ciertamente trabajar con el patrón MVC nos ayuda a realizar cambios sin que otras partes del desarrollo se vean afectados además de ser el patrón de diseño con el que trabaja Laravel. Con la ayuda del framework se crean los modelos o clases que hacen referencia a cada entidad de la base de datos, la razón principal por la que se decidió trabajar con MySQL, es que Laravel nos ayuda con su ORM llamado Eloquent a realizar las consultas e inserciones de una manera más rápida y sencilla [4].

De igual forma, Laravel incluye un motor de plantillas llamado Blade, todas las plantillas de blade se compilan en código PHP simple, que nos ayuda a manejar todas las vistas de lado del *frontend* y son renderizadas usando un *helper* global llamado *view*. Nos apoyamos también de la librería Bootstrap para agregar estilos más amigables, iconos, modals, alerts etc. y mejorar la experiencia para el usuario. Para la manipulación del DOM estamos usando JavaScript (ECMAScript 6) con el cual estamos usando *callbacks* de manera asíncrona para las peticiones hacia el servidor con su función llamada “fetch” que soporta todas los métodos HTTP [11].

Decidimos trabajar con la metodología SCRUM ya que uno de sus principales beneficios es tener un ritmo de trabajo sostenible pues nos da la oportunidad de adaptarnos a los problemas que se presenten y así lograr concretar el objetivo principal de una manera colaborativa y organizada, consiguiendo el mejor resultado posible y maximizando el valor del producto entregado [6].

Scrum es un marco de trabajo para desarrollo ágil de software que se ha expandido a otras industrias. Es un proceso en el que se aplican de manera regular un conjunto de buenas prácticas para trabajar colaborativamente, en equipo y obtener el mejor resultado posible de proyectos, caracterizado por:

- Adoptar una estrategia de desarrollo incremental, en lugar de la planificación y ejecución completa del producto.
- Basar la calidad del resultado más en el conocimiento tácito de las personas en equipos auto organizados, que en la calidad de los procesos empleados.
- Solapar las diferentes fases del desarrollo, en lugar de realizar una tras otra en un ciclo secuencial o en cascada.

Para el control de versiones del proyecto utilizamos Git que es un software de control de versiones diseñado por Linus Torvalds, pensando en la eficiencia, la confiabilidad y compatibilidad del mantenimiento de versiones de aplicaciones cuando estas tienen un gran número de archivos de código fuente. Su propósito es llevar el registro de los cambios en archivos de computadora incluyendo coordinar el trabajo que varias personas realizan sobre archivos compartidos en un repositorio de código.

Al principio, Git se pensó como un motor de bajo nivel sobre el cual otros pudieran escribir la interfaz de usuario. Sin embargo, Git se ha convertido desde entonces en un sistema de control de versiones con funcionalidad plena. Hay algunos proyectos de mucha relevancia que ya usan Git, en particular, el grupo de programación del núcleo Linux.

GitHub es una plataforma de desarrollo colaborativo para alojar proyectos utilizando el sistema de control de versiones Git. Se utiliza principalmente para la creación de código fuente de programas de ordenador. El software que opera GitHub fue escrito en Ruby on Rails. GitHub es

una herramienta que nos ayuda con la gestión de control de versiones de los proyectos y es fundamental para la construcción de software hasta el día de hoy.

## **Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

La implementación de una red neuronal en el proyecto ayuda a los usuarios a tener una experiencia más personalizada al predecir las respuestas que se implementarán en el formulario, por ejemplo, las redes neuronales pueden comprender datos no estructurados y pueden reconocer que dos oraciones de entrada diferentes tengan un significado similar.

Por esta razón, la librería PHP-ML de inteligencia artificial desarrollada en PHP nos ayuda a implementar este requerimiento en nuestro proyecto, recibiendo en el constructor las capas de entrada, las capas escondidas, los datos de entrenamiento y los métodos para entrenar el perceptrón y el método de la predicción de los datos de salida [3].

Esto a fin de acelerar el proceso de creación del cuestionario ya que la mayoría de las preguntas suelen ser repetitivas, por lo tanto, tendría más sentido emular o memorizar ciertas características propias de las preguntas. Así consideramos una red neuronal que corrija o sugiera palabras de forma automática mediante el análisis de su comportamiento de escritura.

## **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

En este módulo se implementó la arquitectura cliente - servidor, para repartir la tarea del servidor y el cliente. El cliente realiza las peticiones al servidor y este regresa una respuesta. De esta manera, tenemos la ventaja de un sistema operativo multiusuario distribuido a través de una red de computadoras local.

Se tomó la decisión de implementar esta arquitectura porque el proyecto está enfocado para el plantel de la Universidad de Guadalajara donde los usuarios tengan la facilidad de acceder a los recursos con poca trascendencia en el esquema y solo tengan un mecanismo central de autenticación.

De esta manera, tenemos los recursos centralizados para que la necesidad de administración sea menor y por otro lado evitamos la redundancia e in-



consistencia de la base de datos. El mantenimiento es sencillo si la estructura está bien determinada así la persona encargada del servidor puede saber qué cosas conservar y que no. Otro beneficio es que puede crecer en gran magnitud tanto los usuarios como los recursos dependiendo de la red.

La arquitectura cliente servidor tiene dos partes claramente diferenciadas, por un lado la parte del servidor y por otro la parte de cliente o grupo de clientes donde lo habitual es que un servidor sea una máquina bastante potente con un hardware y software específico que actúa de depósito de datos y funcione como un sistema gestor de base de datos o aplicaciones.

En esta arquitectura el cliente suele ser estaciones de trabajo que solicitan varios servicios al servidor, mientras que un servidor es una máquina que actúa como depósito de datos y funciona como un sistema gestor de base de datos, este se encarga de dar la respuesta demandada por el cliente. Esta arquitectura se aplica en diferentes modelos informáticos alrededor del mundo donde su propósito es mantener una comunicación de información entre diferentes entidades de una red mediante el uso de protocolos establecidos y el apropiado almacenamiento de la misma [8].

Para esta infraestructura se llevó a cabo la configuración del *stack* llamado LAMP en el servidor (Linux, Apache, MySQL y PHP). Utilizando Ubuntu 18.04 que es la última versión más estable que nosotros pudimos usar como servidor.

Un *stack* LAMP es un conjunto de cuatro tecnologías de software diferentes que los desarrolladores utilizan para crear sitios web y aplicaciones web. LAMP es un acrónimo del sistema operativo Linux, el servidor web Apache, el servidor de base de datos MySQL y el lenguaje de programación PHP. Estas cuatro tecnologías son de código abierto, lo que significa que son mantenidas por la comunidad y están disponibles gratuitamente para que cualquiera las utilice.

Los desarrolladores utilizan pilas LAMP para crear, alojar y mantener el contenido web. Es una solución popular que impulsa muchos de los sitios web que se utilizan comúnmente en la actualidad. Los desarrolladores web eligen una pila LAMP para crear aplicaciones web por las siguientes razones.

Costo: Todas las tecnologías LAMP son de código abierto, lo que significa que cualquier desarrollador o empresa puede utilizarlas sin tener

que pagar tarifas de licencia. En lugar de comprar componentes de pila propietarios, puede descargar el sistema operativo, el servidor web, la base de datos y el lenguaje de *scripts* de forma gratuita. Esto reduce el costo de creación de aplicaciones web.

**Eficiencia:** La configuración de una nueva pila de desarrollo web requiere pruebas rigurosas de diferentes marcos, módulos, bibliotecas y herramientas. Por otro lado, una pila LAMP es una solución de desarrollo web probada y comprobada. Los desarrolladores web pueden priorizar y acelerar el desarrollo de aplicaciones para centrarse en lo que están creando en lugar de en cómo lo están creando.

**Mantenimiento:** Los expertos en software de todo el mundo contribuyen al desarrollo de las tecnologías de pilas LAMP cambiando, comentando y revisando los códigos fuente disponibles públicamente. Mantienen y actualizan regularmente las tecnologías para que sigan siendo relevantes y seguras.

**Soporte:** Las tecnologías populares de código abierto, como las pilas LAMP, cuentan con el apoyo de una gran comunidad de TI global. Por lo tanto, los usuarios de la pila LAMP pueden encontrar información con mayor facilidad en los foros públicos de TI. Los desarrolladores web pueden consultar códigos de ejemplo o utilizar complementos probados creados por la comunidad de código abierto.

**Flexibilidad:** Una pila LAMP ofrece fiabilidad y flexibilidad a los desarrolladores web. Si bien la arquitectura LAMP especifica los componentes de software para cada capa, los desarrolladores pueden sustituirlos como mejor les parezca. Por ejemplo, pueden utilizar otro sistema operativo además de Linux como base de la pila [9].

Apache FastCGI con PHP-FPM es una de las mejores *stacks* para alojar aplicaciones PHP. Este *stack* tiene una configuración un poco más compleja comparado con el LAMP básico pero tiene mejor desempeño. Apache enviará todos los archivos PHP para su procesamiento a FPM y luego devolverá la salida renderizada al navegador. De esta manera, es como va trabajar nuestro servidor [2].

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Al término de este proyecto logramos obtener una interfaz de usuario donde existen varios módulos en los cuales se puede, crear, editar, eliminar y mostrar los registros de forma paginada; comenzando por el módulo donde se crearon los usuarios y se les asignó un rol para cada uno, el módulo que más destacó fue donde se agregaron los organismos de evaluación como: CACECA, CACEI y CONAIC [13], [14] y [15].

Por otra parte existe el módulo donde se agregó un programa educativo y se seleccionó su tipo de nivel ya sea técnico, licenciatura o ingeniería que es el que se evaluó como ejemplo y por último existe el módulo de plantillas con la que se pueden crear diferentes formularios o plantillas para la evaluación específica de un programa educativo.

Para comenzar se asignó un coordinador que lleva el proceso de los criterios a evaluar y crea las preguntas necesarias para llevar a cabo la evaluación correcta del programa educativo. Dentro de la misma plataforma la plantilla se contestó por algún profesor que se le asignó la evaluación y también pudo subir archivos para adjuntar alguna evidencia acerca de una pregunta en específico.

Una vez terminada la plantilla en ser contestada, el coordinador pudo revisar las respuestas y decidir si es acreditada o no el programa educativo, de igual manera la plantilla que ya está creada se puede reutilizar para evaluar otros programas educativos.

#### **V. Conclusiones y trabajo a futuro**

Con este proyecto esperamos que los académicos puedan realizar la tarea de evaluación de carreras de forma más rápida y eficaz.

Creemos que nuestro proyecto tiene potencial de mejorar en ciertas áreas, como la visual, ya que el diseño es un aspecto que pusimos en segundo plano, detrás de la funcionalidad, a la que le dimos mayor importancia.

Hicimos este proyecto pensando en que fuera escalable, es decir, que se pudieran agregar módulos y funcionalidades en un futuro, esto lo dejamos en manos de la institución en caso de que así lo requiriera.

Esperamos que este documento sirva de apoyo para el futuro mantenimiento de nuestro programa.

### **Reconocimientos**

Se reconoce el apoyo en todo momento al profesor Victor Zamora de la Universidad de Guadalajara, que desde un inicio estuvo con nosotros para plantear las bases del proyecto y estuvo en todo el proceso del desarrollo para aclaración de dudas y toma de decisiones importantes para llegar a concluir este proyecto.

## Referencias

- [1] S. Ramani. “How to Deploy Laravel Project with Apache on Ubuntu”. DEV Community. <https://dev.to/sureshramani/how-to-deploy-laravel-project-with-apache-on-ubuntu-36p3> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [2] A. Sojitra. “How to Deploy Laravel Project with Apache on Ubuntu”. Interserver.net. <https://www.interserver.net/tips/kb/deploy-laravel-project-apache-ubuntu/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [3] A. Kondas. “Home - PHP-ML - Machine Learning library for PHP”. Home - PHP-ML - Machine Learning library for PHP. <https://php-ml.readthedocs.io/en/latest/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [4] “Laravel - The PHP Framework For Web Artisans”. Laravel - The PHP Framework For Web Artisans. <https://laravel.com/docs/8.x/installation> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [5] “What is Scrum?”. Scrum.org. <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [6] “GitHub.com Documentación de la Ayuda”. GitHub Docs. <https://docs.github.com/es> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [7] “Apache Virtual Host documentation - Apache HTTP Server Version 2.4”. Welcome! - The Apache HTTP Server Project. <https://httpd.apache.org/docs/current/vhosts/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [8] A. Schiaffarino. “Modelo cliente servidor: ¿Qué es? Características, ventajas y desventajas”. Infranetworking. <https://blog.infranetworking.com/modelo-cliente-servidor/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [9] “¿Qué es LAMP Stack? - LAMP Stack - AWS”. Amazon Web Services, Inc. <https://aws.amazon.com/es/what-is/lamp-stack/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [10] “Bootstrap”. Bootstrap · The most popular HTML, CSS, and JS library in the world. <https://getbootstrap.com/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [11] “Using the Fetch API - Web APIs | MDN”. MDN Web Docs. [https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Fetch\\_API/Using\\_Fetch](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Fetch_API/Using_Fetch) (accedido el 26 de agosto de 2022).

- 
- [12] “Laravel - the PHP framework for web artisans”. Laravel - the PHP frameworkforwebartisans. <https://laravel.com/docs/8.x/middleware#introduction> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [13] “Servicio de acreditación de programas académicos - caceca”. CACECA - Agencia Especializada en Programas Educativos. <https://www.caceca.org/servicios/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [14] “Cacei”. CACEI. <http://cacei.org.mx/nvfs/nvfs02/nvfs0210.php> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [15] “CONAIC. Consejo nacional de acreditación en informática y computación A.C. CONAIC. Consejo Nacional de Acreditación en informática y Computación A.C. <https://www.conaic.net/> (accedido el 26 de agosto de 2022).
- [16] A. Raeburn. “Scrum masters: What are they and what do they do?” Asana. <https://asana.com/es/resources/scrum-master> (accedido el 8 de diciembre de 2022).
- [17] “Laravel - the PHP framework for web artisans”. Laravel - The PHP Framework For Web Artisans. <https://laravel.com/docs/9.x/eloquent> (accedido el 8 de diciembre de 2022).
- [18] “MVC - glosario de MDN web docs: Definiciones de términos relacionados con la web | MDN”. MDN Web Docs. [https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/MVC#:~:text=MVC%20\(Modelo-Vista-Controlador,de%20negocios%20y%20su%20vis%20ualizaci3n](https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/MVC#:~:text=MVC%20(Modelo-Vista-Controlador,de%20negocios%20y%20su%20vis%20ualizaci3n) (accedido el 8 de diciembre de 2022).
- [19] N. Adermann y J. Boggiano. “Composer”. Composer. <https://getcomposer.org/> (accedido el 8 de diciembre de 2022).



# Capítulo 18

---

## **Punto y coma;**

*Paulina Sánchez López*

*Nicolas Gómez Álvarez*

*Hilario Raygoza Gutiérrez*

*Patricia del Rosario Retamoza Vega*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*paulina.sanchez7442@alumnos.udg.mx*

*nicolas.gomez4936@alumnos.udg.mx*

*hilario.raygoza4946@alumnos.udg.mx*

*patricia.retamoza@academicos.udg.mx*



## Resumen

Nuestro proyecto modular tiene como objetivo automatizar y facilitar el flujo de trabajo para los empleados, usuarios y personal administrativo de una cadena de restaurantes. Mediante trabajo asíncrono, realizamos una aplicación web, usando una arquitectura de microservicios con el lenguaje Golang y Python para el backend; JS y Bootstrap para el *frontend*; PostgreSQL y MongoDB como bases de datos; Docker para contenedores y Kubernetes para orquestar. Se implementaron múltiples tipos de usuarios y diferentes establecimientos en localidades reales, se agregó el sistema de pedidos físicos y a domicilio, se puede obtener información de los pedidos realizados para su análisis por los administradores, los cuales pueden gestionar los productos y establecimientos; desarrollamos un sistema de clasificación de imágenes con un 70 % de precisión. Planificar el proyecto nos permitió dividir el trabajo y realizarlo eficientemente, pero, por la falta de experiencia, nos retrasamos en ciertos módulos.

## I. Introducción

En el siguiente documento pretendemos explicar sobre el desarrollo de nuestro proyecto modular, el cual consiste en una aplicación web con diseño responsivo que permite llevar el control y el funcionamiento interno de restaurantes, abarcando las áreas de gestión de establecimientos, empleados y ventas, así como la opción de utilizar el servicio de pedir alimentos a domicilio.

Una cadena de restaurantes ha tenido problemas en la administración de sus sucursales, en la gestión de ventas; al ser una gran cantidad de restaurantes, no tienen forma rápida de acceder a la información de estos, como es la ubicación, cantidad de mesas, empleados que trabajan en cada establecimiento, así como tampoco tienen una forma eficaz de visualizar y analizar las ventas de todas sus sucursales, lo que hace evidente que el flujo de trabajo dentro de los establecimientos es ralentizado por la falta de comunicación entre los empleados del mismo, ya sea que no se entienda correctamente la orden cuando se notifica por parte de los meseros a la cocina o no se entienda claramente el pedido, lo cual resulta en problemas

para la empresa. Asimismo, al momento de realizar las cuentas, suele haber errores con el precio total, lo cual afecta a las ventas, además de que, realizar las cuentas al final del día resulta en una pérdida de tiempo. Otra cosa que han visto es que algunos de sus establecimientos tienen pocas ventas en comparación con el resto.

Este proyecto está enfocado para los empleados de una cadena de restaurantes, como son cocineros, meseros y gerentes, también para el personal administrativo y el dueño de la empresa. Por último, también va dirigido a usuarios en general que quieran realizar pedidos a domicilio de los productos que ofrecen los restaurantes o simplemente quieran ver los productos ofertados.

El proyecto permitirá a la empresa mejorar la gestión de sus establecimientos, empleados y ventas, mejorará el flujo de trabajo entre los empleados y, además, ofrecer servicio a domicilio permitirá incrementar sus ventas, así como tener presencia en internet.

Decidimos realizar este proyecto porque nuestra compañera Paulina Sánchez López tiene experiencia trabajando en restaurantes, por lo que nos basamos en sus conocimientos al momento de identificar el problema y ofrecer una solución, además de que, por las características del mismo, nos permitirá obtener cierta experiencia que nos ayudará a realizar proyectos similares.

El proyecto aporta los siguientes beneficios:

- Mejorar el flujo de trabajo y la comunicación de los empleados.
- Automatización al momento de hacer llegar los pedidos a la cocina y el registro de ventas.
- Permite la gestión de establecimientos, mesas, direcciones, productos y empleados.
- Permite visualizar las ventas y filtrar la información para un mejor análisis.
- Da presencia en internet a la empresa, lo cual permite atraer más consumidores.
- Permitir realizar pedidos a domicilio.
- Analizar las ventas realizadas mediante gráficas utilizando diferentes filtros.
- Sistema de búsqueda de productos por su imagen o nombre.

Los principales objetivos del proyecto son los siguientes:

- Agilizar el flujo de trabajo y la comunicación entre los diferentes tipos de empleados.
- Llevar un control transparente de las ventas de los diferentes establecimientos y tipos de pedidos.
- Ofrecer una rápida actualización del menú de productos de los diferentes establecimientos.
- Gestionar los establecimientos dentro de ellos mismos y sus elementos.
- Brindar servicios de pedidos a domicilio para llegar a más usuarios.
- Permitir la opción a los usuarios de tipo administrativo de analizar las ventas realizadas mediante gráficas, utilizando diferentes tipos de filtros.
- Gestionar la información de los empleados y los trabajos que han desempeñado.
- Proporcionar diferentes maneras de buscar platillos.
- Presentar los servicios y productos ofertados de forma amigable y agradable.
- Accesibilidad por parte de cualquier persona al sitio web para visualizar el menú.
- Ofrecer un servicio rápido y eficaz a los clientes.
- Mantener una coordinación efectiva entre los diferentes tipos de empleados.
- Brindar una nueva alternativa a los negocios enfocados al servicio de restaurantes enfocándonos en resolver todas las necesidades del mercado dentro de la misma plataforma.
- Innovar la forma en que se realizan los pedidos de comida a domicilio, dándole la oportunidad a diferentes negocios de ser reconocidos por el público en general dentro del mismo lugar.

## II. Trabajos relacionados

### A. Uber Eats

Nuestra aplicación tiene cierta relación con Uber Eats, los usuarios pueden ver los menús, pedir el servicio de alimentos, pedidos a domicilio y la recepción de estos, y pagar sus pedidos a restaurantes que estén afiliados a la plataforma a través de la página web. Sin embargo, no se encargan de la gestión de empleados y establecimiento, tampoco maneja pedidos dentro del establecimiento realizados por mesero.

### B. Flipsnack

Es un software para hacer menús de restaurantes, que permite diseñar menús muy atractivos de forma sencilla, tiene una variedad de plantillas de menú para elegir. Nuestra aplicación también tiene la capacidad de gestionar menús, pero Flipsnack no es capaz de gestionar los demás aspectos de un restaurante, como lo son los pedidos a domicilio, la administración de empleados, etc.

### C. Glop Software TPV

Es un software TPV (Terminal Punto de Venta) creado para ser utilizado en diferentes tipos de negocios, es especialmente apto para las pantallas táctiles. Gestiona compras y ventas. Gestión de inventario. Esta aplicación no se especializa en restaurantes, por lo que, el área de la administración del personal no está cubierta.

## III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

Mediante trabajo asíncrono, realizamos la mayoría del proyecto. También nos reunimos por videollamada para discutir aspectos del proyecto, presentar dudas y posibles soluciones a los problemas encontrados durante la realización del mismo, utilizamos Jira para designar las tareas y Git para

que cada integrante subiera sus aportaciones a los repositorios de GitHub, para esto dividimos el trabajo en etapas.

La primera etapa consistió en definir los requerimientos del proyecto y tecnologías a utilizar a partir de un texto que describe el negocio, el cual se basó en la experiencia de la integrante del equipo del proyecto modular “Paulina Sánchez López”.

La segunda etapa consistió en desarrollar la aplicación y crear pruebas unitarias y de integración, para ello seguimos los principios de desarrollo SOLID [13], lo cual nos permitió realizar mocks de las funcionalidades para poder testear los módulos de forma separada sin necesidad de crear y eliminar constantemente una base de datos para pruebas, pero también agregamos algunas pruebas de integración para garantizar que los queries que creamos funcionaran correctamente.

La tercera etapa consistió en testear de forma manual la aplicación mediante Postman y desde la interfaz del frontend.

Por último, la cuarta etapa consistió en el despliegue de la aplicación usando Docker, Kubernetes y agregar tolerancia a fallas y escalabilidad al sistema en la nube de Google, por lo que optamos por utilizar Google Kubernetes Engine.

Primeramente, se comenzó con identificar un problema, al que posteriormente se le dio una solución y a partir de ella se empezó a crear la documentación, comenzando con definir un mini mundo, en donde se explicaba a detalle lo que se quería que la aplicación hiciera, a partir de eso se definieron los requisitos funcionales y no funcionales, para posteriormente empezar con los diagramas. El primero fue un diagrama de entidad relación, luego uno relacional y varios diagramas de caso de uso.

Se decidió manejar una arquitectura de microservicios [14] para poder trabajar los módulos de forma independiente, los módulos utilizados son los siguientes:

- Módulo de usuarios (API gateway): contiene toda la información relacionada a los usuarios, además de manejar los permisos de acceso de los mismos; funciona como puente de entrada para interactuar con los otros módulos [1], [14].
- Módulo de información: contiene la información sobre establecimientos, mesas y productos.

- Módulo de pedidos: permite realizar y administrar los pedidos, tanto a domicilio, como en el establecimiento. También se encarga de realizar los pagos en PayPal.
- Módulo de direcciones: se encarga de almacenar y validar las direcciones, así como también de buscar el establecimiento más cercano a una dirección al momento de realizar un pedido.
- Módulo de IA: se encarga de analizar y procesar imágenes para determinar el producto, permite realizar búsquedas de productos mediante imágenes.

Identificamos los diferentes tipos de usuario que maneja la aplicación, los cuales son:

- Usuario no registrado
- Usuario registrado
- Usuario de cocina
- Mesero
- Gerente
- Administrador
- Dueño

Durante la primera etapa, definimos los siguientes requisitos funcionales:

- Gestión de establecimientos, cada establecimiento tiene una ubicación física.
- Agregar y eliminar mesas de los establecimientos.
- Gestión de productos, cada producto posee un nombre, descripción, precio, imagen y una base.
- Autocompletado en la creación de productos a partir de la imagen del producto subida utilizando el módulo de clasificación de imágenes.
- Gestión de direcciones, en donde se proporcionan los datos de calle y número, colonia, ciudad, estado, país y código postal. Todas las direcciones se validan en el servidor mediante la API de Google Maps para garantizar que existe la locación.
- Contratación de empleados mediante un correo electrónico, en donde se indica el rol con el que se contratará, salario en MXN y un establecimiento al que será asignado, en caso de ser requerido.

- Despedido de usuarios mediante correo electrónico.
- Registro y *log in* de usuarios. Para ello se proporciona un correo electrónico válido y una contraseña de ocho caracteres o más, con al menos una mayúscula, una minúscula, un carácter especial y un número.
- Actualización de información personal y de empleado, en donde se puede asignar una imagen, RFC, NSS, nombre y fecha de nacimiento.
- Historial de trabajos, en donde se muestran todos los trabajos que ha tenido dentro de la empresa y se describe la fecha de inicio, fecha de fin si aplica, estado (activo o inactivo), el rol, salario y establecimiento en caso de aplicar.
- Historial de propinas de meseros, en donde se muestran las propinas recibidas durante la quincena actual y pasada, así como también tiene la opción de obtener las propinas en determinadas fechas.
- Verificación de cuenta de usuario mediante un código enviado al correo electrónico.
- Creación de pedidos a domicilio. Los usuarios registrados podrán realizar un pedido en donde se indicarán los productos y la cantidad de estos, además de una dirección de entrega.
- Pago de pedidos. Para poder validar la creación de un pedido a domicilio se deberá realizar el pago correspondiente mediante PayPal, cuando se confirme el pago se comenzará a procesar el pedido en la cocina del establecimiento más cercano a la ubicación de entrega.
- Creación de pedidos en establecimientos. Estos son realizados por meseros y se indica una mesa, una vez iniciado un pedido, se pueden añadir más productos mientras este no se complete y cuando se agregan son enviados a la cocina de forma automática, la mesa seleccionada deberá estar disponible y en caso de que así sea, se marcará como ocupada.
- Búsqueda de productos por imagen. Los usuarios podrán subir una imagen o tomar una foto para realizar la búsqueda del producto y, en caso de existir, serán devueltos todos aquellos productos que coincidan con el producto base.
- Búsqueda avanzada de empleados, en donde se puede filtrar información por nombre, correo, rol y establecimiento.
- Listar menú de productos, en donde se muestran todos los detalles de los productos disponibles.

- Análisis de ventas mediante gráficas a partir de los resultados obtenidos de una búsqueda de pedidos.
- Gestor de ventas, en donde se puede filtrar la información de las ventas mediante el tipo de pedido, establecimiento, fecha y precio total.
- Historial personal de pedidos, en donde se muestran los pedidos a domicilio que ha realizado el usuario y se puede filtrar la información por fecha y precio total.
- Gestión de pedidos para los meseros y cocina.

Utilizamos Golang como nuestro lenguaje de programación principal por su simplicidad y alta eficiencia, además de permitirnos utilizar concurrencia de forma nativa, lo cual evita bloqueos al realizar ciertas operaciones como los envíos de correos electrónicos o consultas muy específicas en la base de datos para el procesamiento de los pedidos a domicilio.

Para desarrollar los módulos del backend con Golang, utilizamos el *framework* de Echo [9], el cual nos permite construir aplicaciones web robustas y con microservicios las cuales tienen un alto rendimiento y cubren todos los aspectos necesarios para su funcionamiento, como son las herramientas de monitoreo, sistema de rutas, middleware, manejador de errores entre otros. También utilizamos el ORM de Gorm [10], el cual nos permite comunicar nuestra aplicación con la base de datos y manejar las operaciones necesarias (*queries*) de forma más legible, eficiente y segura que manejando transacciones y operaciones por cuenta propia.

Los módulos del *backend* con Golang cuentan con un controlador, el cual se encarga de recibir y validar los datos que llegan al *end point* mediante peticiones de tipo *rest*, después son pasados al servicio correspondiente en donde son procesados y desde ahí se consulta, o realizan operaciones en la base de datos llamando al paquete de almacenamiento dependiendo de lo que sea necesario realizar, sin embargo, también se pueden llamar desde el servicio a otros módulos (microservicios) para realizar diferentes operaciones o consultar datos de otras bases de datos. El módulo de usuarios es el único en donde se implementó un *middleware* para la autenticación y autorización de los usuarios, ya que es el módulo que sirve de api gateway [1], en dicho módulo también se implementó un manejador de errores, de esta manera, podemos notificar mediante los *logs* los problemas del



servidor o de la petición, los cuales pueden ser filtrados por su gravedad, además de permitir responder con el código de respuesta correspondiente y un mensaje que incluye solo la información requerida para notificar del error, mientras que en la consola se muestra el error completo para su posible debug en caso de ser un error del servidor y no ser un error por parte del usuario que realiza la petición.

Consideramos que la seguridad es uno de los elementos más importantes, por lo que utilizamos métodos de encriptación de datos al momento de almacenar y obtener las contraseñas de los usuarios, también, en caso de los pagos delegamos la seguridad de los datos a aplicaciones de terceros como son PayPal y en la aplicación solo se guarda la referencia al pago, así como también la información referente al pedido. Para asegurar el correcto funcionamiento del sistema, implementamos pruebas unitarias y de integración, así como también testeamos de forma manual la interfaz gráfica realizada en html para el *frontend*.

Empezamos desarrollando el módulo de usuarios para implementar un Gateway que nos permitiera administrar y gestionar los permisos y seguridad de la aplicación hacia el resto de módulos.

Una vez desarrollado el módulo fuimos agregando nuevos paquetes que nos permiten realizar la comunicación con el resto de módulos del proyecto, primeramente, empezamos con el de información para poder gestionar los productos, establecimientos y dar la posibilidad de contratar nuevos tipos de usuarios.

Luego procedimos con el módulo de direcciones, el cual en un principio se utilizó PostgreSQL como base de datos, sin embargo, al momento de realizar queries de tipo geoespacial nos encontrábamos con problemas de rendimiento y con *queries* muy complejos, por lo que después de realizar investigaciones y varias propuestas, optamos por cambiar la base de datos a una no relacional, por esto utilizamos MongoDB. Este cambio fue sencillo de implementar ya al seguir los principios de desarrollo SOLID y manejar microservicios [13], [14].

Nuestra aplicación permite realizar grandes cambios modificando los paquetes encargados de manejar las bases de datos sin afectar a la lógica del negocio, en cambio, realizar estos cambios nos ayudó a simplificar los queries y obtener consultas más eficientes también, nos permitió optimi-

zar más los costos, ya que para nuestra aplicación podíamos utilizar el nivel gratuito de MongoDB Atlas.

Posteriormente desarrollamos el módulo de pedidos, para ello utilizamos PayPal para realizar los pagos y gestionar las diferentes vistas de los pedidos dependiendo del usuario que consulte dicho pedido.

Para la clasificación de imágenes [6] utilizamos redes neuronales convolucionales. Este proceso se dividió en dos etapas, la de entrenamiento y la de procesamiento, durante la etapa de entrenamiento utilizamos Google Colab con Keras para entrenar nuestro modelo, contábamos con un set de datos de 71 000 imágenes (1000 imágenes por clase y 71 clases), en donde utilizamos transferencia de aprendizaje [5] con la red MobilNet2 y técnicas de aumentación de datos para mejorar el resultado de nuestro modelo entrenado [4].

Una vez completado este proceso descargamos el modelo en formato .tflite para poder utilizarlo en nuestro módulo de clasificación con python, en donde optamos por utilizar Keras Lite para hacer más ligero el contenedor de la aplicación lo cual nos permite optimizar recursos y costos en la nube de Google, ya que el proceso de despliegue y escalabilidad es más ligero y rápido al utilizar contenedores de menor tamaño.

En el *frontend* optamos por utilizar Bootstrap con HTML, CSS y JS, en un principio teníamos planeado subir el *frontend* en un servidor con Golang, sin embargo, utilizamos módulos en JS para hacer más legible y escalable nuestro código de la vista, los cuales no eran compatibles con el *server* estático que Golang ofrece, por lo que optamos por utilizar Nginx, el cual sí permite este tipo de estructura de proyectos con JS y de igual manera su despliegue era fácil de realizar con Docker y Kubernetes, de esta manera, logramos implementar el servicio del frontend para ser desplegado posteriormente en la nube de Google.

Se utilizaron peticiones de tipo REST para comunicar el *front-end* con el *back-end* al módulo de usuarios (API Gateway [1]), de esta manera, controlamos la seguridad en un mismo módulo y podemos replicarlo gracias al uso de contenedores con Docker y Kubernetes, se utilizó el protocolo GRPC para comunicar los módulos entre sí de forma más rápida, por lo que creamos varios buffers con protoc [7], [8] para permitir la comunicación entre diferentes módulos utilizando esta tecnología.

Un reto al que nos enfrentamos por utilizar este tipo de peticiones fue el uso de diferentes versiones en cada módulo, por lo que también creamos un repositorio en donde se almacenan todos los proto buffers utilizados por los módulos. Así, garantizamos que todos utilicen la versión que sea necesaria para funcionar y comunicarse con el resto de módulos sin importar su lenguaje de programación.

Utilizamos PostgreSQL como el motor de bases de datos principal, por ser uno de los motores más populares y eficientes que existen actualmente, cada módulo tiene su propia base de datos (patrón de diseño de base de datos por servicio [2]), esto para garantizar que los servicios estén acoplados de forma flexible y permitir que los cambios en la base de datos de un servicio no afecten a ningún otro servicio, así como también permitir el uso de múltiples tipos de bases de datos. También utilizamos MongoDB para el servicio de direcciones, ya que permite utilizar tipos de datos geoespaciales y de esta manera poder obtener de forma eficiente el establecimiento más cercano a una dirección de entrega [11], además de permitir la posibilidad de, en un futuro, implementar más funciones dependiendo de las zonas como pueden ser promociones o analizar las ventas por regiones.

Para desarrollar el módulo de IA nos basamos en el *dataset* de food-101 [3], el cual contiene 101 clases de comidas diferentes y cada clase contiene mil imágenes, sin embargo, por ellas mismas no obtuvimos buenos resultados, por lo que utilizamos varias técnicas de aumentación de datos y transferencia de aprendizaje para mejorarlos [4], [5]. También se redujo la cantidad de clases a solo 71, logrando una precisión del 70 %.

Cada módulo tiene su propio repositorio, y cada repositorio pertenece a nuestra organización llamada “modular-project” [12], en donde se encontrarán todos los repositorios utilizados para el proyecto.

Cada repositorio tiene un archivo yml que permite desplegar la aplicación mediante kubernetes y crear una imagen Docker del módulo, para administrar los secretos utilizamos GitHub Secrets, además de utilizar los secretos de Kubernetes para proteger la información sensible al momento de subirla a la nube, mediante GitHub Actions [17] permitimos que al momento de integrar los cambios en la rama principal, de forma automática se creará la imagen de docker y se subiera el registro de Google para

posteriormente ser desplegada en nuestro servidor de Google Kubernetes Engine, lo cual nos dio la posibilidad de agilizar el proceso de despliegue y actualización de nuestra aplicación, también servirá para en un futuro si necesitamos cambiar el servidor, solamente realizar algunos cambios y podremos tener las funciones de integración y distribución continua sin invertir nuevamente mucho tiempo en la configuración.

Gracias al uso de Docker y kubernetes podemos agregar tolerancia a fallas a nuestra aplicación, así como también escalabilidad, replicando los contenedores a medida que sea necesario y desplegar la aplicación de forma más fácil y rápida, sin tener que instalar las dependencias de los módulos.

A medida que desarrollamos una funcionalidad de un módulo, íbamos generando pruebas unitarias y de integración para garantizar que todo funcionará como se espera y, para esto, utilizamos el desarrollo guiado por pruebas (TDD).

Una vez terminado el desarrollo del proyecto, llevamos a cabo varias pruebas mediante Postman y mediante la interfaz de usuario para comprobar que todo funcionara correctamente. Por último, utilizamos GitHub Actions para permitir la integración y despliegue continuo de la aplicación en Google Kubernetes Engine y adquirimos un dominio en name.com con certificado SSL para implementar el protocolo HTTPS.

En un principio desplegar la aplicación con Google Kubernetes Engine (GKE [15]) nos supuso un reto, ya que ninguno de los integrantes tenía experiencia utilizando servicios de Google Cloud o de la Nube en general, para ello realizamos varias investigaciones en la documentación oficial de Google Cloud, ahí aprendimos y logramos configurar correctamente nuestro proyecto para ser desplegado en la nube, para ello, primeramente nos encargamos de gestionar los permisos para acceder a nuestro servicio de GKE.

En un principio utilizamos claves de tipo usuario/contraseña para que nuestros secretos de GitHub para permitir la comunicación con el servidor, sin embargo, por motivos de seguridad para evitar compartir información sensible optamos por utilizar los servicios de Identity and Access Management (IAM), en donde creando un tipo especial de usuario configurado para solo recibir peticiones desde nuestro repositorio de GitHub logramos implementar un mayor nivel de seguridad y facilidad al momento de comunicar nuestro repositorio con los servicios de Google Cloud.

Posteriormente, utilizamos el servicio de Artifact Registry para almacenar nuestras imágenes de Docker, decidimos utilizar este servicio en vez de utilizar repositorios en Docker Hub por temas de optimización al momento de comunicar el clúster de GKE con nuestras imágenes de Docker [15].

Una vez que todo esto funcionó empezamos a desarrollar nuestro clúster principal, el cual en un principio utilizó el modo autopilot de GKE. Sin embargo, nuestras imágenes al ser muy ligeras y eficientes por utilizar Golang, no se veían del todo beneficiadas por este modelo, ya que al momento de crear una réplica de un módulo, esta es creada con más recursos de los que son necesarios, ya que los clústers en autopilot requieren de mínimo de 250 mb de memoria RAM y un mínimo de 250 m de CPU [18]; por lo que, para optimizar los costos y sacar más provecho del escalamiento Horizontal que nos ofrece kubernetes, optamos por cambiar al clúster standard, el cual nos dio una mayor capacidad de configuración y nos permitió crear réplicas más ligeras que consumen menos recursos.

Para administrar las bases de datos utilizamos los servicios de SQL Cloud, en donde creamos una instancia con la configuración mínima, la cual era suficiente para crear y gestionar todas nuestras bases de datos, así como también tenía el espacio suficiente (10 GB) para almacenar toda la información obtenida durante la fase de pruebas y despliegue, ya que al normalizar todas las tablas optimizamos en gran medida el uso de almacenamiento de la base de datos lo que se traduce en una mayor reducción de costos a largo plazo, para poder utilizar estas bases de datos en nuestros módulos, utilizamos el proxy de autenticación de SQL Cloud [19].

Para la base de datos en MongoDB Atlas no hubo muchos problemas en configurarla para aceptar la comunicación con nuestros servicios en GKE, solamente configuramos la dirección IP privada y utilizamos las credenciales desde los secretos de Kubernetes para conectarnos con nuestro clúster de Mongo.

Una vez tenemos todos los servicios activos en GKE en una red privada, necesitamos crear un *entry point* para permitir que los usuarios utilicen la aplicación a través de internet, para ello configuramos un Ingress, el cual redirige las peticiones a los servicios del backend al api gateway mediante la ruta `/api/v1/*`, en cambio, si la ruta era `/*` entonces, la petición era enviada al servicio del frontend.

De esta manera, el servicio de usuarios (*api gateway*) era el único servicio del *backend* expuesto a internet, mientras que el resto de módulos se encontraban dentro de la red privada, accesibles mediante internet, solamente se podían acceder a ellos directamente desde el clúster principal de la red del proyecto de Google Cloud, por lo que tenemos un sistema con mucha seguridad.

En un principio cuando realizamos el Ingress y pensábamos que ya todo estaba listo para permitir que los usuarios accedan a nuestra aplicación mediante internet, no logramos acceder a la aplicación y el Ingress se encontraba con que nuestros servicios no estaban en funcionamiento, sin embargo, desde la consola de GKE todo parecía bien.

Después de mucho investigar, logramos encontrar el problema. Resulta que para que se considere un servicio en buen estado o funcionando, el servicio debe implementar una ruta o función para comprobar su estado, estos son conocidos como “health check”, por lo que teníamos que implementar estas pruebas en todos nuestros módulos, implementarlo para el *frontend* y el módulo de usuarios fue fácil, ya que bastaba con que la petición a la ruta / regrese una respuesta con código de estado 200 (OK).

Sin embargo, para los módulos que implementan el protocolo GRCP, había que implementar un par de elementos adicionales, los cuales eran definir un servicio llamado Health que exportará los métodos de Check y Watch (para peticiones con *streaming*), para ello nosotros utilizamos las librerías oficiales de Golang para implementarlo, la cual ofrecía las interfaces necesarias para realizar las pruebas, de esta manera, logramos hacer que finalmente nuestros servicios se encontrarán con un estado en funcionamiento para el Ingress de GKE.

Por último, después de comprobar que podíamos acceder a nuestra aplicación mediante una IP, ahora queríamos que fuera accesible mediante un nombre de dominio, además de encriptar el tráfico de datos utilizando HTTPS con SSL, por lo que utilizamos los servicios de name.com, los cuales nos proporcionaban un nombre de dominio personalizado y certificados SSL [16].

De esta manera, permitimos que nuestra aplicación fuera accesible de forma más fácil, ya que ahora no se tenía que escribir la IP, sino simplemente ingresar el nombre de dominio; también bloqueamos las peticiones

HTTP, para solo permitir peticiones seguras con HTTPS, de esta manera, evitamos que la información de los usuarios se vea comprometida al usar el protocolo por defecto.

## **Modulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas**

Utilizamos los siguientes lenguajes de programación:

- Golang: como lenguaje principal para el desarrollo del *backend*.
- Python: para el desarrollo del módulo de IA.
- Nginx: utilizado como servidor web del *frontend*.
- Bootstrap, JS y HTML: en el *frontend* para la interfaz y la comunicación con el *backend*.
- Docker: crear contenedores para el despliegue de la aplicación.
- Kubernetes en Google Kubernetes Engine: para la gestión de contenedores.

Utilizamos las siguientes bases de datos:

- PostgreSQL: principal motor de base de datos.
- MongoDB: para almacenar información referente a direcciones.

Decidimos utilizar una metodología en cascada por ser sencilla de implementar y porque se adapta a nuestras necesidades. También utilizamos Jira para designar las tareas de cada integrante.

Implementamos integración y despliegue continuo mediante GitHub Actions [17] para ahorrar tiempos al momento de integrar nuevas funcionalidades.

Utilizamos los siguientes elementos de ingeniería de software:

- Requisitos funcionales y no funcionales
- Análisis de requerimientos
- Diagramas de caso de uso
- Diagramas entidad relación
- Diagrama relacional
- Diagrama secuencial

## Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes

Utilizamos redes neuronales para desarrollar un módulo que permite clasificar imágenes de comida, de esta manera, los usuarios podrán buscar platillos cuyos nombres no conozcan o sean difíciles de escribir, solamente tomando una foto o subiendo una imagen. También, al momento de que un administrador agregue o actualice un producto, obtendrá de forma automática una recomendación sobre el tipo de platillo que está por agregar al sistema.

Nuestro modelo funciona de la siguiente manera. Primero escalamos la resolución de la imagen a 254x254, le aplicamos filtros de rotación, zoom, giro en horizontal y recortes, después ajustamos la imagen para ser enviada a la red preentrenada de mobilenet 2, a la salida de la red le hacemos un *pooling* y *dropout*, posteriormente lo pasamos por una red *flatten* y por último por una red convolucional para obtener la clasificación de imágenes.

Consideramos que utilizar redes neuronales convolucionales para clasificar imágenes es la opción más óptima a utilizar [6], ya que ofrece un alto grado de precisión, además de disponer de una gran cantidad de documentación y ejemplos, también son uno de los algoritmos más utilizados para el procesamiento de imágenes.

## Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos

Usamos una arquitectura de microservicios para poder dividir el proyecto en módulos, y de esta manera dividir de mejor forma el trabajo entre los integrantes del equipo. También hicimos esto para dar la posibilidad de escalar los módulos del sistema que lo necesiten, por lo que utilizamos Docker y Kubernetes para replicarlos al momento de desplegarla. Además, nos ofrece una alta tolerancia a fallas, ya que si un contenedor falla, existen varias réplicas del mismo, por lo que la tarea solo es enviada a uno que se encuentre activo.

Kubernetes nos permite definir los puntos de entrada y puertos a la aplicación, lo cual nos facilitó el trabajo a la hora de mantener la seguridad y comunicación entre los módulos de la aplicación.



También utilizamos el patrón de diseño de base de datos por servicio [2] para, de esta manera, ofrecer más seguridad a los datos y una mayor disponibilidad, porque si una base de datos se cae las otras seguirán operando, además de que, gracias a uso de este patrón, podemos implementar diferentes tipos de bases de datos, en nuestro caso utilizamos dos tipos: PostgreSQL, por ser una de las más utilizadas y ofrecer un alto rendimiento a la hora de realizar consultas y MongoDB, por su capacidad de almacenar datos geoespaciales, que nos permitió dar un mejor servicio en cuanto a las direcciones como es la función de obtener el restaurante más cercano a una ubicación [11].

Utilizamos el modelo cliente servidor para conectar múltiples usuarios con nuestra aplicación web, en donde además cada módulo de la aplicación se comunica con otros utilizando el protocolo GRPC por su alta eficiencia al momento de transmitir datos, además de soportar múltiples lenguajes de programación entre los que están Golang y Python [7, 8].

Comunicamos el *frontend* con el *backend* utilizando API REST con el protocolo HTTP por su facilidad de implementación y alta aceptación entre sistemas web, del mismo modo, comunicamos nuestra aplicación con servicios externos como PayPal, Google Maps, Gmail y Google Drive mediante peticiones REST con HTTP.

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Se logró desarrollar un sistema capaz de soportar la demanda de múltiples usuarios y escalar a medida que se necesite, además de implementar tolerancia a fallas gracias al uso de contenedores y clústers en Google Cloud con Google Kubernetes Engine.

Se implementaron medidas de seguridad para garantizar la integridad de los datos, además de que, al usar el patrón de base de datos por servicio podemos asegurar una mayor disponibilidad del sistema.

Dentro del sistema, cada tipo de usuario tiene sus permisos y responsabilidades, por lo que la interfaz solo muestra al usuario lo que puede hacer.

Hasta el momento, se ha obtenido una precisión del 70 % en nuestra red neuronal para clasificar imágenes de comida.

Se lograron implementar los pedidos por meseros, como los pedidos realizados a domicilio por usuarios y que todos los pedidos sean procesa-

dos por la cocina más cercana, así como también pueden ser analizados por los usuarios de tipo administrador.

Se logró asignar roles a los establecimientos para ser administrados u operados por los usuarios que pertenecen a este, pero también se pueden administrar por usuarios de tipo administrador en caso de ser necesario.

Se implementó un sistema de gestión de establecimientos para administrar tanto a los usuarios como a las mesas.

El sistema de direcciones permite obtener el establecimiento más cercano a una ubicación dada.

Se pueden analizar las ventas realizadas filtrando por tipo de venta (física o a domicilio), rango de precio total por venta, establecimientos seleccionados y rango de fechas, también se puede ordenar la información por precio total, fecha y tipo de pedido.

Se implementaron dos tipos de pagos, en pedidos a domicilio se puede realizar pagos utilizando PayPal y en los pagos realizados por meseros se utilizan pagos con dinero en efectivo.

Se muestran las ventas realizadas en forma de filas y de forma gráfica, permitiendo filtrar la información por tipo de pedido, establecimiento, periodo de tiempo, rango de precios y estado.

Se logró implementar un sistema de propinas para los empleados de tipo mesero, en donde el mesero y los usuarios de nivel administrativo pueden acceder a las propinas que se han obtenido en un determinado periodo de tiempo.

El sistema permite actualizar la información personal de cada empleado registrado, datos como el RFC y el número de seguro social.

Se implementó el protocolo HTTPS para ofrecer mayor seguridad a los datos que se envían al servidor y proteger en mayor medida información sensible como son las contraseñas e información de pago.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

1. En primera instancia, empezamos desarrollando el proyecto utilizando programación funcional, pero nos dimos cuenta que esto creaba muchas dependencias entre los módulos, por lo que cambiamos a programación orientada a objetos basándonos en los principios de SOLID [13], lo cual nos dio más flexibilidad a la hora de desarrollar el proyecto.

2. Nuestra primera versión de los diagramas ER cambiaron un poco respecto a la versión final, esto se debió a que cuando empezamos no sabíamos ni habíamos investigado cómo utilizar servicios externos como PayPal y Google Maps, lo cual derivó en tener que volver a plantear los módulos que utilizan dichos servicios y retrasó el desarrollo, por lo que es mejor primero aprender a utilizar nuevos servicios para luego implementarlos.
3. Nos dimos cuenta de la importancia de planear bien todo el proyecto desde un inicio, de esta manera, solo debemos seguir los pasos que ya habíamos decidido, aunque no se puede asegurar que todo saldrá como se espera y, por eso, también es importante que nuestro proyecto sea escalable, por si algo no sale como esperábamos, poder cambiarlo de forma rápida sin afectar las otras partes del proyecto.
4. No planeábamos utilizar en un principio diferentes tipos de bases de datos, sin embargo, cuando tratamos de implementar una función para encontrar los restaurantes más cercanos a una dirección de forma eficaz, nos dimos cuenta que lo mejor sería migrar la base de datos a MongoDB, ya que tiene funciones para realizar este tipo de consultas y gracias a la arquitectura del proyecto esto no representó ningún obstáculo.
5. Al haber dividido el proyecto en microservicios [14], es fácil agregar nuevas funcionalidades, como puede ser agregar pagos de forma automática a los empleados.
6. Un sistema de recomendación de platillos puede ser agregado utilizando redes neuronales como la LSTM u otros métodos de inteligencia artificial.
7. El módulo de direcciones permite poder realizar *queries* complejos que abarquen ciertas zonas para ofrecer descuentos o promociones especiales.
8. Es posible implementar un sistema de predicción de ventas utilizando *machine learning*, a partir de la información obtenida y procesada del módulo de pedidos.
9. Se puede mejorar el módulo de clasificación de imágenes para ofrecer un mayor nivel de precisión agregando funciones y estrategias para corregir a la inteligencia artificial cuando se equivoca.

10. Se pueden validar algunas de las entradas de información personal, como el RFC y el número de seguro social, ya que tienen un formato bien establecido.
11. Podríamos utilizar otro tipo de red neuronal o método de inteligencia artificial para que el sistema aprenda cuando se equivoque en la predicción de las imágenes, ya que en este momento la precisión es del 70 % y la predicción puede fallar. Actualmente el sistema no aprende de esta situación y es lo que se puede mejorar.
12. Debido a que el sistema puede ser adaptado a cualquier tipo de restaurante, se podría hacer una guía indicando los pasos que seguimos para editar la página web, así como detalles técnicos para que las modificaciones sean sencillas.

## **Reconocimientos**

Agradecimientos a nuestra tutora Patricia del Rosario Retamoza Vega por apoyarnos en la realización del proyecto, así como a la documentación.

Agradecimientos al profesor Carlos Alberto Villaseñor Padilla por aclarar nuestras dudas y darnos consejos a la hora de desarrollar el módulo de IA.

## Referencias

- [1] “Microservices Pattern: API gateway pattern”. microservices.io. <https://microservices.io/patterns/apigateway.html>
- [2] “Microservices Pattern: Database per service”. microservices.io. <https://microservices.io/patterns/data/database-per-service.html>
- [3] “Food 101”. Kaggle: Your Machine Learning and Data Science Community. <https://www.kaggle.com/datasets/dansbecker/food-101>
- [4] “Data augmentation | TensorFlow Core”. TensorFlow. [https://www.tensorflow.org/tutorials/images/data\\_augmentation](https://www.tensorflow.org/tutorials/images/data_augmentation)
- [5] “Transfer learning and fine-tuning | TensorFlow Core”. TensorFlow. [https://www.tensorflow.org/tutorials/images/transfer\\_learning](https://www.tensorflow.org/tutorials/images/transfer_learning)
- [6] “Image classification | TensorFlow Core”. TensorFlow. <https://www.tensorflow.org/tutorials/images/classification>
- [7] “Protocol Buffer Basics: Go | Protocol Buffers | Google Developers”. Google Developers. <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/gotutorial>
- [8] “Language Guide (proto3) | Protocol Buffers | Google Developers”. Google Developers. <https://developers.google.com/protocol-buffers/docs/proto3>
- [9] “Guide | Echo - High performance, minimalist Go web framework”. Guide. <https://echo.labstack.com/guide/>
- [10] “GORM Guides”. GORM. <https://gorm.io/docs/index.html>
- [11] “Near MongoDB Manual”. MongoDB: The Developer Data Platform. <https://www.mongodb.com/docs/manual/reference/operator/query/near/>
- [12] “Modular-project”. GitHub. <https://github.com/modular-project>
- [13] S. Oloruntoba. “SOLID: Los primeros 5 principios del diseño orientado a objetos”. DigitalOcean. The developer cloud. [https://www.digitalocean.com/community/conceptual\\_articles/s-o-l-i-d-the-first-five-principles-of-object-oriented-design-es](https://www.digitalocean.com/community/conceptual_articles/s-o-l-i-d-the-first-five-principles-of-object-oriented-design-es)
- [14] C. Richardson, *Microservices Patterns: With Examples in Java*. Manning Publications, 2018.
- [15] “Google Kubernetes Engine documentation”. Google Cloud. <https://cloud.google.com/kubernetes-engine/docs>

- [16] “SSL FAQs”. name.com. <https://www.name.com/support/categories/200296828-ssl>
- [17] “GitHub Actions Documentation. GitHub Docs”. <https://docs.github.com/en/actions>
- [18] “Resource requests in Autopilot”. Google Cloud. <https://cloud.google.com/kubernetes-engine/docs/concepts/autopilot-resource-requests>
- [19] “Connect from Google Kubernetes Engine”. Google Cloud. <https://cloud.google.com/sql/docs/mysql/connect-kubernetes-engine>



# Capítulo 19

---

## **Sistema estudiantil para el aprovechamiento y difusión de programas laborales en CUCEI**

*Andrés Sánchez Salcedo*

*Brandon Fernando Laureano Hernández*

*Fernando René Moran García*

*Thelma Isabel Morales Ramírez*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*andres.sanchez7910@alumnos.udg.mx*

*brandon.laureano4919@alumnos.udg.mx*

*fernando.moran4791@alumnos.udg.mx*



## Resumen

Hay un problema acerca del desperdicio de oportunidades debido a la escasez del mantenimiento de las plataformas actuales. El objetivo del proyecto es facilitar la información al alumno respecto a las diferentes oportunidades profesionales. Este se llevó a cabo haciendo uso de la metodología SCRUM donde la base de datos se desarrolló utilizando MySQL la cual conecta directamente con una API REST implementada en Node.js encargada de brindar información a la aplicación de React apoyada de una IA realizada en Python. Como consecuencia se obtuvo una plataforma que ayuda al alumnado a conocer las oportunidades laborales para un mejor desarrollo como profesionales obteniendo una mejor experiencia al postularse a alguna oportunidad ofrecida por el centro, aumentando el índice de solicitantes por parte del alumnado académico. La inclusión de las tecnologías de la información como esta en la automatización de procesos administrativos y sociales proporciona una mejora sustancial para los usuarios.

## I. Introducción

Un sistema laboral estudiantil es un programa que busca facilitar la incorporación de estudiantes en el mercado laboral, proporcionándoles oportunidades de trabajo que puedan complementar su formación académica y profesional. Estos sistemas suelen estar dirigidos a estudiantes universitarios o de centros de formación profesional, y pueden incluir prácticas en empresas, programas de becas, trabajos remunerados, entre otros. Los sistemas laborales estudiantiles tienen diversos objetivos, que pueden variar dependiendo de la región o país en el que se implementen.

Algunos posibles objetivos de un sistema laboral estudiantil pueden ser: Proporcionar a los estudiantes la oportunidad de adquirir experiencia laboral relevante para su formación académica y profesional; ayudar a los estudiantes a desarrollar habilidades y competencias que les resulten útiles en el mercado laboral; facilitar el acceso de los estudiantes a empleos que puedan complementar su formación académica y mejorar sus perspectivas de empleabilidad; y contribuir al desarrollo económico local y regional mediante la generación de empleo y la inversión en talento local.

Los sistemas laborales estudiantiles suelen ser promovidos y administrados por instituciones públicas o privadas, como universidades, gobiernos, centros de formación profesional, empresas, entre otros. Estos programas pueden ofrecer diferentes modalidades y beneficios a los estudiantes, como becas, remuneración, capacitación, etcétera. En resumen, un sistema laboral estudiantil es una herramienta valiosa para facilitar la incorporación de estudiantes en el mercado laboral, ayudándolos a adquirir experiencia y habilidades que les serán útiles en su vida profesional. Actualmente se encuentran diversas herramientas para que los alumnos se postulen a las oportunidades profesionales brindadas por el Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI) lo cual genera confusión debido a la falta de información que existe de estas herramientas provocando un desaprovechamiento de oportunidades y un desgaste por parte de la administración a la hora de dar soporte y mantenimiento de estas herramientas de difusión.

Con el fin de brindar acceso oportuno a los alumnos sobre la información de oportunidades laborales y académicas, se propuso realizar un sistema de software que proporcione las herramientas suficientes al personal administrativo de la institución que permita difundir las oportunidades a las cuales los estudiantes pueden postularse; además de contribuir con una serie funciones que ayuden al personal a gestionar las ofertas y los perfiles de los postulantes. Se ha incluido un asistente (chatbot) que permite a los usuarios realizar una navegación más certera y evita que viajen entre páginas perdiendo el objetivo de la búsqueda y proporcionando información aún más asertiva respecto a sus preferencias o decisiones. El proyecto fue desarrollado empleando los lenguajes de programación JavaScript y Python, para la parte funcional correspondiente al sistema, y se utilizó HTML y CSS para el diseño de la plataforma; asimismo se desarrolló un modelo relacional MySQL para la creación e implementación de la base de datos. A través de este sistema se tiene como objetivo que los estudiantes de CUCEI tengan un mayor aprovechamiento de las oportunidades, optimizando las tareas de difusión, acceso y uso de la plataforma.

## II. Trabajos relacionados

Algunas plataformas a mencionar las cuales realizan trabajos similares son LinkedIn [1], Indeed [2] e InfoJobs [3]. Las cuales se encargan de presentar oportunidades laborales para diversos puestos de trabajo en diversas áreas, esto con el fin de reducir esfuerzos por parte de los usuarios a la hora de realizar una búsqueda y de la misma forma disminuir la carga de trabajo hacia la administración y mantenimiento de las plataformas, brindando una herramienta con una interfaz intuitiva que posee diversos recursos para su correcto desempeño. Proporcionando una forma directa de postulación a vacantes profesionales con perfiles adecuados elaborados por los mismos usuarios que sirven a su vez como un recurso para que las empresas puedan decidir qué usuario es apto para la vacante anunciada, pudiendo a su vez por parte de los usuarios subir elementos como currículums que les servirán como comprobante de su experiencia laboral aumentando la probabilidad de obtener la vacante de interés.

Estas plataformas tienen un objetivo general similar al del proyecto, sin embargo, tienen también objetivos específicos diferentes, esto debido a que se dirigen aun público distinto. Los resultados que las plataformas obtuvieron son una forma mucho más directa y eficiente de establecer contacto entre empresa y empleado para obtener una vacante laboral. Así como, obtener empleados mejor capacitados para los puestos, y también una mejor forma de organización de información entre los diversos puestos laborales, al igual que organización entre los datos de los usuarios que se postulan a una vacante. Así, se obtiene una herramienta no solo capaz de proporcionar oportunidades sino de mejorar aspectos como disponibilidad, eficacia, accesibilidad, fácil mantenimiento, ahorro de tiempo, aprovechamiento de oportunidades y mayor rendimiento.

Otros trabajos que se relacionan a este sistema laboral estudiantil alrededor del mundo y que poseen objetivos similares al proyecto realizado son los siguientes: Programa de becas empleo joven, un programa del gobierno español que ofrece becas a jóvenes de 18 a 30 años para que realicen prácticas en empresas y adquieran experiencia laboral; Programa de prácticas en empresas, es un programa que se ofrece en algunas universidades y centros de formación profesional, en el que los estudiantes

pueden realizar prácticas en empresas relacionadas con su carrera; Programa de servicio civil es un programa del gobierno chileno que ofrece a jóvenes de 18 a 25 años la oportunidad de trabajar en instituciones públicas y adquirir experiencia laboral; Programa de verano, es un programa que se ofrece en algunas empresas y organizaciones, en el que los estudiantes pueden trabajar durante el verano y adquirir experiencia laboral en distintas áreas; Programa de estímulo a la práctica profesional es un programa del gobierno de México que ofrece a estudiantes de carreras técnicas y tecnológicas la oportunidad de realizar prácticas en empresas.

Cada uno de estos programas poseen cualidades similares a los objetivos principales de la plataforma desarrollada a diferencia de que los objetivos del proyecto a largo plazo son diferentes a los de los programas descritos anteriormente. Sin embargo, estas diferencias son las que hacen necesarias a plataformas como la que se desarrolló, ya que no todos los estudiantes poseen el mismo tipo de preparación, ni todos los programas van orientados a las administraciones de las instituciones tanto académicas como empresariales.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se usó la metodología SCRUM, debido al beneficio que este tipo de metodología le da al proyecto y a los desarrolladores, pues tiene ciertas ventajas sobre otras metodologías, por ejemplo, da mayor flexibilidad y adaptabilidad, ya que SCRUM permite a los equipos de desarrollo ser más flexibles y adaptables a los cambios en las necesidades del proyecto y del mercado; mejora en la calidad y la satisfacción del cliente, debido a que promueve un enfoque iterativo e incremental en el desarrollo de software, lo que puede ayudar a mejorar la calidad y la satisfacción del cliente; cuenta con una mayor colaboración y comunicación porque fomenta una cultura de colaboración y comunicación entre todos los miembros del equipo de desarrollo, lo que puede mejorar el trabajo en equipo y la productividad; tiene mayor transparencia y visibilidad, esto proporciona un marco claro y transparente para la gestión del proyecto, lo que permite a todos los miembros del equipo tener una visión completa del progreso y las necesidades del proyecto en cualquier

momento; y una mayor eficiencia y efectividad para que el equipo de desarrollo sea más eficiente y efectivo al priorizar y enfocarse en las tareas más importantes y valiosas en cualquier momento dado.

Estas cualidades de SCRUM logran una mejor adaptación a los requerimientos del proyecto, obteniendo resultados significativos del producto cada dos semanas, agregando nuevas funcionalidades y gestionando los cambios necesarios para cumplir con los requerimientos del sistema. Se realizó una identificación formal de los requerimientos del usuario a través de los diferentes métodos de adquisición de datos concluyendo con la clasificación y especificación de los requerimientos funcionales y no funcionales.

### **A. Requerimientos funcionales**

- 1) Notificación: El sistema enviará un correo electrónico con la información escolar y laboral de los usuarios (estudiantes) a la parte administrativa de la empresa en el correo registrado por parte del administrador, cuando se seleccione la función de registrarse la programa por parte del usuario (estudiante). Retornando como resultado de la acción un mensaje dependiendo de si el envío fue exitoso o no.
- 2) Validación de login: El sistema no permitirá el registro de usuarios (estudiantes) con datos obligatorios incompletos como nombre, apellidos, correo, contraseña, entre otros. Enviando un mensaje para su correcto registro evitando errores dentro de la plataforma.
- 3) Registro: El sistema permitirá a los usuarios (estudiantes) autorizados el registro a programas laborales como trabajos, *internships* y becas laborales seleccionando la función de registrarse a programa. Devolviendo un mensaje para que el usuario (estudiante) se entere de si el registro al programa fue realizado correctamente.
- 4) Lista de favoritos: El sistema permitirá la creación de listas de favoritos seleccionando la función de añadir a favoritos. Como consecuencia se recibirá un mensaje para determinar si se añadió de manera satisfactoria.
- 5) Creación de cuenta: El sistema permitirá registrarse como usuario por medio de un formulario de registro de estudiante. El cual mostrará un mensaje dependiendo de si el formulario fue completado de manera correcta o si algún campo obligatorio no fue llenado correctamente.

- 6) Creación de cuenta administrador: El sistema tendrá una interfaz para registro de administradores dentro de la plataforma por medio de un formulario de administrador. El cual mostrará un mensaje dependiendo de si el formulario fue completado de manera correcta o si algún campo obligatorio no fue llenado correctamente.
- 7) Edición de información: El sistema permitirá ver y cambiar o actualizar datos de los usuarios tanto administradores como estudiantes por medio de una sección de editar perfil, la edición se realizará por medio de un formulario de estudiante o administrador respectivamente. Los cuales mostrarán un mensaje dependiendo de si el formulario fue completado de manera correcta o si algún campo obligatorio no fue llenado correctamente.
- 8) Asistencia inteligente: El sistema permitirá asistencia inteligente por parte de un chatbot para los usuarios autorizados y no autorizados en todo momento dentro de la plataforma, que se desplegará desde un acceso que se encuentra dentro de la misma. El sistema de chat recibirá entradas las cuales serán procesadas y posteriormente contestadas de la mejor forma posible con ayuda del chatbot. Si el sistema de inteligencia artificial no logra solucionar el problema del usuario (estudiante) retornará un medio de contacto con la administración de la plataforma para una posible solución.
- 9) Creación de programa: El sistema permitirá a los administradores dar de alta los diferentes programas dentro de la plataforma por medio de un formulario donde se establecen los campos necesarios para poder añadirlos como nombre del programa, institución, descripción de la vacante, carreras aceptadas, datos de contacto, entre otros. El cual mostrará un mensaje dependiendo de si el formulario fue completado de manera correcta o si algún campo obligatorio no fue llenado correctamente.

## **B. Requerimientos no funcionales**

- 1) Eficiencia: El sistema debe ser capaz de procesar las solicitudes de información desde distintos equipos clientes, así como, los distintos registros y asistencia por parte del chatbot. Los datos que sean modificados en la base de datos deben verse reflejados en las diversas cuentas que hayan iniciado sesión.

- 2) Seguridad de lógica y datos: Los datos ubicados en la base de datos deben estar almacenados en un equipo diferente al de la aplicación principal. En caso de algún error en el servidor de la aplicación principal se suspenderán actividades de registro para evitar pérdida de información.
- 3) Usabilidad: El sistema debe proporcionar mensajes de error que sean informativos y orientados al usuario. El sistema debe contar con un módulo de ayuda en línea inteligente. La aplicación web debe poseer un diseño “Responsive” a fin de garantizar la adecuada visualización en múltiples computadores personales, dispositivos tabletas y teléfonos inteligentes.
- 4) Facilidad de uso: El sistema debe ser fácil de usar tanto para los estudiantes como para los empleadores, y debe proporcionar una interfaz intuitiva y fácil de navegar.
- 5) Accesibilidad: El sistema debe ser accesible para todos los usuarios, independientemente de sus habilidades técnicas o discapacidades.
- 6) Seguridad: El sistema debe proteger la privacidad y la confidencialidad de la información de los usuarios, y debe implementar medidas de seguridad adecuadas para evitar el acceso no autorizado.
- 7) Escalabilidad: El sistema debe ser capaz de manejar una alta demanda y crecer en función de las necesidades del usuario.
- 8) Flexibilidad: El sistema debe ser flexible y adaptarse a las necesidades cambiantes de los usuarios y del mercado laboral.
- 9) Soporte Técnico: El sistema debe proporcionar un soporte técnico adecuado para ayudar a los usuarios con cualquier problema o pregunta que puedan tener.

En cuanto a las tecnologías usadas, la implementación de la base de datos se utilizó un modelo relacional en MySQL utilizada para el resguardo de información de los usuarios y administradores dentro de la plataforma. Este modelo relacional utiliza cinco clases principales que abarcan los programas que son creados dentro de la plataforma, los estudiantes que son los clientes principales del proyecto, las carreras válidas para cada uno de los programas dentro del centro universitario y otra para los administradores de la plataforma que estarían conformados por las respectivas coordinaciones de las carreras del centro universitario. De estas derivan

otras subclases que a su vez comparten llaves primarias con las clases principales, como `programas_carreras`, que contiene los datos de las carreras validas para realizar una correcta postulación a la vacante; `programa_estudiante`, que posee información para relacionar los programas a los que cada uno de los estudiantes tiene registrados y `programa_guardado`, en donde se resguarda la información de todos los programas que se encuentran en favoritos dentro del perfil del estudiante.

Esta base de datos relacional se vincula a una API REST creada con Node.js que se encarga de conectar a la base de datos con la aplicación principal de REACT creada principalmente con lenguaje JavaScript con uso de librerías importantes para su funcionamiento como `express`, `cors`, `multer` para envío de texto multipart, etc. Y de la misma forma brindarle información mediante métodos HTTP. Así mismo, la aplicación se apoya de una inteligencia artificial programada en lenguaje Python con el objetivo de brindar asistencia a los usuarios para ayudarlos en la navegación de la plataforma y con problemas con la misma, esta inteligencia artificial realizada se puede clasificar como una inteligencia artificial supervisada que es un modelo de aprendizaje automático que se entrena utilizando un conjunto de datos etiquetados previamente. El objetivo del entrenamiento es que el modelo sea capaz de hacer predicciones precisas sobre datos nuevos y no etiquetados. La supervisión se refiere a la etiquetación previa de los datos de entrenamiento, lo que proporciona al modelo una “respuesta correcta” para comparar con sus propias predicciones.

En la elaboración del proyecto se llevó a cabo un repositorio público que se encuentra en la plataforma de GitHub, en el cual se modificaron aspectos de diseño, funcionalidad y usabilidad del proyecto, tanto para la aplicación principal [4] como para la API REST, para conectar con la base de datos [5] y para el sistema de asistencia interno de la plataforma CHAT-BOT [6]. Se realizaron pruebas para que el sitio esté libre de defectos y se conectará correctamente tanto a la API REST como a la base de datos. De igual forma, se registraron diferentes usuarios tanto administradores como estudiantes con el objetivo de garantizar la funcionalidad de la plataforma, así como también se añadieron programas de tipo trabajos, internships y becas para efectuar cada una de las funciones dentro del sitio como lo son el registro a un programa laboral, añadir a favoritos, agregar usuarios,



ayuda por parte del asistente virtual, eliminación y modificación de datos. Para la validación del funcionamiento de la API REST se utilizó el software *Insomnia*, el cual permite simular peticiones web tal como si se tratara de usuarios reales.

El proceso de creación del proyecto comenzó mediante la elaboración de una aplicación en REACT en la cual se generaron distintos archivos JS que corresponden a los distintos módulos de la plataforma con sus respectivos archivos CSS que corresponden a la parte del diseño y la visualización. Posteriormente se llevó a cabo una base de datos en MySQL la cual se montó en un servidor individual, se definió el esquema de tablas y atributos necesarios para la información con la que trabajará la aplicación. Esta misma y la aplicación principal en REACT se conectan con una API REST que fue elaborada con Node.js, con el fin de recibir llamadas HTTP y acorde a la entrada ejecutar funciones desarrolladas con el *framework* Express [9]; se opera con la información de la base de datos haciendo uso de un constructor de consultas SQL; está diseñada para ser simple, flexible y fácil de usar, y se basa en el uso de HTTP para realizar operaciones de lectura y escritura de datos. Cada recurso dentro de la API se identifica de forma única mediante una URL, y se pueden realizar operaciones CRUD (crear, leer, actualizar y eliminar) sobre los recursos utilizando métodos como GET, POST, PUT y DELETE.

Por último, se elaboró un asistente virtual con Python para la navegación y problemas dentro de la plataforma que consiste en recibir una entrada por parte del usuario, en donde el asistente virtual tomará las palabras y las dividirá una a una comparando las palabras que tendrá almacenadas para así poder dar una respuesta óptima, y una vez seleccionadas las palabras que usará para responderle al usuario las enviará a través de web s $\acute{o}$ quets que es una tecnología de comunicación en tiempo real que permite a una aplicación web establecer una conexión persistente con un servidor. Una vez establecida la conexión, el servidor puede enviar datos a la aplicación web en cualquier momento, sin necesidad de que la aplicación web realice una solicitud explícita. Esto permite a las aplicaciones web tener una comunicación en tiempo real y reactiva con el servidor, lo que puede mejorar la experiencia del usuario y la funcionalidad de la aplicación. Este se basa en el protocolo HTTP, pero utiliza una capa adicional

de comunicación para establecer y mantener la conexión persistente entre el servidor y la aplicación web. Una vez establecida la conexión, ambos extremos pueden enviar y recibir datos de manera bidireccional en tiempo real, lo que permite a la aplicación web tener una comunicación en tiempo real con el servidor. El uso de los web s $\acute{o}$ quets es necesario ya que el asistente virtual no se encontrar $\acute{a}$  en el mismo lugar que la interfaz del usuario.

## **Modulo I. Justificaci3n de arquitectura y programaci3n de sistemas**

La implementaci3n del proyecto se llev3 a cabo con el uso del lenguaje de programaci3n JavaScript y Python estos fueron elegidos debido a que JavaScript y Python son lenguajes de programaci3n populares y ampliamente utilizados en una variedad de campos, por lo que hay una gran cantidad de recursos para mejorar la plataforma y que esto se lleve a cabo de forma r $\acute{a}$ pida y sencilla. Tambi3n son lenguajes de programaci3n vers $\acute{a}$ tiles y poderosos que se usaron para desarrollar potencialmente el proyecto; sin mencionar que son f $\acute{a}$ ciles de aprender y usar, con sintaxis clara y concisa que puede ser f $\acute{a}$ cilmente comprendida por programadores principiantes y experimentados por igual. Otra cualidad que es demasiado  $\acute{u}$ til al implementarlos es que poseen bibliotecas y *frameworks* robustos que ayudan a desarrollar de manera m $\acute{a}$ s r $\acute{a}$ pida y eficiente. Es por eso por lo que se seleccionaron para la parte funcional que corresponde al env $\acute{i}$ o de formularios para el registro de usuarios, edici3n de informaci3n, registro de oportunidades laborales, creaci3n de listas, asistencia inteligente y env $\acute{i}$ o de correos electr3nicos, mientras que para la parte visual se hizo uso de HTML y CSS. De igual forma se utiliz3 un modelo relacional MySQL para la creaci3n de la base de datos, tanto para parte estructural y funcional de la misma. As $\acute{i}$  mismo, se elabor3 una API REST con ayuda de Node.js y el lenguaje JavaScript para la consulta y env $\acute{i}$ o de informaci3n por parte de la plataforma.

El proyecto se llev3 a cabo por medio de una metodolog $\acute{i}$ a  $\acute{a}$ gil llamada SCRUM con el objetivo de cumplir los m3dulos del proyecto de una manera r $\acute{a}$ pida, eficaz y segura. De tal forma que se cumplan los requerimientos principales tanto funcionales como no funcionales. El desarrollo del proyecto, por la parte gr $\acute{a}$ fica, se llev3 a cabo implementando estruc-

turas visuales como tablas, columnas y filas para un mejor orden en los elementos y que facilita el trabajo a futuro en las actualizaciones de esta misma, agregando también que con el uso de Bootstrap el realizar el diseño se facilitó a gran escala, ya que esta herramienta permite el uso de atajos en cuanto a código de diseño, evitando largas listas de código CSS al construir elementos visuales para los usuarios de la plataforma, ahorrando tiempo en programación. Esto y con ayuda del lenguaje JavaScript se realizó la funcionalidad de la plataforma, logrando que los usuarios tengan un manejo de esta herramienta institucional más sencilla de utilizar, dándoles la oportunidad de observar las vacantes laborales que se encuentran en la institución actualmente, evitando acumulaciones de vacantes expiradas a través del tiempo y vacantes no aptas para el alumnado, como vacantes con demasiados años de experiencia o con requisitos poco probables para un alumno.

En la misma plataforma se hizo un sistema de registro por medio de correo electrónico que se encarga de notificar al alumno, así como a la institución por medio de un mensaje que se logró con éxito la postulación para poder ser analizada por una persona capacitada por la empresa y concluir si el alumno postulado es o no apto para la vacante. A esto se le añaden otras opciones para el usuario, que es guardar las vacantes más relevantes para su posterior registro, con el fin de no perder tiempo en buscar manualmente cada vacante, y un sistema de búsqueda que facilita esta misma acción en cada sección de la plataforma, contando con un sistema de edición para el perfil del alumnado, en el cual se presenta la opción de subir un CV actualizado, que es enviado también a la institución a la que se realiza la postulación, estas funciones fueron creadas con el mismo lenguaje de JavaScript y con la ayuda de la API REST que hace uso de peticiones HTTP que se dirigen a la base de datos para el envío y recepción de datos, ya sean imágenes o datos en texto, esto con ayuda de express, cors, multer, etcétera.

Estas mismas herramientas se utilizan para el ambiente del administrador dentro de la plataforma el cual posee más privilegios que un usuario común, como la creación de nuevas vacantes o programas dentro de la plataforma, ya que este tipo de usuario no solo puede eliminar las vacantes que no cumplen con los requisitos, ya sea por fechas, por el tipo de

información, por los requisitos que se piden, etc. Sino que también tiene la opción de editar la información y administrar los recursos dentro del proyecto, teniendo el control del funcionamiento de la plataforma, además de poseer su propio perfil e información personal.

Para la parte del *back end* del proyecto se implementan cinco servidores que poseen objetivos y acciones diferentes dentro del sistema de la plataforma, disminuyendo el riesgo de problemas en el sistema por fallo en algún servidor, es decir, si un servidor falla, la plataforma se mantiene en funcionamiento. Estos cinco servidores se presentan como máquinas virtuales dentro de una red y se mantienen conectadas por medio de sus correspondientes enlaces con ayuda de la herramienta de AWS de Amazon. La distribución funcional de los servidores es mantener la funcionalidad de la aplicación principal, la funcionalidad de la API REST dentro del sistema, la funcionalidad de la IA del chatbot, la funcionalidad de la base de datos y la funcionalidad del servidor de archivos los cuales trabajan en conjunto para lograr el correcto funcionamiento.

Para la parte de la IA del chatbot se utilizó el lenguaje de programación de Python con el uso de librerías como websockets y w3schools en react para la conexión, con el objetivo de que dentro de la plataforma, el usuario pueda mantener una conversación en tiempo real con el chatbot y este de respuestas que en verdad sean de ayuda para los alumnos, por medio de un sistema implementado para predecir por medio de probabilidad una respuesta coherente o mejor dicho la mejor respuesta para apoyar al usuario dentro de la plataforma facilitando su uso y experiencia. Con el uso de MySQL se llevó a cabo la base de datos relacional que utiliza la plataforma para obtener y registrar la información de los usuarios a excepción de información como imágenes u otro tipo de dato que sea diferente a cadenas de texto, debido a que esa información se maneja de manera distinta y para su uso se añadió un servidor de archivos aparte, que realiza esa función de mejor manera y más rápida.

Para la creación de esta base de datos, se creó primero la idea de cómo se quería el funcionamiento de la plataforma con el objetivo de disminuir los cambios posteriores en la estructura del proyecto, la base de datos contiene cuatro clases principales, de las cuales se derivan otras tres, las cuales son: administrador, en la cual se resguarda la información de los usuarios

administradores que mantienen el funcionamiento de la plataforma; la clase carrera, en la cual se resguardan las carreras validas para las vacantes o programas activos dentro del centro universitario; la clase estudiante, que posee los datos de los usuarios principales de la plataforma; y la clase programa, en la cual se resguardan los datos de las vacantes o programas activos e inactivos de la plataforma. Las tres clases derivadas de estas son `programa_carrera` en donde se relacionan la clase `programa` y `carrera` en donde se comparte la llave o campo del código del programa y la clave de la carrera a la que pertenece. Otra clase derivada es `programa_estudiante` en la cual se guarda la información del programa y el código del estudiante al que pertenece, una vez realizada una postulación a algún programa. Por último, `programa_guardado` en donde se almacena el código del programa y el código del estudiante al que pertenece donde se tienen los programas guardados en la sección de favoritos. Todo implementado mediante código sql y administrado con ayuda de la herramienta Sqlectron, que permite la edición compartida en la nube, facilitando el trabajo y elaboración del proyecto.

## **Modulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

El proyecto cuenta con un asistente virtual que ayudará a los usuarios en caso de que tengan duda de cómo hacer uso de la aplicación o de las respectivas inscripciones que se brindan. El asistente virtual se podrá utilizar por medio de un chat, el cual estará en todo momento dentro de la aplicación únicamente para los usuarios. Se hace uso de inteligencia artificial supervisada por parte del asistente virtual, también conocido como chatbot, para cuando se ingresen ciertas palabras por parte del usuario este mismo responda de manera correcta, esto funciona gracias a un diccionario en Python, el cual almacena en su primer campo las posibles respuestas que el chatbot regresará, además en ese mismo diccionario en el segundo campo se almacena un arreglo el cual contiene las palabras que podría utilizar el usuario, estas palabras aumentan el puntaje de precisión de la respuesta en 0.1.

Gracias a ese puntaje mínimo, el bot sabe diferenciar, en caso de que un usuario ingrese palabras que tengan relación con otra posible respuesta, y

por último cuenta con un booleano o un arreglo de palabras clave lo cual aumenta en 100 % la precisión de la respuesta; en caso de que sea una respuesta simple el bot no requiere de ninguna palabra en específico, lo cual cambia cuando se hace uso de una palabra clave. Es por eso por lo que este último campo es el más importante para que el bot pueda dar una respuesta válida.

Una vez finalizando los puntajes mediante una función de máximos en Python se extrae la respuesta con el mayor puntaje de precisión, seguido se regresa la respuesta con el puntaje máximo para que el usuario pueda ver la respuesta del *bot*. En caso de que algún usuario ingrese palabras las cuales no tengan relación dentro del arreglo de posibles palabras, palabras claves y tampoco sea una respuesta simple, el bot tiene una respuesta por defecto la cual usará solo en caso de que el puntaje de precisión no haya logrado alcanzar un puntaje máximo de 1.

El asistente virtual se ejecuta de manera asíncrona para evitar que cuando un usuario haga uso del mismo el siguiente usuario también pueda hacer uso de él sin la necesidad de esperar a que el primer usuario termine. Se hará uso del asistente virtual dentro del proyecto para brindar apoyo a los usuarios de una manera más rápida y evitando que contacten con el administrador, ahorrando carga de trabajo por problemas menores. Esto trae varios beneficios, ya que el uso de un asistente virtual puede apoyar a la plataforma en los siguientes aspectos: Un *chatbot* puede proporcionar una respuesta rápida y precisa a preguntas comunes de los estudiantes, lo que puede ayudar a liberar tiempo de los empleados del sistema laboral estudiantil para que se enfoquen en tareas más importantes; puede ayudar a mejorar la eficiencia y la productividad del sistema laboral estudiantil, ya que puede manejar múltiples conversaciones a la vez y proporcionar información de manera más rápida que un ser humano; mejora la experiencia del usuario al proporcionar una interfaz de usuario amigable y fácil de usar, lo que puede ayudar a aumentar la satisfacción del usuario y reducir las quejas y los problemas; también puede ser utilizado para recopilar y analizar datos de los estudiantes, lo que puede ayudar a mejorar el sistema laboral estudiantil y a tomar decisiones informadas en el futuro.

### Modulo III. Justificación de sistemas distribuidos

El sistema hace uso de cuatro servidores independientes, distribuyendo el procesamiento de cálculos y servicios, además de implementar una arquitectura tolerante a fallas. De igual forma, un sistema con varios servidores puede proporcionar una mayor capacidad y escalabilidad, ya que los servidores pueden dividir y compartir la carga de trabajo entre ellos. Esto puede ayudar a mejorar la velocidad y el rendimiento del sistema en general, también un sistema con varios servidores puede ofrecer una mayor resiliencia y disponibilidad, ya que, si un servidor falla, los demás pueden seguir funcionando normalmente y proporcionar servicios a los usuarios. Esto puede ayudar a reducir el tiempo de inactividad y a mantener el sistema operativo en todo momento.

Un sistema con varios servidores también puede ser más fácil de administrar y mantener, puesto que se pueden realizar cambios y actualizaciones en un servidor sin interrumpir el servicio en los demás. Esto puede ayudar a reducir el tiempo y el esfuerzo necesarios para mantener el sistema en funcionamiento. En este sistema los cuatro servidores se utilizan, primero para servir recursos web hacia el navegador del cliente, segundo para recibir llamadas a una API REST y regresar una respuesta al cliente después de haber procesado la petición, tercero para recibir conexiones WebSocket para la comunicación con el *chatbot*, y cuarto para alojar la base de datos. Esta arquitectura establece una separación de tareas bien definidas entre los componentes del sistema. La tolerancia a fallos viene del hecho de que tanto el servidor web, el de la API REST, y el de las conexiones WebSocket son fácilmente reemplazables si llegarán a presentar algún defecto, y crucialmente, sus fallos no requerirían una migración de la base de datos al estar alojada en su propio servidor independiente.

Se utiliza un modelo cliente-servidor de autoría propia tanto para la comunicación con la API REST como para hacer uso del *chatbot*. Cuando el cliente envía una solicitud a través de una API de RESTful, esta transfiere una representación del estado del recurso requerido a quien lo haya solicitado o al extremo. La información se entrega por medio de HTTP en formato JSON, este es el lenguaje de representación de datos más popular, ya que tanto las máquinas como las personas lo pueden comprender

y no depende de ningún lenguaje, a pesar de que su nombre indique lo contrario.

También es necesario tener en cuenta otros aspectos. Los encabezados y los parámetros también son importantes en los métodos HTTP de una solicitud HTTP de la API de RESTful, ya que contienen información de identificación importante con respecto a los metadatos, la autorización, el identificador uniforme de recursos (URI), el almacenamiento en caché, las *cookies* y otros elementos de la solicitud. Los sistemas que implementan API REST pueden escalar de forma eficiente porque REST optimiza las interacciones entre el cliente y el servidor. La tecnología sin estado elimina la carga del servidor porque este no debe retener la información de solicitudes pasadas del cliente. El almacenamiento en caché bien administrado elimina de forma parcial o total algunas interacciones entre el cliente y el servidor. Todas estas características admiten la escalabilidad, sin provocar cuellos de botella en la comunicación que reduzcan el rendimiento. También se admite una separación total entre el cliente y el servidor. Simplifican y desacoplan varios componentes del servidor, de manera que cada parte pueda evolucionar de manera independiente.

Los cambios de la plataforma o la tecnología en la aplicación del servidor no afectan la aplicación del cliente. La capacidad de ordenar en capas las funciones de la aplicación aumenta la flexibilidad aún más. Por ejemplo, en el desarrollo se pueden efectuar cambios en la capa de la base de datos sin tener que volver a escribir la lógica de la aplicación. Incluso se puede hablar aquí de una arquitectura de tres capas relacionándolo con el modelo cliente-servidor. Esto es porque existe en este modelo un nivel intermedio (el del servidor *backend*) cuya tarea es proporcionar los recursos solicitados de uno o más de los clientes desde la interfaz de usuario en el navegador web. La última capa es el servidor de datos que proporciona al servidor *backend* los datos necesarios para poder procesar y generar el servicio que solicitó alguno de los clientes, ejemplos de esto pueden ser realizar una lectura de los programas almacenados, o crear uno nuevo.

Para poder hacer uso del *chatbot* y actualizar la información en tiempo real se hace uso de Websockets ya que con estos se permite enviar información de un servidor a los distintos usuarios, estos se implementaron en el chat el cual se encuentra en todo momento una vez ingresado a la apli-



cación. WebSocket es un protocolo de red basado en TCP que establece cómo deben intercambiarse datos en la red entre los clientes y el servidor. El protocolo TCP establece conexiones entre dos puntos finales de comunicación, llamados *sockets*. De esta manera, el intercambio de datos puede producirse en las dos direcciones. En las conexiones bidireccionales, como las que crea WebSocket (a veces también *websocket* o *web socket*), se intercambian datos en ambas direcciones al mismo tiempo. La ventaja de este intercambio es que se accede de forma más rápida a los datos.

En concreto, WebSocket permite así una comunicación directa entre una aplicación web y un servidor WebSocket. En otras palabras, la web que se solicita se muestra en tiempo real. El uso tradicional de las conexiones HTTP tiene el inconveniente de que el cliente siempre carga la página HTML entera. Para resolver el problema, se desarrolló la tecnología AJAX. Esta tenía, por su parte, la desventaja de establecer conexiones unidireccionales, es decir, que solo permiten la comunicación en una dirección, lo cual daría lugar a largos tiempos de espera y una peor experiencia de usuario. Es por esto por lo que se ha considerado la solución adecuada para la comunicación sobre la red relacionada al *chatbot*. Para el resto de comunicaciones se hace uso del protocolo HTTP, estándar en el uso de servicios web que no requieren de una comunicación en tiempo real.

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Como consecuencia de la elaboración del proyecto se obtuvieron distintas situaciones que llevaron a plantear nuevos objetivos y planes para llevarlos a cabo con el fin de resolver los problemas que se fueron generando en el transcurso del desarrollo. Si bien muchos de los objetivos fueron cumplidos gracias a las tecnologías planteadas y métodos empleados, para otros se buscaron nuevas soluciones. Para el módulo de inteligencia artificial se implementó un algoritmo diferente al planeado principalmente, esto debido a que no cumplió con el funcionamiento deseado en la idea original, el lenguaje de programación se sustituyó por Python, cuando anterior a ello se implementó una herramienta que utilizaba lenguaje JavaScript que no poseía librerías que cumplieran correctamente el funcionamiento en la implementación del proyecto, dando lugar a errores y respuestas poco convencionales que fueron solucionadas con la herramienta implemen-

tada en Python, la cual se acopló de mejor manera a los objetivos de la plataforma. La elección realizada en la metodología, tecnología y lenguajes implementados ayudaron a lograr cumplir objetivos como:

### **A. Facilidad de inscripción estudiantil**

Los alumnos pudieron acceder a las inscripciones, ya que todas se encontraron en la misma aplicación, pero ubicadas por las diferentes secciones de la misma, además gracias a que el diseño de la aplicación fue fácil de entender, y esto se realizó gracias a REACT un *framework*, el cual está en constante mantenimiento dejando las aplicaciones llamativas y a la vez sencillas.

### **B. Mejor administración de información**

Con ayuda de la interfaz que se implementó con las herramientas de Bootstrap [8] y CSS se agilizó el proceso de registro de vacantes profesionales, así como el proceso de inscripción por parte de los usuarios, evitando intermediarios y ahorrando a la vez tiempo.

### **C. Apoyo por medio de asistente virtual**

Gracias a que el asistente virtual se elaboró en Python realmente fue conveniente, ya que en la actualidad es uno de los lenguajes más utilizados para la creación de inteligencia artificial y esto ayudó a realizar el proyecto de una manera más sencilla, mencionando también las librerías que ayudaron al correcto desempeño del mismo.

### **D. Facilidad de mantenimiento en herramienta**

Al haber usado MySQL para la elaboración de la base de datos se obtuvo una estructura mejor empleada y diseñada que requiere solo unos pasos a

la hora de generar copias para protección o restablecimiento de datos, de igual forma el uso de versiones que se realizó en GitHub gracias al repositorio generado, permitió una mejor manipulación al dar mantenimiento tanto a la aplicación principal en REACT [4] como a la API REST que se programó, que también posee su propio repositorio [5], así mismo, el CHATBOT implementado para asistencia dentro de la plataforma cuenta con su repositorio [6] para un mantenimiento independiente de la aplicación principal.

Como aspectos a resaltar de lo que se quería del proyecto a lo logrado realmente se pueden mencionar cosas como que la plataforma se tenía pensada como un sistema o herramienta de exposición de información al alumnado que sirviera para mantener informados a los alumnos del mundo laboral. Sin embargo, en el proceso de elaboración los objetivos crecieron, así como, los beneficios de la plataforma dentro del sistema estudiantil, no solo es un sistema de exposición de información sino que también es una herramienta para registro a las postulaciones que no solo ayuda a mantener informados a los alumnos sino que realmente ayuda en el proceso de registro y administración, tanto para la institución de la vacante como para la administración del centro universitario, evitando problemas de acumulación de vacantes que ya no se encuentran disponibles, o con requisitos que se encuentran inalcanzables para el alumnado activo y beneficiando también aspectos como la rapidez en el proceso de selección, en la creación de vacantes y notificación de la información relevante hacia los usuarios. Otros resultados que se obtuvieron en beneficio de la plataforma para los estudiantes en el mundo laboral son:

### **A. Aplicación de conocimientos**

Mayor capacidad de los alumnos para aplicar sus conocimientos teóricos en situaciones prácticas, lo que les permite desarrollar habilidades y competencias valiosas para el mundo laboral.

## **B. Motivadores**

Mayor motivación e interés por parte de los alumnos en sus estudios, ya que pueden ver cómo lo que aprenden en el aula tiene un impacto real en el mundo real.

## **C. Nuevas oportunidades**

Mayor oportunidad para que los alumnos adquieran experiencia laboral y desarrollen sus habilidades profesionales desde temprana edad, lo que puede ser beneficioso a la hora de buscar trabajo después de graduarse.

## **D. Conexiones**

Mayor conexión entre la escuela y el mundo laboral, lo que puede ayudar a los alumnos a entender mejor las expectativas y requisitos del mercado laboral y a prepararse para ello.

## **E. Experiencia económica**

Mayor oportunidad para que los alumnos obtengan ingresos y aprendan a gestionar su dinero de manera responsable.

## **F. Jóvenes preparados**

Mayor oportunidad para que las empresas contraten talento joven y ayuden a moldearlo para sus necesidades futuras.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

El proyecto fue principalmente hecho para ayudar a los alumnos a encontrar e inscribirse en las diferentes oportunidades que brinda la escuela para el área laboral, aumentando el número de solicitantes a las vacantes laborales que se emiten en el centro, además de ayudar a los administra-

dores a tener un control más cómodo y más simple cuando se realizan las publicaciones de las vacantes. Como resultado se concluye que el proyecto propuesto fue el adecuado para darle solución al problema de encontrar oportunidades laborales para los estudiantes, pero se puede mejorar agregando un sistema de encuesta en el cual los alumnos den su opinión sobre las ofertas de empleo que más les interesa, de esta manera, los administradores podrían informar a las empresas interesadas y obtener vacantes de mayor interés para los alumnos.

Además, es recomendable escalar el proyecto para toda la red universitaria y no dejarlo en un solo centro institucional, ya que los alumnos de las demás instituciones pierden estas oportunidades y las empresas requieren de trabajadores con conocimiento en diferentes áreas. Un aspecto a tener en cuenta y explorar sería el incorporar una sección donde se pudiesen añadir oportunidades laborales por parte de los alumnos, exalumnos y maestros para obtener una mayor variedad de oportunidades con el fin de generar un mejor número de estudiantes preparados profesionalmente. Como trabajo para el futuro dentro del proyecto en la parte de front end se pueden implementar ciertas acciones que beneficien al sistema. El anexo de un sistema administrativo que tenga como objetivo que se puedan ver los perfiles de los estudiantes dentro de la plataforma ayudaría a solucionar problemas derivados de fallos en el sistema hacia el alumno, como un error en el envío de una postulación o notificación a los usuarios por parte de la plataforma y que se pudiese verificar que se realizó con éxito a pesar de que no exista una notificación, pues una función así ayudaría al administrador a ver que alumnos se encuentran registrados a los programas de la plataforma y si estos mismos, en verdad, poseen una información válida y correcta comparada con la información que tiene el centro universitario de ellos, y así evitar perfiles falsos o con información incorrecta que en el futuro pueden llegar a traer problemas.

También se pueden implementar otras funciones como una forma de validar que los alumnos son realmente aptos para la vacante seleccionada ayudando a los encargados de las empresas disminuyendo la cantidad de alumnos que se registran a las vacantes sin tener realmente la información pedida para el puesto, ahorrando tiempo y facilitando el proceso de selección, sin afectar la funcionalidad del proyecto. De igual forma, anexas

otros tipos de programas para los alumnos o secciones donde estos mismos obtengan beneficios como alumnos, por ejemplo, secciones de cursos laborales, pláticas o reuniones, secciones de banners con información útil de eventos cercanos; conexiones con profesionales para que brinden información que realmente se utiliza en el área laboral y sirvan como conexión para brindar más trabajo a los estudiantes; visitas a empresas cercanas o asociadas con el centro, registro para obtención de certificados que ayuden a obtener trabajos, etcétera.

Con el fin de aumentar el número de alumnos con trabajo activos e inactivos o recién egresados, así como, ayudar en el proceso de búsqueda laboral y el proceso de administrar vacantes y registros en las empresas y en el centro universitario. Agregar un foro para realizar publicaciones es de igual forma una idea a considerar, esto debido a que agregar un foro con sus debidas restricciones podría beneficiar en el aspecto de que cualquier persona con contactos en el ámbito laboral relacionado a las carreras del centro puede brindar oportunidad laboral a los estudiantes dentro de la institución y no solo a los estudiantes que son el objetivo principal de la plataforma, sino también a recién egresados que son los que en la mayoría de ocasiones no pueden encontrar oportunidades de empleo por diversos factores. De igual forma, en los foros es posible compartir información útil relacionada con el ámbito laboral como los tipos de conocimientos necesarios para las vacantes en la actualidad, como cualidades personales o habilidades específicas que deben tener para desenvolverse correctamente añadiendo la oportunidad de compartir recursos que pueden ayudar a obtener estas cualidades ya sean libros, pódcast, videos, etc., que las empresas consideran actualmente necesarias para poder considerar a un estudiante para las vacantes. Por ello, es una herramienta realmente útil y necesaria en la vida cotidiana de un estudiante dentro del centro universitario, pues sirve de manera efectiva como ayuda en el ámbito laboral.

Para obtener realmente una respuesta de si el sistema en verdad ayuda a la comunidad estudiantil dentro de CUCEI se recomienda realizar un estudio después de un test de prueba con la plataforma, en donde realmente se analice si el número de estudiantes con oportunidad laboral aumenta o disminuye con su uso, así como la carga de trabajo a los administrativos dentro del centro universitario y a los administradores de las instituciones

que se encargan de pedir a los postulantes así como de seleccionarlos después de recibir las notificaciones por correo, de esta forma, se puede llegar a una conclusión no solo de manera superficial, sino ya de manera comprobada y validada por un estudio que lo demuestre y avale este hecho.

Otro aspecto que se puede mejorar en el futuro es la cuestión de implementar más a fondo la inteligencia artificial dentro del sistema estudiantil, para beneficio de los estudiantes como para beneficio de las instituciones, ya que la inteligencia artificial trae consigo aspectos positivos como: Mejora en la eficiencia y efectividad del proceso de asignación de trabajos y tareas, lo que puede ahorrar tiempo y recursos, mayor precisión en la asignación de trabajos en función de las habilidades y aptitudes de cada estudiante, lo que puede mejorar la calidad del trabajo realizado, mayor capacidad para detectar y corregir errores en el proceso, lo que puede reducir los errores y mejorar la calidad general del trabajo, posibilidad de analizar grandes cantidades de datos y generar informes y estadísticas en tiempo real, lo que puede ayudar a tomar decisiones informadas y mejorar el rendimiento del sistema en general.

Algunas características ya implementadas que se pueden seguir trabajando son el envío de contraseñas y su almacenamiento ya que la manera en la que se envían estos datos a través del sistema es en forma de cadena, lo que no es recomendable si se trabaja ya de forma práctica, debido al riesgo que esto representa por lo que se recomendaría para el futuro cambiar este tipo de envío y utilizar un envío y un almacenamiento de forma encriptada que es más seguro y mucho más realista, ya que esto aumenta la seguridad de la información manejada dentro de la plataforma resguardando la información sensible de los usuarios ya sean estudiantes o administrativos del centro universitario, evitando que esta sea robada o alterada para un fin o uso incorrecto fuera de la plataforma, aplicando esta misma lógica hacia los servidores de la plataforma.

Por último, sería necesaria una nueva función que incluya un *s* o una inteligencia artificial diferente, exclusivo para la parte administrativa de la plataforma con el objetivo de capacitar a los administrativos para hacer uso de la plataforma con sus respectivas funciones, para evitar problemas futuros dentro de la misma y que no se pierda tiempo y recursos capacitando de manera personal a cada uno de los administradores que en este

caso sería la coordinación de cada carrera que no solo es una persona sino un grupo de personas por cada coordinación y este mismo sistema serviría también para ayudar a los administradores a clasificar la información de mejor manera para hacer uso de la misma dentro y fuera de la plataforma.

### **Reconocimientos**

El proyecto se elaboró únicamente con participación del equipo de estudiantes y el asesor mencionado al comienzo del documento.



## Referencias

- [1] J.-L. Vaillant. “LinkedIn México”. LinkedIn. <https://mx.linkedin.com> (accedido el 27 de agosto de 2022).
- [2] Indeed. “Buscar empleos”. Indeed. <https://mx.indeed.com> (accedido el 30 de agosto de 2022).
- [3] InfoJobs. “Siempre a mejor”. InfoJobs. <https://www.infojobs.net> (accedido el 30 de agosto de 2022).
- [4] Git Hub. “GitHub - brandonlau16/programas-cucei”. GitHub. <https://github.com/brandonlau16/programas-cucei> (accedido el 29 de agosto de 2022).
- [5] Git Hub “AndresSanchez117/programas-cucei-api”. GitHub. <https://github.com/AndresSanchez117/programas-cucei-api/commits/main> (accedido el 30 de agosto de 2022).
- [6] Git Hub. “GitHub -FernandoReneMoran/programasCucei-Chatbot”. GitHub. <https://github.com/FernandoReneMoran/programasCucei-Chatbot> (accedido el 9 de octubre de 2022).
- [7] Pandorabots. “Pandorabots”. Pandorabots: Home. <https://home.pandorabots.com/home.html> (accedido el 9 de octubre de 2022).
- [8] Bootstrap. “Bootstrap”. Bootstrap · The most popular HTML, CSS, and JS library in the world. <https://getbootstrap.com> (accedido el 9 de octubre de 2022).
- [9] Express. “Express”. Express - Node.js web application framework. <https://expressjs.com> (accedido el 9 de octubre de 2022).
- [10] Stevenson, M. (2000). Search for Hourly Jobs & Essential Jobs on Snagajob. Search for Hourly Jobs & Essential Jobs on Snagajob. <https://www.snagajob.com> (accedido el 5 de noviembre de 2022).
- [11] CodersLink. (s. f.). Bolsa de trabajo para programadores | Empleos remotos en México y EUA | CodersLink. [https://coderslink.com/talento/portal-de-trabajo/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=2022+-+Q4+-+Talent+-+Google+-+Bolsa+de+Trabajo+ +SKA-G+AudienceB&utm\\_term=Bolsa+de+Trabajo+web&gclid=Cj0KCQjwk5ibBhDqARIsACzmgLQUwtAM8xNyVcs6GGu92v2tAHwG8W5jZSyJvVfpWRiE2rSg7\\_pHobUaAsHCEALw\\_wcB](https://coderslink.com/talento/portal-de-trabajo/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=2022+-+Q4+-+Talent+-+Google+-+Bolsa+de+Trabajo+ +SKA-G+AudienceB&utm_term=Bolsa+de+Trabajo+web&gclid=Cj0KCQjwk5ibBhDqARIsACzmgLQUwtAM8xNyVcs6GGu92v2tAHwG8W5jZSyJvVfpWRiE2rSg7_pHobUaAsHCEALw_wcB) (accedido el 5 de noviembre de 2022).

- [12] Gobierno de Mexico. (s. f.). Portal digital. Portal del Empleo. <https://www.empleo.gob.mx/PortalDigital> (accedido el 5 de noviembre de 2022).
- [13] Bumeran. (s. f.). El portal de trabajos. <https://www.bumeran.com.mx>(accedido el 5 de noviembre de 2022).
- [14] Eric. (s. f.). Problematizing College Internships: Exploring Issues with Access, Program Design and Developmental Outcomes. <https://eric.ed.gov/?id=EJ1254749> (accedido el 5 de noviembre de 2022).
- [15] NACE. (s. f.). The Positive Implications of Internships on Early Career Outcomes. <https://www.naceweb.org/job-market/internships/the-positive-implications-of-internships-on-early-career-outcomes/> (accedido el 5 de noviembre de 2022).
- [16] Control de acceso HTTP (CORS) - HTTP | MDN. (2022a, diciembre 5). <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP/CORS>
- [17] npm: multer. (2022a, mayo 30). npm. <https://www.npmjs.com/package/multer>
- [18] The API Design Platform and API Client. (s. f.). Insomnia. <https://insomnia.rest/>



# Capítulo 20

---

## **Sistema auxiliar de laboratorio para aplicación de pruebas de COVID**

*Eric López Solís*

*Ángel Marcelino González Mayoral*

*Israel Román Godínez*

*Sulema Torres Ramos*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*eric.lopezs@alumnos.udg.mx*

*angel.gonzalez2929@alumnos.udg.mx*

*israel.roman@academicos.udg.mx*

*sulema.torres@academicos.udg.mx*

## Resumen

Durante la pandemia de COVID-19 se requirió de la aplicación masiva de pruebas COVID en todo México. En este sentido, la Universidad de Guadalajara abrió laboratorios para dar servicio a la población de Jalisco. Sin embargo, debido a la alta demanda del servicio, el personal del laboratorio se veía abrumado por todas las tareas que debían realizar con herramientas tecnológicas inadecuadas para sus necesidades. Por ello, fue necesario el desarrollo de un sistema auxiliar para la gestión del proceso de aplicación de pruebas COVID. Para realizar el proyecto se utilizó una metodología de desarrollo ágil, desarrollamos un sistema basado en tecnologías web que cumple con las necesidades planteadas para ayudar al personal a realizar sus actividades de forma eficiente.

## I. Introducción

LaDIM es un laboratorio perteneciente al Instituto Transdisciplinar de Investigación y Servicios - ITRANS que a su vez es parte de la Red Universitaria de la Universidad de Guadalajara. LaDIM, entre otros servicios, ofrece la aplicación de pruebas para la detección de COVID-19. El laboratorio contaba con un sistema que permite agendar citas para la aplicación de pruebas. Sin embargo, este sistema no provee toda la funcionalidad que requieren, haciendo que el personal recurra al uso de herramientas poco eficientes. Este sistema actual requiere que un administrador se encargue de las siguientes tareas: Agendar manualmente las citas, enviar manualmente los resultados de las pruebas, validar comprobantes de pago enviados por usuarios vía WhatsApp, así como recopilar y enviar datos de facturación al departamento de finanzas de la UdG.

Actualmente, la experiencia del cliente y la productividad del laboratorio se ven afectadas negativamente debido a la gran cantidad de actividades que se deben realizar manualmente usando el sistema actual, además de la creciente demanda de servicios causada por la pandemia de COVID-19. Debido a esto, es importante agilizar los procesos del laboratorio para que se puedan atender a la mayor cantidad de clientes posibles y que estos

tengan una buena experiencia de los servicios del laboratorio. Agilizar los procesos resultará en una mejora sustancial en la calidad del servicio y buscando incrementar los ingresos del laboratorio.

El acceso a una solución integral que satisfaga las necesidades del personal del laboratorio ayudaría al laboratorio a mejorar la atención y el servicio que ofrece a sus pacientes y aumentaría su productividad. Además de los beneficios para el laboratorio, el aumentar la cantidad de pruebas que el laboratorio puede aplicar de forma eficiente contribuiría a la lucha contra la pandemia de COVID-19.

El sistema auxiliar de laboratorio para la aplicación de pruebas de COVID es un sistema web diseñado para cubrir las necesidades de LaDIM y así dar solución a los problemas previamente presentados.

Los objetivos del sistema son los siguientes:

- Automatizar el flujo completo del servicio de aplicación de pruebas para la detección de COVID-19, exceptuando la aplicación de la prueba y la captura de resultados.
- Facilitar la generación de facturas y envío de facturas por correo electrónico a los usuarios.

## II. Trabajos relacionados

Previo al desarrollo de este proyecto, el laboratorio contaba con un marco de trabajo basado en una aplicación de agenda de citas y otras herramientas varias. Aunque esta aplicación con la que contaban les proveía cierta funcionalidad, no cumplía con todas sus necesidades y los forzaba a recurrir a otras herramientas menos apropiadas y realizar muchas actividades de forma manual.

### A. El proceso del laboratorio

Previamente, para realizar una cita para una prueba de detección de COVID-19, un usuario debía contactar al personal del laboratorio mediante la aplicación de mensajería WhatsApp, el personal debía registrar manualmente los datos del paciente y la cita en su aplicación, debido a que esta aplicación no estaba pensada para ser utilizada por el público. Una vez el paciente hubiese asistido a su cita y sus resultados hubieran sido proce-

sados, el personal del laboratorio se los haría llegar al paciente mediante WhatsApp una vez que el paciente envíe una fotografía del comprobante de pago de la cita mediante el mismo canal.

La aplicación con la que contaban permitía registrar citas (únicamente por parte del personal del laboratorio), llevar un control detallado de las muestras tomadas y el registro de los resultados de las pruebas. Esta aplicación, sin embargo, tenía deficiencias que no permitían un proceso fluido y eficiente.

## **B. Deficiencias del proceso y plataforma previos**

La plataforma previa estaba diseñada para ayudar al laboratorio a proveer sus servicios a empresas. Debido a esto, es difícil adaptar el flujo de trabajo para proveer el servicio al público en general, esto causa que el proceso se vuelva lento debido a que una gran parte del trabajo se realiza de forma manual. Las funcionalidades que el sistema aún requiere son:

- Agenda de citas por parte del público en general
- Entrega automática de resultados
- Recepción de pagos en línea y validación de pagos mediante depósito
- Recolección de datos y solicitudes de facturación

Es por esto por lo que a pesar de que existe una plataforma, esta no es del todo funcional y aún hay una necesidad por satisfacer, y por lo tanto, una problemática que nos planteamos solucionar.

## **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

### **A. Metodología de trabajo**

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la metodología SCRUM [1] con una planeación de base de datos inicial y un prototipado. Scrum es una metodología de trabajo que ayuda a los equipos de trabajo a entregar valor incrementalmente de una forma colaborativa. Es una metodología de trabajo ágil que permite generar valor a través de soluciones adaptativas para

problemas complejos, la figura 1 muestra el proceso de scrum: primero se documentan los requerimientos en el *backlog*, después de planear un *sprint* con un subconjunto de los elementos del *backlog*, luego se ejecuta el plan en *sprints* de entre 2 y 4 semanas realizando reuniones de sincronización diariamente.

Elegimos trabajar con metodologías ágiles para permitirnos recibir retroalimentación del cliente y realizar cambios no previstos en caso de ser necesario. Esto debido a que este producto está pensado para su uso en un entorno de producción con clientes y usuarios reales.

Fig. 1. Flujo de git.

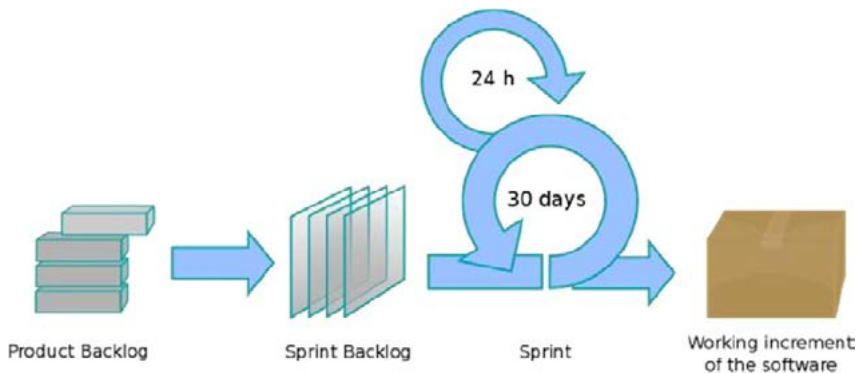


Imagen del usuario de Wikimedia Lakeworks, 2009, The scrum process.

Se realizaron reuniones con empleados y encargados de LaDIM para capturar requerimientos y recibir retroalimentación. En estas reuniones se identificaron las principales necesidades, prioridades y deficiencias en la experiencia de los mismos.

Los requerimientos fueron organizados en grupos de alto nivel (agenda de citas, facturas, pagos, configuración, resultados) y desglosados en tareas pequeñas y gestionables llamadas historias de usuario. Las historias de usuario fueron sujetas a una estimación de esfuerzo por parte de los desarrolladores.

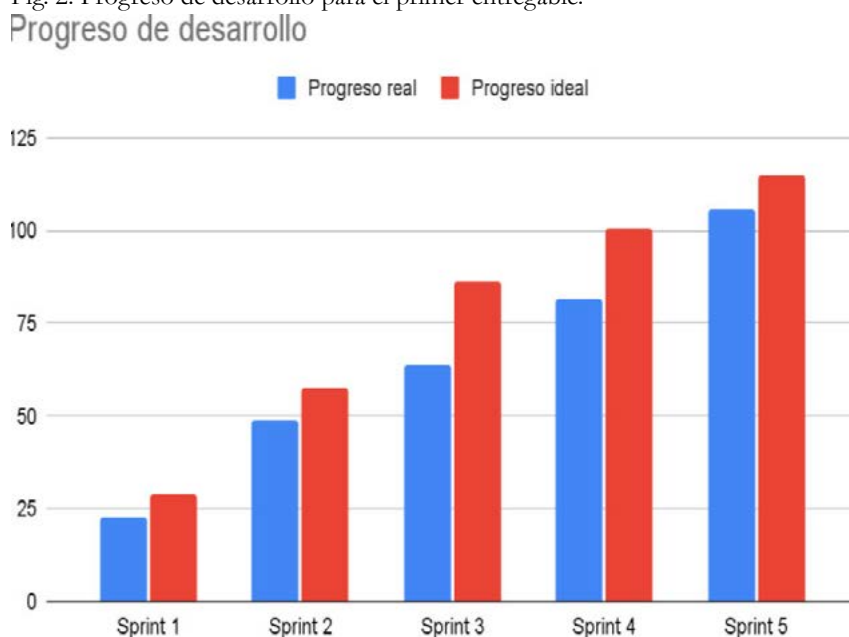
El trabajo se organizó en sprints o periodos de dos semanas, cada final de *sprint* se hacía una revisión del trabajo realizado, una sesión de retrospectiva para encontrar puntos de mejora en el proceso de desarrollo y una estimación del tiempo faltante para completar el desarrollo. Debido a la



disponibilidad del personal del laboratorio, las sesiones de retroalimentación y presentación de avances fueron menos frecuentes.

Mediante la estimación de esfuerzo de la historia en puntos, se logró llevar un registro del avance del proyecto, en la figura 2 se aprecia el avance del desarrollo. Se planearon cinco *sprints* de desarrollo para la primera entrega o milestone del proyecto. Debido a un retraso en el desarrollo, se tuvieron que priorizar los elementos de trabajo para entregar a tiempo aquellos que son más críticos.

Fig. 2. Progreso de desarrollo para el primer entregable.

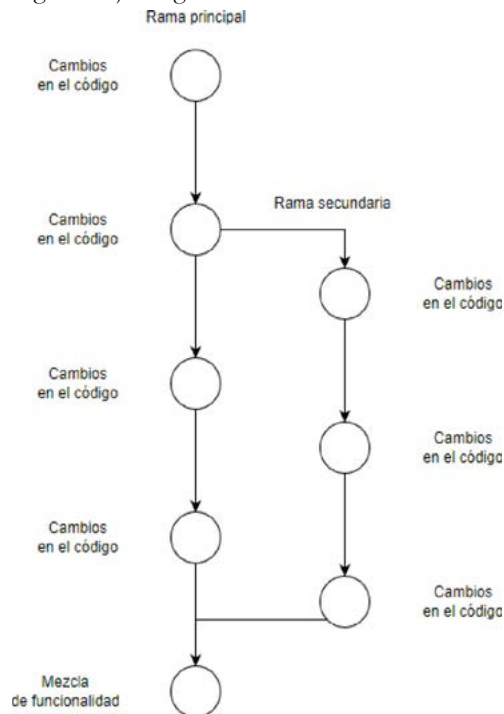


La colaboración con el equipo de trabajo fue clave. Se realizaron reuniones entre los desarrolladores para compartir nuestros avances y nuestras dificultades o bloqueos. Se utilizó un sistema de control de versiones para el desarrollo de la aplicación, esto nos permitió poder trabajar simultáneamente en el código minimizando los conflictos. La herramienta que se utilizó para esto fue GIT [2], la cual es una herramienta de control de versiones distribuida en la que cada miembro del equipo tiene una copia completa del archivo. GIT permite tener ramas, las cuales se utilizaron para

crear funcionalidades nuevas sin afectar el espacio común. Esto permite al equipo libertad de crear ramas para aislar la funcionalidad en la que se está trabajando y poder fácilmente trabajar sin afectar el trabajo de los demás. Esta herramienta también nos permitió revertir cambios no deseados.

El uso de una herramienta de control de versiones implica el uso de estrategias específicas de ramificación para el desarrollo. Para desarrollar se empleó la estrategia llamada git flow. Esta estrategia consiste en tener una rama principal de desarrollo que contiene la versión más estable del proyecto. Cada que se desee desarrollar una funcionalidad o requerimiento nuevo, se bifurca el repositorio y se desarrolla sobre una rama tomada a partir de la rama principal (figura 3). Una vez que se termina el desarrollo de la nueva característica en la rama secundaria, se procede a mezclar los cambios a la rama principal.

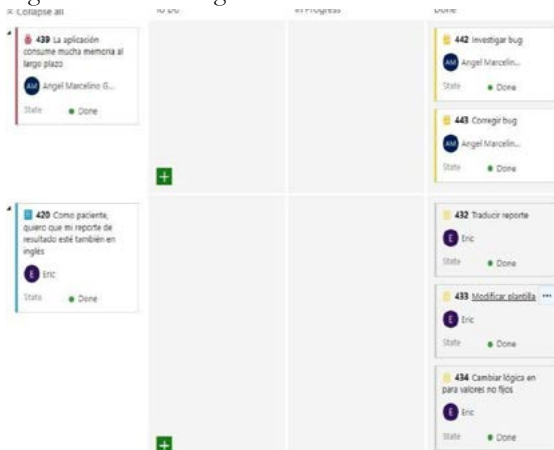
Fig. 3. Flujo de git.



El proceso de mezcla a la rama principal se realizó mediante las denominadas solicitudes de integración de cambios (*pull request*, en inglés). Estas solicitudes de validación nos permiten validar el código que está a punto de ser integrado a la rama principal. La validación se realiza a través de comentarios que se pueden hacer en líneas de código específicas o en el archivo completo, lo cual permite hacer discusiones sobre el código escrito por el autor. En nuestro caso, hicimos uso de las solicitudes de validación para pedir recomendaciones acerca de cómo solucionar problemas específicos. Esto con el objetivo de aumentar la calidad general del código del proyecto, así como para detectar *bugs* y casos no considerados el autor de los cambios.

Se hizo uso de un tablero (figura 4) para dar seguimiento a las tareas de cada integrante del equipo. El tablero permite monitorear el estado de las actividades que realizan los integrantes del equipo, evitando así, que dos miembros del equipo trabajen en la misma tarea al mismo tiempo, reduciendo los conflictos. También permite monitorear el tiempo que lleva hacer cierta tarea. En esta herramienta se capturaron todos los requerimientos del sistema. El tablero también permite relacionar elementos del repositorio como peticiones de validación, cambios o ramas específicas que se relacionan con las tareas. De esta forma, es fácil obtener información relevante acerca de qué código es el que está relacionado con cierta tarea en específico.

Fig. 4. Tablero de seguimiento de tareas.



La retroalimentación del personal del laboratorio nos ayudó a ajustar el rumbo del proyecto para llegar a una solución más precisa a sus necesidades y cambiar las prioridades en el desarrollo. Esto fue clave para entender las necesidades reales del proyecto y ajustar nuestro enfoque para abordarlas de la mejor manera posible.

## **B. Requerimientos principales según el tipo de usuario**

El siguiente listado muestra los diferentes roles del sistema y sus correspondientes requerimientos funcionales.

- Pacientes:
  - Registro en la plataforma con sus datos necesarios.
  - Autenticación y recuperación de contraseña.
  - Capturar datos de facturación que pueden ser diferentes por cita.
  - Crear citas para menores de edad.
  - Agendar una cita en un día y un espacio de tiempo determinado.
  - Editar el día y hora de la cita agendada.
  - Cancelar una cita previamente agendada.
  - Pagar la cita con tarjeta de crédito/débito o con depósito bancario.
  - Permitir a los usuarios visualizar resultados de pruebas aplicadas con anterioridad.
- Administrativos:
  - Registrar la asistencia del paciente a su cita.
  - Configurar los horarios de operación del laboratorio.
  - Configurar los días no hábiles del laboratorio.
  - Agregar nuevos usuarios tipo administrador, químico o finanzas.
  - Controlar los precios de cada tipo de pruebas.
  - Cancelar citas.
  - Consulta de información de citas.
  - Consulta de información de pacientes.
  - Descarga del reporte de encuestas epidemiológicas.
- Químicos.
  - Registrar los resultados de las pruebas.
  - Enviar al cliente el reporte de resultados por correo electrónico de forma automática.
  - Aplicación de encuesta epidemiológica a los pacientes.

- Finanzas:
  - Validar los comprobantes de pago cargados por un usuario.
  - Generación de lotes con información de factura de los clientes para la generación de facturas.

Además, todos los roles cuentan con la funcionalidad de iniciar sesión y de registrar su contraseña.

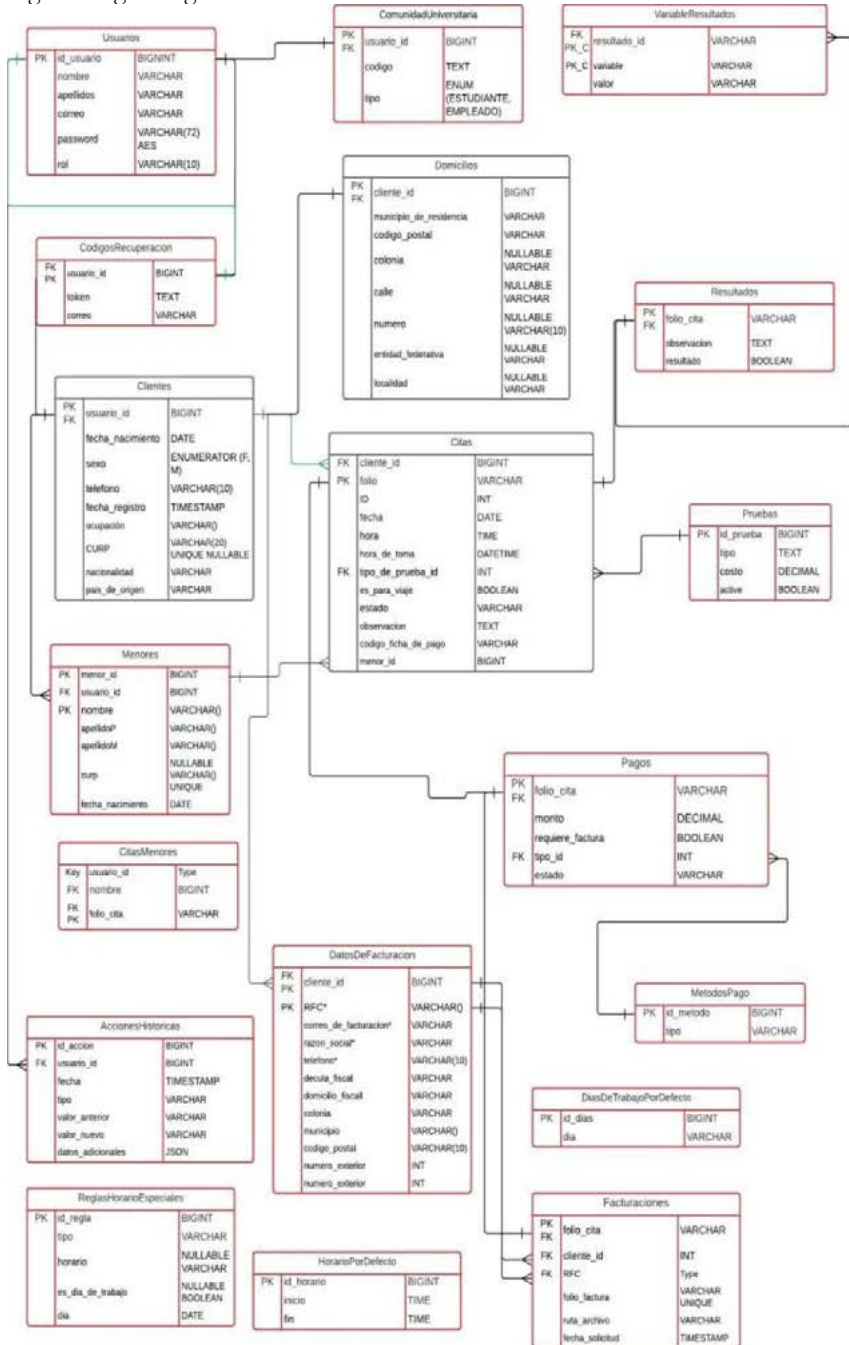
### **C. Acerca de la solución técnica**

Antes de comenzar a desarrollar la aplicación, se diseñó la arquitectura del sistema, el diagrama de base de datos y elegimos las tecnologías que se emplearon para desarrollar el mismo. Para esto se tomaron en cuenta diversos factores como el alcance del proyecto, el rendimiento, la seguridad, la escalabilidad y la disponibilidad requeridos.

Para garantizar la satisfacción del cliente con la aplicación se desarrolló el maquetado de la interfaz gráfica sin interacciones y sin acceso a los datos, con el propósito de que el personal del laboratorio validará el diseño de la interfaz. Una vez validado el diseño se procedió a desarrollar los requerimientos del sistema.

El diseño de la base de datos se realizó desde etapas tempranas del desarrollo del proyecto utilizando los principios de diseño de las bases de datos relacionales [3]. La figura 5 muestra el diagrama de base de datos que se diseñó para la aplicación. La implementación de la base de datos se logró especificando en código, lo cual facilitará su control y su versionamiento. Se contempló que los datos de resultados estén encriptados en la base de datos para protegerlos contra accesos no autorizados. El algoritmo de encriptación utilizado fue AES256, un algoritmo moderno de encriptación sin debilidades criptológicas conocidas.

Fig. 5. Diagrama general de base de datos del sistema.



La organización del sistema es una arquitectura cliente-servidor de tres capas [4]; la aplicación del cliente se comunica a través de internet mediante una API REST[5] con el servidor, el cual a su vez se comunica con la base de datos para realizar consultas o modificaciones de datos. Para lograr que el sistema sea tolerante a fallas y tenga una alta disponibilidad, se implementó una arquitectura distribuida mediante la replicación de la aplicación. La figura 6 muestra la organización de los componentes del sistema.

Los distintos componentes del sistema se comunican mediante HTTP, HTTPS y FTP; HTTPS es un punto crucial de la seguridad de los datos de los pacientes, puesto que permite transmitir datos de forma segura entre los usuarios y el sistema (resultados de pruebas, datos personales, datos de pagos).

Se configuró un *firewall* para bloquear intentos de conexiones a través de puertos FTP no autorizados.

Fig. 6. Progreso de desarrollo para el primer entregable.

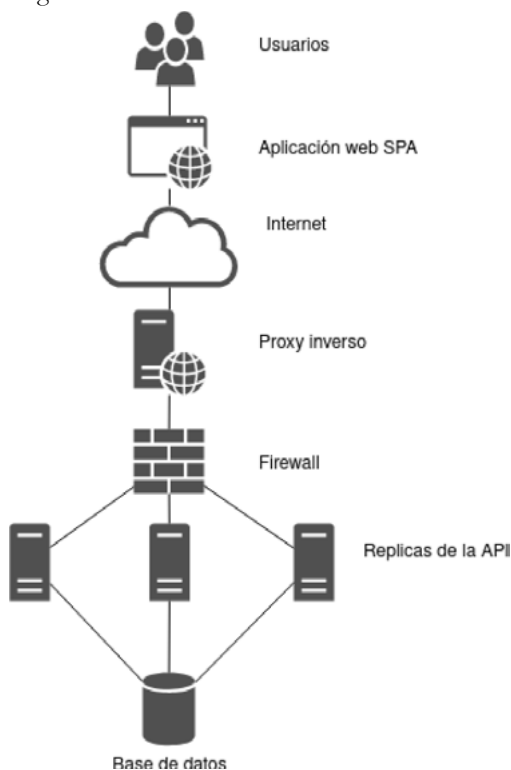


Tabla I. Pila de tecnologías usadas.

Tecnología	Tipo	Uso
PostgreSQL [6]	Base de datos relacional	Se usó PostgreSQL para la persistencia de datos. También se hizo uso de la herramienta Sequelize para la realización de consultas y mapeo de filas a objetos.
Docker [7]	Administrador de contenedores	Contenerización. La contenerización nos permitió administrar de una forma sencilla los diferentes servicios que conforman el sistema.
Docker compose [8]	Herramienta para definir y ejecutar aplicaciones multi-contenedor de Docker	Se usó para configurar y organizar los servicios que componen la aplicación y simplificar el despliegue de la misma.
Docker swarm	Orquestador de contenedores	Se usó para implementar y administrar las distintas réplicas de la aplicación en distintos servidores haciendo uso de distintos servidores en un <i>cluster</i> .
NgInx [9]	Servidor web	Se usó como reverse proxy con la finalidad de gestionar los certificados y posibilitar la posterior implementación de un balanceador de cargas para garantizar la disponibilidad.
Python	Lenguaje de programación	Se usó para el reconocimiento óptico de caracteres
Keras [10]	Keras Deep Learning API	Utilizada para visión computacional y reconocimiento óptico de caracteres.
Tensor Flow [11]	Plataforma <i>end to end</i> para el aprendizaje automático	Utilizada junto con Keras y Python para visión computacional.
OpenCV [12]	Biblioteca de visión computacional, y <i>machine learning</i>	Se utilizó para preprocesar las imágenes y así facilitar su análisis posterior.
NodeJs [13]	Runtime de JavaScript que permite comunicación con el sistema operativo	Se usó para programar la API REST. Se eligió esta tecnología debido a que nos permite utilizar un solo lenguaje de programación tanto para el servidor como para el cliente.



Tecnología	Tipo	Uso
TypeScript	Lenguaje de programación y compilador cuyo <i>output</i> es JavaScript.	Se usó en la programación tanto de la API REST como de la interfaz de usuario en la aplicación del cliente. Se optó por TypeScript en lugar de JavaScript porque TypeScript provee un verificador de tipos en tiempo de compilación, lo que facilitó el proceso de desarrollo.
Angular	<i>Framework</i> para desarrollo de aplicaciones de una sola página.	Se optó por este <i>framework</i> porque es robusto y está implementado con TypeScript
HTML	Lenguaje de marcado para representar el contenido de una aplicación web.	Se usó para construir la interfaz de usuario.
CSS	Lenguaje para aplicar estilos a un sitio web.	Diseño.
GIT [2]	Herramienta de control de versiones.	Se empleó esta herramienta para facilitar la colaboración de los miembros del equipo y versionar el sistema.
Azure DevOps	Herramienta de Microsoft que provee control de versiones, gestión de requerimientos, gestión de proyectos ágiles.	Esta herramienta fungió como el repositorio de los requerimientos del sistema. Nos facilitó la gestión de tareas y entregables. Sirvió como repositorio de código para el proyecto.

La solución planteada incluye la realización de un sistema basado en tecnologías web, el cual consta de una aplicación de una sola página desarrollada con HTML, CSS, TypeScript y Angular, la cual es la responsable de mostrar la interfaz de usuario en el navegador de los usuarios finales las aplicaciones de una sola página son soluciones que renderizar la interfaz de usuario mediante código ejecutado en el navegador. Esto hace que no sea necesario recargar la página completa cuando el usuario navega entre las diferentes pantallas de la aplicación. Lo cual reduce el tiempo de carga entre una página y otra, haciendo más ameno el uso de la aplicación. La decisión de hacer uso de una aplicación de una sola página en vez de las tradicionales aplicaciones multipágina fue debido a las siguientes ventajas:

- Velocidad: Mientras que las aplicaciones de múltiples páginas constantemente hacen peticiones completas de la página que el navegador va a

renderizar, las aplicaciones de una sola página renderizan el esqueleto de la interfaz de usuario para posteriormente pedir datos al servidor y únicamente hacer nuevos renderizados para los datos obtenidos.

- Proceso de desarrollo: El desarrollo de aplicaciones de una sola página garantiza la separación de responsabilidades entre la representación de los datos con la interfaz de usuario y el procesamiento de estos para su posterior almacenamiento. Lo cual hace que las aplicaciones sean más fáciles de cambiar y más fáciles de depurar.

Las aplicaciones de una sola página tienen como principal desventaja la falta de optimización para motores de búsqueda como Google o Bing, lo cual para nuestros propósitos es irrelevante porque la aplicación no está diseñada para ser usada como difusión o publicidad del laboratorio. Para esto, el laboratorio cuenta con su propia *landing page* desde la cual se redirecciona a la aplicación para que los usuarios accedan.

Esta aplicación de una sola página interactúa con una API REST HTTP, el cual es el intermediario entre los datos persistidos en la base de datos y la representación de estos datos en la interfaz de usuario. La API REST se encarga de hacer las consultas necesarias a la base de datos, mapear los datos en objetos, serializar los objetos en un formato de texto estructurado para así ser transferidos a la aplicación de una sola página, para que esta renderice la interfaz de usuario apropiada para los usuarios finales. Para las consultas a la base de datos se utilizó una herramienta llamada Sequelize la cual usamos para llevar a cabo mapeos objeto-relacional. El mapeo objeto relacional es una técnica de programación para convertir los datos entre el sistema de tipos utilizado en un lenguaje orientado a objetos y la utilización de una base de datos relacional como motor de persistencia. Esto crea una base de datos orientada a objetos virtual, lo cual facilita interactuar con los datos como si fueran objetos implementados en el mismo lenguaje de programación. Lo que facilita la programación orientada a objetos. Generalmente, una fila de una tabla en la base de datos corresponde a una instancia de un objeto. Lo que nos permite acceder a la información de la base de datos mediante miembros del objeto mapeado.

La comunicación entre el cliente (aplicación de una sola página) y el servidor (API REST) se realiza utilizando peticiones HTTP (Hypertext

Transfer Protocol) el cual es un protocolo localizado en la capa de aplicación del modelo OSI para la transmisión de documentos hipermedia, como HTML. En nuestro caso, también se hizo uso de HTTP para la transferencia de datos en formato JSON. Se eligió este mecanismo de comunicación porque HTTP tiene las siguientes ventajas:

- Sencillo: Está pensado para ser fácilmente leído por seres humanos, haciendo que sea más fácil la depuración y reduce la curva de aprendizaje.
- Extensible: Las cabeceras de HTTP permiten que este protocolo sea fácil de ampliar y de experimentar con él. Es realmente fácil implementar funcionalidades nuevas sin afectar clientes y servidores existentes.
- Es un protocolo con sesiones pero sin estados: Esto quiere decir que no guarda ningún dato entre dos peticiones en la misma sesión, lo cual es útil para desarrollar un sistema escalable.

HTTP se basa en el protocolo de la capa de transporte TCP, el cual es orientado a conexión, lo cual lo hace muy fiable. Se usa una conexión TCP por cada petición y respuesta intercambiada, lo cual crea problemas de rendimiento.

Se hizo un uso extensivo de transacciones ACID para garantizar la atomicidad, consistencia, aislamiento y durabilidad de las operaciones realizadas en la base de datos. Esto fue realmente importante debido a que la principal funcionalidad del sistema es la agenda de citas. Sin las transacciones ACID sería difícil garantizar que se agenden citas en los espacios adecuados con un gran número de usuarios.

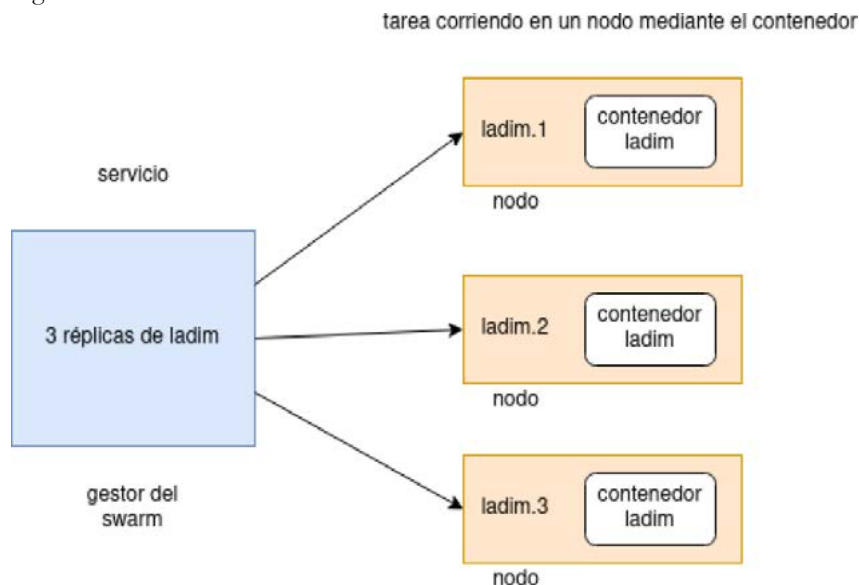
La API REST se desarrolló utilizando NodeJs, el cual es un runtime de JavaScript que permite desarrollar aplicaciones y servicios web escalables y con buen rendimiento, esto debido a su arquitectura que pese a no tener hilos puede soportar gran número de usuarios debido a que las operaciones de entrada y salida que utiliza son asíncronas usando una arquitectura orientada a eventos. Esto permite tener múltiples operaciones de entrada y salida desde NodeJs al sistema operativo sin tener que esperar a que termine una para empezar la siguiente. NestJs el cual permite desarrollar aplicaciones de NodeJs con el lenguaje de programación TypeScript en vez de JavaScript. Esto es deseable por debido a que TypeScript proporciona seguridad de tipos en tiempo de compilación, lo cual facilita la modi-

ficación y refactorización del código, así como su depuración. Otra razón más para hacer uso de TypeScript es que ese mismo lenguaje se utilizó para programar la aplicación de una sola página, lo cual hace relativamente la reutilización de clases y código eficientando el desarrollo.

La replicación de la aplicación se logra mediante el uso de contenedores y orquestadores. Los contenedores de aplicaciones nos permiten desplegar y correr la aplicación de una manera consistente y predecible; utilizamos Docker para empaquetar la aplicación junto con sus dependencias en un contenedor. Una vez que la aplicación fue empaquetada, utilizamos `docker-compose` para configurar y administrar de forma sencilla la aplicación y sus componentes. Debido a la facilidad que nos provee `docker compose` para declarar y configurar los componentes mediante un archivo de texto de configuración y luego ejecutar la aplicación mediante comandos de consola, nos fue sencillo desplegar la aplicación de forma rápida y eficiente.

Utilizamos `docker swarm` para replicar la aplicación en distintos servidores, con convertidor de componentes individuales en un clúster de `docker` capaz de ejecutar la aplicación de forma distribuida. En la figura 7 se muestra el funcionamiento de `docker swarm`, un gestor se encarga de controlar los nodos miembros del clúster y se encarga de que corran los contenedores requeridos para llegar al estado deseado especificado en el archivo de configuración.

Fig. 7. Funcionamiento de docker swarm.



La API REST es capaz de enviar correos electrónicos relevantes para los procesos del sistema. Esto se realiza utilizando servidores SMTP, la aplicación es capaz de conectarse con servidores de correo que implementen el protocolo SMTP, para desarrollo se utilizó un servidor de correo falso. En el ambiente de producción se pidió a la Universidad de Guadalajara que se nos proporcionará una dirección de correo específica para la aplicación.

Una funcionalidad clave del sistema es la implementación de pagos en línea mediante el servicio de pasarela de pagos de la Universidad de Guadalajara. Este servicio de pagos permite hacer uso de tarjetas de crédito y débito para pagar las pruebas de covid agendadas desde la aplicación.

Para el módulo de agenda se realizaron exhaustivas validaciones como que evitan situaciones o condiciones no deseadas en el sistema, por ejemplo, que una cita se agende en un horario de trabajo válido de acuerdo con el horario de trabajo configurado desde la administración, validar que solo exista una cita por día para un usuario específico, validar que si la cita es para viaje que exista el número de pasaporte registrado en el sistema. Además, se debe de verificar que al momento de crear la cita se realice un decremento en el número de lugares disponibles para un horario en específico.

El sistema es capaz de reconocer imágenes de comprobantes de pago y de esta manera automatizar el proceso de validación de pago de citas. Se utilizó como base el algoritmo CRAFT (Character Region Awareness for Text Detection) [14]. Este algoritmo propone un nuevo método para la detección de texto de forma eficiente mediante la exploración de cada carácter y la afinidad entre caracteres.

Para mejorar los resultados de los algoritmos de reconocimiento de caracteres, fue necesario preprocesar la imagen con un algoritmo de valor umbral. Los algoritmos de valor umbral tienen la finalidad de segmentar gráficos rasterizados, es decir, separar los objetos de una imagen que nos interesa del resto. Con la ayuda de los métodos de valor umbral en las situaciones más sencillas se puede decidir qué píxeles conforman los objetos que buscamos y qué píxeles son solo el entorno de estos objetos. Este método es especialmente útil para separar el texto de un documento del fondo de la imagen y así poder llevar a cabo el reconocimiento óptico de texto con más garantías de obtener el texto correcto [15]. En la figura 8 podemos ver cómo es la imagen antes de que se aplique el algoritmo de valor umbral, mientras que en la figura 9 se puede ver la imagen del resultado de dicho algoritmo. Se puede observar que los caracteres tienen bordes más definidos y se reduce el ruido provocado por sombras y reflejos. De esta forma, es más eficiente el algoritmo de reconocimiento de caracteres del cual se puede ver el resultado en la figura 10.

Fig. 8. Imagen original.

```

** BBVA MEXICO, S.A. **
RFC BBA830831LJ2
FECHA HORA CAJERO
08/11/22 08:48 MM9162
DEPOSITO EN EFECTIVO

UBICADO EN: PLAZA PATRIA
ZAPOPAN JA
FECHA DE APLICACION: 08/11/22
FOLIO NUMERO:1706 AUT:857712
GUIA CIE 0003298493
IMPORTE DE PAGO $105.00
EFEC. DEPOSITADO $200.00
CAMBIO $95.00
REFER: 02182929980
CONVENIO: 0588313

EL PAGO DE :
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
HA QUEDADO REGISTRADO CONFIRME
EN SU PROX. EDO CTA.
    
```

Fig. 9. Imagen después de aplicarle el algoritmo del valor umbral.

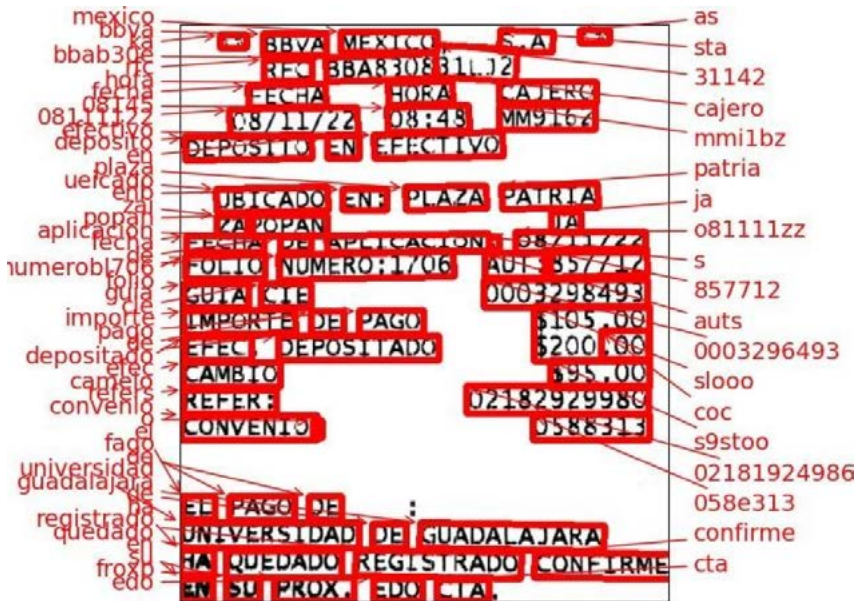
```

** BBVA MEXICO, S.A. **
RFC BBA830831LJ2
FECHA HORA CAJERO
08/11/22 08:48 MM9162
DEPOSITO EN EFECTIVO

UBICADO EN: PLAZA PATRIA
ZAPOPAN JA
FECHA DE APLICACION: 08/11/22
FOLIO NUMERO:1706 AUT:857712
GUIA CIE 0003298493
IMPORTE DE PAGO $105.00
EFEC. DEPOSITADO $200.00
CAMBIO $95.00
REFER: 02182929980
CONVENIO: 0588313

EL PAGO DE :
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
HA QUEDADO REGISTRADO CONFIRME
EN SU PROX. EDO CTA.
    
```

Fig. 10. Resultado del análisis de la imagen.



Para la implementación del reconocimiento de imágenes se hizo una segunda API REST dedicada únicamente a procesar las imágenes. Esto con la finalidad de poder escalar independientemente de los servicios principales. Para la aplicación del algoritmo de valor umbral se ejecuta un *script* separado que usa OpenCV en su implementación. La imagen resultante del algoritmo de valor umbral se guarda en una ruta definida dentro del servidor. Para ejecutar el algoritmo de reconocimiento se crea un proceso hijo de la aplicación Nodejs, el proceso es el que ejecuta el *script* de Python el cual contiene el código del algoritmo deseado, este *script* tiene como entrada la ruta del archivo correspondiente a la imagen procesada por el algoritmo de valor umbral y como salida otorga el texto escaneado de la imagen. El resultado del algoritmo se comparte con la API REST mediante la salida estándar del proceso hijo. Aun después de la ejecución del algoritmo de reconocimiento de texto es necesario aplicar algunos algoritmos extras para mejorar el resultado.

El primero de estos es el reconocimiento y eliminación de espacios extras entre palabras. La separación de los datos poco relevantes de los datos relevantes. Los datos relevantes se organizan en diccionarios donde



la clave es el concepto del dato y el valor es el dato. Un ejemplo de clave y valor es: “IMPORTE DE PAGO” y “\$ 105”. Al organizar la información del comprobante de pago en diccionarios es posible realizar búsquedas de la información requerida. Un problema que enfrentamos es que muchas veces el algoritmo de reconocimiento de texto no detectaba los caracteres al 100 %. Por lo tanto, en vez de tratar de encontrar una clave con un valor exacto, se buscaron las claves aproximadas. De esta forma, si el algoritmo detectaba “IMPORTE DE P46O” en vez de “IMPORTE DE PAGO” el sistema detectaría la similitud de estas dos cadenas de texto, lo que significa que son equivalentes. De esta forma, no es necesario que el algoritmo tenga una precisión perfecta. La comparación aproximada se logró mediante un algoritmo basado en el coeficiente de Dice.

El proceso de autenticación utilizado para la mayoría de las peticiones a la API REST se realizó haciendo uso de un esquema de autenticación HTTP llamado Bearer authentication. Esto involucra tokens de seguridad llamados tokens bearer. El cliente (la aplicación de una sola página que se ejecuta en el navegador de los usuarios finales) debe incluir este token en cada solicitud cuando se hacen peticiones a recursos protegidos. Se hizo uso de Json Web Tokens el cual es un estándar para la creación de tokens de acceso que permiten la propagación de identidad y privilegios. El token está firmado por una clave privada en el servidor, de esta forma, cuando el servidor recibe un token, este es capaz de verificar la autenticidad del token. Se utilizó el algoritmo HS256 para la firma del Json Web Token HS256 es un algoritmo de dispersión con clave simétrica que usa una clave secreta. Simétrica significa que los dos lados (cliente y servidor comparten la clave secreta) La clave es usada para generar la clave y para validarla [16]. En nuestra implementación, el servidor que genera y firma los JWT es el mismo que los valida al recibir las peticiones.

Los tokens de autenticación se envían en cada petición del cliente en un *header* específico. Hay algunas peticiones en las cuales no es posible agregar el correspondiente token al header estas peticiones usualmente involucran las URL de los archivos PDF generados automáticamente por la aplicación. Para la autenticación de estos documentos en lugar de hacer uso del esquema de autenticación Bearer se hizo uso de *cookies* para almacenar el Jwt en el *cookie* y así poder autenticar esas peticiones.

## D. Pruebas

Se realizaron múltiples, rigurosas y extensas pruebas, en especial para verificar el correcto funcionamiento del sistema de reserva de citas. Esto con la finalidad de garantizar consistencia en las operaciones de reserva y así evitar que se exceda el cupo a una determinada hora.

Hubo un periodo de prueba en el cual el personal de LaDIM usó el sistema, en este periodo nos notificaron los bugs encontrados así como diversas mejoras fáciles de implementar.

Antes de la implementación del sistema se realizó un listado de historias de usuario que representan los requerimientos funcionales del sistema, posteriormente se hizo un diagramado general de la base de datos [3]. Luego se realizó la maquetación de la interfaz de usuario sin funcionalidad real, con el propósito de que personal de LaDIM valide el diseño elegido. Finalmente, se priorizaron las historias de usuario, asignándoles más prioridad a aquellas que aportan más valor a los interesados para el proyecto. El siguiente proceso fue la asignación y realización de tareas a los miembros del equipo. Por último, una vez que se había desarrollado cierta funcionalidad se mostraba el resultado a los interesados del proyecto para recibir retroalimentación. En las últimas fases, se desplegó el proyecto en servidores de la UdG.

## Módulo I. Justificación de arquitectura y programación de sistemas

Diseñamos y desarrollamos una aplicación web justificando las decisiones de diseño y elección de tecnologías y métodos de desarrollo. El proyecto se realizó mediante metodologías ágiles con ayuda de la herramienta *azure devops* y *git*. Esta elección de metodología se debe a la necesidad pronta de proveer valor a los clientes del sistema. Las metodologías ágiles permiten entregar valor de forma temprana y adaptarse al cambio durante el transcurso del tiempo. Diseñamos e implementamos un modelo de datos basado en bases de datos relacionales para lograr persistencia de datos.

La pila de tecnologías que utilizamos para la realización del proyecto es la siguiente: PostgreSQL como motor de base de datos, gran Doc-

ker, Docker compose, NgInx, NodeJs, TypeScript, Angular, HTML, CSS, Python, TensorFlow y Keras.

## **Módulo II. Justificación de sistemas inteligentes**

El módulo de sistemas inteligentes se justifica mediante la implementación de algoritmos de reconocimiento de caracteres en imágenes [17], usado para extraer información de los comprobantes de pago de manera automática. Lo anterior mejora la experiencia de usuario al subir documentos al sistema. Para esto utilizaremos bibliotecas de redes neuronales artificiales convolucionales [18] hechas para este propósito, las cuales entrenamos y validamos para adaptarlas a nuestras necesidades.

Para poder llevar a cabo realizamos experimentos con distintas herramientas de inteligencia artificial tales como tesseract y keras. En la figura 10 se aprecia el resultado del análisis en un experimento inicial con la herramienta keras. Los experimentos incluyeron entrenamiento de modelos y aplicación de filtros a las imágenes.

El resultado final no es infalible, debido a las implicaciones de detectar texto en imágenes con distintos formatos, tipografías y bajas resoluciones dificulta el obtener resultados exactos en todos los casos.

En el flujo del sistema, un usuario debe subir una imagen con el comprobante de pago de su cita para poder recibir sus resultados; el usuario también debe ingresar manualmente los datos del comprobante. Para evitar esto, el algoritmo de reconocimiento extraerá automáticamente los datos relevantes de la imagen para facilitar este paso.

## **Módulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

El módulo de sistemas distribuidos se justifica con la utilización de contenedores y orquestadores para lograr un sistema escalable, tolerante a fallas y con una alta disponibilidad, capaz de atender a una gran cantidad de usuarios y de continuar funcionando, incluso si una parte del sistema o una réplica del mismo deja de funcionar.

El sistema está organizado en una arquitectura cliente-servidor de tres capas [14]; mediante una API REST los clientes se comunican con la aplicación, la cual hace uso de la base de datos.

La comunicación entre los distintos componentes de la aplicación se realiza mediante TCP, HTTP y HTTPS.

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Se logró desarrollar, con las herramientas y metodologías propuestas, un sistema funcional que cumple con las necesidades del usuario. El software finalizado se desplegó en servidores de la Universidad de Guadalajara

El sistema se utilizó en producción un corto periodo de tiempo, en el cual realizó su función correctamente. Durante las primeras semanas de uso surgieron una cantidad considerable de errores, por lo que se realizó un arduo trabajo corrigiéndolos. A pesar de esto, después de un par de semanas se logró estabilizar el sistema. Tuvo una cantidad de usuarios de aproximadamente 200 personas.

#### **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Se desarrolló un sistema web funcional que cumple con las expectativas del usuario y que a su vez es escalable, seguro, altamente disponible, y confiable. Utilizando herramientas modernas y las mejores prácticas del desarrollo de software ágil, colaborando de cerca con el cliente, lanzando productos funcionales en intervalos cortos de tiempo para obtener retroalimentación.

En el desarrollo del sistema no se dejaron de lado aspectos como la seguridad de los datos del usuario y el consentimiento del usuario para guardar su información.

El sistema cumplió con su cometido de proveer herramientas adecuadas para que el personal del laboratorio pudiera ofrecer un mejor servicio y realizar sus actividades de forma eficiente. Durante el periodo de tiempo en el que el sistema estuvo abierto al público, este auxilió con el proceso de aplicación de pruebas de covid por parte del laboratorio y proveyó las herramientas para llevar a cabo las tareas de validación de pagos, facturación, agenda de citas y entrega de documentos.

Actualmente sigue abierta la propuesta de mejora y expansión del proyecto a futuro. Distintas funcionalidades deseables, como gestión de citas

para personal de empresas y rastreo del proceso de análisis de las muestras, no fueron contempladas en el tiempo de desarrollo del proyecto debido a que no eran una prioridad. Se contempla la posibilidad de integrar tales funcionalidades para abarcar todas las necesidades del laboratorio.

### **Reconocimientos**

Agradecemos a todas las personas que hicieron posible este proyecto: al Dr. Oscar Blanco Alonso, a la Mtra. Patricia Del Rosario Retamoza Vega y al personal asociado al LaDIM que nos guio durante la realización del proyecto.

## Referencias

- [1] S. A. (31 de agosto del 2022). “What is Scrum?” [Online]. Available: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>
- [2] J. Loeliger, and M. McCullough, *Version Control with Git: Powerful tools and techniques for collaborative software development*. Second edition. 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA: O’Reilly, 2012.
- [3] J. R. Capacho and W. Bernal, *Diseño de bases de datos*. Colombia: Universidad del Norte Editorial, 2017.
- [4] A. S. Tanenbaum.; M. Steen. *Distributed systems: principles and paradigms*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2022.
- [5] S. A. (2020, May, 8). What is a REST API? [Online]. Available: <https://www.redhat.com/en/topics/api/what-is-a-rest-api>
- [6] The PostgreSQL Global Development Group. *PostgreSQL 11.17 Documentation*. CA: The PostgreSQL Global Development Group, 2022
- [7] B. B. Rad, H. J. Bhatti and M. Ahmadi, “An introduction to docker and analysis of its performance.”, *International Journal of Computer Science and Network Security (IJSCSNS)*, vol. 17, pp. 228, March 2017
- [8] Author [@devops\_83824]. (November 08, 2019). Introduction to Docker Compose [Online]. Available: [https://medium.com/@devops\\_83824/introduction-to-docker-compose-934238b14c13](https://medium.com/@devops_83824/introduction-to-docker-compose-934238b14c13)
- [9] D. DeJonghe. *NGINX Cookbook, Advanced Recipes for High- Performance Load Balancing*. Sebastopol, CA: O’Reilly Media, Inc., 2020.
- [10] F. Morales. (August 31, 2022) “keras Documentation” [keras-ocr.readthedocs.io](https://keras-ocr.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/). Available: [https://keras-ocr.readthedocs.io/\\_/downloads/en/latest/pdf/](https://keras-ocr.readthedocs.io/_/downloads/en/latest/pdf/)
- [11] G. Zaccane, *Getting Started with TensorFlow*. Mumbai: Packt, 2016.
- [12] J. Howse, J. Minichino, *Learning OpenCV 4 Computer Vision with Python 3*. Mumbai: Packt, 2020.
- [13] D. Herron, *Node.js Web Development. Fifth Edition*. Mumbai: Packt, 2020.
- [14] Y. Baek, B. Lee, D. Han, S. Yun, H. Lee, “Character region awareness for text detection”, 2020 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, pp. 1-6, July 2020.

- [15] R. Gonzalez, R. Woods. Digital Image Processing. New York: Pearson, 2005.
- [16] W. Johnson (2022, May, 4). RS256 vs HS256: What's The Difference? [Online]. Available: <https://auth0.com/blog/rs256-vs-hs256-whats-the-difference/>
- [17] P. Shah, S. Karamchandani, T. Nadkar, N. Gulechha, K. Koli and K. Lad, "OCR-based chassis-number recognition using artificial neural networks." 2009 IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, pp. 31-34, November 2009.
- [18] J. Torres, Deep Learning Introducción práctica con Keras. Barcelona: Watch This Space, 2018.

# Capítulo 21

---

## **Vossom (sistema de debate por videollamada)**

*Edgar Alan Domínguez Murillo*

*Denilson Asael Sandoval Vallejo*

*Diego Ruíz Pérez*

*Thelma Isabel Morales Ramírez*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*Edgar.Dominguez5434@alumnos.Udg.Mx*

*Denilson.Sandoval4971@alumnos.Udg.Mx*

*Diego.Ruiz5830@alumnos.Udg.Mx*

*Thelma.Morales3416@academicos.Udg.Mx*



## I. Introducción

Los debates son dinámicas grupales que buscan argumentar para defender o descalificar una postura o punto de vista sobre un tema en específico. Normalmente, se componen de dos o más debatientes con posturas contrastantes y un moderador de postura neutral, que se encarga de velar por el orden y la coordinación de la dinámica.

Hay una gran variedad de aplicaciones para los debates, aunque los usos más comunes son los relacionados con la construcción y crítica de la cultura, el desarrollo académico y, por supuesto, el encuentro entre entidades políticas durante comicios o decisiones gubernamentales.

En este orden de ideas, el sistema vossom ha sido pensado como un instrumento que propicie un entorno adecuado para el desarrollo de un debate, llevado a cabo en salas de videollamadas. Además, con la intención de incrementar la confluencia en temas de interés y reunir información de puntos de vista convergentes o divergentes, se ha diseñado con la opción de albergar salas de carácter público que puedan ser accesibles y recomendadas, pero también se albergan salas privadas con el propósito de crear un entorno más selectivo y así debatir con un grupo de personas sin la necesidad de recurrir a la participación de desconocidos, siendo los debatientes personas que se reconocen y confían entre ellos como podrían ser amigos o compañeros de trabajo o de estudio.

### A. Planteamiento del problema

Con la llegada de la pandemia ocasionada por el covid-19, las aplicaciones de videoconferencias como Google Meet o Zoom dejaron en claro el alto potencial que las videollamadas tienen dentro del mundo académico. Sin embargo, ninguna de estas herramientas es apta para el desarrollo típico de un debate. Aun cuando pueden ser utilizadas para este propósito, se ven sujetas a la predisposición de los integrantes al orden.

### B. Justificación

Ante la falta de opciones dentro del mercado el proyecto vossom, a diferencia de las demás plataformas, ofrece un sistema enfocado al debate en

tiempo real por videollamada, permitiendo mostrar evidencias, moderar y argumentar, basándose en un modelo de debate clásico, implementado en el entorno digital en comparación de plataformas como Google Meet, Zoom, Discord que no ofrecen este entorno para debatir.

## **II. Trabajos relacionados**

En el ámbito online, existen herramientas que permiten la confrontación de ideas sobre cualquier tipo de tópico, denominados foros de discusión. Su funcionamiento suele ser el mismo en todos los casos: se parte de la exposición del argumento o interrogante, seguido de sus respuestas o contraargumentación. En este tipo de foros, de índole pública, todo usuario registrado puede abordar cualquier tema y su respuesta puede ser limitada a especialistas o a cualquier otro usuario. Un punto negativo de este tipo de herramientas es que la conclusión del debate puede llevar un lapso prolongado, además, gran parte de las ideas en foros no especializados carecen de argumentación o de una intención apelativa, debido a que no suele practicarse la síntesis de argumentos, los cuales se derivan de las reglas clásicas del debate, como lo es el tiempo límite para la exposición del argumento.

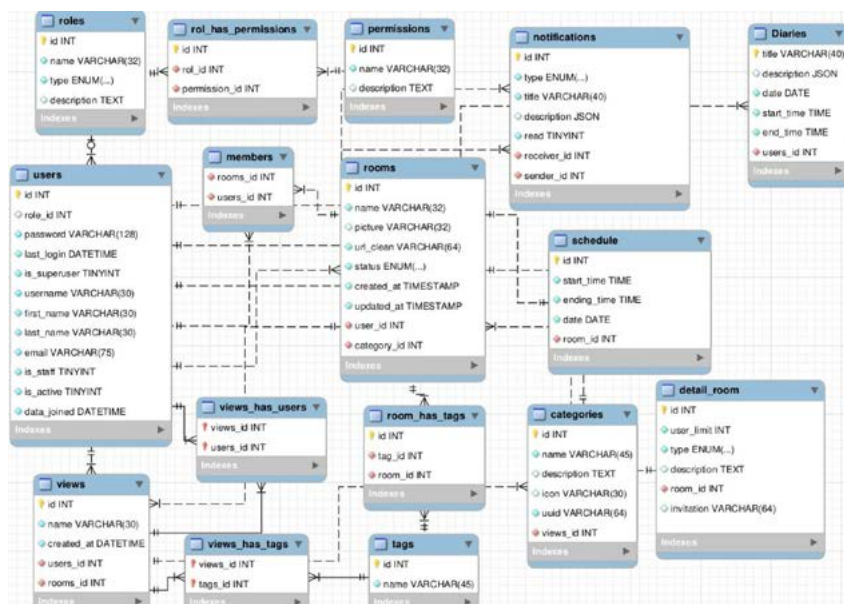


Fig. 1. Diagrama ER utilizado para modelar la base de datos y los modelos de Django. Elaboración propia.

Hay cientos de ejemplos de foros de debates, desde los foros más genéricos como Reddit o Stack Overflow, así como foros enfocados en la toma de decisiones, tales como: Loomio o Appgree, entre otros. Sin embargo, ninguno de los anteriores está enfocado en la comunicación en tiempo real y, aunque en algunos casos permiten que se enlacen a otras plataformas, la estructura del debate o discusión se pierde por completo y termina en una exposición de ideas con poca organización.

Tanto las plataformas de código cerrado como Meet o Zoom y de código abierto, como Jitsi, tienen características comunes para una videollamada, como puede ser la estructura de reunión de junta (el anfitrión expone y de vez en cuando cede la palabra); la falta de democratización del tiempo, que cada miembro recibe la oportunidad de participar según el anfitrión crea conveniente y, finalmente, que la interacción de los participantes no está dirigida por pautas de una dinámica de grupo, sino que está sujeta al punto de vista del moderador.

### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

#### A. Hipótesis

La normativa de un debate es replicable en una red peer-to-peer a tiempo real, mediante el uso del estándar de comunicaciones webrtc y de mecanismos lógicos que guían, descentralizan la autoridad de opinión y democratizan el tiempo, para que el derecho de participación de los contendientes sea igualitario.

#### B. Metodología

Para incentivar la formulación y revisión de ideas, además de permitir dar seguimiento al proyecto, se aplicó la metodología scrum dado que permite el trabajo colaborativo y veloz. Con scrum se tiene la obligación de mantener una comunicación constante entre miembros del equipo y dar revisiones a los puntos más prioritarios del proyecto, como lo fue la implementación de los módulos que permiten la comunicación en tiempo real o el desarrollo de la base de datos, a su vez permitió conocer los errores y resolverlos según el nivel de problemática ocurrido, por ejemplo, la carga tardía de la información, la muestra de los componentes (botones, tablas, contenido, entre otros) y errores en la conexión de los módulos.

La aplicación de una metodología ágil en conjunto de *frameworks* adecuados facilitan la solución de los problemas que pueden surgir al programar. Estos aceleran el proceso de creación de nuevas funcionalidades, facilitan tareas como la organización del código o el trabajo en equipo dentro de un proyecto.

El primer *framework* usado en este sistema es Django rest que involucra el patrón de diseño mtv (model, template, view), de esta forma, se desarrollaron, en primera fase, los modelos que mantienen comunicación con la base de datos, luego se incorporaron las vistas como un enlace hacia el modelo que decide qué información será mostrada, y por último, la tercera capa que es la encargada de organizar y mostrar dicha información. Sin embargo, aun cuando Django cuenta con sus propios templates, se optó

por utilizar vue.js, que estiliza la información a través de diseños presentes en el paquete vuetify. El uso de esta herramienta está justificado por su buen rendimiento y su enfoque al desarrollo de interfaces de usuario agradables a la vista.

También se usaron una serie de estándares para escribir el código fuente en los lenguajes de programación usados (JavaScript y Python) con el propósito de que cada miembro comprenda la lógica de cada sección implementada, además de obtener los mejores rendimientos de ambos lenguajes de programación. Para el lenguaje JavaScript se usó el estándar ECMAScript 6 que se encarga de regir como debe ser interpretado y funcionar el lenguaje JavaScript y en el caso de Python, pep8, un manual de estilo que aborda los temas de cómo nombrar clases, funciones y variables.

### **C. Diseño y fase del prototipado del proyecto modular**

El primer paso en el diseño fue el desarrollo del esquema de la base de datos del proyecto, donde se contemplaron conceptos como salas, categorías, *tags*, usuarios, notificaciones, historial, detalles, horario y miembros de la sala, además de roles y permisos para mantener los módulos protegidos y restringir que los usuarios no accedan a zonas con datos de alta sensibilidad.

Con la primera meta del diseño y fase del prototipado de alcanzar el objetivo general de desarrollar un sistema de videoconferencia enfocado al debate, se obtuvo el esquema de la base de datos, mostrado en la figura 1. Este esquema contempla fases subsecuentes de prototipado como la interfaz de usuario, seguridad, almacenamiento de datos e implementación de los algoritmos de minería de datos para la recomendación de *tags* y salas, con el fin de desarrollar un instrumento que permita un entorno propicio para el desarrollo de un debate en una videollamada.

La base de datos en las etapas de planeación y desarrollo fue construida en mariadb, pero durante el despliegue del sistema en el servidor, se hizo una mudanza a MySQL, por ser una opción altamente compatible con la anteriormente mencionada.

Como se sugirió brevemente, se implementó el patrón de diseño mtv (model, template, view), un patrón similar al mvc (model, view, controller). Este patrón se usó por ser el estándar de Django y que, además, ofrece

un gran rendimiento y flexibilidad. Un punto importante para mencionar es que con este *framework* utiliza el lenguaje de programación Python, conocido por permitir un desarrollo ágil y reutilizable, el *framework* también incorpora una amplia variedad de paquetes de librerías.

Otra cuestión importante sobre este patrón es que al usar Django como el *backend* de este sistema y usar vue.js como la parte encargada de la presentación de los datos, es que la capa template, normalmente presente en Django al renderizar código html, se traslada al *framework* de vue.js, pues es este el que renderizará los componentes construidos por html e instrucciones JavaScript, gracias a una comunicación constante con la capa de la vista o *view*, es decir, el *framework* vue.js toma parte de esta última capa.

Con el uso de *mtv*, se comenzó con el diseño y creación de los modelos. Los modelos conforman la primera capa del patrón y contienen toda la información referente a la estructuración y manipulación de los datos, es decir, cómo acceder, cómo validarlos, cuál es el comportamiento que tienen, y las relaciones entre los datos correspondientes al diagrama er generado. Con el uso de Django models, es posible transformar cada tabla planteada a un modelo estructurado con sus respectivos atributos e interrelaciones con otros modelos. Los modelos de Django también sirven para establecer valores por default y condicionar la manipulación de los datos mediante validaciones restrictivas como la longitud mínima y máxima, el tipo de dato, si es requerido o no, entre otras.

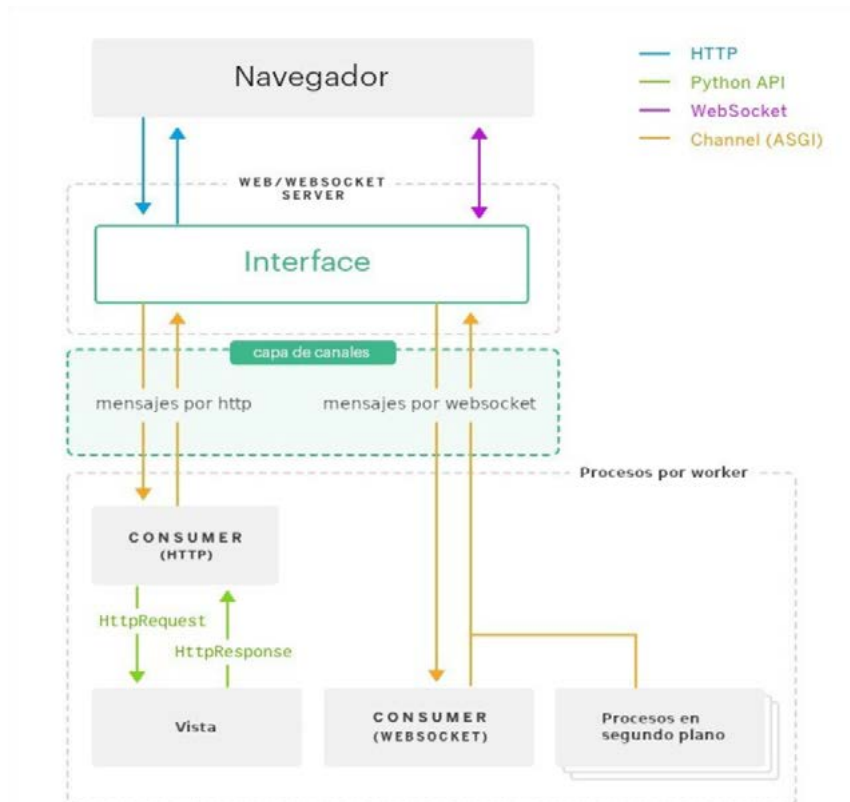


Fig. 2. Interacción de WebSockets con Django Channels. [10]

La segunda capa es la de la presentación o *views*, donde se concentran todas las decisiones relacionadas a la información que se va a mostrar, en esta capa se mantiene comunicaciones con la capa de template que es la que tiene comunicación directa con el usuario. Esta capa es un lugar que concentra la lógica de la aplicación, porque pedirá información del modelo como la sala y se la pasará a la plantilla. Esta comunicación la hace Django por medio de json a través de un intercambio de mensajes con vue.js, ya que este *framework* es el encargado de los templates.

Las notificaciones son parte importante de este sistema porque permite que el usuario sepa en qué tiempo inicia el debate y un aproximado de cuánto va a durar. El principal uso de las notificaciones es el de capturar

las invitaciones dadas por otros usuarios para ingresar a una sala ya sea privada o pública, así que las tareas de este apartado son servir como alertas, avisos y mensajes informativos.

El mecanismo empleado por los consumers para el envío de notificaciones se incluye en la misma capa (vista). Los consumers son clases que buscan abstraer el concepto de un canal entre el servidor y el cliente, de manera sencilla, son los encargados de regular y coordinar una comunicación activa con vue.js, los consumers usualmente trabajan con un solo canal bidireccional, cuyos puntos son conectados por medio de *websockets*.

Los *websockets* son una tecnología moderna caracterizada por permitir que el navegador envíe mensajes a un servidor y reciba respuestas controladas por eventos desde el mismo sin tener que enviarle una solicitud. A diferencia de http, los *websockets* establecen una conexión bidireccional persistente entre el cliente y el servidor. A través de esta conexión, el cliente puede enviar datos al servidor en cualquier momento, y el servidor puede enviar datos al cliente por iniciativa propia en cualquier momento. Las notificaciones implementadas en el proyecto utilizan esta tecnología, es decir, que en vez de emplear http, se implementa el protocolo websocket; cuando el canal está abierto, el usuario puede crear y recibir invitaciones a salas al instante, sin que haya algún tick de refresh dentro de vue.

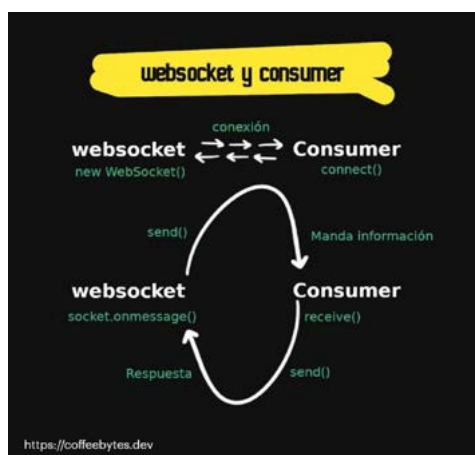


Fig. 3. Funcionamiento básico de los WebSockets a través de los consumer del servidor [10].



Entonces para la implementación de notificaciones se usó un paquete llamado Django channels que crea aplicaciones con comunicación en tiempo real de manera nativa, otorgando a Django la capacidad manejar protocolos que requieren una conexión persistente, como *websockets* o chatbots, mientras mantiene intacta su integración con el sistema de sesiones, autenticación y el resto del *framework*.

Django channels es quien coloca la capa intermedia (*consumers*). Relaciona las peticiones http a las vistas de Django y las conexiones websocket a un consumer http o un consumer websocket, siendo este último el usado para la comunicación con vue.js. Este acercamiento es el encargado de crear una especie de Api que, por medio de eventos, hace que el usuario reciba la información enviada por otro usuario sin que el primero tenga que solicitarlo.

Para mantener la comunicación activa, es necesaria la creación de un canal o channel, un modelo que permite que varios procesos se comuniquen entre sí por medio de la transmisión de mensajes, razón por la que este paquete es llamado Django channels.

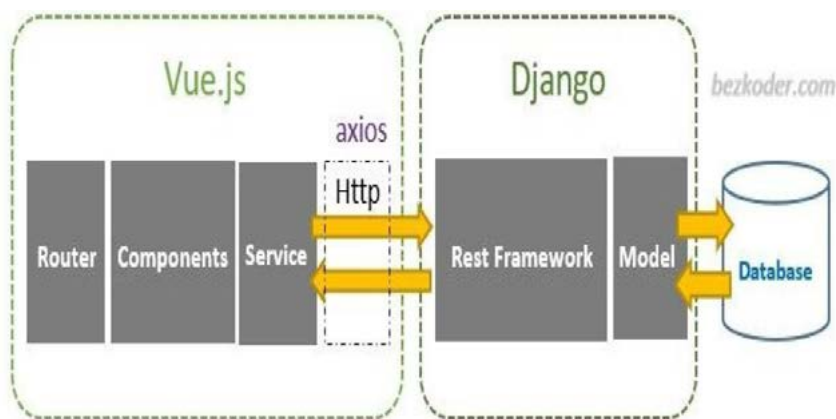


Fig. 4. Conexión de Django a través del Rest *Framework* con el *framework* Vue.js. Rest *Framework* conforma la capa de View, mientras que Vue.js, la capa de Template. [9]

Para la comunicación entre dispositivos se optó por la implementación del protocolo webrtc, que busca generar una conexión directa entre dos dispositivos y recurrir lo mínimo posible al servidor. El webrtc es compatible con todos los navegadores comerciales.

Webrtc se basa en tres tipos de servicios, el servicio stun (session traversal utilities for nat) que recopila la información de la IP y de la máscara del dispositivo o *peer* solicitante de la conexión; el servicio turn (traversal using relays around nat) que trabaja como intermediario entre dos dispositivos incompatibles por cuestiones de *firewall* o de protocolos y el servicio signaling que almacena la información de stun de algún dispositivo y la intercambia con la información de otro cuando este se haya comunicado al mismo canal.

De manera secuencial, un dispositivo que quiere establecer una conexión webrtc con otro, debe primero pedir clústersmación de protocolo nat a un servidor stun, una vez recabada, se la compartirá al servidor *signaling*, indicando que es un candidato para conectarse y pasándose a llamar candidato *ice* (interactive connectivity establishment). El servidor *signaling* almacenará la información en un canal creado según la solicitud del solicitante, cuando un nuevo candidato ice comparta también sus datos dentro del mismo canal, entonces, a través de todas las líneas abiertas, el servidor enviará mensajes con los datos de todos los candidatos. Ya que se tiene la ruta para alcanzar al resto de dispositivos, estos pueden ser conectados. Sin embargo, cuando los dispositivos no pueden conectarse entre ellos por temas de incompatibilidad, se llama al servidor turn para que actúe de intermediario y redireccione los mensajes entre los peers (los dispositivos conectados).

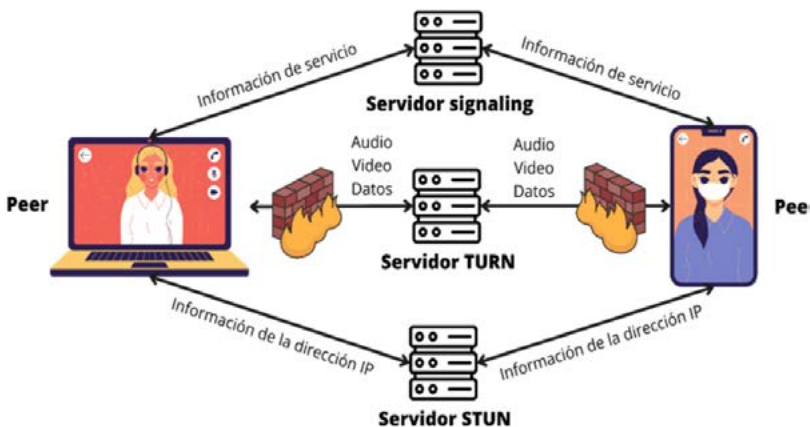


Fig. 5. Funcionamiento de los servidores STUN, TURN y *Signaling*. Elaboración propia.

Para lograr el *signaling* necesario para establecer una conexión con webrtc es requerido el uso de alguna tecnología de conexión directa que de respuesta inmediata entre navegador y servidor, la opción más común, y la seleccionada para el proyecto, es el protocolo de *websockets*.

En un inicio, el navegador tratará de darse a conocer con el servidor, ofreciendo sus datos para ser identificado, si el servidor valida la información del solicitante, entonces le dará un “apretón de manos” (*handshaking*) y permitirá la creación del canal, en caso contrario no se dará el “apretón de manos” y no se podrá establecer una conexión con el servidor, sin embargo, el navegador no estará vetada y podrá reintentarlo varias veces. Una vez que un canal entre los dos puntos ya ha sido creado, el navegador transmitirá los datos obtenidos del servidor stun y también, de manera inversa, recibirá la información de los candidatos *ice* que buscan ser conectados al mismo grupo que él.

Es importante aclarar que un candidato nuevo se conecta con todos y cada uno de los dispositivos ya establecidos. Además, cuando los dispositivos se conectan entre ellos, se abren dos líneas por cada conexión, una para carga de datos y otra para descarga. Esto quiere decir que si existen cuatro *peers* conectados, hay un total de 12 líneas abiertas en el grupo, dos por cada combinación de *peers*.

Existen tres topologías posibles con webrtc: p2p, mcu y sfu. El primero de ellos es completamente descentralizado, mientras que los dos restantes usan un componente central (que puede ser uno o varios servidores) para mejorar la comunicación y la capacidad de las conexiones.

El p2p, que es la abreviación de peer to peer y cuya traducción sería de “igual a igual”, es la forma más económica de implementar el protocolo, una vez que los dispositivos se conectan entre ellos, no vuelven a establecer comunicación con el servidor por su cuenta, aunque él sí debe de comunicarse con ellos para enviar señales de reconocimiento por cada nuevo candidato *ice*, en esta topología cada peer tiene una cantidad de  $2(n-1)$  de líneas abiertas, siendo  $n$  el número total de dispositivos interconectados.

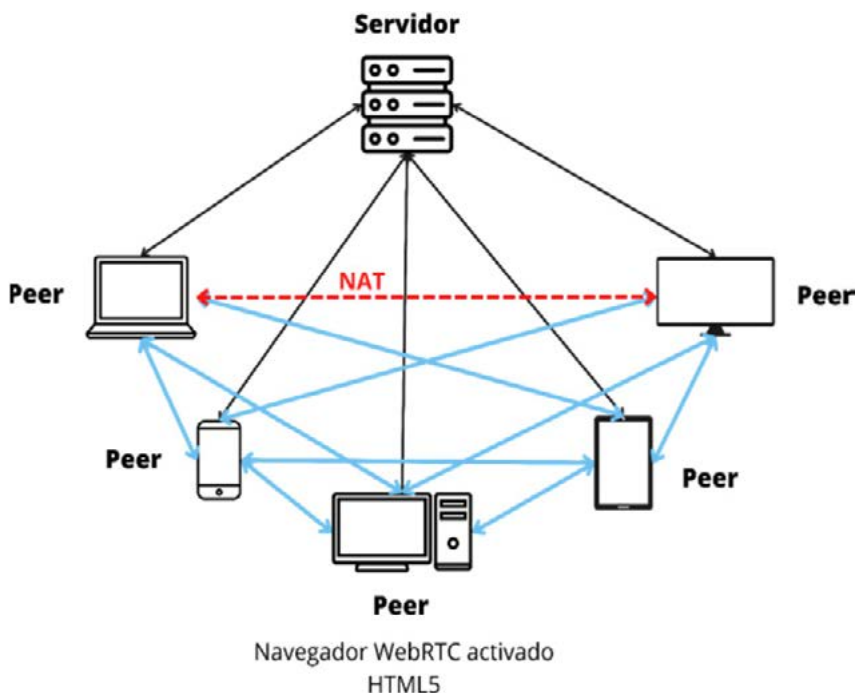


Fig. 6. Representación de la topología P2P. Elaboración Propia.

Por otra parte, el sfu (selective forwarding unit) utiliza un servidor en el que los *peers* mantienen una única línea de carga, así se evita la redundancia de tener que enviar los datos a cada uno de ellos, de esta manera, no importa cuantos *peers* estén conectados, cada uno tendrá solamente una línea de carga. Sin embargo, el sfu solo redirecciona y envía los datos recolectados del resto de los *peers* a un dispositivo a través de una línea de descarga reservada para cada uno de ellos, por ejemplo, si hay 5 *peers*, el *peer* 1 tiene líneas de descarga reservadas para el 2, 3, 4 y 5, así con el resto de *peers*. Esto se traduce en que el número de líneas de descarga por cada *peer* es el mismo que en el p2p porque el servidor redirecciona individualmente cada paquete externo, de forma que cada *peer* termina con  $n$  líneas abiertas.

Finalmente, el mcu (multipoint control unit) es un sfu llevado al siguiente nivel, ahora las cargas son encapsuladas dentro del servidor, de manera que solo sea necesaria una línea de descarga por cada *peer*, por lo que cada uno tendrá solo dos líneas abiertas.

En la hipótesis del proyecto se decidió utilizar la topología de p2p, en la que los *peers* se conectan unos a otros. Con el uso de esta topología resulta congruente concentrar los tres servicios mencionados anteriormente dentro de un único servidor, ya que una vez que se establezcan los candidatos *ice* y estos se reconozcan entre sí, el servidor quedará en segundo plano, dedicándose a enviar mensajes esporádicamente cuando un nuevo candidato *ice* se quiera conectar o bien bajo determinadas condiciones.

En la implementación del *webrtc* es necesario usar una base de datos intermedia que se encargará de almacenar cantidades de información en bloques y que después los comunicará a los dispositivos. Redis, una base de datos *nosql*, es utilizada para dicho propósito; se conecta al resto del sistema del back-end mediante los Django channels. De manera sencilla, redis implementado con *webrtc*, funciona como una especie de memoria caché para tener a la mano toda la información de los candidatos *ice* y poderlos relacionar en su momento.

El siguiente paso en el desarrollo del proyecto consistió en implementar los sistemas de recomendación, los cuales representan una parte importante del uso de cualquier plataforma, pues estos se alimentan de los datos generados por los usuarios para proporcionar recomendaciones más acertadas. Estos, además, estar compuestos por algoritmos de minería de datos, se alimentaban de la información contenida en la base de datos.

El primer sistema de recomendación implementado fue el encargado de mostrar salas en la página principal o home, fuertemente inspirado en plataformas de *streaming* como netflix. Dichas salas contienen elementos que podrían ser de interés para el usuario, esto basado en los gustos registrados del mismo, almacenados en un historial acumulativo.

Dado que el objetivo era calcular la similitud entre las salas, la mejor opción fue el algoritmo *k-nn* (*k-nearest neighbors*). Este algoritmo originalmente se centra en agrupar registros cercanos o parecidos de un dataset para generar *clusters*. Es posible interpretar los atributos como las dimensiones de un plano, en donde se puede ubicar cada registro. Por tanto, sabríamos que cuanto más cercanas se encuentren, más parecidos son, como se ilustra en la imagen.

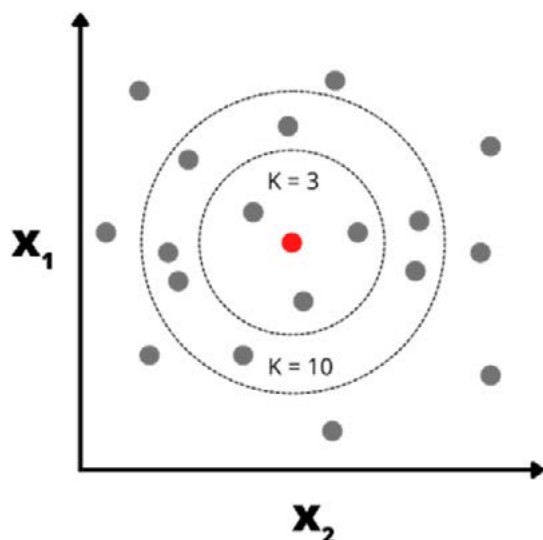


Fig. 7. Funcionamiento del algoritmo K-*nn* cada círculo equivale a la distancia necesaria para que el punto central alcance los K vecinos más cercanos. Elaboración Propia.

No obstante, fue adaptado para convertirlo en un algoritmo de recomendaciones basado en distancias. Haciendo un análisis, se concluyó que, para comparar la temática de las salas, los atributos más competentes eran la categoría y las *tags*, siendo esta última un conjunto de palabras clave sobre los temas que se tratarán en cada debate.

Basado en lo anterior, se entiende que, si las categorías de dos salas son diferentes, su distancia será igual a 1, por el contrario, si son iguales, tendrán una separación de 0. Siguiendo esta lógica, para poder trabajar con las *tags* fue necesario utilizar el coeficiente de Jaccard similarity, el cual permite calcular la similitud entre dos conjuntos con una escala del 0 al 1, siendo 0 completamente diferentes y 1 completamente iguales. Como paso adicional se resta el coeficiente a 1 para invertirlo y así calcular la disimilitud en lugar de la similitud. Ya teniendo ambos resultados, se promedian y se obtiene la distancia final. Es importante recalcar que las distancias deben normalizarse, en este caso entre 0 y 1, esto para crear un peso equitativo entre los diferentes atributos y evitar disparidades. Sin la normalización, los atributos numéricos que se manejan en miles tendrían un mayor peso que los atributos que manejan unidades, por ejemplo.

Para implementar lo anterior, se comparan las últimas salas del historial del usuario con todas las salas próximas a realizarse, retornando las más cercanas y, por lo tanto, parecidas. La mayoría de las librerías de k-nn dentro de Python requieren que los datos sean organizados en una matriz que no permite trabajar con conjuntos, por tanto, resultó más conveniente programar dicho algoritmo, en lugar de utilizar alguna librería.

Por otro lado, el segundo sistema de recomendación consiste en autocompletar o recomendar *tags* conforme el usuario las iba escribiendo al crear una sala. Tomando en cuenta que las *tags* son un conjunto de palabras clave, se decantó por el algoritmo apriori, ya que está diseñado para trabajar con conjuntos.

Normalmente, este algoritmo contabiliza las apariciones de todas las combinaciones posibles de elementos y va eliminando los conjuntos que no cumplen con una frecuencia o soporte mínimo y una confianza mínima (la proporción de veces que aparece la combinación  $\{a, b, e\}$  con relación a  $\{a, b\}$ ) para finalmente obtener las conexiones más fuertes. No obstante, aplicar esto generaría millones de combinaciones, haciendo lento el proceso e imposible que funcionara en tiempo real. Se usó la librería apyori de Python para implementarlo, sin embargo, esta no permite aplicar una regla para descartar inmediatamente los conjuntos que no contengan la *tag* objetivo.

Debido a este inconveniente se limitó las combinaciones a conjuntos de dos elementos para así mantener un tiempo de respuesta bajo. De estas tuplas, buscaría las que contuviera las *tags* que haya ingresado el usuario y se retornaría el segundo elemento de las tuplas con mayor número de repetición como recomendación. A continuación se puede ver un ejemplo.

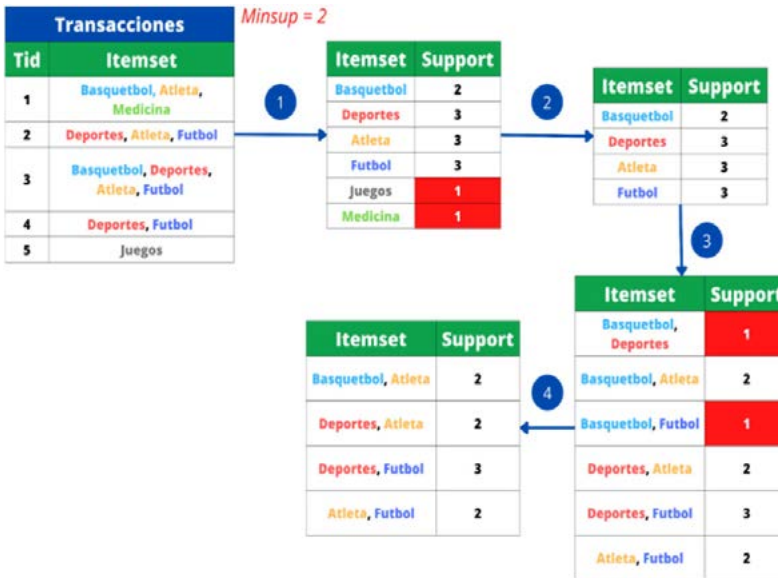


Fig. 8. Secuencia de selección del algoritmo apriori en un ejemplo arbitrario. Cada filtro selecciona los conjuntos con mayor nivel de soporte. Elaboración propia.

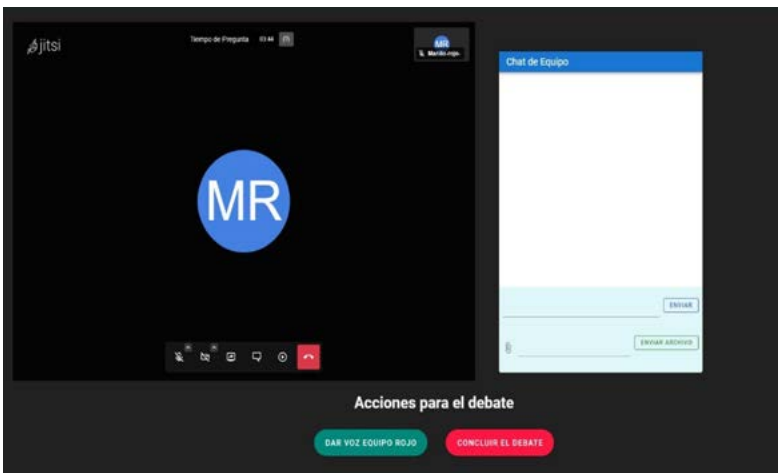


Fig. 9. Apariencia de una *room* desde la perspectiva del moderador, se contempla a la izquierda el área para presentar pantalla, hablar y prender la cámara, a la derecha un espacio de chat exclusivo para el equipo y debajo botones de moderación. Elaboración propia.



Como última fase se diseñaron las interfaces de usuario, con el fin de obtener la mejor visualización del contenido y respuesta del servidor. Partiendo de esta idea se desarrolló la apariencia de las páginas con vue.js (*framework* de JavaScript de código abierto para la construcción de interfaces de usuario y aplicaciones de una sola página) asegurando un buen rendimiento de la aplicación, además de permitir dividirla en bloques con funcionalidades independientes (componentes) con programación modular.

Prácticamente el *front-end* se puede dividir en cuatro grandes secciones: *home*, administración, documentación y, la más relevante para el proyecto, la sección de la videollamada. En *home* es posible encontrar salas públicas a las que unirse o bien gestionar las salas propias, en administración se encuentran las acciones necesarias para gestionar el sistema, en documentación se presenta una guía para orientar a los nuevos usuarios y la sección de videollamada se conforma de la api de la sala de videoconferencia, un chat respaldado por los *websockets* y el *webrtc* y, finalmente, los botones de moderación que tienen efecto directo y síncrono con la api.

## **D. Módulo I. Gestión de la tecnología de información**

La gestión del proyecto se basa en la metodología scrum con el uso de herramientas digitales como trello para la asignación de actividades y para establecer el estado en el que se encuentra dicha actividad.

## **E. Módulo II. Sistemas robustos, paralelos y distribuidos**

Implementación de una base de datos relacional en mariadb en fase de desarrollo y MySQL en fase de producción, implementación de una base de datos de clave-valor en redis para agilizar la transmisión de datos a través de los *websockets*.

Uso del protocolo de *webrtc* para establecer comunicación directa o semidirecta entre dos dispositivos o peers que servirá como el chat y la sala de videollamada cuando se lleva a cabo el debate.

## **F. Módulo III. Justificación de cómputo flexible (softcomputing)**

Integración de algoritmos de minería de datos para analizar los registros del historial de salas y con estos realizar recomendaciones de salas públicas gracias al algoritmo k-nn, o bien, obtener las *tags* que se relacionan fuertemente para realizar recomendaciones mediante el algoritmo apriori.

## **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

La gestión del proyecto mediante la metodología scrum y el uso de herramientas como trello y github resultó en una organización aceptable de recursos humanos y tiempo, teniendo en cuenta un tiempo de desarrollo entre los cuatro y los seis meses, desde la concepción de vossom hasta la presentación de los proyectos modulares.

El sistema con la topología p2p funciona perfectamente con una cantidad reducida de *peers*, pero se ve saturado cuando el número de entidades conectadas aumenta y, más aún, si la comunicación que llevan a cargo es, por naturaleza, pesada como lo es la carga y descarga de media audiovisual. Es por ello por lo que el entorno de videollamadas planteado para el proyecto presentó un desempeño insatisfactorio en una primera instancia, sin embargo, mediante el uso de servidores externos y de la implementación de la Api de Jitsi, fue posible lograr una conexión de p2p con una cantidad baja de *peers* y cambiar al uso de un servidor especializado en media cuando el número de integrantes aumenta.

Finalmente, los algoritmos de minería de datos presentaron resultados divergentes, por una parte el algoritmo de k-nn fue un completo acierto por su alta velocidad de respuesta, fiabilidad de resultados y porque se adapta perfectamente a los nuevos registros que se almacenan al crear una sala. Sin embargo, el algoritmo apriori, utilizado para recomendar *tags* al crear una sala, por su naturaleza revisa coincidencias de todas las posibles combinaciones de *tags*, lo cual es bastante costoso y lento. Incluso después de limitar la combinatoria a grupos de dos *tags*, resultó ser más lento y su frecuencia de recomendaciones menor en comparación con k-nn.

## V. Conclusiones

El sistema sí funciona como fue previsto y la hipótesis es aceptada bajo condiciones específicas. El sistema es capaz de funcionar perfectamente en p2p con un número reducido de *peers*. Sin embargo, presenta problemas de escalabilidad usando el mismo modelo, por lo que lo ideal al momento de encontrarse en un entorno de *peers* numerosos sería utilizar alternativas, como podrían ser el *mcu* o el *sfu* dentro del protocolo *webrtc*.

Así pues, la topología planteada dentro de la hipótesis resultó no ser la adecuada para la comunicación en tiempo real para un grupo grande, la carga a la que se somete cada dispositivo se ve incrementada en dos canales cada vez que se conecta un *peer*, ya que debe de existir un canal de carga y uno de descarga.

Dentro de la evolución del software, el sistema puede ser mejorado desde varios ángulos, como la implementación de un mayor soporte de dinamismo en las variables durante la videollamada, la implementación de nuevas características como la esquematización de salas mediante otras dinámicas de grupos similares, por ejemplo, la mesa redonda y los debates con contraargumentación, entre otros; o el desarrollo de un servidor de correo electrónico enlazado con el sistema principal.

## Reconocimientos

A la maestra Thelma Isabel Morales Ramírez, quien nos guio y aconsejó durante todo el desarrollo del proyecto.

A mi hermana Ariadna Ruíz Pérez, quien me regañó hasta que las maquetaciones cumplieran con sus estándares.

## Referencias

- [1] Macdonald, S. (S. D.). Online discussion forums. [Online]. Available: <https://gsi.Berkeley.Edu/gsi-guide-contents/technology-intro/gsi-examples/online-discussion-forums/>
- [2] Acuña, m. (2021). Plataformas de foros online: impulsando la participación en los estudiantes. [Online]. Available: <https://www.Evirtual-plus.Com/mejores-plataformas-de-foros-online/>
- [3] 8x8, inc.(2021). Jitsi. About jitsi: video conferencing software. [Online]. Available: <https://jitsi.Org/about/>
- [4] Kialo (2022). Kialo tour.[Online]. Available: <https://www.Kialo-edu.Com/tour>
- [5] Flip (2022). How flip works. [Online]. Available: <https://info.Flip.Com/getting-started.Html>
- [6] Flip (28 de junio de 2022). Introducing flip. [Online]. Available: <https://info.Flip.Com/blog/product-updates/flip-rebrand-features.Html>
- [7] Ha, anthony (2012).Deeyoon: a site where you can debate anyone about anything on live video. [Online]. Available: <https://techcrunch.Com/2012/10/02/deeyoon-launch/>
- [8] Crunchbase (s.D.). Organization: deeyoon. [Online]. Available: <https://www.Crunchbase.Com/organization/deeyoon>
- [9] Bezkoder.Com (2021). Django + vue.js: crud app with django rest framework. [Online]. Available: <https://www.Bezkoder.Com/django-vue-js- rest-framework/>
- [10] Zepeda, eduardo (2021). Django channels: consumers, scope y eventos. [Online]. Available: <https://coffeebytes.Dev/django-channels-consumers- scope-y-eventos/>



# Capítulo 22

---

## **Gym tracker: verificador de rutinas de ejercicio**

*Jonathan Daniel Luna Abundis*

*Juan Pablo Casillas Zermeño*

*Axel Issac Martínez Campos*

*Francisco Javier Álvarez Padilla*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*jonathan.luna9013@alumnos.udg.mx*

*juan.casillas2929@alumnos.udg.mx*

*axel.martinez5059@alumnos.udg.mx*

*francisco.alvarez@academicos.udg.mx*

## Resumen

Actualmente, existen diferentes programas o aplicaciones móviles para fomentar o analizar el ejercicio muscular de un individuo. Sin embargo, no dan retroalimentación personalizada en tiempo real al sujeto. Este proyecto tiene como objetivo realizar una aplicación que, a partir de un video grabado previamente o en tiempo real, de retroalimentación sobre el ejercicio muscular realizado, mediante datos cuantitativos sobre ángulos y errores. Para realizar este proyecto, se codificó el programa en el lenguaje de programación de Python utilizando el IDE Pycharm. Se utilizaron las librerías: mediapipe para facilitar la obtención de puntos de referencia en el cuerpo, cv2 para el procesamiento de imágenes, numpy para realizar cálculos matemáticos para el análisis del ejercicio y PyQt5 con sus extensiones para la creación de la interfaz gráfica. Para realizar un análisis útil, se generaron umbrales y parámetros basados en la bibliografía existente sobre la realización correcta de ejercicios musculares. Con esta se generaron algoritmos para definir el movimiento y los errores.

Al final se logró una aplicación con una interfaz gráfica que permite interactuar fácilmente con los diferentes módulos del programa. En este prototipo, se tiene la capacidad de utilizar un video previamente grabado y almacenado en un archivo .mp4 o .mov o utilizar la cámara principal para grabar y analizar en tiempo real. Al terminar el video o las repeticiones, se despliega una ventana de resultados en donde se muestran los errores cometidos, el número de repeticiones, el rango de movimiento y los ángulos internos de la cadera y la rodilla. Estos resultados son satisfactorios, ya que obtuvimos los ángulos internos de la rodilla, cadera y el rango de movimiento de la persona al igual que la estimación de los errores, curvatura de la columna al bajar, rodilla pasa las puntas de los pies, elevación de las puntas de los pies al realizar ejercicio y un rango de movimiento no completo.

## I. Introducción

Este proyecto está dirigido a personas que están empezando a realizar ejercicios musculares, quienes quieren optimizar su rango de movimiento o tener un seguimiento continuo de sus movimientos (por ejemplo perso-

nas en rehabilitación). Además, esta aplicación, tiene una gran importancia en el aspecto social ya que aporta una herramienta para aquellos que se vean limitados físicamente al momento de realizar ejercicios. Al ser una aplicación que puede ser utilizada en cualquier lugar, sirve de apoyo para mantener un seguimiento de los ejercicios minimizando la necesidad de un entrenador personal, incluso beneficiando al proceso de la terapia física para la rehabilitación de la mano de un profesional.

Realizar ejercicio físico da grandes beneficios a la salud física y psicológica de las personas, permitiendo prevenir enfermedades como resistencia a la insulina, hipertensión, diabetes tipo 2, depresión, ansiedad, entre otras [1]. Para este proyecto se analizó la sentadilla. Este es un ejercicio físico que ayuda a fortalecer los tendones, ligamentos y músculos de los miembros inferiores, como los cuádriceps, los isquiotibiales y los glúteos, Sin embargo, colabora para el fortalecimiento de varios músculos a lo largo del cuerpo. Al fortalecer los músculos estabilizadores, protagonistas en muchas lesiones en la práctica de diversos deportes, la sentadilla es un excelente ejercicio para la prevención de lesiones y rehabilitación muscular [2]. Incluso es un ejercicio que permite desarrollar fuerza en las extremidades inferiores al igual que produce hipertrofia muscular [3]. Para definir si una sentadilla se realiza de manera correcta se obtuvieron algunos parámetros, unos de ello se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de las articulaciones activadas durante una sentadilla.

<b>Articulaciones</b>	<b>Grados</b>
Rodillas	Paralela de 90°, sentadilla de profundidad completa 125°
Pies	Neutra, 30°- 40° de rotación medial, 80° de rotación lateral
Columna	Postura natural, sin realizar lordosis anatómica ni cifosis anatómica

Cuando las rodillas pasan las puntas de los pies, se pierde fuerza de agarre contra el piso, por lo tanto, se pierde el torque de las articulaciones, como el tobillo, rodillas, cadera y columna [4]. Esto disminuye tanto la estabilidad como la fuerza de empuje para realizar el levantamiento, además de incrementar la probabilidad de sufrir lesiones en ciertos ligamentos de miembros inferiores [5]. El no romper con el paralelo, es decir, que nuestro ángulo de rodilla sea menor de 90°, puede causar un estrés en los ligamentos patelofemoral lo que aumenta mucho la probabilidad de lesión [5].



El proyecto presentado tiene como objetivos:

- Obtener valores a partir de detección, *tracking* y cálculos matemáticos para evaluar el ejercicio realizado (sentadilla) de manera cuantitativa y de esta manera realizar un análisis objetivo.
- Hacer una aplicación que sea sencilla de utilizar para el análisis de un ejercicio muscular para la mejora y prevención de lesiones en el gimnasio (en este caso la sentadilla).
- Un programa con poca necesidad de procesamiento computacional.

Mediante el uso de librerías en Python se realiza una estimación de la ubicación de los puntos articulares que intervienen en la sentadilla (una de las librerías brinda la ventaja de tener una base de datos robusta lo cual permite detectar los puntos con precisión). Con la obtención de estos puntos se realizan cálculos de ángulos y posiciones para analizar el movimiento realizado. A partir de este análisis, se pueden obtener resultados cuantitativos que brindan información útil al usuario o un especialista.

## II. Trabajos relacionados

Hoy en día la detección del movimiento se ha empleado en distintos ámbitos como el cine, series y videojuegos.

El *tracking* es mayormente utilizado en herramientas de reconocimiento facial, que pueden ir, desde que tú puedas desbloquear tu teléfono móvil hasta cuestiones de seguridad pública con cámaras de vigilancia [6].

Se han desarrollado algoritmos cada vez más complejos para la detección del rostro humano. Esta detección ha traído ventajas en el *tracking* corporal. Existen distintas empresas que ponen en venta su software de reconocimiento corporal o de *tracking*, no obstante, no hay aplicaciones que aprovechen estos algoritmos para proporcionar retroalimentación al usuario realizando ejercicios musculares.

Existen aplicaciones de marcas muy famosas como Adidas *training* [7] que te muestran una serie de videos con rutinas preestablecidas; sin embargo, estas no cuentan con información cuantitativa como valores angulares, análisis del movimiento en tiempo real y no otorga retroalimentación que permita al usuario mejorar o prevenir lesiones.

Aplicaciones como Kinovea realizan un *tracking* de forma manual, donde el usuario va agregando los puntos en cada articulación, fotograma por fotograma [8]. Todo esto limita mucho el análisis ya que demanda mucho tiempo y esfuerzo.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

Tras varias pruebas y gran consideración, se eligió el lenguaje de programación Python para codificar el programa, ya que nos brinda herramientas que facilitan el procesamiento de imágenes y el reconocimiento de posturas en tiempo real, OpenCV y mediapipe respectivamente. Se utilizó el IDE de Pycharm para compilar el código.

La herramienta mediapipe, utilizando una red neuronal convolucional previamente entrenada con más de sesenta mil imágenes, permite detectar la posición de una persona, principalmente la localización de las articulaciones.

Posteriormente, a partir de álgebra, cálculos de ángulos, distancias y lógica matemática, se realizaron los algoritmos clave para identificar cuando el usuario realiza una sentadilla y su rango de movimiento [9].

Con base en la bibliografía revisada, se codificaron parámetros para definir errores al ejecutar de manera errónea una sentadilla. Dichos errores son el levantar los talones, que las rodillas pasen la punta de los pies y no mantener la columna recta. Además, se definieron promedios angulares para validar si el rango de movimiento realizado es óptimo para la obtención de las ventajas previamente mencionadas, que una sentadilla correctamente realizada otorga.

Por último, se diseñó una aplicación con la interfaz gráfica de QtDesigner. Al correr el programa se abre una ventana principal con tres botones:

1. Subir vídeo: Se accede a los archivos del computador y se selecciona el video que será analizado.
2. Analizar en tiempo real: Este botón nos abrirá otra ventana en la que se desplegará un cuadro de video haciendo uso de la cámara del usuario.
3. Información: Este último nos mandará a otra ventana en la que se nos ofrecerá instrucciones del funcionamiento del programa.

Después de haber seleccionado, ya sea el cargar o analizar en tiempo real, se nos desplegará un cuadro mostrando el video. Al terminar de ana-

lizar el video o terminar de grabar en tiempo real, se muestra una ventana de resultados donde se mostrará el conteo de sentadillas correctamente ejecutadas, sus parámetros en valores cuantitativos y los errores realizados.

Esta interfaz gráfica fue conectada al código principal mediante las librerías de PyQt5 que dispone de QtCore, QtGui y QtWidgets; dichas librerías nos ofrecen los recursos mencionados anteriormente.

Con este proyecto se planea justificar los tres módulos de ingeniería biomédica:

### **Módulo I. Justificación biomecánica humana**

Para biomecánica humana, el proyecto realizará un programa para el análisis del movimiento muscular realizado por el usuario ya sea en tiempo real o a través de un video previamente grabado. Este programa se puede utilizar como herramienta para mejorar el movimiento muscular realizado o evitar lesiones. Para esto realiza la medición de ángulos en los rangos de movimiento durante el ejercicio.

### **Módulo II. Justificación de instrumentación médica**

En el apartado de instrumentación médica se desarrollará una interfaz de usuario que arrojará datos específicos sobre promedios angulares, errores cometidos durante el ejercicio y parámetros, que podrán ser analizados por un profesional posteriormente.

### **Módulo III. Justificación de electrofisiología**

Para finalizar, el módulo de electrofisiología se justifica mediante la comunicación entre el músculo y la neurona. A través de esta es que dichos procesos corporales pueden llevarse a cabo y ser medibles mediante esta aplicación. Además, que el adecuado estímulo de los músculos potencia los resultados en el gimnasio [10]. Este estímulo no se mide mediante un medio físico sino que el análisis del movimiento nos ayuda a estimar la actividad muscular [11]. Existen varios estudios que demuestran la existencia de una relación entre el rango de movimiento a una mayor actividad electromiográfica [11], [12], [13].

#### IV. Resultados obtenidos del proyecto

Finalmente, se obtuvo la siguiente interfaz para utilizar la aplicación de manera sencilla:

En primera instancia se despliega una ventana (Figura 1) de inicio con tres botones principales.



Fig. 1. Ventana principal de la interfaz.

El primero en la parte superior derecha de la ventana con el ícono de información (i), abre una ventana (Figura 2) con una guía rápida para utilizar la aplicación.



Fig. 2. Ventana de información de la interfaz.

El segundo botón, de color azul, se encuentra en la parte inferior izquierda de la ventana con la frase Subir video, este abre el explorador de archivos pidiendo seleccionar un archivo en formato mp4 o mov para procesar.

El tercer botón, de color amarillo, se encuentra en la parte inferior derecha con la oración Analizar en tiempo real. Al presionar este botón, la aplicación encenderá la cámara principal del dispositivo y mostrará una ventana del video que se está captando y procesando (Figura 3).



Fig. 3. Cuadro de un video siendo procesado. Se observan los puntos de las articulaciones detectadas en rojo con un esqueleto en blanco. En la esquina superior izquierda se encuentra un cuadro mostrando las repeticiones, ángulo interno de la cadera y ángulo interno de la rodilla actual.

Por último, al terminar las repeticiones, el sujeto puede levantar un brazo o presionar la tecla q del teclado para terminar de procesar el video. Esto abrirá la ventana de resultados (Figura 4) con dos botones e información sobre errores cometidos durante el ejercicio, repeticiones, rango de movimiento y ángulos internos de la cadera y la rodilla.

El primer botón, de color morado, en la parte superior izquierda de la ventana muestra el ícono de una flecha el cual permite regresar a la ventana principal.

El segundo botón, de color verde, encontrado en la parte inferior central de la ventana con la oración ver video reproduce el video analizado.

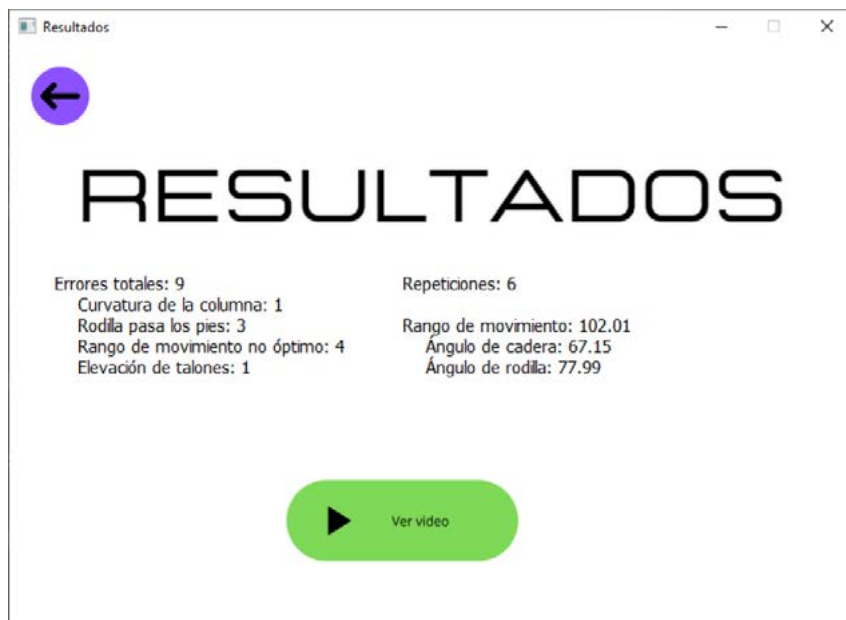


Fig. 4. Ventana de resultados de la interfaz.

## V. Conclusiones y trabajo para el futuro

Se obtuvieron resultados positivos. El programa puede desarrollarse en la mayoría de los casos logrando reconocer al sujeto y calcular los ángulos y errores. El problema puede darse cuando se agrega una segunda persona a la captura de imagen, ya que el sistema de detección y *tracking* puede detectar a la otra persona, llevando a que los ángulos medidos no sean del sujeto a analizar. Otro caso en el cual el programa no puede funcionar correctamente es cuando el ángulo de la cámara no permite analizar los ángulos correctos del ejercicio. Por ejemplo, al mostrar el perfil anterior o posterior del sujeto, no se pueden determinar los ángulos laterales de la persona.

El principal plan a futuro de este programa es su desarrollo en una aplicación para dispositivos móviles. De esta manera, la utilización de este programa es más sencilla, útil y portable.

Igualmente es de interés agregar un sistema de alerta para dar retroalimentación en tiempo real al sujeto en el momento cuando se realice un error.

Para incrementar las aplicaciones del programa se planea agregar un módulo de estadística, que registre las sesiones para tener un seguimiento de la persona.

Por último, se planea agregar la posibilidad de analizar diferentes ejercicios musculares, como levantamiento de peso muerto y press de banca con barra.



## Referencias

- [1] G. N. Ruesgesser y F. W. Booth, "Health Benefits of Exercise". Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine, vol. 8, núm. 7, a029694, 2018.
- [2] P. Comfort y P. Kasim, "Optimizing Squat Technique", Strength and Conditioning Journal, vol. 29, núm. 6, 10-13, 2007.
- [3] K. Bloomquist, H. Langberg, S. Karlsen, S. Madsgaard, M. Boesen y T. Raastad, "Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations". European Journal of Applied Physiology, vol. 113, núm. 8, 2133-2142, 2013.
- [4] N. Dahlkvist, P. Mayo y B. Seedhom, "Forces during Squatting and Rising from a Deep Squat". Engineering in Medicine, vol. 11, núm. 2, 69-76, 1982.
- [5] R. Escamilla, G. Fleisig, N. Zheng, J. Lander, S. Barrentine, J. Andrews, B. Bergemann y C. Moorman, "Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press". Medicine & Science in Sports and Exercise, vol. 33, núm. 9, 1552-1566, 2001.
- [6] A. Roussi, "Resisting the rise of facial recognition". Nature, vol. 587, núm. 7834, 350-353, 2020.
- [7] Training, Adidas México. (2022). Adidas. <https://www.adidas.mx/training>
- [8] Charmant, J. (2022). Kinovea. <https://www.kinovea.org>.
- [9] Bazarevsky, V. (2020). BlazePose: On-device Real-time Body Pose tracking.
- [10] S. Lorenzetti, M. Ostermann, F. Zeidler, P. Zimmer, L. Jentsch, R. List, W. Taylor y F. Schellenberg, "How to squat? Effects of various stance widths, foot placement angles and level of experience on knee, hip and trunk motion and loading". BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation, vol. 12, núm. 7, 10-15, 2018.
- [11] D. Han, S. Nam, J. Song, W. Lee y T. Kang, "The effect of knee flexion angles and ground conditions on the muscle activation of the lower extremity in the squat position". The Journal of Physical Therapy Science, vol. 29, núm. 10, 1852-1855, 2017.
- [12] R. Escamilla, "Knee biomechanics of the dynamic squat exercise". Medicine and Science in Sports and Exercise, vol. 33, núm. 1, 127-141, 2001.

- [13] I. Kingma, S. Aalbersberg y J. H. Van Dieën, “Are hamstrings activated to counteract shear forces during isometric knee extension efforts in healthy subjects?” *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 14, núm. 3, 307-315, 2004.



# Capítulo 23

---

## **Sistema monitoreado por EMG como medio auxiliar en la rehabilitación, seguimiento y retroalimentación de las funciones del manguito rotador**

*Laura Ruiz Partida  
Andrea Sarahí Quiñonez Castro  
Daniel Eduardo Guzmán Tovar  
Braniff De La Torre Valdovinos*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*laura.ruiz2920@alumnos.udg.mx  
andrea.quinonez2921@alumnos.udg.mx  
daniel.gtovar@alumnos.udg.mx  
braniff.delatorre@academicos.udg.mx*

## Resumen

El análisis de la actividad muscular ha sido fuente de grandes estudios en las últimas décadas, con grandes impactos tanto para diversas disciplinas como la fisioterapéutica, las cuales, se envuelven dentro de los campos de movilidad deportiva, como en los de funcionalidad en la vida diaria. El avance tecnológico ha sido clave fundamental para el desarrollo de los estudios y algunas de las herramientas más valiosas son los estudios de electromiografía (EMG) y el trazado del movimiento angular; la EMG consiste en la técnica que mide las señales eléctricas que se perciben en los músculos y el trazado angular es un método para distinguir los ejes sobre los cuales estos músculos desarrollan sus movimientos. La combinación de ambas técnicas dentro de este estudio nos arrojó resultados prometedores sobre el seguimiento y comparación de rutinas de rehabilitación mediante el empleo de coeficientes de ruido para la distinción de sus propiedades.

## I. Introducción

El hombro, articulación proximal del miembro superior, es la más móvil de todas las articulaciones del cuerpo humano. Posee tres grados de libertad lo que le permite orientar el miembro superior en relación con los tres planos del espacio, merced a tres ejes principales: eje transversal, eje anteroposterior y eje vertical [1].

El hombro, a pesar de ser la articulación más móvil, es también la articulación más inestable, lo cual la predispone a múltiples patologías, entre ellas las lesiones del manguito rotador [2]. El cuadro clínico de la patología del manguito rotador va asociado fundamentalmente a tres síntomas: dolor, debilidad y limitación de la movilidad [3]. Sin tratamiento, la enfermedad del manguito rotador podría provocar rigidez o debilidad crónica y la posible degeneración progresiva de la articulación del hombro [3], [4]. El tratamiento a elegir dependerá del grado de la lesión y de la afectación de otras estructuras. Ya sea que el paciente se incline por un tratamiento quirúrgico o por el método tradicional, que incluye ejercicios de fisioterapia, debe existir un seguimiento en el proceso de rehabilitación que permita evaluar su progreso en un tiempo determinado.

En el presente documento se expone el desarrollo de nuestro proyecto, el cual está orientado al seguimiento y registro de la rehabilitación de las lesiones del manguito rotador a través de un sistema de medición de la actividad muscular, análisis angular y retroalimentación al paciente.

## **II. Antecedentes**

El desarrollo de nuevos sistemas dentro del campo de la rehabilitación dirigidos hacia una articulación en específico va cada vez más en aumento, sin embargo, existen muy pocos sistemas auxiliares para rehabilitación que vayan dirigidos hacia la articulación del hombro. De esta cuestión surgió la propuesta de desarrollar este sistema, en el cual, el usuario tendrá la facilidad de dar seguimiento y visualizar su progreso a lo largo de su rehabilitación.

### **A. EMG**

El estudio del movimiento humano y el control motor se beneficia del uso del electromiograma, en particular EMG de superficie. En los sistemas de análisis de movimiento y marcha no es suficiente con adquirir señales de EMG aisladas, sino que es necesaria la información de otros parámetros de naturaleza mecánica, por ejemplo, la amplitud angular de las articulaciones [5].

La electromiografía (EMG) es una técnica clínica relacionada con el desarrollo, registro y análisis de señales mioeléctricas. Las señales mioeléctricas están formadas por variaciones fisiológicas o patológicas en el estado de las membranas de la fibra muscular. La despolarización de las fibras musculares da como resultado un EMG en el cual el potencial eléctrico varía en amplitud y frecuencia (parámetros principales) en relación con la actividad muscular [6]. La amplitud sirve para determinar el nivel de activación del músculo (porcentaje de activación) y el tiempo que tarda un músculo en activarse (latencia). La frecuencia de la señal se analiza para determinar el nivel de fatiga muscular. Cuando existe una lesión o patología se ha demostrado que los patrones neuromusculares normales de movimiento se ven alterados en sus niveles de activación, latencias musculares o niveles de fatiga [7].

Existen dos enfoques de electromiografía, donde la captación de la actividad eléctrica se obtiene utilizando electrodos de aguja y otro donde la actividad muscular se capta de forma indirecta, utilizando electrodos de superficie. El EMG de superficie se establece como una herramienta de evaluación para la investigación aplicada, fisioterapia/rehabilitación, entrenamiento deportivo, entre otros.

Una de las ventajas de la EMG de superficie es su utilidad para evaluar gestos motores, ya que a diferencia de la EMG invasiva, no provoca molestias musculares y la ubicación de los electrodos es fácilmente reproducible. Las desventajas incluyen la potencial contaminación de la señal, ya sea por musculatura adyacente, tejido interno o la piel [7], [8]. En caso de ser electrodos alámbricos, los cables pueden incomodar al momento de ejecutar el gesto motor [7].

En resumen, se puede decir que, el EMG de superficie permite estudiar la actividad bioeléctrica del músculo mediante el registro de las diferencias de potencial registradas en la superficie de la piel. El voltaje es detectado mediante electrodos que se colocan en la piel, por lo tanto, se trata de una técnica no invasiva. Mide la actividad eléctrica durante la contracción muscular y la relajación, además, nos indica qué músculo está activo durante el movimiento o la postura. También, nos muestra cómo actúan unos músculos en coordinación con otros [7]. Si bien esta técnica no es capaz de captar la señal de una sola unidad motora, se utiliza para el estudio del comportamiento promedio de un músculo o grupo muscular.

## **B. Composición de la señal EMG**

- 1) Disparos de la unidad motora: Es la tasa de excitación de las unidades motoras que producen la fuerza de contracción a las fibras musculares individuales. Cuando la tasa de disparos aumenta esta produce más contracciones produciendo al final la fuerza tetánica o fuerza de salida. [9].
- 2) Potencial de unidad motora (PUM): Es el potencial eléctrico producido por una unidad motora hacia sus fibras musculares individuales. Estos potenciales se producen cada vez que haya un disparo de la UM [9].
- 3) Tren de Potencial de Unidad Motora (IPUM): Es la sucesión de PUM producido por una UM. El conjunto de trenes de potencial de unidades motoras son los que producen la señal EMG que son captados por el

sensor. La suma de estos TPUM produce la señal EMG vista por un equipo electrónico. Esto se llama superposición de TPUM. Cuando una actividad muscular se está produciendo, primero se recluta la menor cantidad de UM. La primera UM es la que tiene una tasa de disparo superior a la siguiente, pero su PUM es menor de las últimas reclutadas.

En resumen, cuando el reclutamiento de UM es mayor producirá más fuerza tetánica, de esta manera, la señal EMG tiene su forma característica. Cabe mencionar que, la señal EMG superficial (sEMG) tiene un rango de frecuencias que suele estar entre 2 y 500 Hz [10].

### **C. Factores que influyen en la señal EMG**

En su recorrido desde la membrana muscular hasta los electrodos, la señal de EMG puede verse influenciada por varios factores externos que alteran su forma y características. Básicamente se pueden agrupar en: las características del tejido, la interferencia cruzada, los cambios en la geometría muscular y el sitio del electrodo, el ruido externo, los electrodos y el amplificador utilizado [8]. Por estas razones es necesario atravesar por varias etapas que van acondicionando la señal, ya que existen factores que la alteran y no aportan información relevante al estudio. A continuación, se detallarán los factores que pueden alterar a la señal EMG:

- 1) **Características del tejido:** El cuerpo humano es un buen conductor eléctrico, pero la conductividad eléctrica varía con el tipo de tejido, su grosor, los cambios morfológicos, temperatura, diferencias fisiológicas, cantidad de tejido adiposo, entre otros. La variación de estas características de un sujeto a otro dificulta una comparación cuantitativa directa de los parámetros de amplitud de EMG calculados sobre la señal de EMG sin procesar [9].
- 2) **Interferencia cruzada/por superposición:** La interferencia cruzada es la señal detectada sobre un músculo, pero generada por otro en las cercanías del primero. El fenómeno está presente exclusivamente en EMG de superficie y en aquellos casos donde la distancia de los puntos de detección a las fuentes es relevante y similar para las diferentes fuentes. La interferencia se debe a las propiedades de conducción de los mús-



culos contiguos y es una de las fuentes de error más significativas en la interpretación de señales EMG de superficie [10].

- 3) Cambios en la geometría muscular y el sitio del electrodo: Cualquier cambio de distancia entre el origen de la señal y el sitio de detección alterará la lectura de EMG [8].
- 4) Ruido externo: Se debe tener especial cuidado en ambientes eléctricos muy ruidosos. Este tipo de ruido de línea, que generalmente se produce por una conexión a tierra incorrecta de otros dispositivos externos, afecta de forma directa [6]. Es posible eliminarlo con filtros de línea de 50 o 60 Hz.
- 5) Electrodo y amplificadores: La calidad de los electrodos y el ruido del amplificador interno pueden agregar componentes no deseados a la señal de base del EMG. La mayoría de estos factores se pueden minimizar o controlar mediante una preparación precisa y un control de las condiciones del laboratorio [8].

#### **D. Electrodo (tipo, distancia, ubicación)**

Los electrodos de superficie se ubican por encima de la piel y se consideran no invasivos. Aunque no penetran la piel, es importante tener en cuenta el riesgo eléctrico que existe en caso de no contar con un sistema de aislamiento que proteja al sujeto.

- 1) Tipo de electrodo: El material y el tipo de electrodo influyen en el registro EMG. Se utilizaron electrodos de superficie pediátricos de AgCl circulares, siguiendo las recomendaciones del proyecto SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscle) que indica que un electrodo debe tener un diámetro de 10 mm o menos y la separación entre ambos electrodos debe ser menor o igual a 20 mm. Los electrodos AgCl son los más populares y constan de un gel conductor que mejora el transporte iónico entre la piel y el electrodo [8].
- 2) Distancia entre los electrodos: El proyecto SENIAM recomienda aplicar los electrodos bipolares SEMG alrededor de la ubicación recomendada del sensor con una distancia entre electrodos de 20 mm. Cuando se aplican electrodos bipolares en músculos relativamente pequeños, la distancia entre electrodos no debe exceder 1/4 de la longitud de la fibra muscular.

## E. Anatomía del hombro

El hombro es una estructura compleja conformada por la parte proximal del húmero, clavícula, escápula y sus uniones con el esternón, la caja torácica y los tejidos blandos [1]. La clavícula y la escápula forman la cintura escapular, donde se articula el húmero formando la articulación glenohumeral, principal articulación de la cintura escapular. Los huesos de la región del hombro están mantenidos a través del complejo articular del hombro, formado por tres articulaciones: la glenohumeral, la acromioclavicular y la esternoclavicular. Además de estas articulaciones consideradas verdaderas, hay otras dos pseudoarticulaciones, que son articulaciones funcionales: la escapulotorácica y la suprahumeral o subacromial [11].

## F. Complejo articular del hombro

El hombro no está constituido por una sola articulación sino por cinco articulaciones que conforman el complejo articular del hombro. En general, el complejo articular del hombro puede esquematizarse como sigue [1]:

- Primer grupo: una articulación verdadera y principal: la glenohumeral; una articulación “falsa” y accesoria: la subdeltoidea.
- Segundo grupo: una articulación “falsa” y principal: la escapulotorácica dos articulaciones verdaderas y accesorias: acromioclavicular y la esternoclavicular.

En cada uno de los grupos las articulaciones están mecánicamente unidas, es decir, que actúan necesariamente al mismo tiempo.

## G. Biomecánica del hombro

El eje transversal, incluido en el plano frontal permite los movimientos de flexoextensión realizados en el plano sagital.

- Eje anteroposterior, incluido en el plano sagital permite los movimientos de abducción y aducción realizados en el plano frontal.
- Eje vertical, dirige los movimientos de flexión y de extensión realizados en el plano horizontal.

- El eje longitudinal del húmero permite la rotación externa/interna del brazo y del miembro superior de dos formas distintas: voluntaria automática [1].
- La extensión es un movimiento de poca amplitud ( $45^\circ$  a  $50^\circ$ ); la flexión es un movimiento de gran amplitud,  $180^\circ$ .
- Aducción: el miembro superior se aproxima al plano de simetría. Desde la posición anatómica la aducción no es posible si no se asocia con una extensión: aducción muy leve o una flexión: la aducción alcanza entre  $30^\circ$  o  $40^\circ$ .
- Abducción: movimiento que aleja el miembro superior del tronco. La amplitud de la abducción alcanza los  $180^\circ$ , el brazo queda vertical por arriba del tronco.
- La flexoextensión se trata del movimiento del miembro superior en el plano horizontal en torno a una sucesión de ejes verticales.
- La rotación de las articulaciones puede ser voluntaria o adjunta con tres ejes y con tres grados de libertad [1].

Dentro de los músculos que movilizan el hombro, el deltoides con sus tres porciones (anterior, medio, posterior) es considerado el motor primario, ya que entrega el torque necesario para generar el movimiento. Por su parte, las tres porciones del trapecio y el serrato anterior actúan como los principales rotadores escapulares en sentido superior [12].

## **H. Músculo deltoides**

Este músculo con sus diferentes porciones no solo tiene una función extraordinariamente dinámica para la articulación del hombro —participa en todos los movimientos de la articulación— sino que también desempeña una tarea importante en el sentido de la estabilización de dicha articulación. Envuelve la articulación a manera de una capa y asegura su cohesión. Este seguro muscular es la razón por la cual las luxaciones se producen hacia abajo, ya que ahí no existe dicha función.

- Inervación: Nervio axilar.
- Función: La función anterior levanta el brazo hacia adelante, la posterior hacia atrás y la medial lateralmente. La porción anterior además tiene un efecto rotador interno, la posterior un efecto rotador externo.

El músculo deltoides es el músculo más polivalente de la articulación escápulo-humeral [13].

## **I. Manguito rotador**

Es el complejo muscular formado por los tendones de cuatro músculos originados todos en la escápula, y que rodean la articulación glenohumeral sirviendo de estabilizador dinámico de esta. Los músculos que forman el manguito rotador son el subescapular, el supraespinoso, el infraespinoso y el redondo menor. Este conjunto de músculos proporciona el equilibrio muscular del hombro [11].

## **J. Lesiones del manguito rotador**

- 1) Causas: Los desgarros del manguito rotador son lesiones comunes en aquellas personas que realizan movimientos repetitivos por encima de la cabeza en sus trabajos o deportes; no obstante, la causa más frecuente de la lesión es la mezcla del desgaste normal por edad, debido a que después de los 40 años los tendones se desgarran con mayor facilidad. Algunas enfermedades musculoesqueléticas también pueden predisponer al manguito rotador a lesiones [3].
- 2) Tratamiento: Los dos tratamientos indicados para las lesiones del manguito rotador son: el tratamiento quirúrgico y el tratamiento conservador, los cuales pueden ir acompañados de fármacos si así lo requieren o los pacientes lo desean.
  - Tratamiento quirúrgico: Se indica cuando la lesión de tejidos blandos es masiva e implica un desgarro total del músculo o del tendón o está asociada a algún proceso en el cual esté afectada la circulación adyacente al hombro [3].
  - Tratamiento conservador: es indicado en procesos con poca lesión de tejidos blandos. Se cuenta como tratamiento conservador al descanso, el hielo y la fisioterapia, con frecuencia es lo único que se necesita para recuperarse de una lesión del manguito rotador [3].

## K. Características del EMG

- 1) Valor Medio Absoluto (MAV): El valor medio absoluto es el valor de la media rectificada. Se calcula tomando el promedio del valor absoluto de la señal EMG. Es muy útil para caracterizar señales EMG debido a la forma sencilla en la que representa los niveles de contracción muscular. Se define como:

$$\text{MAV} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x_n|$$

Donde N es el número de datos en  $x$  y  $y$  es una fila o columna de datos

- 3) Energía: La energía nos indica en qué momento existe cada actividad y su intensidad. Se obtiene con la sumatoria de cada valor de la banda al cuadrado.

$$\text{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n [x(k)]^2}; \quad k = 1, 2, \dots, n$$

- 4) Coeficiente SNR: La relación señal ruido se define como la relación que se encuentra entre la potencia de la señal que es transmitida u objetivo en comparación con el ruido o señal que altera su transmisión. Marca un coeficiente de relación existente entre la señal a ponderar con el nivel de referencia a comparar [17]. Puede ser descrita de la siguiente manera:

$$\text{SNR} = \frac{\bar{x}}{\sigma}$$

## III. Planteamiento del problema

La patología del manguito rotador del hombro constituye un grupo de lesiones muy importantes en patología laboral o en el deporte, debido a su alta prevalencia e incidencia. Constituyen la patología fundamental dentro de las afecciones de la articulación del hombro [3].

La alta prevalencia de las lesiones del manguito rotador en la población exige que las metodologías actuales de rehabilitación estén en constante cambio para ofrecer mejores resultados a quienes se encuentran bajo dichos procesos.

Sin embargo, aún existen áreas de la rehabilitación que se han mantenido apartadas de la innovación tecnológica y por tal motivo resulta muy complejo poder almacenar los datos de cada sesión del paciente, evaluar su evolución y brindarle una retroalimentación.

#### **IV. Justificación**

Debido a la alta prevalencia de las lesiones del manguito rotador en la población y a la poca innovación de los sistemas auxiliares en las metodologías actuales de rehabilitación, muchos pacientes suelen experimentar frustración o sentimientos de desesperación al no poder visualizar completamente su progreso.

Por estos motivos, en el presente proyecto se pretende realizar un sistema auxiliar en la rehabilitación del manguito rotador, en el cual el paciente pueda visualizar su evolución a lo largo de la rehabilitación por medio de una interfaz en MATLAB. Así mismo, este proyecto no solo va dirigido al paciente, sino también al fisioterapeuta, ya que, este tendrá la facilidad de registrar, guardar e incluso manipular los registros y procesamientos de las señales de EMG, los resultados de la amplitud angular realizada en cada movimiento y los datos personales de cada paciente.

#### **V. Objetivos**

El objetivo principal de este proyecto es realizar un dispositivo de seguimiento de rehabilitación con la adición del uso de un sistema de retroalimentación y análisis angular para permitir un desenvolvimiento más eficaz para los pacientes con problemáticas en el miembro superior, específicamente, en la zona del manguito rotador.

El objetivo principal de este proyecto es realizar un dispositivo de seguimiento de rehabilitación con la adición del uso de un sistema de retroalimentación y análisis angular para permitir un desenvolvimiento más eficaz para los pacientes con problemáticas en el miembro superior, específicamente, en la zona del manguito de los rotadores.

## VI. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se emplean las siguientes etapas esenciales: adquisición, acondicionamiento de señales, caracterización, comparación y retroalimentación.

### A. Adquisición

En esta primera etapa se realiza la captura de los registros electromiográficos resultantes del desarrollo del movimiento de comparación, constituyendo una dupla (señal base / registro a comparar) y que serán posteriormente utilizados para acondicionamiento. Así mismo se incorpora un elemento de lectura para el movimiento, el acelerómetro ADXL335, como medio discriminante para el vector angular, que se presenta en la figura 1.



Fig. 1. Acelerómetro utilizado para la medición de la amplitud angular.

- 1) Protocolo de adquisición: Las muestras bases para la comparación fueron desarrolladas en un laboratorio con la menor interferencia electromagnética posible, con el apoyo de una proyección goniométrica fijada al suelo que apuntaba hacia los puntos clave de la articulación involucrada durante el movimiento.

El acelerómetro fue calibrado basándose en el registro de hasta 10 muestras diferentes, las cuales, obedecían el ritmo del mecanismo de apo-

yo, en una posición siempre fija y con la menor interferencia mecánica posible. Una vez registrados los datos se aplicó una regresión lineal basándose en una ecuación cuadrática para determinar la salida y se disminuyó el error existente de acuerdo con una operación de mínimos cuadrados (fig. 2).

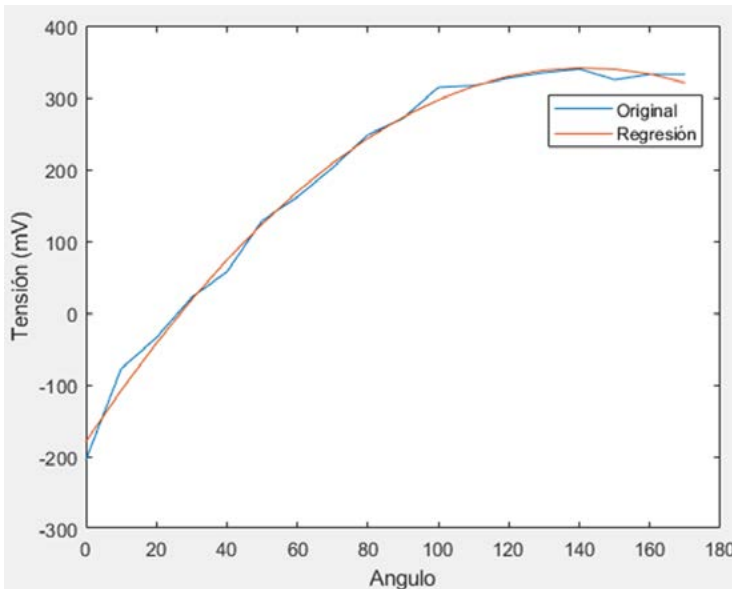


Fig. 2. Valores obtenidos durante la calibración del acelerómetro.

2) Sujetos: Se registraron los datos de tres sujetos de prueba sanos a los que se les pidió realizar los movimientos de extensión y abducción en diferentes condiciones. Capturando hasta tres repeticiones por movimiento.

Se hace un registro dual de dos EMG superficiales, así como la captura del vector de datos perteneciente a los ángulos presentes durante la realización del movimiento.

3) Riesgos/beneficios: Los sujetos participantes presentaron un riesgo nulo durante su participación en el desarrollo del procedimiento, debido a que todos los componentes estaban correctamente colocados y aislados. En cuanto a los beneficios del proyecto, se postulan avances y mejoras en el tratamiento o evaluación de la eficacia de las técnicas ac-



tuales de rehabilitación. Los participantes obtienen solo la gratificación por haber contribuido al diseño experimental.

- 4) Tarjeta de adquisición: Durante el desarrollo del proyecto fue necesaria la utilización de un dispositivo de adquisición de datos que funcionara como puente entre el ordenador y las señales eléctricas registradas por el EM. Para recabar información de manera más precisa y eficiente se hace uso de la tarjeta NI DAQ USB-6009, la cual representa un alto nivel de confiabilidad para la lectura de señales analógicas.

Se limita la frecuencia de lectura de los canales analógicos a 1000 muestras por segundo siguiendo lo especificado por la literatura en el teorema de muestreo de Nyquist [14].

- 5) Diseño del circuito EMG: El circuito EMG está diseñado de tal forma que el acondicionamiento de la señal mioeléctrica esté basado en tres principales puntos:

### *A. Preamplificación*

La preamplificación se realiza por medio del amplificador instrumental INA128, el cual cuenta con un circuito interno con una configuración hecha para una amplificación de la señal con un máximo rechazo al modo común. Los valores de rechazo a modo común dependen de la ganancia definida, siendo mayor para los casos donde exista alta ganancia, sin embargo, es conveniente tener una preamplificación con ganancia baja para que evitar incrementar la magnitud de ruido [8]. Cabe mencionar que, nuestro circuito fue diseñado para tener una ganancia de diez en esta primera etapa.

### *B. Filtrado*

El ancho de banda en la cual se trabajó fue de 2 Hz a 500 Hz, es a partir de este dato que se parte a la creación de los filtros análogos que limitan la banda de trabajo. El filtrado analógico es parte del acondicionamiento de la señal, por el cual se basa en el diseño de filtros de segundo orden, a continuación, se detallará qué filtros se implementaron en esta etapa:

- 1) Filtro pasa altas: El filtro pasa alto elimina las componentes de baja frecuencia, es también filtro DC, es decir, elimina el *offset* que está presente ante la salida de cualquier amplificador previo. En el caso de nuestro circuito se definió una frecuencia de corte de 2 Hz, ya que, según la literatura, las frecuencias por debajo de los 2 Hz no proporcionan información relevante, por lo tanto, son consideradas basura [8].
- 2) Filtro Notch: Existe una componente frecuencial en particular que forma parte del ruido ambiental y que también debe ser atenuada para evitar la alteración de la señal de EMG, tiene una frecuencia de 60 Hz y proviene de la inducción electromagnética de la línea de alimentación eléctrica de 120 [VAC] (red doméstica) [4].

El filtro Notch es importante para eliminar el ruido de inducción eléctrica por el cual es prioritario tener un filtro de selectividad alta y atenuación considerable para la frecuencia de corte, para este caso 60 Hz [8].

- 3) Filtro pasa bajas: En esta última etapa de filtrado, se utiliza un filtro pasa bajas en el cual se tiene una frecuencia de corte de 500 Hz de segundo orden. Esta frecuencia se estableció ya que el rango de frecuencias del EMG de superficie llega hasta los 500 Hz aproximadamente. Dicho esto, las frecuencias por encima de los 500 Hz no nos proporcionan información relevante.

### C. Amplificación

Al final del circuito tenemos la última etapa de amplificación, en la cual tenemos ganancias variables de 100, 150 y 200, cabe mencionar que, las ganancias finales del circuito son de 1000, 1500 y 2000 ya que se multiplicaron por la ganancia establecida en la etapa de preamplificación.

Por otro lado, la razón por la cual elegimos ganancias variables es para poder adaptar nuestro circuito a las necesidades de distintos músculos, ya que, algunos requieren más amplitud o menos amplitud dependiendo del tamaño del músculo. Cabe mencionar que, también utilizamos un amplificador instrumental INA 128.

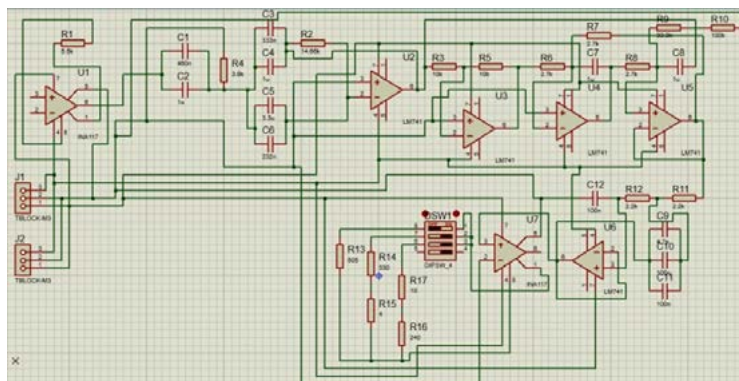


Fig. 3. Diagrama esquemático del circuito EMG.

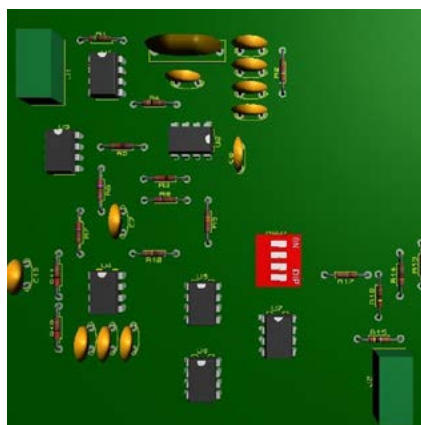


Fig. 4. Diagrama 3D de los componentes del circuito EMG.

- 6) Diseño de la adquisición de señales: Los participantes son colocados a una distancia prudente desde las proyecciones del elemento base para evaluar la rotación de sus articulaciones. Se colocaron los electrodos superficiales de tal manera que se puedan evaluar los movimientos tanto de extensión como de abducción, siendo activados por el movimiento del manguito rotador. El acelerómetro fue colocado a unos centímetros de distancia sobre la articulación del codo, para disminuir el error producido por el movimiento del brazo.

- 7) Colocación de los electrodos: Para evaluar los movimientos que se establecieron (flexión y abducción), fue necesario ubicar los electrodos, de modo que se capturara la actividad EMG del haz medial y haz anterior del músculo deltoides (figura 5). Así mismo, se registró la señal EMG del músculo tríceps cabeza larga (figura 6).

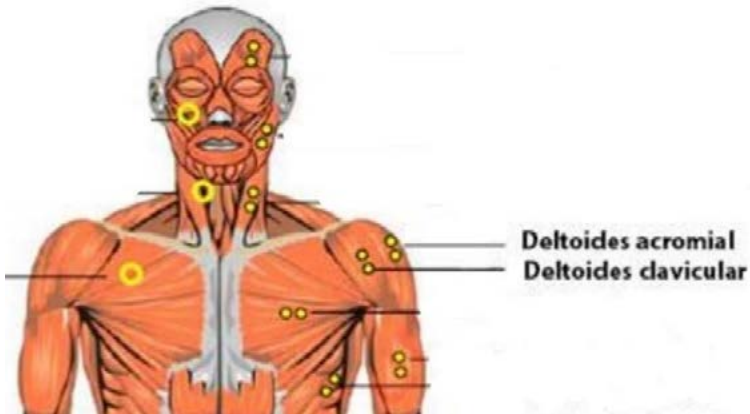


Fig. 5. Colocación de electrodos para deltoides acromial (medial) y deltoides clavicular (anterior).

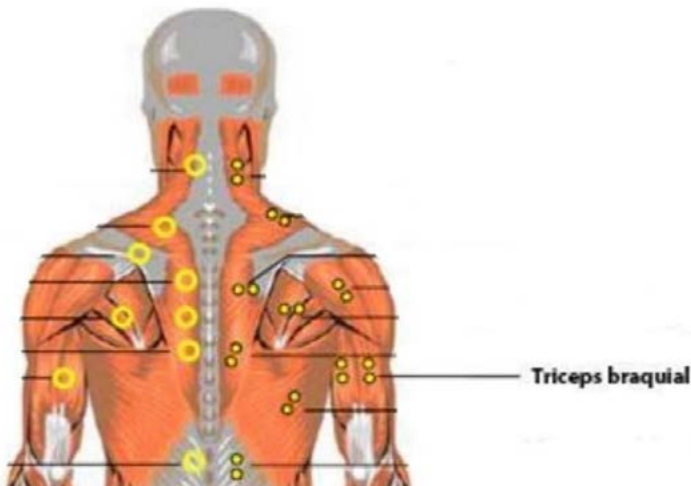


Fig. 6. Colocación de electrodos para tríceps braquial cabeza larga.

Para la evaluación del movimiento de flexión se registró la señal de EMG del músculo deltoides anterior, ya que, en dicho movimiento este músculo tiene una mayor participación. Por otro lado, en la evaluación del movimiento de abducción se registró la actividad EMG del músculo deltoides medial, debido a que este músculo se ve más involucrado en este movimiento, sin embargo, los tres haces del músculo deltoides participan en ambos movimientos.

Cabe mencionar que, en el análisis de ambos movimientos, también se capturó la actividad electromiográfica del músculo tríceps cabeza larga para asegurarnos de que el paciente mantuviera extendido el codo con respecto al hombro y así verificar que los movimientos se realizaran adecuadamente.

8) Registro: Se le solicita al participante que realice alguno de los movimientos con las condiciones necesarias en intervalos de 10 segundos. En una pantalla se le indica el movimiento y el tiempo restante de la repetición. Los datos de la actividad son almacenados con el siguiente formato: ApellidoPaterno\_ApellidoMaterno\_TipoMovimiento\_Identificador\_Número de Repetición.

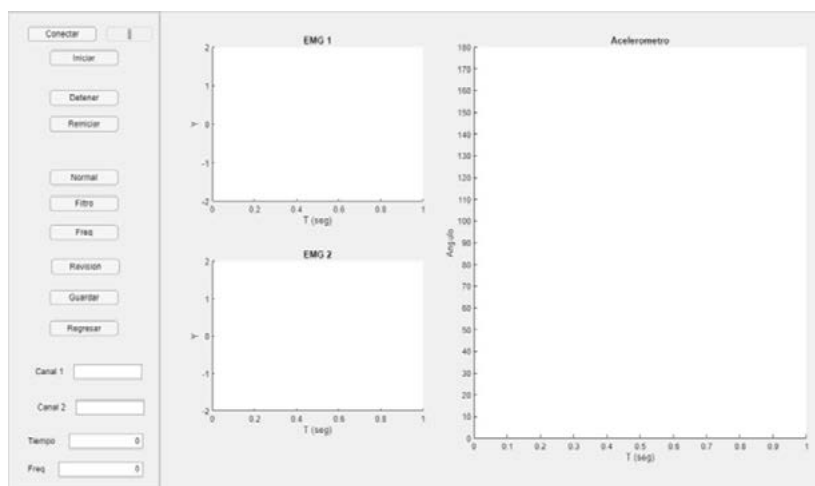


Fig. 7. Interfaz de registro de las señales.

## B. Acondicionamiento de señales

Durante el acondicionamiento se realizan las siguientes etapas: Disminución del ruido, Rectificación y Normalización.

- 1) Disminución del ruido: Las señales obtenidas son filtradas con el objetivo de limpiar sus contenidos de posibles parásitos causados por la interferencia de la tarjeta de adquisición o el movimiento de los cables. Se diseña un filtro digital pasa altas de 10 Hz con este fin. Adicionalmente se diseña un filtro pasa bandas cuarto orden Butterworth entre 12-150 Hz para mantener el contenido principal.
- 2) Rectificación: Una vez filtrada y analizado su espectro por medio de la transformada de Fourier, se procede a generar una rectificación de la señal completa (tomando los valores absolutos).
- 3) Normalización: Las señales una vez contenidas en la onda rectificada son normalizadas para una caracterización más efectiva (fig. 8).

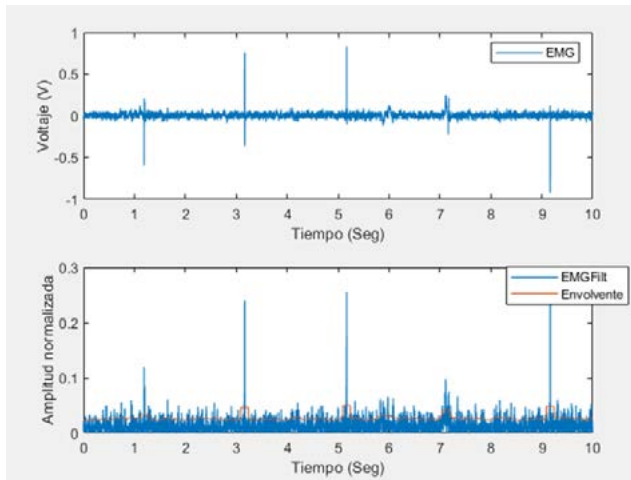


Fig. 8. Señal registrada desde la tarjeta de adquisición (superior); Señal después del acondicionamiento (inferior).

### *C. Caracterización*

En esta tercera etapa se extrajeron valores de diferentes características que fueron utilizadas como elementos discriminantes para realizar las funciones de comparación. Entre las características obtenidas se observan: Valor Medio Absoluto (MAV), Valor RMS, Energía y como discriminante primordial el coeficiente SNR.

### *D. Comparación*

Tomando como referencia las muestras base y los valores capturados dentro de nuestro vector de valores angulares, se generan índices comparativos que buscan interpretar que tan cercanos son los valores obtenidos contra los valores base. El discriminante mayor (SNR), que demuestra la relación entre la señal comparada con el ruido potencial que corrompe [13], retorna el último índice, con el cual se hacen comparaciones lógicas buscando el valor más cercano para preparar la retroalimentación.

### *E. Retroalimentación*

El participante al haber concluido su movimiento recibe un elemento visual que le permite observar que tan preciso fue su movimiento en comparación con la muestra base que fue seleccionada para evaluar. La retroalimentación fue definida como una matriz de colores que identifica tanto los valores que son mayores (colores más profundos) como los valores menores (colores más brillantes) en cuanto a su relación con la base (fig. 9).

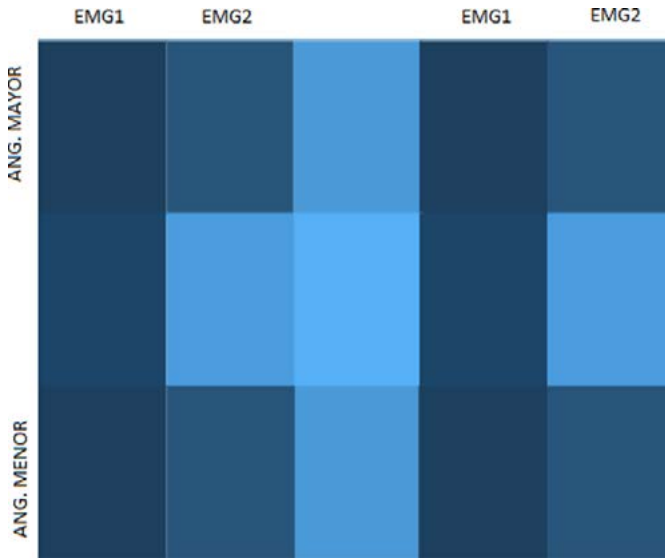


Fig. 9. Matriz de salida y retroalimentación al participante.

La matriz consiste en ejemplificar al paciente sus resultados en relación con la muestra base. Si el ángulo registrado durante el movimiento es mayor, el resultado será activado en la franja superior y en caso de que sea un ángulo menor será visible en la franja inferior.

Los registros de EMG comparan las características descritas previamente y cuanto más diferencia se encuentre los valores más profundos serán activados, en caso de que la diferencia sea negativa los valores más brillantes serán activados.

El valor central corresponde a una identidad con respecto a la muestra base y corresponde a dos movimientos similares hasta en un 95 %.

### F. Implementación

Para la implementación del sistema se diseñaron un modelo 3D para contener el circuito de EMG junto a la fuente de alimentación de este, esto a través del programa de modelado Blender (fig. 10). Por otro lado, para la colocación y sostén del acelerómetro se utilizó una banda para brazo con un sistema de agarre que permitía un reajuste de posición de manera sencilla.



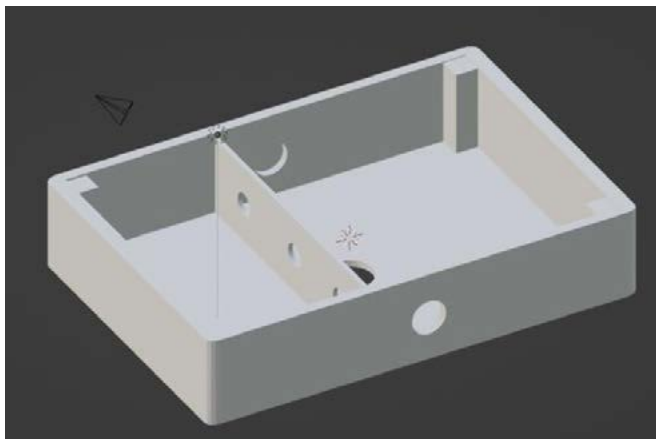


Fig. 10. Modelo 3D del contenedor del circuito EMG.

### *Modulo I. Justificación de biomecánica*

Se aborda desde la perspectiva del seguimiento como herramienta auxiliar para el proceso de rehabilitación del miembro superior durante el proceso de rehabilitación. Explorando dentro del proyecto el seguimiento de las actividades físicas realizadas, el rastreo angular de la articulación y retroalimentación de la actividad muscular.

### *Modulo II. Justificación de instrumentación médica*

Se aborda desde el desarrollo de un sistema de seguimiento y registro de la actividad muscular, así como del movimiento angular. Ofreciendo una salida a la retroalimentación de manera visual que buscan lograr una independencia parcial dentro de la realización de los ejercicios. El sistema está considerado para abordar lesiones en cualquier músculo con las adecuaciones pertinentes.

### *Modulo III. Justificación de electrofisiología*

Es abordado mediante la manipulación e integración de registros electromiográficos superficiales, los cuales son registrados por el sistema desa-

rollado para su posterior evaluación. Se comparan las señales obtenidas mediante técnicas de procesamiento y acondicionamiento, extrayendo características que permitan su comparación con muestras controladas adquiridas previamente, ofreciendo como resultado una retroalimentación visual para el sujeto que hace uso del sistema.

## VII. Resultados obtenidos del proyecto

A continuación, se muestran los resultados de las comparaciones realizadas por medio de la metodología señalada. Todo el procesamiento es realizado por medio de la interfaz de registro, la cual, hace las conexiones a la tarjeta de adquisición, comienzo y características de la adquisición.

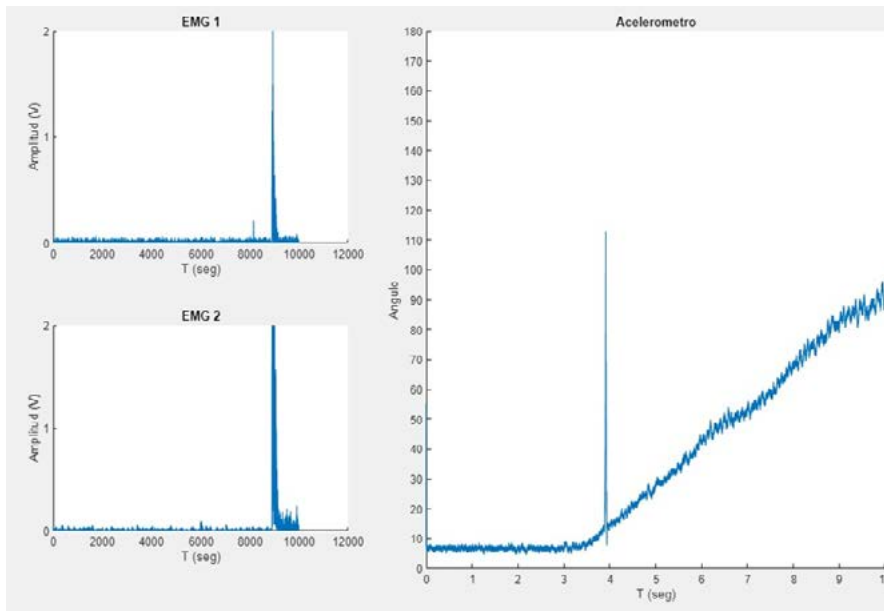


Fig. 11. Señal base para la abducción del participante 1 en el entorno controlado.

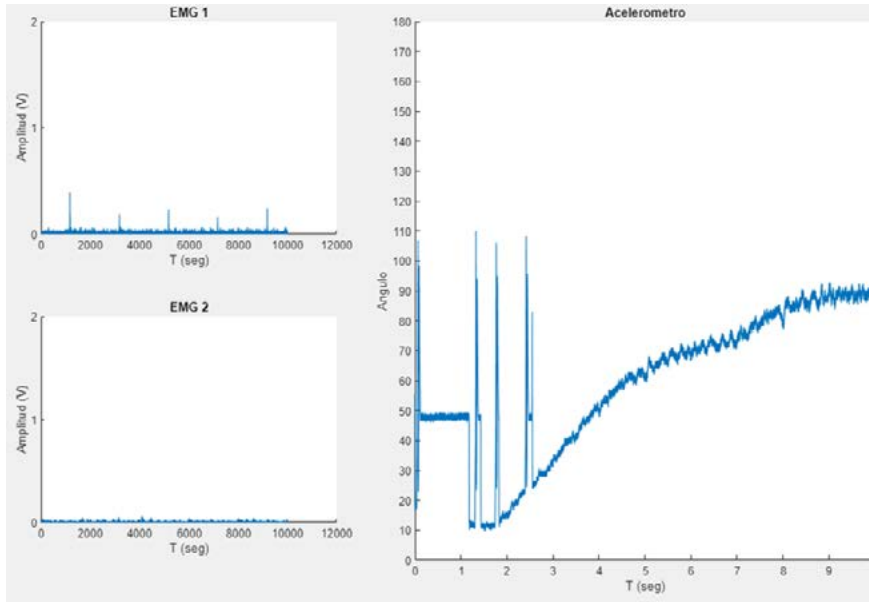


Fig. 12. Señal para comparar de la abducción del participante 1 en condiciones no ideales.

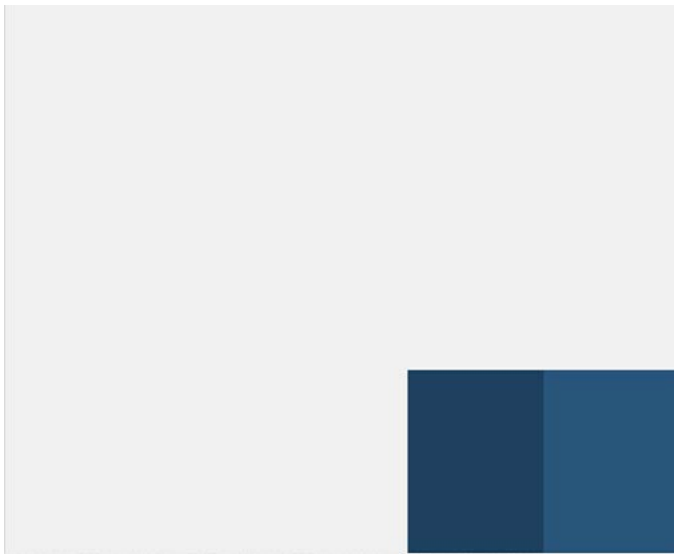


Fig. 13. Retroalimentación de la comparación entre ambos movimientos.

A través de la experimentación y realización de diversas comparativas de los movimientos se logró establecer los índices de confianza que se buscaban para el análisis del progreso de los músculos durante el progreso de la rehabilitación.

Se lograron establecer parámetros para la calibración de nuevos movimientos para su posterior análisis. Modificando el proceso de adquisición y contando con los datos de referencia adecuados.

Se definió que el rango de aceptación sobre el movimiento es un parámetro de naturaleza dinámica según el estudio que se realice y el tipo de limitación o daño muscular encontrada.

Se observó que el comportamiento del movimiento angular fue un discriminante efectivo en cuanto al desarrollo de las técnicas o movimientos involucrados. Por último, en la figura 14 se puede apreciar el sistema completo que se llevó a cabo en funcionamiento.



Fig. 14. Sistema auxiliar para la rehabilitación del manguito rotador.

## VIII. Conclusiones y trabajo para el futuro

1. El análisis de seguimiento de los movimientos de músculos profundos puede ser realizado a partir de músculos que se involucren durante los ejercicios sin la necesidad de utilizar electrodos de inserción.

2. El establecimiento de un coeficiente basado en el ruido o características contenidas dentro de la electromiografía puede ser utilizado como factor para distinguir dos movimientos.
3. El uso de retroalimentación en forma de matriz de datos proporciona una forma visual de representar los datos que no predispone a los participantes en cuanto a la realización del movimiento.

Aspectos que todavía se pueden mejorar y deberán ser llevados a cabo para obtener resultados más significativos son:

- Implementación de un algoritmo o base de datos que emplee aprendizaje de máquinas para expandir y verificar la identificación de los movimientos con muestras más grandes de pacientes.
- Análisis en vivo de la efectividad del algoritmo con pacientes que se encuentran actualmente bajo rehabilitación, así como en un entorno no controlado.
- Implementación y reducción del tamaño del sistema para que pueda ser capaz de analizar más de dos sistemas de electromiografía al mismo tiempo.
- Implementación de un segundo sistema de registro de movimiento angular para definir movimientos más complejos.

## Referencias

- [1] I. A. Kapandji, Fisiología Articular - Tomo 6. Editorial Medica Panamericana, 2012.
- [2] C. Ugalde Olvares, D. Zuñiga Monge, R. Barrantes Monge, “Actualización del síndrome de hombro doloroso: lesiones del manguito rotador”, Medicina Legal de Costa Rica, vol. 30, núm. 1, pp. 63-71, Mar. 2013.
- [3] S. Castellanos-Madrigal, E. Magdaleno-Navarro, V. Herrera- Rodríguez, M. D. García y O. Torres-Bugarín, “Lesión del manguito rotador: diagnóstico, tratamiento y efecto de la facilitación neuromuscular propioceptiva”, El Residente, vol. 15, núm. 1, pp. 19-26, 2020. Disponible: <https://doi.org/10.35366/94039>
- [4] A. M. Gómez, “El manguito de los rotadores”. Ortho-tips, vol. 10, núm. 3, pp. 144-153.
- [5] O. C. J. Lippold, “The relation between integrated action potentials in a human muscle and its isometric tension”, J. Physiol. (Lond.), vol. 117, núm. 4, pp. 492-499, ago. 1952.
- [6] J. V. Basmajian y C. J. DeLuca, *Muscles alive: their functions revealed by electromyography*, 5. ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1985.
- [7] E. Guzman Muñoz y G. Méndez Rebolledo, “Electromiografía en las Ciencias de la Rehabilitación,” Revista Salud Uninorte, vol. 34, núm. 3, pp. 753-765, 2018.
- [8] H. G. Rossi, *Desarrollo de un módulo de electromiografía de superficie para un sistema de análisis de la marcha simplificado*, Universidad Nacional de San Martín, Nov. 2019.
- [9] C. J. De Luca. “Electromyographic. Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation”. Ed. John G. Webster. 2006. Massachusetts. Ed. John Wiley Publisher, pp 98-106.
- [10] R. Merletti y P. Parker, Eds., *Electromyography: physiology, engineering, and noninvasive applications*. Hoboken: Wiley- Interscience [u.a.], 2004.
- [11] S. N. Suárez, P. A. Osorio, “Biomecánica del hombro y bases fisiológicas de los ejercicios de Codman”, CES Med, vol. 27, núm. 2, pp. 205-217, 2013.

- [12] F. H. Palma, M. J. Cifre, I. Clemo Mancilla, A. Flores-León y R. Guzmán-Venegas, “Activación de los músculos escapulohumerales superficiales en tres planos distintos de elevación del hombro”, *Journal of Movement & Health*, vol. 18, núm. 2, julio de 2021.
- [13] J. Weineck, *La anatomía deportiva*. Paidotribo, 2007.
- [14] M. Semeria, (2015), “Los tres teoremas: Fourier – Nyquist – Shannon”, Serie, Documentos de Trabajo, No. 582, Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos de Argentina (UCEMA), Buenos Aires. Disponible en: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/130833/1/844215546.pdf>
- [15] M. Haris, P. Chakraborty y V. Rao, “EMG Signal Based Finger Movement Recognition”, 2015 International Conference on Communication, Control and Intelligent Systems (CCIS), núm. 194-198, 2015.
- [16] R. Ahsan, M. Ibrahimy y O. Khalifa, “Electromyography (EMG) Signal based Hand Gesture”, 4th International Conference on Mechatronics (ICOM), 2011.
- [17] M. del P. Gómez Gil, (2021): Procesamiento digital de señales. CONACYT. Disponible en: <http://ccc.inaoep.mx/~pgomez/cursos/pds/slides/S1B-Est.pdf>

# Capítulo 24

---

## **Sistema modular para el monitoreo y detección de cambios biomecánicos y fisiológicos anormales en el cuerpo**

*Alejandro Montes de Oca Rodríguez  
Néstor Adrián Fonseca Quijas  
Rafael Salazar Angulo  
Braniff De la Torre Valdovinos*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*alejandro.montesdeoca2932@alumnos.udg.mx  
nestor.fonseca4615@alumnos.udg.mx  
rafael.salazar2933@alumnos.udg.mx  
braniff.delatorre@academicos.udg.mx*



Resulta común escuchar sobre complicaciones médicas relacionadas con caídas y circunstancias desafortunadas de desajustes fisiológicos en personas de edad geriátrica, que se agravan debido a la atención poco oportuna. En la actualidad existen alternativas aplicables que sugieren la posibilidad de combatir los factores agravantes y de llevar un análisis cualitativo de los agentes de riesgo para minimizar las consecuencias de un evento de esta naturaleza.

El artículo aborda la implementación del “Sistema modular para el monitoreo y detección de cambios biomecánicos y fisiológicos anormales en el cuerpo” que se inicializa con dos principales unidades de medición; el primero se encarga de la detección de caídas mediante el recopilado de datos con un giroscopio y un acelerómetro acoplados al usuario, con los que se determina su posición antes durante y después de un pico de aceleración que pudiera representar una traslación en caída libre, dicha información se procesa y compara con una serie de valores gatillo para determinar el estado del usuario y enviar o no una alerta casi inmediata en caso de identificar una caída; el segundo módulo es encargado de la monitorización del nivel de hidratación a través de un sensor de bioimpedancia conectado a una serie de electrodos distribuidos en el brazo, el circuito activo estima el nivel de agua presente en el cuerpo del usuario y en la etapa de procesamiento se determina si el nivel medido es adecuado para la salud, el sistema prevé una posible complicación solicitando atención inmediata al enviar una alerta con el dato recabado asociado al usuario.

Los módulos tienen un desempeño en la obtención de datos adecuado, acorde con lo esperado desde la planeación del proyecto, además, la velocidad con la que se reciben las alertas es óptima y la variedad de medios de comunicación adaptables a los módulos es basta y fácil de configurar. En el caso de la monitorización de hidratación, los valores se mantienen estables y concordantes con la literatura; la detección de caídas tuvo resultados confiables, en los que incluso fue posible discriminar caídas fingidas en espacios controlados.

## I. Introducción

En la etapa de la vejez ocurren diversos cambios biopsicosociales que posicionan al colectivo geriátrico en un grupo de riesgo susceptible a accidentes y desajustes nutricionales. A medida que la edad avanza, los niveles de agua en el cuerpo se ven alterados hasta representar de un 60 % a 50 % del peso corporal, lo que contribuye a que la deshidratación sea una de las principales causas de hospitalización en personas de 65 años en adelante, debido principalmente a una pérdida sistemática de la sensación de sed, aunada a la restricción alimenticia rica en aportes hídricos, lo que impide la adecuada compensación del déficit de líquidos. El mismo grupo de edad es también afectado fuertemente debido caídas dentro del ambiente cotidiano, al grado de que existen estadísticas que arrojan que cerca de un 33 % de los adultos mayores se caen cada año en sus hogares y, de los que reciben cuidados residenciales, 66 % sufren caídas, lo que provoca lesiones importantes que incluso pueden derivar en muerte [1], [2].

El implementar este “Sistema modular para el monitoreo y detección de cambios biomecánicos y fisiológicos anormales en el cuerpo” al funcionamiento de un asilo, busca promover que los adultos mayores reciban apoyo oportuno ante alguna situación potencialmente perjudicial relacionados con deshidratación o caídas, con la intención de atacar estos dos grandes problemas, en la búsqueda de mejorar significativamente la calidad de vida de sus usuarios.

El potencial de este sistema radica en su capacidad de contribuir en la disminución del impacto de secuelas dolorosas resultantes de caídas y en minimizar el riesgo de colapsos hidroelectrolíticos mediante el monitoreo constante y efectivo del portador. En el caso de detección de irregularidades en cualquiera de estos factores, la notificación al personal médico para que realice las intervenciones necesarias facilita la atención temprana y reduce la probabilidad de complicaciones en la salud.

## II. Trabajos relacionados

Existen diversos grupos de trabajo que buscan alcanzar metas similares a las propuestas por el proyecto, tratando de priorizar equipo de completa

autonomía y buena sensibilidad. A pesar de ello, estos trabajos pueden ser complementados almacenando los datos registrados por el equipo para su posterior análisis, y así, brindar conclusiones más acertadas respecto a las condiciones en las que un sujeto determinado tiene una caída. Otra solución suele ser la utilización de un dispositivo comercial, como algunos *smartwatches*, pero estos no cuentan con la suficiente sensibilidad para detectar caídas de manera adecuada en usuarios con capacidades motrices reducidas. La integración de estos trabajos puede ser la pieza clave para obtener resultados confiables y relevantes [3], [4].

Para la detección de niveles de hidratación, existen diversos métodos de obtención de este parámetro. Uno de los métodos no invasivos es el uso de señales infrarrojas. La desventaja de este método en comparación a la toma de bioimpedancia deriva de la falta de investigación para establecer criterios aplicables en personas de la tercera edad. Por su parte, los métodos de detección por bioimpedancia poseen la ventaja de mediante una leve presión superficial mejorar considerablemente el contacto con la piel del usuario, lo que permite una mejor fijación, portabilidad e invarianza de datos [5], [6].

A pesar de que hay trabajos similares para la obtención de los datos propuestos, no se ha reportado alguno que se encargue de aunar estos tópicos e integrarlos para la fácil lectura, análisis y proyección.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

El sistema desarrollado cuenta con dos módulos que se consideran fundamentales para el monitoreo de cambios en la fisiología y mecánica del paciente. El primero siendo un sensor de hidratación basándose en la bioimpedancia del usuario y el segundo tratándose de un detector de caídas capaz de registrar el momento exacto en que se presentó un accidente y en ambos casos dar alerta para que el usuario pueda recibir la ayuda necesaria.

Cada uno de estos módulos se desarrolla teniendo en consideración que podrían funcionar tanto de forma independiente como de forma conjunta, con el fin de mostrar eventos con evidencia más compleja.

## Detector de caídas

El módulo de detección de caídas funciona con base en un acelerómetro/ giroscopio, en este caso en particular, se empleó un MPU6050 que permite realizar el análisis de la parte biomecánica. Mientras tanto, un ESP32 procesa la información obtenida por el MPU6050 y determina si sucedió una caída o no.

Tabla I. Módulo detector de caídas – Aspectos generales

Característica	Datos/Valores
Alimentación	+ 9V
Protocolos de comunicación	I2C, Wi-Fi
Baudrate	9600 Bd

Para determinar cuando el usuario sufre alguna caída, están establecidos tres parámetros que deben de cumplirse. El primero de ellos responde a un margen de aceleración; dependiendo de la posición en la que se coloque el módulo sobre el usuario el primer parámetro debe ser configurado para determinar si la aceleración es la correspondiente a una caída. [7]. Estos parámetros se establecen al modificar el umbral con el cual se evaluarán los cambios de posición de los ejes (X, Y, Z) del acelerómetro. Mientras la posición del módulo sea más externa que interna, la sensibilidad del umbral será menor.

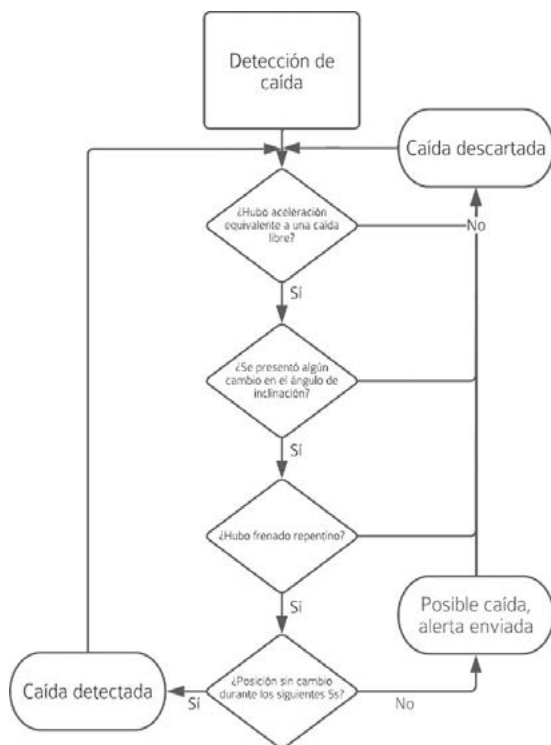


Fig. 1. Diagrama de secuencia detección de caídas.

El segundo parámetro es la comparativa entre el ángulo que presenta el MPU6050 previo a ser sometido a la aceleración de una caída libre y el ángulo que presenta al momento de frenar. Si este cambio de posición excede el umbral determinado entonces este parámetro se considera como cumplido. Este cambio de ángulo se calcula con base al resultado de la raíz de los valores de cada uno de los ejes (X, Y, Z) del giroscopio. Si obtenemos un cambio de ángulo de más de  $25^\circ$  pero menor a  $100^\circ$ , se puede concluir que la posición del usuario se presentó un cambio repentino durante el periodo de aceleración.

El tercer parámetro es el frenado. Al tratarse de una caída libre, hay que analizar que después de tener una aceleración correspondiente a un evento de este tipo se llegue a un frenado repentino. Es decir, pasar de una aceleración elevada a una neutra de forma abrupta. Posterior a eso, se analiza si hubo un cambio de posición en los siguientes segundos. Para que

el parámetro se considere como verdadero, no debe de haber un cambio de ángulo de los ejes del giroscopio de más de  $20^\circ$ . Esto último con la finalidad de descartar que el evento haya sido uno distinto a una caída. Ej. Un golpe repentino a una mesa.

## Sensor de hidratación por medio de bioimpedancia

El módulo de medición de hidratación consiste en un circuito electrónico compuesto por lo siguiente:

- ESP32
- TL072 (2)
- INA128
- AD5933
- Resistencias variadas
- Capacitores variados
- Electrodo de cloruro de plata

La forma de trabajo del circuito consiste primeramente en el conversor de impedancia de alta precisión (AD5933) que genera una pequeña corriente alterna configurada de  $200 \text{ mV } V_{pp}$ , que será dirigida a resistencias que, por ley de Ohm, fueron calculadas para inducirse al cuerpo a través de electrodos [8].

Tabla II. Módulo deshidratación – Aspectos generales

Característica	Datos/Valores
Alimentación	+ 9V
Protocolos de comunicación	I2C, Wi-Fi
Baudrate	9600 Bd

Para una medición más precisa de la bioimpedancia se utilizan dos electrodos de entrada, de modo que haya una referencia con la cual comparar la medición; cada uno de estos electrodos de entrada deben colocarse de forma próxima a sus respectivos electrodos de salida. La información de salida de ambos electrodos (diferencia de potencial) es la que es amplificada por el INA128, para posteriormente, ser mandada de vuelta al AD5933 [9], [10], [11].

El AD5933 posee un filtro que realiza una transformada discreta de Fourier (DFT) que permite conocer la parte real e imaginaria de la impedancia y a su vez, filtrar los datos registrados a la frecuencia que fue previamente configurado (50 kHz).

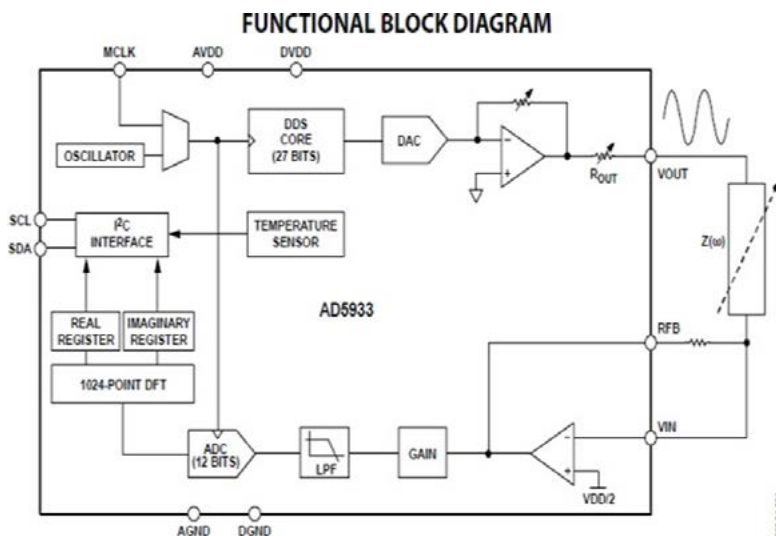


Fig. 2. Diagrama de funcionamiento del AD5933.

Después de almacenar los datos en registros de bits, el integrado transmite los datos calculados por medio de I2C al  $\mu\text{C}$  ESP32.

Con los datos obtenidos, el ESP32 procesa la información de reactancia capacitiva y de la parte resistiva o real de la piel. Así obtenemos la impedancia.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Fig. 3. Ecuación de obtención de impedancia.

Con la impedancia obtenida, se procede a aplicar una fórmula para calcular la cantidad de litros en el cuerpo definida previamente en la literatura. Esta fue seleccionada ya que presenta mayor precisión con los valores de configuración seleccionados. La fórmula es la siguiente, con respecto al Total Body Water (TBW) [12]:

$$TBW(\text{Liters}) = \left[ \frac{0.3963 \times \text{altura}^2(\text{m})}{Z(50\text{kHz})} \right] + (0.143 \times \text{peso}(\text{kg})) + 8.4$$

Fig. 4 Ecuación para obtención de litros en el cuerpo.

Una vez obtenido el TBW en litros, se calcula su porcentaje respecto de la masa corporal. Este dato es transmitido por Wi-Fi para que pueda ser revisado y trabajado por diferentes medios. Estos medios pueden ser tan simples como el desplegar la información en una página “HTML”, a la cual se puede acceder desde cualquier dispositivo conectado a la misma red Wi-Fi; puede ser mandado por medio de un mensaje de “WhatsApp” o ser trabajado desde alguna interfaz de programas como Matlab.

## Módulo I. Justificación de biomecánica humana

El desarrollo del módulo de detección de caídas requiere la consideración de lo que es una marcha “común”, así como las características de aceleración e inclinación angular que no deben ser clasificadas como anormales o de cambio súbito. La implicación de un módulo giroscopio y acelerómetro permite determinar la posición del usuario y discriminar entre los cambios y movimientos que ocurren al centro de un plano tridimensional para inferir en qué momento se considera que está en proceso de una caída.

La programación del módulo debe descartar movimientos sin relación con la caída libre y tomar en cuenta aquellos a los que es sometido el cuerpo humano cuando se ve involucrado en algún accidente. Como ejemplo se tiene la rotación y traslación del usuario o la cuantificación de la amortiguación propia del cuerpo al momento de un impacto, para entonces poder determinar con precisión si se incurre en una caída efectiva y excluir eventos como un simple tropiezo o la marcha.

## Módulo II. Justificación de instrumentación médica

El proyecto instrumenta mediante recursos electrónicos dos dispositivos capaces de realizar mediciones precisas y fiables que contribuyen en la resolución de problemas relacionadas con la salud de personas en edad geriátrica. La concepción del hardware requiere de amplios conocimientos



en materia de programación, diseño de circuitos y electrónica integrada. No obstante, es también necesario tomar en consideración factores de seguridad eléctrica, ergonomía, portabilidad y durabilidad para hacer del prototipo un dispositivo capaz de operar en condiciones reales, aplicables incluso al ambiente hospitalario.

El circuito del módulo de medición de hidratación necesita de una exhaustiva revisión y verificación constante de todos sus componentes. Es preciso asegurar el control total de la corriente que es inducida al usuario por medio de los electrodos, cuidando que las etapas de amplificación ocurran de manera precisa para asegurar su integridad física y que los valores recabados sean enviados a la etapa de procesamiento digital siempre con un grado de precisión idóneo, así, consecuentemente el valor de hidratación obtenido se puede considerar fidedigno.

### **Módulo III. Justificación de electrofisiología**

El módulo de detección de hidratación por bioimpedancia contempla fundamentados sobre las características electrofisiológicas del cuerpo humano. Partiendo del empleo de nociones sobre la conductividad y capacitancia de la célula, se comprende por qué la impedancia de la piel se ve modificada al inducirle corriente en ciertas bandas de frecuencia.

Para la obtención de la bioimpedancia, es necesaria la implementación de electrodos de plata / cloruro de plata como sensores que, además de permitir la inducción de corriente alterna, sirven para validar el valor de impedancia en piel antes y después de inducir la corriente. La amplitud de voltaje y corriente captada por los electrodos alcanza incluso 10-6, así que es necesaria la implementación de una etapa de amplificación de instrumentación para obtener una señal confiable, medible y funcional para la etapa de procesamiento.

La elección del AD5933 es clave, ya que en este integrado se incluyen etapas de filtrado Low-Pass y frecuencial con DFT, herramientas indispensables para que el dispositivo de hidratación logre lecturas acertadas y un procesamiento fiable.

#### IV. Resultados obtenidos del proyecto

El desarrollo del proyecto culmina en el armado de un prototipo funcional para cada uno de los módulos planteados al inicio de este trabajo. Ambos funcionan de manera independiente, son portátiles y mandan los parámetros especificados por medio de una señal Wi-Fi.

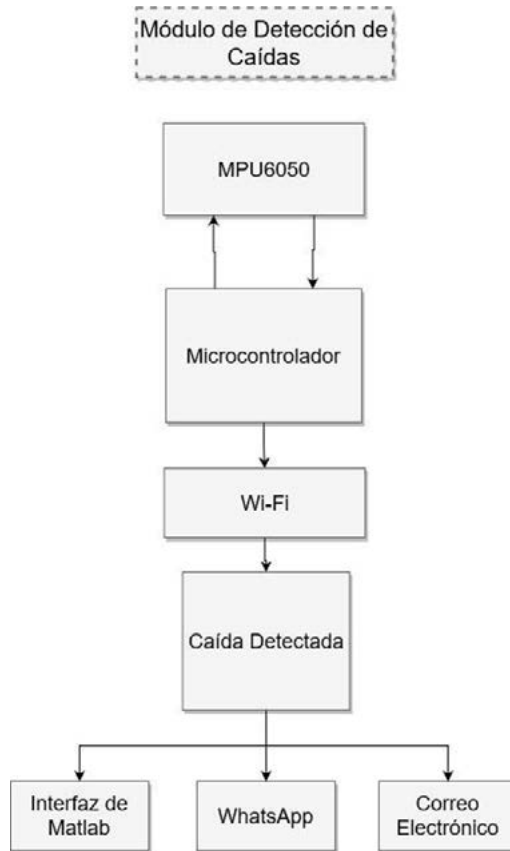


Fig. 5. Diagrama de funcionamiento módulo de detección de caídas.

La velocidad con que estos datos pueden ser transmitidos y procesados depende de la calidad de la señal Wi-Fi con la cual se esté trabajando, así como la distancia del dispositivo con el repetidor de la señal.

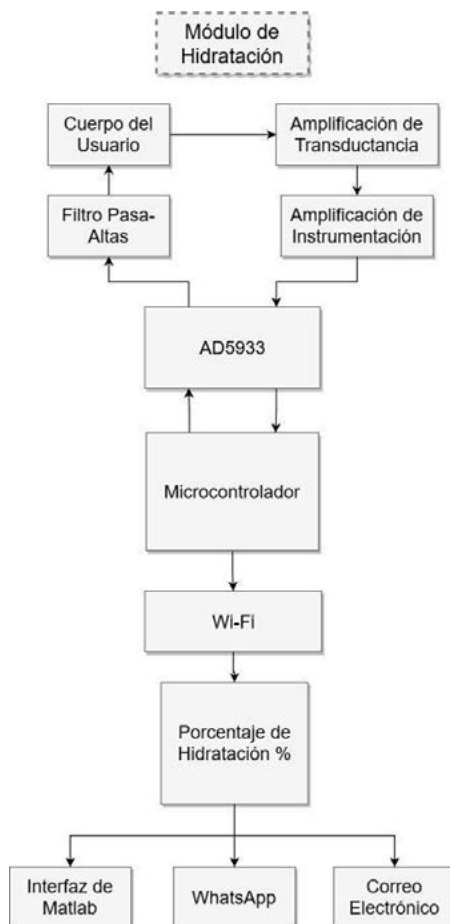


Fig. 6. Diagrama de funcionamiento módulo de hidratación.

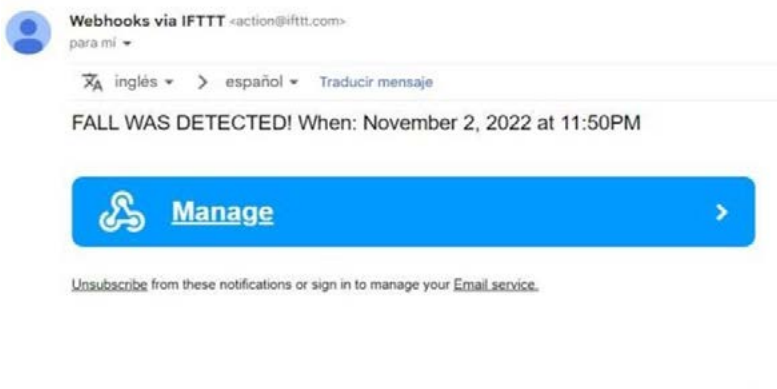
Se desarrollaron tres alternativas funcionales para poder recibir los datos enviados por cada uno de los módulos. Una página web sencilla que almacena y muestra el último dato enviado; un enlace con algún número específico para que se manden notificaciones por WhatsApp; una interfaz de Matlab capaz de generar una base de datos que incluya los resultados proporcionados por cada uno de los módulos.

The screenshot shows a MATLAB App window with a menu bar containing 'Inicio' and 'Exportar' (with a sub-menu for 'xlsx'). Below the menu is a table with the following data:

Nombre	Estatus de Caída	Nivel de Hidratación %
Braniff de la Torre Valdovinos	Caída No Detectada	0.65
Rafael Salazar Angulo	Caída No Detectada	0.60
Adrián Fonseca Quijas	Alerta	0.53
Alejandro Montes de Oca Rodríguez	Caída No Detectada	---

At the bottom of the window, there is a button labeled 'Inicio'.

Fig. 7. Reporte de datos en Matlab.



**IFTTT**

Fig. 8. Alerta de detección de caída vía e-mail.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Entendiendo correctamente las implicaciones físicas y biomecánicas que conlleva una caída, es posible diseñar un algoritmo con suficiente sensibilidad para discernir entre la detección de una caída y un movimiento súbito.

La detección de niveles de hidratación en el cuerpo provee una solución portátil y ligera para el constante monitoreo del usuario mediante la inducción de corriente inocua y segura en intervalos de tiempo determinados.

Ambos módulos poseen independencia entre sí, pero poseen la compatibilidad necesaria para reportarse por un método en común, ya sea correo electrónico, página en HTML o mediante una interfaz de Matlab. Todo esto a elección del usuario final.

Este proyecto sienta las bases para diseñar más dispositivos de monitoreo de señales fisiológicas o biomecánicas bajo el mismo concepto, más allá de los propuestos en los módulos presentados (ECG, EMG, oxímetro, niveles de glucosa, entre otras).

Otra área de oportunidad es reducir el volumen total de cada módulo para que su portabilidad se vea mejorada y resulte un producto más atractivo desde una perspectiva comercial.

## **Reconocimientos**

Al Dr. Braniff De La Torre Valdovinos, por su guía y apoyo a lo largo del desarrollo, por encauzar nuestro enfoque de manera coherente y prestar su atención a las ideas que fueron la base para afinar la calidad del proyecto.

A la Dra. Norma Ramírez Hernández, por instruirnos en el establecimiento de contacto con los distribuidores de dispositivos electrónicos que fueron de gran relevancia en el desarrollo del prototipo.

A la empresa Analog Devices, Inc., por su atenta y pronta respuesta ante la solicitud de los dispositivos AD5933 y AD5934, donándonos muestras de ambos modelos para la elaboración de este proyecto.

## Referencias

- [1] N. de, “Evitemos la deshidratación en las personas mayores,” gob.mx, 2022. <https://www.gob.mx/inapam/es/articulos/evitemos-la-deshidratacion-en-las-personas-mayores?idiom=es#:~:text=Las%20personas%20mayores%20est%C3%A1n%20m%C3%A1s,disminuci%C3%B3n%20de%20los%20aportes%20h%C3%ADdricos>.
- [2] M. Kangas, I. Vikman, J. Wiklander, P. Lindgren, L. Nyberg, and T. Jämsä, “Sensitivity and specificity of fall detection in people aged 40 years and over,” *Gait & Posture*, vol. 29, no. 4, pp. 571-574, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.12.008.
- [3] “Sensitivity of Apple Watch fall detection feature among wheelchair users”, *Assistive Technology*, 2022. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10400435.2021.1923087?cookieSet=1>.
- [4] F. Luna-Perejón, M. J. Domínguez-Morales, and A. Civit-Balcells, “Wearable Fall Detector Using Recurrent Neural Networks,” *Sensors*, vol. 19, no. 22, p. 48-85, Nov. 2019, doi: 10.3390/s19224885.
- [5] J. Wang, Z. Zilic, and Y. Shu, “Evaluation of an RF wearable device for non-invasive real-time hydration monitoring,” 2017 IEEE 14th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN), May 2017, doi: 10.1109/bsn.2017.7936015.
- [6] S. Krishnan et al., “Multimodal epidermal devices for hydration monitoring,” *Microsystems & Nanoengineering*, vol. 3, no. 1, Jun. 2017, doi: 10.1038/micronano.2017.14.
- [7] O. Diaz, “Diseño de un sistema inalámbrico de detección de caídas aplicado a personas de la tercera edad basado en acelerómetro y teléfono móvil”, Pucp.edu.pe, 2015, doi: <http://hdl.handle.net/20500.12404/5914>.
- [8] “AD5933 Datasheet and Product Info, Analog Devices,” Analog.com, 2016. <https://www.analog.com/en/products/ad5933.html#product-reference>.
- [9] S. Khalil, M. Mohktar, and F. Ibrahim, “The Theory and Fundamentals of Bioimpedance Analysis in Clinical Status Monitoring and Diagnosis of Diseases,” *Sensors*, vol. 14, no. 6, pp. 10895-10928, Jun. 2014, doi: 10.3390/s140610895.

- [10] A. Walter-Kroker, A. Kroker, M. Mattiucci-Guehlke, and T. Glaab, “A practical guide to bioelectrical impedance analysis using the example of chronic obstructive pulmonary disease”, *Nutrition Journal*, vol. 10, no. 1, Apr. 2011, doi: 10.1186/1475-2891-10-35.
- [11] T. K. Bera, “Bioelectrical Impedance Methods for Noninvasive Health Monitoring: A Review”, *Journal of Medical Engineering*, vol. 2014, pp. 1-28, Jun. 2014, doi: 10.1155/2014/381251.
- [12] J. R. Alvero-Cruz, L. Correas Gómez, M. Ronconi, R. Fernández Vázquez and J. Porta i Manzanido, “La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición”, *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 2011.

# Capítulo 25

---

## **Propuesta de un intérprete de parpadeos basado en el lenguaje “blink to speak”: estudio comparativo**

*María C. Padilla-Becerra*

*Diana K. Macías-Castro*

*Ricardo A. Salido-Ruiz*

*Sulema Torres-Ramos*

*Israel Román-Godínez*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*maria.Padilla5065@alumnos.Udg.Mx*

*Diana.Macias4530@alumnos.Udg.Mx*

*ricardo.Salido@academicos.Udg.Mx*

*sulema.Torres@academicos.Udg.Mx*

*israel.Roman@academicos.Udg.Mx*



Ante la necesidad de un método de comunicación universal para aquellas personas que no pueden hacerlo por medio del lenguaje oral debido a la discapacidad del habla, y que además presenten limitado o nulo movimiento en extremidades superiores imposibilitando el uso del lenguaje de señas, se propone un intérprete de parpadeos basado en el lenguaje “blink to speak”, que por medio del registro electrooculográfico de 15 sujetos de prueba se construye una base de datos para entrenar un modelo de aprendizaje automático, con la finalidad de poder detectar o predecir diez patrones de movimiento seleccionados del lenguaje anteriormente mencionado, que representan una palabra o idea con intención comunicativa. Se logró un 83.3 % De predicciones correctas con el algoritmo empleado, de manera que las palabras detectadas por el modelo son expresadas por el sistema de manera escrita y auditiva, tanto en el idioma español como inglés, representando así una alternativa de comunicación viable para estas personas.

## **I. Introducción**

Desde tiempos remotos el ser humano ha tenido la necesidad de comunicarse, es por ello por lo que se desarrolla el lenguaje, que es la representación de ideas o sentimientos mediante signos; y la articulación de estos mediante palabras es llamado lenguaje oral o habla. Los trastornos del habla son aquellos en los que se ve afectada la comunicación a nivel fonológico o fonético (características acústicas de la voz) ya sea por problemas de tono, timbre, o intensidades incorrectas, mientras que los trastornos de la articulación son causados por alteraciones en el control motor involucrado en la pronunciación de palabras; al presentar alguno de estos trastornos, se considera que la persona tiene discapacidad del habla [1].

Según un censo realizado por el INEGI en 2020, en México había alrededor de 945 000 personas con discapacidad para hablar o comunicarse [2]. Dicha discapacidad genera un problema debido a la falta de capacidades para comunicarse e interactuar con las personas de su entorno.

Las personas con discapacidad del habla tienen la opción de comunicarse mediante el lenguaje de señas, sin embargo, se encuentran bajo las limitantes de que el receptor debe de conocerlo, además el lenguaje implica movimiento de manos y expresiones faciales, así como que este lenguaje cambia según la región geográfica o el idioma; a la fecha se tienen conta-

bilizados cerca de trescientos lenguajes de señas [3]. Pero ¿qué opción de comunicación tienen las personas que no cuentan con las capacidades para mover libremente las extremidades del miembro superior, considerando la discapacidad del habla?

En 2018 como parte de la campaña tbwa/india se propuso un lenguaje universal llamado “blink to speak”, el cual consta de ocho alfabetos claves y una combinación de movimientos oculares para manifestar los mensajes más comunes. Este lenguaje puede ser de utilidad para personas con esclerosis lateral amiotrófica, con lesiones de la médula espinal, parálisis cerebral, y cualquier otro trastorno neurodegenerativo que no comprometa funciones cognitivas del lenguaje [4].

Si bien el lenguaje “blink to speak” da solución, ya que no se requiere movimiento de extremidades y es universal, implica un alto nivel de concentración tanto del emisor como del receptor, debido a que es necesario evitar cualquier tipo de distractores, sin mencionar que puede resultar en un proceso tardado y complejo pues involucra la atención de ambas partes: por parte del emisor al asegurarse que está siendo observado, y por parte del receptor al identificar y contar los movimientos oculares. Por lo anterior descrito, se propone un intérprete de parpadeos basado en el lenguaje “blink to speak” de modo que las personas con discapacidad del habla puedan dar a conocer necesidades básicas a las demás sin necesidad de que estas aprendan un lenguaje especial. Además, se discuten algunos de los métodos existentes para la codificación de movimientos oculares, identificando las ventajas y desventajas de cada uno.

## II. Trabajos relacionados

Desde hace ya varios años se ha planteado la utilización de parpadeos como comando para controlar diversos equipos de asistencia para personas que presentan problemas como paraplejía. Entre las más comunes tenemos las sillas de ruedas, [5] o el mouse virtual [6].

Por su parte, también se ha buscado utilizar los parpadeos como forma de comunicación. En [6] en 2020 propuso un método basado en procesamiento de imágenes en donde, con la ayuda de una cámara, se detecta el rostro de la persona y posteriormente la región de los ojos, utilizando un sistema de coordenadas como referencias faciales. Una vez que se tienen

ubicados los ojos, se convierten en imágenes a escala de grises, y por medio de umbralización, se detecta la presencia, o en dado caso, la ausencia de la esclerótica, que es la región blanca del ojo, de esta manera, se logra saber si el ojo está cerrado o abierto.

La interfaz con el usuario es muy sencilla, ya que le muestra una serie de números que se van iluminando con la finalidad de que la persona cierre los ojos en el número de su elección, el cual tiene una intención comunicativa; dicho mensaje es mostrado en la pantalla por medio de una imagen y de comandos de voz.

Entre las desventajas que presenta este método se encuentran la distancia a la que es posicionada la cámara, así como iluminación y presencia de sombras, por cual no constituye una solución totalmente viable [7].

## **A. Electrooculograma: características y aplicaciones**

Se ha demostrado que los músculos oculares son los músculos que menos daños presentan, es por ello por lo que su estudio va en aumento, con la finalidad de desarrollar tecnología basada en movimientos oculares [8].

El electrooculograma (eog) es una prueba electrofisiológica que consiste en detectar los movimientos oculares y la incidencia de la luz sobre la retina mediante la variación del potencial eléctrico, analizando el globo ocular como un dipolo eléctrico en donde la córnea representa el polo positivo y la retina al polo negativo, tal como se observa en la fig.1 [9], [10].

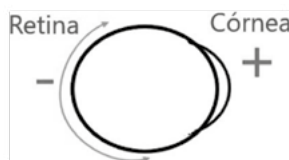


Fig. 1. Comportamiento del globo ocular como un dipolo.  
Modificado de [11].

En el “sistema asistencial basado en computador empleando señales electrooculográficas orientado a personas discapacitadas”, realizado en 2012 [10], se resalta que para utilizar el eog como dispositivo de control de interfaces es necesario conocer tres puntos básicos para la realización del

diseño de la prueba: las características propias de la señal eog, señales interferentes y la seguridad del usuario. Particularmente en este prototipo se trabaja con una señal de los 0.05-40 Hz, impedancia de los electrodos de ag/agcl de entre los 5 y 20 k $\Omega$ ? Y la amplitud no se define, justificándose en que esta cambia según la actividad y la persona en la que se esté registrando la actividad, pero en general, los autores mencionan que va de los 50-3500 $\mu$ v [10].

Según [12], la señal eog cambia sus características de acuerdo con la trayectoria del movimiento del ojo, además, la señal está compuesta por otras actividades como lo es el movimiento de otros grupos de músculos cercanos al ojo, la disposición de los electrodos, así como el parpadeo involuntario propio del ojo.

Así pues, la señal eog se considera un método económico con el que se puede registrar la actividad ocular, aunado a que es ligero a nivel computacional. Constantemente se ha venido utilizando para el control de sillas de ruedas, aparatos protésicos, teclados virtuales, entre otros dispositivos[5], [6], [10], [11], [13], [14]; por lo que personas con limitación de la movilidad pero que cuentan con buena coordinación entre ojo-movimiento pueden verse beneficiadas [12].

Ejemplo de lo anterior es el trabajo presentado en [11], para el que se registraron diez patrones de movimiento para el control de mouse, en una frecuencia de 0-35 hz, para la formación de la base de datos con la que se entrenaron los algoritmos. Menciona que los 20 sujetos de prueba utilizados no presentaban ningún tipo de discapacidad, pero que en caso de que se haya presentado el caso no se vería afectada la adquisición de la señal ya que la forma del eog es bastante similar en todas las personas, considerando que donde pudiese haber un pequeño cambio en la forma sería en personas con alto grado de discapacidad motora.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

El objeto de estudio para el presente proyecto modular es la actividad motora ocular, registrándose por medio de un eog, con la finalidad de caracterizar patrones y posteriormente clasificarlos por medio de un algoritmo de aprendizaje automático. Si bien esta actividad ya se ha venido utilizando para proyectos de control, en este, le daremos uso para fines comunicativos.

#### **A. Elección de palabras a interpretar**

El lenguaje “blink to speak” cuenta con una serie de patrones de movimientos oculares que representan alrededor de cincuenta frases o palabras consideradas de importancia para la comunicación entre pacientes con discapacidad y personas a su alrededor. Para este proyecto, se opta por la elección de diez patrones a caracterizar considerando los siguientes aspectos:

En primer lugar, se separaron las frases o palabras según su intención comunicativa en cinco categorías, esto con la finalidad de cubrir al menos una palabra de cada categoría. Dichas categorías son las siguientes:

- **Indicaciones:** expresan deseos a ejecutar, tales como mover, iniciar, ajustar, etc. También se incluyen las palabras “sí” y “no”.
- **Necesidades básicas:** como su nombre lo dice, son aquellas que involucran a los aspectos físico-biológicos y que son necesarias para la vida misma.
- **Sentimientos:** contiene aquellas que tienen la intención de comunicar una emoción.
- **Salud:** abarca aquellas relacionadas al estado de salud.
- **Comunicación:** son aquellas que se utilizan para entablar una conversación.

A cada patrón de movimiento se le ponderó en dos aspectos: el nivel de dificultad de ejecución, y la importancia o relevancia de su uso. El rango fue de 1 a 5, siendo 5 “muy sencillo/ muy importante” y 1 “muy difícil/ poco importante”.

Al final se sumaron ambos puntajes para cada patrón y se eligieron aquellos valores más altos. Todas las palabras o frases seleccionadas tuvieron un valor mínimo de nueve puntos.

Las frases y palabras seleccionadas son sí, no, quiero dormir, agua, baño, tengo ganas de comer, no estoy bien, dificultad para respirar, me duele y peligro. Una tabla detallada de la metodología de selección de frases o palabras la puede encontrar dando clic aquí).

## **B. Protocolo de adquisición de datos**

Para la realización del presente proyecto modular se necesita entrenar un algoritmo de aprendizaje automático con una base de datos correspondiente a los patrones de movimiento a interpretar. Para la construcción de esta base de datos se registran los movimientos oculares de 15 sujetos de prueba para replicar los diez patrones de movimiento cada uno, correspondientes a las palabras seleccionadas en el apartado anterior; adicionalmente, se registran las señales eog de otros dos sujetos de validación con los que se realiza la demostración del intérprete.

Los sujetos de prueba se seleccionan considerando su género y condiciones visuales, estos son siete mujeres y ocho hombres de entre 18 y 25 años, sin patologías que afecten el movimiento ocular (ya sea voluntario o involuntario).

Cada registro se realiza con un sujeto de prueba diferente. A cada uno se le cita en el laboratorio de bioseñales ubicado en el edificio m del centro universitario de ciencias exactas e ingenierías. Al llegar, se le pide que lea y firme el consentimiento informado en donde se le explica brevemente en qué consiste la prueba, así como que se pide evitar el uso de dispositivos electrónicos durante esta. Una vez aceptado y firmado, se le retiran los objetos que cubran el rostro ya sea cabello, lentes, cubrebocas, etc., Se limpia la zona de alrededor de los ojos, y se le invita a sentarse frente a una pared donde se encuentra un punto de referencia.

El registro de eog se realiza con el natus nicoleet, polígrafo de 32 canales que se encuentra en el laboratorio de bioseñales mencionado anteriormente. Para todos los registros el natus se configuró de la misma manera: el tipo de montaje eog, frecuencia de muestreo de 1000 hz, con una base de

tiempo de 60 mm/seg, tres canales, sensibilidad de 100 v/cm y un filtro pasabanda de 0.5 A 35 hz [9], [11].

Para el registro de los patrones de movimiento ocular seleccionados se necesita el registro de tres canales: dos verticales que corresponden al ojo derecho y ojo izquierdo, colocándose los electrodos como se observa en la fig. 2. Se utilizan electrodos superficiales de copa de oro con pasta conductiva.

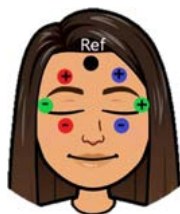


Fig. 2. Distribución de los siete electrodos para registrar los movimientos oculares de los tres canales involucrados: derecho (electrodos rojos), izquierdo (electrodos azules) y laterales (electrodos verdes), así como la referencia (electrodo negro).

Una vez colocados los electrodos correctamente, se le pide al sujeto de prueba que se mantenga sentado y que evite realizar movimientos fuertes. Para el registro de cada patrón se le muestra un video de entrenamiento en donde aparecen los movimientos que debe de realizar al ritmo de un conteo por segundos, este se repite hasta que el sujeto de prueba sea capaz de replicarlo sin la necesidad de verlo, solamente siguiendo el conteo.

Todos los videos de entrenamiento fueron diseñados por el equipo responsable de este proyecto modular y están disponibles dando clic aquí. Los videos comienzan con cuatro segundos libres, seguido del sonido de una campana que es donde se inicia el registro, y posterior a esta el conteo de segundos para la realización de movimientos oculares. Todos los patrones inician y terminan con la mirada fija en el punto de referencia indicado en la pared que se tiene enfrente. Desde que suena la campana hasta un segundo después de terminar el patrón de movimiento, que es donde finaliza el registro, se le pide al sujeto de prueba que evite hacer cualquier movimiento ocular que no esté dentro del patrón de movimiento entrenado, ni mueva la cabeza.

Ya que se termina el registro de ese patrón de movimiento, se procede a entrenar y registrar el siguiente. La prueba en total tiene una duración de entre 40 y 60 minutos ya que algunos patrones de movimiento requieren de ser entrenados dos o tres veces. Cada sujeto de prueba realiza los diez patrones de movimiento seleccionados, registrándose individualmente, por lo que al final de la adquisición de datos se cuenta con 170 registros: 150 que se consideran para la base de datos y 20 para probar el modelo.

### **C. Preprocesamiento y caracterización de los datos**

Una vez que se tienen los patrones de movimiento registrados individualmente, se hace un análisis visual de estos con la finalidad de detectar aquellos que son similares, y se identifican las diferencias entre estos para considerarlas en la caracterización de los datos. Se trabaja con el registro de los tres canales por separado, la suma de los canales y la multiplicación de los canales, tanto de la señal cruda como de la señal estandarizada. Para cada uno de estos se calcula la media, varianza, desviación estándar, valor rms, número de picos (definiendo un umbral de la media más 1.75 Veces la desviación estándar) y distancia entre picos, así como la diferencia entre voltaje mayor y menor de cada canal y la longitud del registro. Para reducir el número de características esperando a que el algoritmo de aprendizaje automático sea de menor coste computacional, se utiliza la correlación para detectar aquellas características que tuvieran correlación 1 (fig. 3) Y se eliminó una de ellas, dejando solo 30 observaciones de las 67 que se tenían inicialmente.



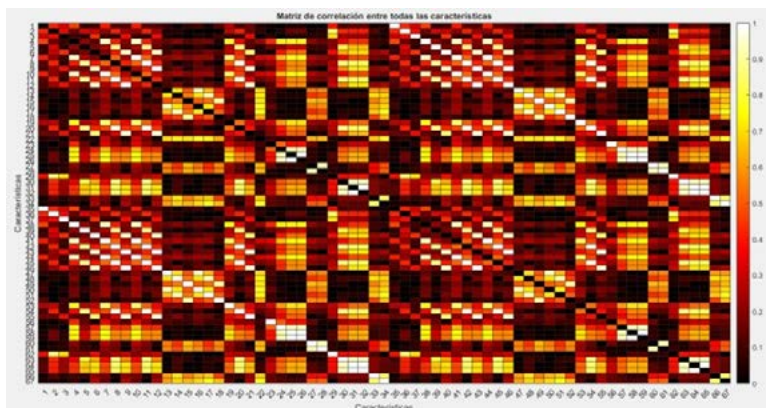


Fig. 3. Mapa de calor: matriz de correlación entre todas las observaciones.

De las características anteriormente mencionadas solo consideran las de la señal cruda para canales separados, suma y multiplicación de los canales, descartando al valor rms de los canales separados y la suma de la señal debido a su similitud con el valor de desviación estándar.

#### **D. Entrenamiento de algoritmos de aprendizaje automático**

Para entrenar el algoritmo se opta por usar el toolbox de matlab “neural net pattern recognition”, que como su nombre lo indica realiza el reconocimiento de patrones haciendo uso de redes neuronales artificiales. Su funcionamiento se basa en el de las redes neurológicas biológicas del sistema nervioso, en donde las neuronas están interconectadas entre si con la finalidad de recibir señales de entrada, procesarlas y emitir señales de salida. En este caso utilizamos las 30 características anteriormente mencionadas como entrada, diez capas ocultas y diez capas de salida que proporcionan las respuestas correspondientes a las diez clases, es decir, los diez patrones seleccionados.

Se utilizaron 150 registros, de los cuales el 70 % fue para entrenamiento, 15 % para validación y el 15 % restante para prueba, obteniendo resultados satisfactorios tal como se muestra en la fig. 4 Que corresponde a la matriz de confusión resultante.

**MATRIZ DE CONFUSIÓN**

<b>CLASE DE SALIDA</b>	SI	15 10.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.7%	1 0.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	88.2%	
	NO	0 0.0%	12 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 1.3%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	85.7%	
	QUIERO DORMIR	0 0.0%	0 0.0%	13 8.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100%	
	AGUA	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	13 8.7%	1 0.7%	2 1.3%	1 0.7%	0 0.0%	4 2.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	61.9%	
	BAÑO	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	13 8.7%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	92.9%	
	TENGO GANAS DE COMER	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	12 8.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100%	
	NO ESTOY BIEN	0 0.0%	1 0.7%	1 0.7%	1 0.7%	0 0.0%	0 0.0%	14 9.3%	0 0.0%	2 1.3%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	73.7%	
	DIFICULTAD PARA RESPIRAR	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	14 9.3%	1 0.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	93.3%	
	ME DUELE	0 0.0%	1 0.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.7%	0 0.0%	0 0.0%	4 2.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	66.7%	
	PELIGRO	0 0.0%	1 0.7%	1 0.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 1.3%	0 0.0%	15 10.0%	0 0.0%	0 0.0%	78.9%	
		100%	80.0%	86.7%	86.7%	86.7%	80.0%	93.3%	93.3%	26.7%	100%	83.3%	0.0%	0.0%	83.3%	
		0.0%	20.0%	13.3%	13.3%	13.3%	20.0%	6.7%	6.7%	73.3%	0.0%	16.7%	0.0%	0.0%	16.7%	
		SI	NO	QUIERO DORMIR	AGUA	BAÑO	TENGO GANAS DE COMER	NO ESTOY BIEN	DIFICULTAD PARA RESPIRAR	ME DUELE	PELIGRO					
		<b>CLASE OBJETIVO</b>														

Fig. 4. Matriz de confusión del algoritmo entrenado.

## Justificación de los módulos

### Módulo I. Justificación de biomecánica humana

La comprensión de la estructura anatómica del ojo humano responsable de la generación y modulación de los movimientos oculares resulta de importancia en este trabajo ya que dichos movimientos son el objeto de estudio, y más aún, son la herramienta de comunicación para el lenguaje planteado. También, la comprensión de las estructuras que se involucran en el movimiento ocular es relevante para establecer en qué padecimientos es viable el uso de este lenguaje.

El parpadeo puede definirse como el cierre y apertura rápida de los párpados. Tienen como funciones principales proporcionar protección al globo ocular contra agentes externos como polvo y objetos extraños, ade-

más de ofrecer una buena distribución a la película lagrimal para eliminar partículas extrañas por medio de las lágrimas [15].

En general, los movimientos del globo ocular y los parpadeos están determinados por siete músculos: recto superior e inferior, recto interno y externo, oblicuo superior y menor, y el elevador del párpado superior, realizando movimientos en diferentes direcciones según se muestra en la fig. 5 [11].



Fig. 5. Direcciones de movimiento del globo ocular relacionadas a cada músculo oculomotor. Modificada de [11].

Particularmente, para el parpadeo se involucran principalmente dos músculos: el orbicular palpebral, que es el responsable de mantener el párpado cerrado; y la contraparte, el músculo elevador del párpado, que como su nombre lo indica es el responsable de mantener de forma continua el ojo abierto; además, se involucran varios tendones y ligamentos [16].

## Módulo II. Justificación de instrumentación médica

La organización panamericana de la salud en 2021 definió a la rehabilitación como el conjunto de técnicas diseñadas para optimizar el funcionamiento y reducir la discapacidad en individuos con condiciones de salud en interacción con su entorno. Con condiciones de salud se refiere a cualquier enfermedad, trastorno, lesión o trauma que reduce o imposibilita una capacidad funcional [17]. La presente propuesta de interprete de parpadeos cumple con el objetivo de proporcionar una alternativa de comunicación para aquellas personas que no lo pueden hacer por medio

del habla o incluso por lenguaje de señas, por lo cual se desempeña como un instrumento de rehabilitación.

Por otra parte, la norma oficial mexicana nom-241-ssa1-2021 en donde se establecen los requisitos mínimos para los procesos de diseño, desarrollo, almacenamiento y distribución de dispositivos médicos define en el apartado 3.109, al software como dispositivo médico como aquel utilizado con uno o más propósitos médicos, que tiene como característica principal que no requiere formar parte del hardware del dispositivo médico para cumplir con el propósito médico previsto, tal como funciona el intérprete de parpadeos [18].

### **Módulo III. Justificación de electrofisiología**

La actividad motora ocular se estudia y caracteriza mediante el procesamiento de bioseñales, la cual proporciona información que nos permite decodificar lo que el sujeto desea comunicar a través del algoritmo de aprendizaje automático. La comprensión de cómo se origina el movimiento ocular, los tipos de parpadeos que se presentan, y las características de estos, son fundamentales para reconocer, identificar y caracterizar los movimientos de interés, así como para configurar correctamente el dispositivo de adquisición con el fin de registrar la actividad de interés.

Existen tres tipos de parpadeo: el espontáneo, el reflejo y el voluntario, este último presenta mayores valores tanto de amplitud y duración que los anteriores. El parpadeo se origina a nivel cognitivo (del tipo involuntario) y a nivel corneal (de tipo reflejo). El mecanismo del parpadeo involucra la vía aferente (sensitiva) del nervio trigémino al ser estimulado por el músculo supraorbitario, y a la vía eferente (motora) del nervio facial reflejando el movimiento gracias al músculo orbicular [19]. Cabe destacar que en el reflejo del parpadeo es posible registrar periodos silentes si mientras el parpadeo se realiza alguna contracción voluntaria facial [20].

Analizando al parpadeo como señal, hay dos características particulares: la frecuencia y la regularidad. La frecuencia del parpadeo es el número de veces que ocurre el parpadeo en un intervalo de tiempo, mientras que la regularidad del parpadeo describe qué tan regular es el ritmo durante un periodo de tiempo. Ambas características varían según las condiciones en

las que esté el sujeto, considerando la lubricación del ojo, la actividad que se esté realizando, y factores externos como luz, polvo, entre otros. Por mencionar algunos ejemplos, se tiene registrado que en posición primaria de mirada hay 15 parpadeos/min, durante la lectura  $7.9 \pm 3.3$  Parpadeos/min y durante una conversación  $21.5 \pm 5.6$  Parpadeos/min [21].

Retomando el tema del globo, ocular como un dipolo eléctrico visto desde el eog [10], en donde la córnea representa el polo positivo y la retina el polo negativo, se destaca que la diferencia de potencial entre estos es de hasta 1 mv, variando esta según el nivel de adaptación a la luz. Así pues, para registrar tal potencial hay que asegurar una correcta adquisición, ya que la impedancia entre los electrodos y la piel, sobre todo en los cantos externos los ojos, puede variar significativamente debido a las mismas características anisotrópicas de la piel y la forma no esférica del ojo.

Otro punto clave en el área de electrofisiología es el procesamiento que se le realizó a la señal registrada entre los 0.5 Y los 35 hz. Se trabajó con el registro en crudo y el registro estandarizado, mismos a los que se les aplicaron distintas operaciones estadísticas, así como la extracción de características que se consideraron importantes al momento de realizar el análisis visual de los patrones de movimiento ocular.

#### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Uno de los productos obtenidos de este proyecto es el protocolo en el que se establecen los requerimientos necesarios para realizar la correcta adquisición de registros oculográficos, ya que proporciona una guía para futuros registros.

Así mismo, la base de datos compuesta por la caracterización de diez patrones de movimientos oculares realizados por quince sujetos hace posible el entrenamiento de algoritmos de aprendizaje automático.

Por su parte, el modelo de aprendizaje automático generado muestra resultados muy prometedores, con un total de 83.35 % de predicciones correctas. Cabe mencionar que entre los diez patrones que se caracterizaron el número nueve, que corresponde a “tengo dolor” fue el que mostró un desempeño menor (26.7 % de predicciones correctas), esto debido a que dicho patrón involucra un guiño con el ojo izquierdo, el cual puede resultar difícil de replicar

para las personas, pues no todos poseen esa habilidad, y por lo tanto es el registro que muestra mayores diferencias entre sí y es más difícil de caracterizar.

Por último, se puede mencionar que según lo analizado en el estado del arte y los resultados obtenidos, el método aquí propuesto para la adquisición y caracterización de registros electro-oculográficos proporciona una alternativa viable, ya que a diferencia de aquellos que se basan en el procesamiento de imágenes, no se requiere un equipo adicional como lo es la cámara, y con ello no se necesita un control del entorno como la iluminación o distancia; además, el costo es menor, tanto a nivel hardware como a nivel computacional.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Fue posible registrar, mediante la electrooculografía, los 10 patrones de movimiento ocular seleccionados del lenguaje “blink to speak” y clasificarlos eficazmente con un algoritmo de aprendizaje automático.

Estos resultados favorables dan paso a que actualmente se esté trabajando en el diseño de un dispositivo de adquisición de movimientos oculares en tiempo real y de fácil acceso para usuarios, con el objetivo de que sirva como un sistema completo de interpretación o comunicación, buscando que el registro con este nuevo dispositivo sea lo suficientemente estable, y tenga la sensibilidad necesaria para detectar los patrones de movimiento involucrados en el lenguaje.

## **Reconocimientos**

A todos y cada uno de los sujetos de prueba por su disponibilidad y compromiso para realizar las pruebas necesarias.

A todos los encargados y prestadores de servicio del laboratorio de bioseñales por permitirnos el uso de instalaciones y equipo, especialmente a Christopher Sánchez por su entera disposición.

Para nuestras familias no hay palabras que expresen el agradecimiento que les tenemos por su total entrega, compromiso desde el primer momento, y por mantener la motivación durante todo el proceso, incluso más que nosotras mismas.

## Referencias

- [1] J. M. Gorospe, M. Garrido, J. Vera y J. Málaga, “Valoración de la deficiencia y la discapacidad en los trastornos del lenguaje, el habla y la voz”, *Imserso*. Madrid, 1997.
- [2] Inegi, “estadísticas a propósito del día internacional de las personas con discapacidad (datos nacionales),” 2021.
- [3] A. R. Villa, “el lenguaje de señas en un mundo globalizado”, *blog digit. Univ*, pp. 1-12, 2021.
- [4] H. Sane and s. Nivins, *blink to speak*. 2018.
- [5] B. Mayo, C. H. Zenteno y J. Vázquez, “Prototipo de silla de ruedas eléctrica controlada por detección de estado ocular inclinación de la cabeza”, in *memorias del congreso nacional de ingeniería biomédica*, 2018, vol. 5, núm. 1, pp. 498-501.
- [6] T. Pallejà et al., “Ratón virtual relativo controlado con los movimientos de la cabeza,” in *memorias del ix congreso internacional interacción, albacete, espana*, 2008, pp. 305-314.
- [7] S. Jebakani, J. Divya, S. Megha y H. Santhosh, “Eye blink to voice for paralyzed patients,” *International Journal of Information Technology (IJIT)*, vol. 6, núm. 3, 2020.
- [8] A. A. Villanueva, A. B. G. Ortega, F. T. Ruiz, O. M. Rodríguez y P. Final de bioinstrumentación, “electrooculógrafo (eog)”.
- [9] A. Barrientos Castaño, M. Herrera Mora, O. García Báez, M. Sierra Hernández y O. Pérez de la Rosa, “Valores de referencia del electrooculograma,” *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, vol. 31, núm. 1, pp. 46-52, 2012.
- [10] A. López Martínez, “Sistema asistencial basado en computador empleando señales electrooculográficas orientado a personas discapacitadas”, 2012.
- [11] D. C. Mahecha Rojas, “Control de mouse a través de señales eog y algoritmos de boosting”, 2008.
- [12] D. A. Palma Bustamante, “Extracción de artefactos oculares de eeg mediante análisis de componentes independientes”, 2020.
- [13] A. Bulling, J. A. Ward, H. Gellersen y G. Tröster, “Eye movement analysis for activity recognition using electrooculography”, *IEEE Trans pattern anal mach intell*, vol. 33, núm. 4, Pp. 741-753, 2010.

- [14] W. L. Posada Ocana y M. G. Cabrera Suquilanda, “Control del movimiento de un vehículo a control remoto a través de señales eog”, 2015.
- [15] M. Rodríguez montiel, “estudio de las características del parpadeo, y su relación con los movimientos sacádicos, en distintas condiciones controladas de lectura”, 2015, [online]. Available: <https://upcommons.Upc.Edu/handle/2117/89328>
- [16] S. Bautista Peña y E. Pérez Vargas, “El proceso del parpadeo ocular como indicador de emoción en la prueba de nado forzado”, *Revista de psicología y ciencias del comportamiento de la U.A.C.J.S.*, vol. 3, núm 2, pp. 52-69, julio-diciembre de 2012. [Online]. Available: <https://dialnet.Unirioja.Es/servlet/articulo?Codigo=5925149&info=re sumen&id idioma=eng>
- [17] Organización panamericana de la salud, “Rehabilitación”, <https://www.Paho.Org/es/temas/rehabilitacion>.
- [18] Diario oficial de la federación, “Norma oficial mexicana nom-241-ssa1-2021, buenas prácticas de fabricación de dispositivos médico”, secretaría de gobernación, dec. 2021.
- [19] B. Trujillo-Hernández, J. Fonseca-Cosío, P. L. Sevilla-Centeno, A. Elizalde-Lozano, R. Millán-Guerrero y C. Vásquez, “Alteraciones del reflejo h, reflejo de parpadeo y neuroconducción en pacientes alcohólicos crónicos”, *Revista Ecuatoriana de Neurología*, vol. 17, núm. 1-3, 2008.
- [20] F. E. Leon-Sarmiento, C. Gutiérrez y J. Bayona-prieto, “Evaluación neurofuncional del tallo cerebral parte I: reflejo del parpadeo,” *IA-TREIA*, vol. 22, núm. 4, pp. 372-381, 2009.
- [21] M. Rodríguez Montiel, “Estudio de las características del parpadeo, y su relación con los movimientos sacádicos, en distintas condiciones controladas de lectura”, feb. 2015, Accessed: sep. 03, 2022. [Online]. Available: <https://upcommons.Upc.Edu/handle/2117/89328>





# Capítulo 26

---

## Órtesis mecánica para rehabilitación de mano

*Fernando Castañeda González  
Alan Andrés Álvarez Vega  
Juan Luis Estrada Ochoa  
Norma Ramírez Hernández*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*fernando.castaneda3872@alumnos.udg.mx  
alan.alvarez7073@alumnos.udg.mx  
juanl.estrada@alumnos.udg.mx  
norma.rhernandez@academicos.udg.mx*

El presente trabajo describe la elaboración de una órtesis mecánica para rehabilitación de mano en aquellas personas que padezcan de monoplejía en un grado total o parcial, así como otro tipo de patología que afecta directamente la movilidad de la mano.

El prototipo de proyecto consiste en una órtesis que va anclada al antebrazo del usuario, la órtesis efectúa el movimiento por medio de cinco servomotores colocados estratégicamente, esta órtesis cuenta con dos modos de operación que son controlados por medio de una aplicación móvil vía bluetooth, el primero es para las personas con pérdida de movimiento total de la mano, el guante se encarga por si solo de realizar los movimientos de cierre y apertura, mientras que el segundo modo funciona mediante electromiografía (EMG) y está dirigido a aquellas personas que aun tienen cierta movilidad en la mano.

Los resultados obtenidos son favorables, se pudo realizar una órtesis de mano controlada por electromiografía, y con la función de poder modular parámetros de cierre, fuerza y velocidad, lo cual ayuda mucho a una mejor rehabilitación de la mano.

## **I. Introducción**

La parálisis cerebral (PC) es un problema de salud pública a nivel mundial, siendo la principal causa de la discapacidad infantil. La incidencia mundial ha permanecido estable durante los últimos años presentándose alrededor de 2 a 2.5 casos por cada 1000 nacidos vivos. Sin embargo, en México, los reportes de la Secretaría de Salud publicados entre 1998 y 2000, muestran una incidencia de tres casos por cada 10 000 nacidos vivos [1].

A través de la historia, múltiples investigaciones se han hecho presentes para tratar de entender, definir y clasificar a la parálisis cerebral infantil. Finalmente, para el año 2004 en Bethesda, Estados Unidos, un grupo de expertos a nivel mundial, reunidos en el Taller Internacional para la Definición y Clasificación de la Parálisis Cerebral introdujo al acervo médico que la parálisis cerebral no es una enfermedad específica, y finalmente se definió como un grupo de desórdenes permanentes del desarrollo del movimiento y postura, que causan una limitación; y se atribuyen a alteraciones no progresivas que ocurren en el desarrollo del cerebro fetal o infantil [1].

La monoplejía es la parálisis de una extremidad, grupo muscular o músculo. La monoplejía, cual debilidad motora, va a afectar a un miembro. En caso de no ser completo el defecto, hablamos de monoparesia, ya que podría ser parcial o total, dependiendo de cómo afecte a grupos musculares específicos. Normalmente, afecta una extremidad, con mayor frecuencia un brazo, pero también puede afectar una de sus piernas, puede ser una condición temporal, pero en otros casos puede ser permanente [2].

Si bien la monoplejía es la principal enfermedad a la que va dirigido nuestro proyecto, no es la única, ya que la ortesis de rehabilitación es funcional para cualquier otro tipo de patología que afectan directamente en la movilidad de la mano. De acuerdo con la literatura, estas enfermedades pueden ser tratadas por medio de métodos de rehabilitación (uso de ortesis entre ellos) por lo cual nuestro objetivo es realizar una órtesis funcional para la rehabilitación de mano, que sea innovadora y fácil de usar para el usuario.

## **II. Trabajos relacionados**

A continuación, se presenta información relacionada al uso y diseño de órtesis de mano para rehabilitación, ya sea por enfermedades degenerativas o por fracturas, la información es obtenida de artículos provenientes de fuentes confiables.

Con la rehabilitación se trata de evitar la aparición de discapacidad o el incremento de esta y lograr la mayor adaptación posible; para ello es muy importante que, durante la rehabilitación, el paciente colabore de manera responsable. Los objetivos de la rehabilitación de la mano son: controlar el dolor; disminuir la inflamación de los tejidos blandos; proporcionar apoyo a la fractura en curación; restaurar el movimiento, la fuerza y función, y permitir el regreso a las actividades de la vida diaria.

Con el objetivo de mantener o restaurar el rango de movimiento articular, se han diseñado instrumentos para mejorar el proceso de rehabilitación, como lo son dispositivos para estiramiento mecánico y los de movimiento continuo pasivo, para lograr una movilización frecuente y consistente, en condiciones controladas, tanto a nivel institucional como en el hogar, este estudio de casos realizado en la ciudad de Manizales (Colombia) utiliza el Prototipo Exoesqueleto de Mano y Muñeca EMMRA-1 y la Ortesis Robótica de Rehabilitación Pasiva PRO-Dix3.



Fig 1. Ortesis robótica de rehabilitación pasiva PRO-Dix3.

Se concluye que, con el manejo quirúrgico especializado y la rehabilitación temprana complementada con órtesis robóticas, se mejoró la funcionalidad de la mano, disminuyó el dolor, hubo ganancia del arco articular y reinscripción a las actividades cotidianas [3].

El estudio demuestra las aplicaciones potenciales de las órtesis robóticas en la rehabilitación y asistencia de pacientes con discapacidad de mano. Además, confirma la hipótesis de que esta tecnología complementa de manera eficiente el proceso de rehabilitación convencional en personas con pérdida funcional parcial o total de la mano [4].

Si bien el uso de órtesis robóticas ha demostrado que funciona en el proceso de rehabilitación de pacientes, se recalca la ayuda de personal terapéutico para su mejor rehabilitación, además de que es necesario una buena atención previa o en el caso de fractura haber tenido un proceso quirúrgico bien ejecutado, ya que esto puede afectar directamente en la recuperación del paciente.

Es necesario individualizar el número de sesiones de terapia física y robótica aplicadas a los pacientes de acuerdo con el tipo de fractura, ya que los pacientes con fracturas únicas y extrarticulares (diáfisis de un solo metacarpiano) requieren menos sesiones de terapias físicas y robóticas para restablecer el arco en flexión y extensión de la articulación metacarpofalángica. Los pacientes con fracturas múltiples (2 o más metacarpianos), complejas (cuello, base + diáfisis), intra articulares (cabeza, base) o conminutas requieren mayor número de sesiones de terapias físicas y robóticas para recuperar el arco de movilidad de la articulación metacarpofalángica hasta el máximo grado posible en cada paciente.

El protocolo de rehabilitación implementado en los pacientes con fractura de metacarpianos fue efectivo, pues presentaron disminución del dolor, mejoría de la funcionalidad y recuperación del arco de movilidad articular. El control electrónico permite incrementar de forma gradual la fuerza, la velocidad y el ángulo de desplazamiento en flexión y extensión durante la movilización pasiva de los dedos con órtesis robóticas, favoreciendo así la tolerancia al dolor durante el proceso de rehabilitación.

La movilización pasiva de las articulaciones metacarpofalángicas se realizó con la órtesis robótica PRO-Dix (Fig. 1), la cual tiene tres interfaces: órtesis piel (guante de cuero y neopreno), órtesis pasiva (piezas de acrílico articuladas) y órtesis activa (servomotores). El controlador de los dispositivos biomédicos permite al terapeuta graduar de forma manual el ángulo, el torque y el tiempo de giro del servomotor, esto para incrementar progresivamente el arco, la velocidad y la fuerza del movimiento articular según la tolerancia del paciente [5].

Algunos artículos proponen métodos un poco diferentes, pero de igual manera efectivos, un sistema robótico que refleja el movimiento de flexión/extensión de la mano derecha, en la mano izquierda.

Este dispositivo propone una alternativa tecnológica a la terapia de espejo convencional aplicada en la rehabilitación de la mano izquierda a personas que sufren hemiplejía. Los sensores utilizados para identificar el rango de movimiento de la mano sana ofrecían un amplio rango de variación, lo que permitió detectar la información de resistencia sin que se produjera un solapamiento entre los distintos ángulos [6].



Fig 2. Robotic system for bilateral rehabilitation of the left hand [6].

## **A. Escalas DASH y EVA**

En todos los pacientes se ponen de manifiesto la recuperación funcional de la mano según la Escala de Discapacidades del Hombro, el Codo y la Mano (DASH), la disminución de la intensidad del dolor según la Escala Visual Análoga del Dolor (EVA) y la recuperación del arco de movilidad articular; además, todos los pacientes retornaron a las actividades de la vida diaria y laborales [3].

## **B. Caso clínico**

Paciente femenina de 20 años, estudiante de Psicología y trabajadora en centro de llamadas telefónicas, que presentó un traumatismo en el hogar el 12 de noviembre de 2016; golpeó accidentalmente un muro con la mano derecha, sufrió fractura compleja intraarticular de la cabeza del quinto metacarpiano.

Intervención. Después de diez días del posquirúrgico, el 27 de noviembre de 2016 inició el proceso de rehabilitación; se le practicaron diez sesiones de fisioterapia de sesenta minutos de duración cada una y doce sesiones de terapia de movilización asistida con órtesis robótica de sesenta minutos de duración cada una. Fisiatría realizó la medición de variables: Escala de Discapacidades del Hombro, el Codo y la Mano DASH, Escala Visual Análoga del Dolor (EVA) y arcos de movimiento articular.

Resultados. Inicialmente como se puede ver en la tabla 1 se encontró una puntuación en la Escala DASH de 69.85 y en la escala EVA de tres; después de 8 semanas de rehabilitación complementada por órtesis robótica, mejoró la funcionalidad a 14.7 y disminuyó el dolor a dos. Además, mejoró los arcos de movilidad articular de la articulación metacarpofalángica (MF) en extensión de -5 a 0 grados y en flexión de 5 a 45 grados; también mejoró la movilidad articular de la articulación interfalángica proximal (IFP) en flexión de 30 a 90 grados, (véase la tabla 2) y recuperó por completo el movimiento del cuarto dedo (Fig. 3) [3].

Tabla 1. Cortesía de G. A. Gil Henao, et al.

Tabla 1 Medición de las escalas DASH y EVA en la primera paciente		
Variables (escala)	Función (DASH)	Dolor (EVA)
Medición I (27-11-2016)	69,85	3
Medición II (25-1-2017)	14,7	2

DASH, Escala de Discapacidades del Hombro, el Codo y la Mano; EVA, Escala Visual Análoga del Dolor.

Tabla 2. Cortesía de G. A. Gil Henao, et al.

Tabla 2 Medición de arcos de movimiento articular en la primera paciente			
Variables (escala)	MF (extensión)	MF (flexión)	IFP
Medición I (27-11-2016)	-5°	5°	30°
Medición II (25-1-2017)	0°	45°	90°

IFP, articulación interfalángica proximal; MF, articulación metacarpofalángica.



Fig 3. Radiografía de la mano izquierda del sujeto antes y después de su rehabilitación [3].



### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

#### A. Metodología

El desarrollo del prototipo para el proyecto modular se realizó por medio de dos etapas: hardware y software.

#### 1. Hardware

El diseño del prototipo de órtesis mecánica consistió en el planteamiento de un brazalete, el cual está anclado al antebrazo del paciente para apoyar en su rehabilitación. El proceso de rehabilitación se puede realizar tanto en casa con el apoyo de un familiar como en un consultorio con la supervisión de un terapeuta, esto dado por la propiedad portátil que implica tener el brazalete.

La portabilidad del dispositivo se obtiene tanto en el tamaño del prototipo como de la fuente de alimentación, las cuales son, baterías de 9V y una *power bank* (batería externa) conectada por medio de un cable USB (Fig. 5).

1) Diseño de placa motora: El diseño consiste en una placa con forma de “L”, con la que obtenemos el apoyo del filamento que se utilizó para realizar el movimiento de los dedos.

Los espacios de los motores son designados con las dimensiones de los cinco servomotores (Fig. 4) que servirán para proporcionar el movimiento de los dedos, teniendo en cuenta la altura de estos mismos y la dirección en la que realizarán el movimiento. El modelo de servomotores utilizados es MG995, que cuentan con un giro de 180° con un torque de 15 kg x cm, que es una fuerza adecuada para el movimiento de la mano. Lo que indica que la fuerza aplicada por el servomotor se encuentra dentro del rango de fuerza que soporta normalmente una mano sana y al aplicarla a un paciente con monoplejía no causa daño alguno, siempre y cuando se regule la fuerza necesaria del servomotor.

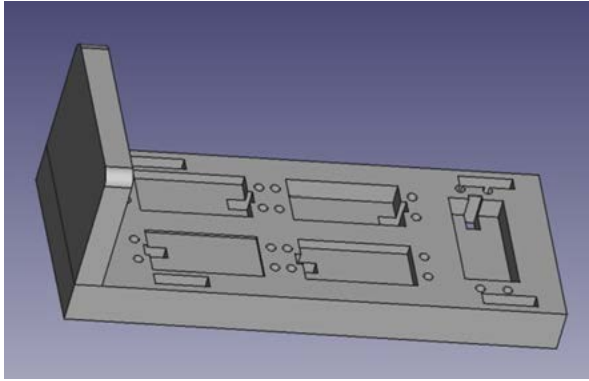


Fig. 4. Brazaete de la órtesis con espacios para los servomotores con distintas alturas para evitar rozamiento del filamento.

- 2) Diseño del chasis, anclajes y ruedas: En FreeCAD, se diseñó la contraparte del brazaete, en donde contamos con la fuente de alimentación de los motores implementados, el circuito que nos permite conectar por medio de bluetooth el dispositivo y nuestro microcontrolador requerido, que se encuentra en el Arduino. Además del diseño de tubos de 3 mm de ancho, con un canal de 1 mm, por donde pasará el filamento de seda (utilizado para pesca, ya que posee una resistencia de tracción de aproximadamente cincuenta libras y un grosor de 0.25 mm) y estos dan soporte como puntos de anclaje para obtener un movimiento uniforme y natural de los dedos.

El diseño de las ruedas con canal, que van ancladas al servomotor para enrollar el filamento. Estas cuentan con un canal de 1 mm, una altura total de 3 mm y un diámetro de 4 cm. El diámetro se calculó de acuerdo con la cantidad de recorrido de filamento necesaria para realizar un óptimo movimiento de cada dedo, teniendo en cuenta la rotación de  $180^\circ$  que nos proporcionan los servomotores.

- 3) Circuito implementado: Se realizó un circuito en el que se incluyen las conexiones de arduino con los servomotores, cada uno de estos controlados con PWM (Modulación por ancho de pulso); una conexión de arduino con un módulo bluetooth HC-05, para la recepción de indicaciones de una app desarrollada; un sensor EMG, para captar las señales EMG y realizar la acción pertinente; y la fuente de alimentación, cuatro

baterías de 9V, en pares con su configuración pertinente. En serie para el EMG y paralelo para servomotores, con las que cada servomotor será alimentado por 9V a 200 mA.

- 4) Guante: El guante utilizado es uno de tipo industrial, con el que logramos mantener la forma de este mismo para su colocación sencilla y que tenga cierto grado de elasticidad. Se adaptó con velcro en el lateral para una buena fijación y adaptabilidad a la mano del paciente, logrando un sistema sencillo de colocar y remover.

Se realizó la adaptación de los tubos con canal diseñados por el equipo en las falanges y metacarpos de la mano, para mantener el filamento anclado a la mano y su movimiento fuera uniforme. Fueron unidos por medio de costura para mayor fijación.



Fig. 5. Prototipo de órtesis mecánica para rehabilitación de mano.

## 2. Software

- 1) Arduino: La interfaz Arduino se utilizó para configurar el comportamiento de los servomotores al recibir la indicación de una app por medio de bluetooth.

Se utilizó la librería de servomotor, dada por Arduino y cada uno de los gestos fue configurado manualmente. Estos con ciclos de cinco repeticiones para realizar el tratamiento pertinente.

El giro de los servomotores es capaz de configurarse, esto para adaptarse a las necesidades del paciente, ya que, si cuentan con movimiento limitado a cierto rango, se realizan los cambios pertinentes para que el mismo movimiento de la órtesis no cause una lesión por el rango de movimiento mal calibrado. Esto considerando que el rango de movimiento de los pacientes tiende a ser diferente.

Y finalmente, una parte se encarga de la lectura del EMG, que realiza una comprobación, cada que se pasa un umbral con la contracción del bíceps activa los servomotores para cerrar la mano y cuando baja de este umbral se libera la fuerza de los servomotores para que la mano pueda regresar a su posición original con un poco de ayuda del paciente.

2) Aplicación móvil para control de la órtesis: El prototipo es controlado por una aplicación móvil en dispositivos Android, la cual, fue diseñada por medio de MIT App Inventor (Fig. 6).



Fig. 6. Interfaz de la app.

La aplicación permite la conexión por medio de bluetooth al módulo instalado dentro de nuestro circuito, el cual manda instrucciones a Arduino y este último realiza la acción correspondiente a cada botón. El diseño de la app es por bloques para un desarrollo más intuitivo (Fig. 7).

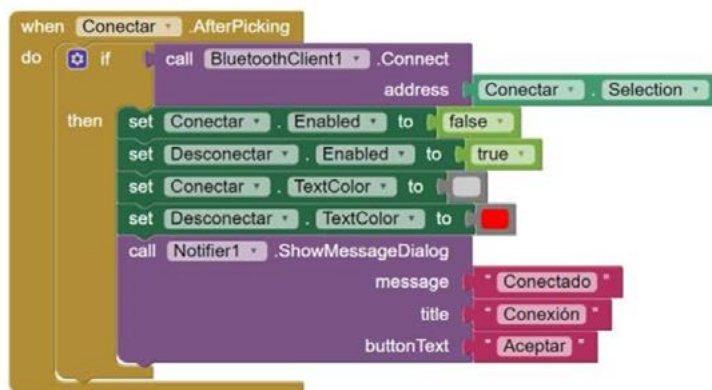


Fig. 7. Sección de bloque para conexión bluetooth de la app.

Se desarrollaron distintos gestos con el prototipo (Fig. 8), esto para demostrar que se pueden realizar movimientos independientes de los dedos, con los que se pueden atacar afecciones centralizadas solamente en algunos dedos. Estas funciones nos permiten realizar una rehabilitación controlada en ciertas secciones, no solamente el hecho de abrir y cerrar la mano, como lo hacen dispositivos que se encuentran en el mercado.

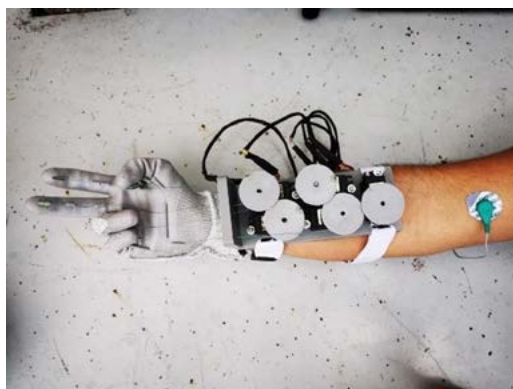


Fig. 8. Gesto de “PAZ” realizado por la órtesis.

Además de “abrir y cerrar” y los demás gestos, existe una opción de “Estado inicial”, la cual, sirve para liberar la tensión de los servomotores, por si en algún momento el guante se queda anclado en el estado cerrado.

Finalmente, la opción “Activar EMG” establece la conexión entre el sensor EMG y el Arduino, para comenzar a captar la señal, la cual, no sería captada de cualquier otra forma.

La opción de EMG, está diseñada para pacientes que tengan atrofia parcial del movimiento del brazo, en la que aún cuentan con cierta movilidad en el bíceps. Se conectan dos electrodos en el músculo antes mencionado para lograr una diferencia de potencial y un electrodo de referencia que va a la altura del codo (Fig. 9).

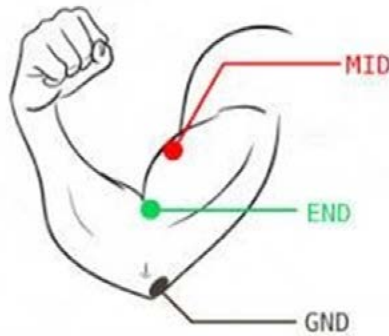


Fig. 9. Configuración de los electrodos.

Al sobrepasar el umbral configurado, la mano realizará la acción de cerrar, mientras se mantenga la contracción arriba del umbral, los motores seguirán ejerciendo fuerza. Cuando deje de contraer y baje del umbral la señal, los servomotores relajarán la fuerza y la mano podrá volver a abrirse (Fig. 10).

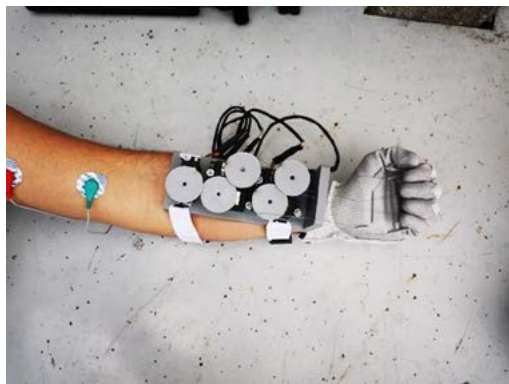


Fig. 10. Estado de contracción con EMG de la órtesis.

- 3) Matlab: Se utilizó el software Matlab para graficar la señal obtenida de EMG, filtrarla y mostrar en cada ciclo la contracción supera nuestro umbral definido. Esto para observar los momentos en los que ocurre la transición entre los estados de la órtesis (Fig. 11).

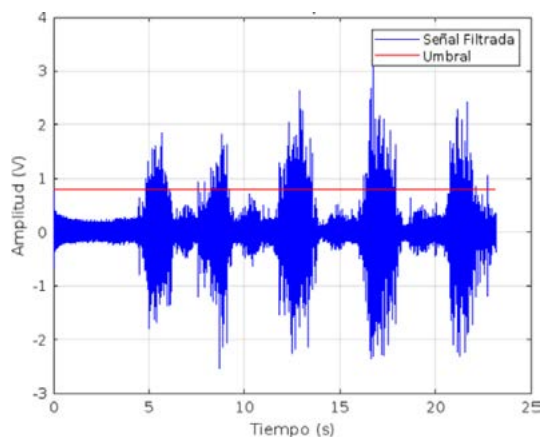


Fig. 11. Gráfica de señal EMG filtrada con umbral marcado.

## B. Pruebas realizadas

Las pruebas del prototipo de órtesis mecánica para rehabilitación se realizaron en los miembros del equipo. Al ser un proyecto en fase de de-

sarrollo, no se consideró adecuado su implementación en personas con monoplejía, sin embargo, el prototipo ha sido realizado en función de la literatura, con la finalidad de garantizar que este prototipo funcione para tratar dichas patologías.

Se realizaron ciclos de acción de la órtesis indicados por la aplicación móvil, en los que el movimiento que se obtuvo era satisfactorio para las distintas acciones.

Las pruebas fueron durante ciclos de tiempo de 20 minutos, en las que se probaban las distintas opciones de movimiento continuamente.

## **Módulo I. Justificación de biomecánica humana**

Se diseñó una órtesis para mano izquierda, la cual, accionada por medio de servomotores que recorren un filamento, es capaz de realizar la acción de abrir y cerrar la mano. Siendo capaz de realizar movimientos independientes de los dedos, para tratar distintos tipos de afecciones o un dedo en específico.

Dichos movimientos, utilizados en la rama de rehabilitación y tratamiento de la monoplejía, para mejorar la funcionalidad de la mano, ganancia de arco articular y la reinscripción a actividades cotidianas.

## **Módulo II. Justificación de instrumentación médica**

Se diseñó un circuito en el que se emplean servomotores controlados a través de Arduino, este software se utiliza para programar el movimiento necesario de los motores.

Se incluye un módulo bluetooth para realizar la conexión entre la órtesis y un teléfono móvil. Este módulo se encarga del control de funciones de la órtesis, tanto automáticas como por electromiografía, esto por medio de una aplicación desarrollada para dispositivos Android por medio de MIT App Inventor.

También se realizó el diseño de la superficie en donde se encuentran los servomotores, como el chasis donde está localizado el circuito y la fuente de alimentación. Estas piezas fueron diseñadas y posteriormente impresas con una impresora 3D con material PLA.



### **Módulo III. Justificación de electrofisiología**

Se implementó un sensor para la adquisición de señales electromiográficas (EMG), las cuales fueron utilizadas para activar los servomotores cuando una contracción sobrepase el umbral predefinido y active el mecanismo para cerrar la mano. Una vez la contracción está debajo del umbral se liberará la fuerza de los servomotores y la mano podrá regresar a su estado original.

La señal es registrada en Matlab, luego se guardará en una variable, será procesada y posteriormente graficada para observar el momento en que la señal está por debajo o supera el umbral, indicando las acciones a realizar por los servomotores.

### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Los resultados de las pruebas realizadas con el prototipo fueron satisfactorios, ya que se logró utilizar por el tiempo adecuado de una sesión de terapia física recomendada, en la que en ningún momento hubo molestias en cuanto a lastimar los dedos por los movimientos de los servomotores.

El movimiento constante fue bueno, no obstante, hubo un momento en el que utilizar el dispositivo se tornó cansado, esto por el peso del mismo brazalete, que al pasar aproximadamente diez minutos provoca fatiga muscular, por lo que es recomendable utilizarlo en sesiones cortas para evitar esta desventaja.

El rango de movimiento en todo momento se mantuvo estable, debido a que no solamente actuaban los servomotores, sino que se le proporcionaban apoyos de movimiento pequeños, que serían los indicados para mantener la terapia efectiva de los pacientes.

Al obtener estos movimientos correctos, según la literatura consultada, es posible mejorar la funcionalidad de la mano, al aplicar la terapia física a través de movimientos constantes y controlados de la mano. Y con esto lograr una reinserción a las actividades cotidianas a largo plazo de utilizar el dispositivo.

## V. Conclusiones y trabajo para el futuro

La órtesis como auxiliar en la fisioterapia de patologías como la monoplejía, resulta ser una herramienta eficiente tanto para el usuario como para el profesional que hará uso de la misma.

Una de las principales ventajas que tiene dicho dispositivo es su portabilidad y accesibilidad al momento de ser usado, ya que, como se ha mencionado, tiene la virtud de ser reprogramable, lo cual permite cargarle los movimientos específicos a efectuar para el tratamiento de patologías con relación a limitaciones de movimiento en la mano, sin necesidad de que el paciente se encuentre en constante revisión; esto le permite optimizar el procedimiento terapéutico.

A pesar de que en el desarrollo de la órtesis se encontraron distintas limitaciones y dificultades, como lo fueron el diseño y la impresión de la placa base donde se montó el mecanismo para ejecutar los movimientos. Se ideó una configuración adecuada para economizar espacio en la placa, lo cual hizo que la órtesis fuera más práctica para el usuario.

Si bien se concluyó que el proyecto cumple con los objetivos, además de cubrir con los estándares de los tres módulos requeridos, se encontraron múltiples áreas de oportunidad para mejorar, por ejemplo; el diseño del guante, ya que este se puede reemplazar por un diseño en 3D ajustable y de materiales más cómodos; al igual que se podría implementar una fuente de energía recargable lo cual hará al dispositivo más sustentable y duradero; y además, reducir el peso del dispositivo optimizando el sistema de movimiento de la mano y así minimizar la fatiga en el brazo del paciente durante la sesión terapéutica indicada.

El resultado final obtenido fue una órtesis mecánica funcional, de acuerdo con la literatura, si bien el prototipo se hizo con base en proyectos con un diseño establecido y comprobado, en este proyecto se incluyó la capacidad de ser controlado mediante una aplicación móvil, y ser accionado a través de una señal electromiográfica.

## **Reconocimientos**

Un especial agradecimiento al personal del laboratorio de inventores de CUCEI por su apoyo para la impresión y el asesoramiento de materiales al momento de manufacturar la placa base.

Agradecimientos al Dr. Braniff De la Torre y a la Dra. Rebeca Romo por su apoyo y observaciones de puntos a mejorar en nuestro proyecto.

## Referencias

- [1] C. C. Vázquez Vela y C. A. Vidal Ruiz, “Parálisis cerebral infantil: definición y clasificación a través de la historia”, *Revista Mexicana de Ortopedia Pediátrica*, vol. 16, núm. 1, pp. 6-10, dic. 2014.
- [2] E. M. Vivanco Vilchez y M. E. Morales Martínez, “Tratamiento fisioterapeutico en paralisis cerebral infantil en ataxia cerebelosa”, *Facultad de Tecnología Médica*, pp. 20-22, jun. 2022.
- [3] G. A. Gil Henao, J. D. Moreno Arango, J. F. Gómez Rendón, J. Becerra Velásquez y C. H. Orozco Téllez, “Rehabilitación temprana de fracturas de mano con órtesis robóticas. Reporte de caso”, *Revista Colombiana de Ortopedia y Traumatología*, vol. 32, núm 3, pp. 184-190, 2018.
- [4] J. F. Gómez Rendón, J. D. Moreno Arango, G. A. Gil Henao, J. Becerra Velásquez y C. H. Orozco Téllez, “Rehabilitación de la mano con órtesis robóticas”, *Rev Col Med Fis Rehab*, vol. 26, núm. 2, pp. 174-179, feb. 2017.
- [5] J. F. Gómez Rendón, J. D. Moreno Arango, G. A. Gil Henao, J. Becerra Velásquez y M. A. Gil Guerrero, “Rehabilitación de fracturas de mano con ortesis robóticas”, *Rev Col Med Fis Rehab*, vol. 29, núm. 1, pp. 20-29, sep. 2019.
- [6] X. L. Albornoz Tepán, J. D. Flores Mendieta, J. M. Guamán Ochoa, J. H. Hwang Cardenas, L. F. Malla Zúñiga, R. S. Zhindón Guzmán y E. Mora Tola, “Órtesis robótica para rehabilitación bilateral de mano izquierda para pacientes con hemiplejia”, *I+T+C*, vol. 1, núm 13, pp. 10-15, dic. 2019.



# Capítulo 27

---

## **Interfaz cerebro computador de asistencia basada en potenciales visuales evocados auxiliado por electrooculograma**

*Moncada Álvarez Emmanuel  
Franco Miramontes Ariana Belén  
Tirado Ramírez José Daniel  
De la Torre Valdovinos Braniff  
Antelis Ortiz Javier Mauricio*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*emmanuel.moncada5779@alumnos.udg.mx  
ariana.franco7473@alumnos.udg.mx  
jose.tirado7471@alumnos.udg.mx  
braniff.delatorre@academicos.udg.mx*

Las BCI basadas en potenciales evocados son una herramienta de apoyo para brindar comunicación y control a personas que han perdido la habilidad del habla y control del movimiento. Con la implementación de un electrooculograma en estas interfaces y un método tradicional de detección como lo es CCA se busca dar una solución a los problemas de tiempos de procesamiento y asertividad que presentan este tipo de interfaces, para dar una segunda oportunidad a la población con problemas neurodegenerativos que provocan una pérdida del habla y movimiento.

## I. Introducción

Las interfaces cerebro-computador (BCI) basadas en potenciales evocados de estado estable (SSVEP, por sus siglas en inglés) han sido tema de investigación en los últimos años por ser herramientas capaces de brindar comunicación y control a personas que han perdido la habilidad del habla y control del movimiento [1]. Los SSVEP son potenciales evocados que se observan y detectan en señales electroencefalográficas (EEG) como respuesta a un estímulo visual que parpadea a una frecuencia determinada.

Las BCI controladas por potenciales visuales evocados se basan en la tarea mental de atención que selecciona el usuario para identificar la orden que desea comunicar al mundo exterior [2]. El usuario al estar prestando atención al estímulo visual seleccionado a cierta frecuencia provoca que su actividad cerebral se registre en el encefalograma a la misma frecuencia del estímulo [3]. Cada comando de la interfaz establece una orden específica y parpadea a una frecuencia única, lo cual nos permite diferencias entre ellas.

Una parte fundamental en el manejo de las BCI basadas en potenciales visuales evocados es la detección de las frecuencias de estimulación a partir de las señales de EEG del usuario.

La adquisición de la señal es por medio de electrodos que son colocados de acuerdo con el sistema 10-20; al solo necesitar las señales de la corteza visual, es posible utilizar solamente los electrodos colocados en la parte occipital del cráneo.

Así como la configuración de la toma de señales puede variar dependiendo de las necesidades de cada investigación, también se pueden agregar otras variables que contribuyan en el procesamiento de los potenciales visuales evocados para obtener mejores resultados. En este proyecto, se

incluirá el uso del electrooculograma (EOG) para captar el movimiento de los ojos del usuario para agilizar el procesamiento de detección de frecuencias de estimulación y que la respuesta de la BCI sea más acertada, resolviendo las dos problemáticas que han sido constantes a lo largo de la implementación de los SSVEP en interfaces cerebro computador. La razón por la que es importante dar una solución a estos problemas es porque las BCI basadas en SSVEP son una herramienta con gran potencial para ayudar a la población con enfermedades neurodegenerativas avanzadas, donde la comunicación y el movimiento se realizan con dificultad.

Síndrome de enclaustramiento, esclerosis lateral amiotrófica y traumatismo craneal, son unas de las condiciones que alejan al ser humano de su capacidad motora y comunicativa. Al perder estas capacidades, no hay forma de que una persona pueda exteriorizar de manera independiente sus necesidades o pensamientos, por lo que la calidad de vida disminuye en un porcentaje muy alto y se pierde completamente la conexión entre el exterior y el interior del paciente. Por ejemplo, la esclerosis lateral amiotrófica es una enfermedad progresiva y de mal pronóstico que provoca debilidad de los músculos voluntarios. Tiene una incidencia de uno a tres casos por cada 100 000 personas. Ocurre con más frecuencia en hombres y la edad de inicio es en promedio a los 56 años, aunque el rango oscila entre los veinte a los ochenta años [5].

Puede que las estadísticas acerca de estas patologías no sean alarmantes, pero son existentes; los pacientes con estas condiciones y sus familiares llevan una vida llena de dificultades debido a las obvias limitaciones. Al no tener la capacidad motriz de realizar cualquier tipo de comunicación, tenemos que utilizar las pocas regiones no afectadas por las patologías. En este caso, el encéfalo y las funciones nerviosas siguen intactas, por lo que son la alternativa más efectiva para la transducción a la expresión de las necesidades básicas. El presente trabajo busca utilizar los potenciales evocados provocados por estímulos que estén relacionados a una palabra, para que así el paciente elija la palabra que quiere expresar solamente centrando su mirada en aquella luz parpadeante, y el computador la exprese por él.



## **II. Trabajos relacionados**

Las BCI basadas en SSVEP son el centro de atención en muchas investigaciones, no solo por el hecho de que no se necesita una capacitación previa para que sus usuarios puedan sacar de ellas el mayor provecho, sino también por su gran practicidad en cuestión de conexiones y computadores, poniendo como ejemplo este proyecto, que con una computadora promedio y pocos recursos nos da resultados favorables.

Hoy en día este tipo de interfaces siguen siendo investigadas debido a variantes que aún no se logran controlar a la perfección, entre las que encontramos el tiempo de detección y la veracidad del método de detección. Es por ello por lo que los investigadores han implementado varios métodos de detección como lo es el banco de filtros (FB), modelo autorregresivo para representar los espectros de potencia de los potenciales evocados [6], o inclusive la unión de dos métodos de detección para mejorar la rapidez de respuesta, como la combinación del método de descomposición de modo empírico (EMD) y el análisis del pico espectral de potencia (PSPA) [2]. De igual manera se han desarrollado nuevos algoritmos como los clasificadores de árbol simple (ST) y maquinas de vectores de soporte (SVM) [7], o inclusive se ha intentado mejorar métodos de detección tradicionales en SSVEP, como lo es el análisis de correlación canónica (CCA) que, actualmente es el más utilizado y será el que apliquemos en el proyecto.

Siguiendo la línea de investigación previamente mencionada, donde el objetivo principal de cada una de ellas es encontrar un método de detección en el que se obtengan resultados favorables en el menor tiempo posible, este proyecto tiene como objetivo minimizar el tiempo de respuesta y de detecciones correctas desde un punto de vista diferente, utilizado un método tradicional, como lo es CCA, pues da seguridad de detección y el uso del electrooculograma es un apoyo.

## **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

El proyecto consta de varias etapas que trabajan en conjunto y que se deben de realizar en orden, dando como resultado la implementación de una

interfaz cerebro computadora controlada por potenciales visuales evocados y auxiliada por electrooculograma.

La primera etapa es la construcción de la interfaz de estimulación, seguido por la adquisición, la amplificación y limpieza de la señal, para terminar con su procesamiento y mostrar los resultados obtenidos. Cada una de estas etapas consta de métodos y materiales diferentes que se mostraran a continuación.

### **A. Fase de estimulación**

Esta fase consta de la construcción de un tablero de estimulación, el cual, debe tener diferentes objetivos que parpadeen a diferentes frecuencias. A cada uno de ellos le corresponde una palabra que, al iniciar la interfaz, el usuario podrá elegir las cuatro palabras y a que objetivo le va a corresponder. Dicho sujeto fijará la mirada en uno de los objetivos dependiendo la palabra que este quiere expresar, la estimulación visual provocara un potencial evocado visual de estado estable (SSVEP) que será monitoreado y determinará a cuál objetivo observó. Cabe mencionar que los objetivos de luz parpadeantes se harán por medio de leds, y las frecuencias de estimulación de estos deben de ser de nuestro conocimiento, tener una exactitud y mantener su frecuencia de parpadeo constante. El desarrollo de dicha interfaz se lleva acabo por medio de programación en Arduino y la construcción física del tablero.

### **B. Fase de captura de datos**

Para la captura de datos es necesario el diseño y construcción de un electroencefalograma y un electrooculograma, los cuales estarán conectados a una tarjeta de adquisición de datos, en este caso es National Instruments USB6210. Dicha tarjeta se conectará a MATLAB para un futuro procesamiento de las señales y nos dará hasta una lectura de hasta diez mil datos por segundo, para la utilixa. A continuación, se desarrollará la construcción de los circuitos a utilizar.

1) EEG: Para la implementación de este circuito son necesarias tres conexiones en el sujeto de estudio: La entrada principal que se ubica en la

parte occipital del cerebro, de acuerdo con la configuración 10-20, en el canal O1, la referencia de la señal, ubicada en el Nasion, y por último la tierra la cual es tomada del lóbulo de la oreja del sujeto. Las entradas previamente mencionadas van conectadas a nuestro circuito, el cual tiene como función amplificar y limpiar la señal. El circuito consta de tres etapas de amplificación y la implementación de tres filtros como se observa en la Fig. 2. En primer lugar, tenemos una etapa de preamplificación de 100x, gracias al amplificador instrumental INA128P, consecutivamente contamos con la etapa de filtrado que consta de un filtro pasa bajas de 40 Hz, un filtro pasa altas de 0.5 Hz y finalmente un filtro notch que atenúa el ruido de 60 Hz para asegurar una mejor señal. Cabe mencionar que la construcción de estos filtros se dio gracias a la utilización de los circuitos integrados LM741. Por último, tenemos dos etapas extras de amplificado, esto para lograr que nuestra señal se sitúe en el orden de los voltios, las ganancias de estos son de 100x y 5x respectivamente.

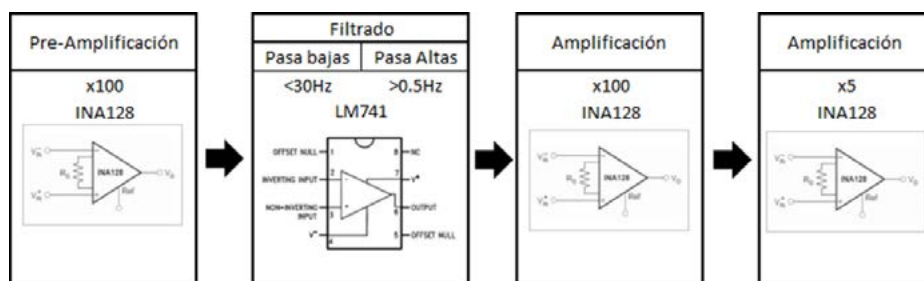


Fig. 1. Diseño de circuito para electroencefalograma.

- 2) EOG: Para el electrooculograma también son necesarias tres conexiones, pero una de ellas es compartida con el EEG, la tierra, ya que todas las tierras del circuito de experimentación, incluyendo el sujeto y los equipos de procesamiento, deben estar acoplados. La entrada principal y la referencia dependerán de como se quiere observar la señal electrooculográfica. En este proyecto la entrada principal se colocará a un lado del ojo derecho y la referencia abajo del mismo ojo, dándonos una señal en la que pulsos positivos significan movimientos oculares hacia arriba o derecha y pulsos negativos significan movimientos hacia abajo

o izquierda. Para la construcción de este circuito se requirió de una fase de preamplificación, filtrado y amplificación como se observa en la Fig. 3. La fase de amplificación se realizó con una ganancia de diez y gracias a un amplificador instrumental INA128P, consecutivamente la etapa de filtrado es similar al de EEG, exceptuando que el filtro pasa altas está en 0.3 Hz y los circuitos integrados utilizados fueron TL082 y TL084. Por último, la etapa de amplificación con una ganancia de 100x nos da nuestra señal en el orden de los voltios.

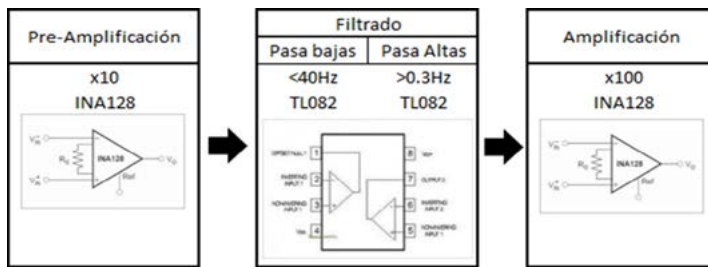


Fig. 2. Diseño de circuito para electrooculograma.

### C. Fase de procesamiento

Esta fase es una de las más importante puesto que entra la innovación de auxiliar la BCI por medio de electrooculografía. Para el procesamiento del EEG se utilizará el método de detección mencionado a lo largo del texto, el cual es CCA. El método de CCA se utiliza para identificar y medir las asociaciones entre dos conjuntos de variables (Figura 3); determina un conjunto de variantes canónicas, combinaciones lineales ortogonales de las variables dentro de cada conjunto que mejor explican la variabilidad tanto dentro como entre conjuntos [2]. Este método de detección consiste en comparar las señales de EEG con un conjunto de señales senos y cosenos creados con la misma frecuencia que nuestras diferentes luces estimulantes, de ahí la importancia de conocer con exactitud la frecuencia con la que estamos estimulando. Este método de detección arroja cuál es la frecuencia con mayor correlación, indicándonos cuál es la luz que vio el sujeto.

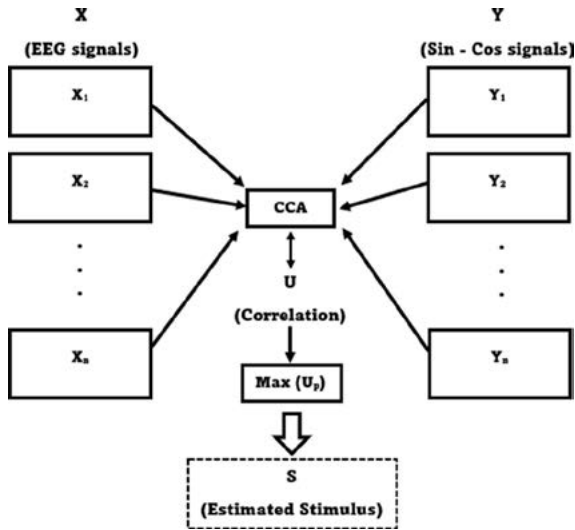


Fig. 3. Método de detección CCA.

Ahora bien, el procesamiento del EOG es prácticamente la detección del movimiento ocular. Esto consiste en identificar, por medio de la envolvente de la señal, cuáles posibles objetivos está observando el sujeto, recordando que si tenemos un pulso positivo nos indica que está observando hacia arriba o derecha, mientras que si tenemos un pulso negativo nos indica que está observando hacia abajo o derecha.

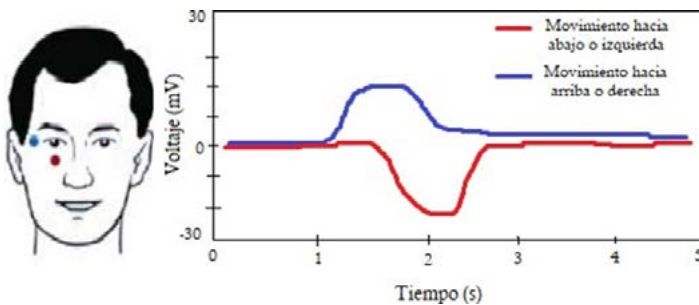


Fig. 4 Electrooculograma.

Con base en la detección de dichos movimientos, a la hora del procesamiento de EEG, podemos eliminar ciertas frecuencias tomando en cuenta

el resultado de la envolvente, lo que produce un menor procesamiento y una mejora de este que se mostrara en la continuación de los resultados.

## **D) Justificación**

Las interfaces cerebro-computador son una herramienta en donde un ingeniero biomédico puede aplicar todos sus conocimientos y habilidades, no solo en una rama, sino de manera multidisciplinaria.

Nuestro proyecto puede proveer una segunda oportunidad a personas con enfermedades que han perdido el control y la comunicación en su vida, para mejorar su calidad de vida, integrando todas las áreas de conocimiento que un ingeniero biomédico debe de tener.

Para el desarrollo de la BCI basada en SSVEP se integran conocimientos de los tres módulos que forman nuestra malla curricular:

### **Modulo I. Justificación de instrumentación médica**

En el módulo de instrumentación médica encontramos el uso de instrumentos de adquisición como son el electroencefalograma (EEG) y electrooculograma (EOG), realizados en físico por medio de circuitos en protoboard, que nos ayudan a filtrar y amplificar las señales a obtener, esto con el objetivo de establecer una conexión entre el usuario y la interfaz, aplicando conocimientos que se adquieren en materias como sistemas electrónicos, dispositivos eléctricos e inclusive circuitos eléctricos, que nos dieron las bases y conocimientos para poder realizar los circuitos previamente mencionados.

### **Modulo II. Justificación de electrofisiología**

El módulo de electrofisiología se aplicó en el procesamiento de las señales que se obtuvieron desde los instrumentos de adquisición previamente mencionados; dichos bioseñales son procesadas como las respuestas neuronales a los estímulos de la interfaz que serán captados por los electrodos, aplicando los conocimientos aprendidos en materias como biosensores y transductores, acondicionamiento de bioseñales y electrofisiología II.

### **Modulo III. Justificación de sistemas distribuidos**

Por último, aplicamos la biomecánica humana en la lectura de la diferencia de potencial existente entre la córnea y la retina derivado del movimiento ocular; además, se tomaron ventaja de dichos movimientos oculares para usarlos a nuestro favor en esta interfaz, aprendido en prótesis y ortesis y anatomía mecánica.

### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Los resultados que se mostrarán a continuación se dividieron en tres partes para un mejor entendimiento de este; en primer lugar, tenemos la creación de la interfaz de estimulación, así como los bloques de estimulación en esta. Consecutivamente la aplicación del método de detección en el desarrollo de una interfaz para la visualización de las señales obtenidas, y por último, los resultados estadísticos de las pruebas realizadas a diferentes sujetos que nos arrojan una verdadera mejoría gracias a la asistencia del electrooculograma en esta interfaz cerebro computador.

#### **A) Tablero de estimulación**

Por medio de la programación en Arduino se realizó la interfaz de estimulación, la cual consta de cuatro leds que parpadean a diferentes frecuencias: 5, 7, 9 y 11 Hz, respectivamente. Esta interfaz de estimulación funciona según la Fig. 4, en la cual observamos que tenemos un ciclo de estimulación. Este ciclo consiste en un bloque de 25 s en total, de los cuales los primeros 5 s son de preparación, imprimiéndose en el *display* hacia que led se debe observar, consecutivamente tenemos 15 s que son en los que los leds parpadean a las frecuencias previamente mencionadas y los cuatro al mismo tiempo de manera constante, para finalizar con 5 s de descanso en los que como su nombre lo dice se utiliza para que el sujeto tome un descanso entre cada bloque.

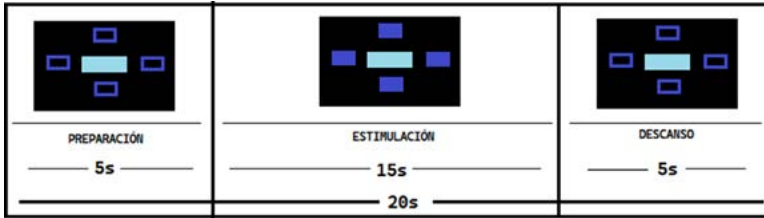


Fig. 4. Etapas de estimulación.

Para el desarrollo de las pruebas *offline* se repitió este bloque de estimulación 28 veces, las cuales fueron programadas para que de manera aleatoria se le pidiera al sujeto observar hacia las cuatro diferentes frecuencias en un total de siete veces por frecuencia, dándonos el total previamente mencionado.

En la Fig. 5 se puede apreciar la interfaz funcionando mientras uno de nuestros sujetos está realizando la prueba. Como se puede observar la interfaz se diseñó en una tabla con espacios para los leds, los cuales en su parte posterior tienen cuadros oscuros para que la luz no se disperse, al igual que el fondo es negro para que el sujeto pueda ver con claridad el *display*. Los leds tienen suficiente distancia entre ellos en la que se busca que su luz no se funcione unos con los otros y que tengamos ruido a la hora de la adquisición de la señal, dando como resultado una interfaz funcional y que en efecto evoca potenciales de manera correcta.

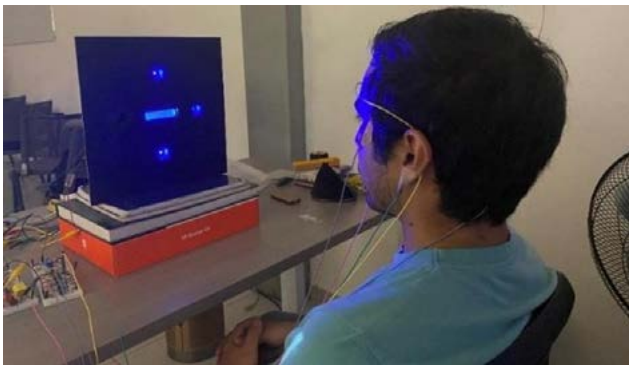


Fig. 5. Etapas de estimulación.



## A) Procesamiento de señal y creación de interfaz

Una vez obtenidas las señales de EEG y EOG con las características en tiempo de los bloques mencionados, se creó un programa de procesamiento que consiste en arrojar el resultado de la detección, tanto con la asistencia de EOG como sin la asistencia de este, para poder realizar un estudio o comparativa. Este programa se realizó en MATLAB y se plasmó en una interfaz diseñada en AppDesigner, aplicación del software previamente mencionado. En primer lugar, tenemos la Fig. 6 la cual muestra nuestra portada de interfaz en la cual se escribe en los espacios debajo de los leds las palabras que la persona desee reproducir en función del led observado. Para el desarrollo de este proyecto nosotros enlistamos once palabras que a nuestra consideración son básicas en cualquier persona a la hora de comunicarse, sin embargo, el usuario tiene la capacidad de teclear cual sea la palabra que desee o que se adapte mejor a las necesidades del sujeto.



Fig. 6. Portada de la interfaz.

Una vez tecleadas las cuatro palabras podemos elegir la opción de ver el análisis que se realizó de manera *offline* o pasar a la interfaz *online*.

### 1) *Offline*

Para la realización de este estudio y la creación de esta pestaña de interfaz, se llevaron a cabo pruebas a nueve sujetos diferentes, los cuales hicieron

el mismo experimento de manera igualitaria en cuestión de condiciones físicas y temporales. Las pruebas consistieron en 28 *trials*, explicados con anterioridad en los resultados de estimulación, y una serie de preguntas realizadas antes de la experimentación para evitar efectos adversos a la hora de la prueba; dichos resultados nos permitieron hacer un análisis de mejoras con el EOG como auxiliar.

En la Fig. 7 podemos observar el diseño e implementación del método de detección en la interfaz. En primer lugar, se debe seleccionar el archivo de entre los nueve sujetos que se desee observar. Una vez seleccionado el sujeto, debemos teclear el número de *trial*, tomando en cuenta que hay 28; seleccionados estos parámetros pulsamos el botón GO! y obtenemos los siguientes resultados.

En la parte superior derecha observamos dos recuadros, el primero de ellos es la frecuencia que nuestro método de detección con la asistencia del EOG fue capaz de detectar, mientras que el cuadro de debajo de este es la frecuencia que sabemos, por medio de la programación de la interfaz, a la que estaba observando el sujeto en ese *trial*, siendo capaces de identificar si la detección fue correcta o no. A lado de estos tenemos los leds junto con las palabras previamente seleccionadas en la portada y un botón de reproducir que funciona para simular la reproducción de la palabra como si fuera un intento *online*.

En cuestiones gráficas, en la parte superior izquierda y de color amarillo observamos la señal EEG captada únicamente en los 15 s de estimulación, debido a que en ese tiempo es donde podemos apreciar los potenciales. En la parte inferior izquierda, observamos de color verde la señal de EOG, que únicamente nos interesa en los primeros 5 s ya que es cuando a la persona se le indica hacia que led observar y por ende hace un movimiento ocular.

En el medio de la parte derecha podemos observar la representación de la señal de EEG transformada al dominio de frecuencias, en la cual con la línea punteada observamos la ubicación de los potenciales visuales evocados, no solo en la frecuencia que estamos estimulando, sino también en sus primero dos armónicos que son múltiplos de la frecuencia de estimulación.

Por último, en la gráfica inferior derecha podemos observar un zoom en nuestra señal de EEG en el primer segundo, en el cual podemos ver

la reacción del potencial evocado en el dominio del tiempo, dando como resultado final la Fig. 7.

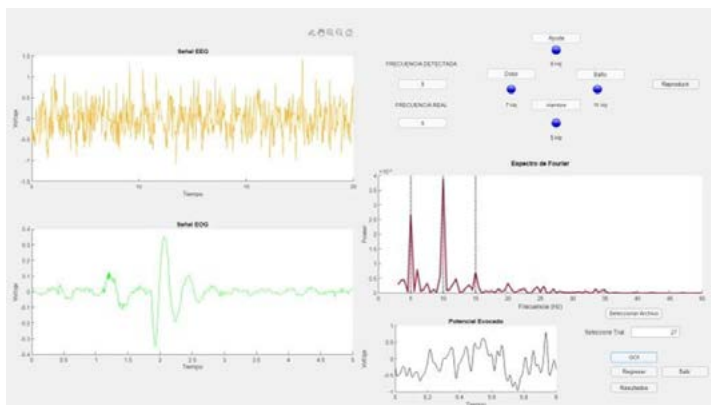


Fig. 7. Resultados presentados en interfaz *offline*.

## 2) Online

La interfaz *online* tiene una gran similitud con la interfaz *offline* previamente descrita, solo con una diferencia en la reproducción de la palabra. Como podemos observar en la Fig. 8, contamos con el mismo contenido en cuestión de gráficas, la diferencia radica que este al ser una prueba *online* una vez que se terminó el tiempo de estimulación el actuador, que en este caso es la reproducción de la palabra, se activa automáticamente imprimiendo en la parte superior derecha dos números, la frecuencia detectada sin la asistencia de EOG y con la asistencia de este, esto para determinar si con la asistencia de EOG fue una detección correcta, en caso de que sin este no lo fuera.

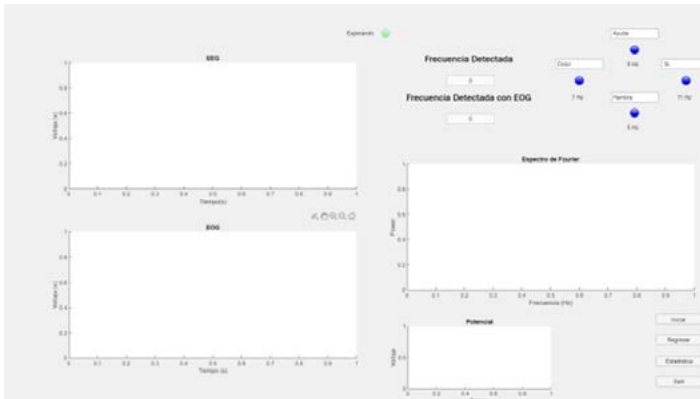


Fig. 8. Resultados presentados en interfaz *online*.

### 3) Resultados estadísticos

Como se mencionó con anterioridad y a lo largo de este reporte, uno de los objetivos aparte de la creación de una interfaz capaz de detectar potenciales visuales evocados y reproducir palabras básicas para que una persona que pierde el movimiento y habla se volviera a comunicar, también tenía como objetivo el hacer un análisis en el tiempo de detección, así como asertividad de este gracias a la asistencia del EOG, por lo que los próximos resultados serán basados en esta hipótesis.

La Fig. 9 nos muestra las gráficas derivadas de los estudios realizados a los nueve sujetos mencionados para la creación y análisis *offline*.

En primera instancia y en el gráfico más grande tenemos un análisis general que se desglosa en las tres gráficas inferiores a esta. En este estudio lo que se buscaba era observar las diferentes mejoras en diferentes tiempos de los 15 s de estimulación que los sujetos se sometieron por *trials*, por lo que dividimos dichos 15 s en tres segmentos de 4s cada uno, haciendo un análisis de 5 a 9s, 10 a 14s y 16 a 20s respectivamente. Los resultados obtenidos en primer lugar nos hablan de un aumento considerable en la detección de los potenciales; si tomamos como referencia los primeros cuatro segundos, podemos observar un crecimiento de 33 % en comparación de la detección de los potenciales visuales evocados, lo que nos da

pauta a una mejora muy considerable, no solo esto, sino que en las otras dos ventanas de tiempo también mejoró, dejando en claro que el uso de EOG como asistencia en este tipo de interfaces siempre mejora la asertividad, observándose en el gráfico de mayor tamaño en el que siempre sea cual sea la ventana de tiempo tenemos un incremento en la barra de detección por medio de asistencia con electrooculograma.

Hablando de tiempo en los métodos de detección y la búsqueda de su mejoría podemos decir que en nuestra interfaz, debido a la utilización del EOG como auxiliar y las características de nuestro tablero de estimulación, en la mayoría de los sujetos tenemos una detección oportuna o mejor en los primeros 4 segundos de estimulación en comparación con los demás, lo que nos habla de que no solo logramos aumentar considerablemente una detección oportuna, sino que también fuimos capaces de detectar dichos potenciales en la primer ventana de tiempo, volviéndolo nuestra interfaz eficaz y rápida.

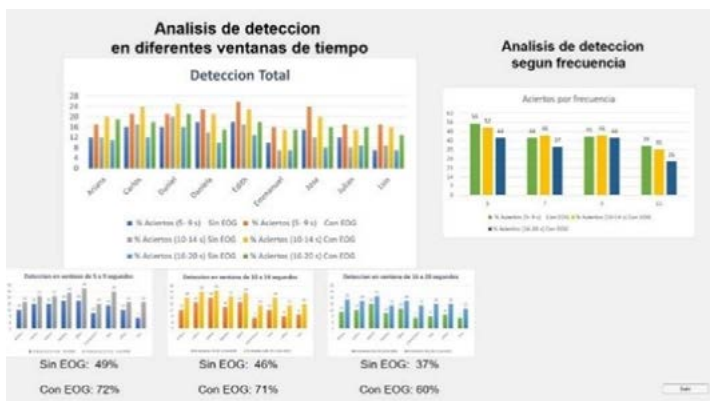


Fig. 9. Resultados generales de experimentación.

Por último, pero no menos importante, se realizó un estudio de la relación de detección con base en la frecuencia de estimulación, arrojando que las frecuencias con mayor detección en los 9 sujetos estudiados oscilan entre 5 y 9 Hz, lo que para estudios futuros se tomará a consideración para una mejoría aun mayor en tiempos y asertividad de detección.

## V. Conclusiones y trabajo para el futuro

Los potenciales visuales evocados han sido utilizados a lo largo del tiempo no solo como un método de diagnóstico a diferentes patologías, sino también como una herramienta para activar actuadores con solamente observar hacia un estímulo visual parpadeante, sin embargo, con el pasar de los años y las grandes investigaciones sobre estos, aún no es muy accesible el tener una BCI la cual pueda ser capaz de detectar dichos potenciales de manera eficaz, por lo que este proyecto llega a hacer un cambio en esta situación.

Los resultados nos hablan de dos aspectos que hay que resaltar, en primer lugar, tenemos el acortamiento en el tiempo de detección. Como se menciona previamente en los resultados tenemos un gran porcentaje de asertividad en los primeros 4 segundos en el que el sujeto fue sometido al estímulo de luz parpadeante, por lo que, esto nos habla de un menor desgaste en la visión o cansancio en las personas en el momento de la detección. En segundo lugar, tenemos el aumento en el porcentaje de detección, el cual incremento casi un 40 % solo con la asistencia del electrooculograma, lo que nos da una seguridad mayor en detecciones correctas a la hora de su aplicación; ambas mejoras se dan por un común denominador, el cual es la asistencia del electrooculograma.

El electrooculograma cumple su función de asistencia, nunca de determinante, por lo cual, la interfaz cerebro computador siempre será regida por los potenciales visuales evocados de estado estable, siguiendo con el concepto de una BCI, pero teniendo una mejora considerable. Si tomamos en cuenta el uso de un gorro para electroencefalografía solo se tendría que añadir un electrodo más para tener esta mejoría considerable, este sería el lateral en el globo ocular y usar el  $F_{p1}$  para EOG, por lo cual no se debe hacer un cambio grande, pero si se obtienen resultados favorables.

El uso del EOG en las interfaces cerebro computador regidas por potenciales visuales evocados de estado estable, siempre provocará una mejora en la asertividad de detección y en el tiempo de detección, ayudando a aquellas personas que no se pueden comunicar ni mover a mejorar su calidad de vida y asegurar en poco tiempo tener una respuesta completamente verídica.

El proyecto no solo abre paso a una innovación en la investigación en este tipo de interfaces, sino que se desarrolló a tal punto que puede ser

aplicado a esa minoría poblacional a la cual siempre fue dirigido el proyecto, construyendo circuitos a bajo costo y alta durabilidad con resultados verídicos y factibles para dichas personas.

### **Reconocimientos**

El presente trabajo se realizó bajo la supervisión del Dr. Braniff de la Torre Valdovinos a quien nos gustaría agradecer por su paciencia, tiempo y confianza que nos tuvo durante la realización del proyecto.

Agradecer de igual forma al Dr. Javier Mauricio Antelis Ortiz, que, sin él, este trabajo no pudiera ser posible. Gracias por presentarnos por primera vez las BCI basadas en SSVEP y brindarnos su conocimiento en el tema.

A nuestros compañeros de carrera y amigos, que nos ayudaron participando como sujetos de estudios, gracias por confiar en nosotros y apoyarnos en nuestras dudas. Un especial agradecimiento a nuestro compañero y amigos Carlos Silva Montes de Oca, quien estuvo a lo largo de todo el proceso de diseño y de experimentación apoyando con ideas y materiales de laboratorio, al igual que siendo sujeto de estudio cada vez que se presentaba algún inconveniente.

Gracias al personal que, de laboratorio de ingeniería biomédica de la Universidad de Guadalajara, que nos brindaron los materiales necesarios para poder realizar este estudio.

## Referencias

- [1] C. Bronde y D. Kapgate, “Steady State Visually Evoked Potentials Framework in Brain Computer Interface”, *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, vol. 3, núm. 1, pp. 167-175, 2015.
- [2] J. M. Antelis, C. A. Rivera, E. Galvis y A. F. Ruiz-Olaya, “Detection of SSVEP based on empirical mode decomposition and power spectrum peaks analysis”, *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, vol. 40, núm. 3, pp. 1010-1021, julio 2020.
- [3] Y. Zhanga, G. Zhou, J. Jin, X. Wanga y A. Cichockib, “SSVEP recognition using common feature in brain-computer interface.”, *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 244, núm. 1, pp. 8-15, 2015.
- [4] M. Fatourehchi, A. Bashashti, R. K. Ward y G. E. Birch, “EMG and EOG artifacts in brain computer interface systems: A survey”, *Clinical Neurophysiology*, vol. 118, núm. 3, pp. 480-494, marzo 2007.
- [5] M. Sanabria, “Esclerosis lateral amiotrofica”, *Revista medica de Costa Rica y Centroamerica*, vol. 67, núm. 591, pp. 89-92, 2010.
- [6] M. K. Ojha y A. Prakash, “Estudio de estimación de espectro de potencia de evocación visual en estado estacionario sistema BCI basado en potencial usando AR enfoque modelo”, en *Actas de la Conferencia internación doble comunicación, control y dispositivos inteligentes y computación 479*. Hindustan Book Agency, New Delhi and Springer Nature Singapore 2018, pp. 625-632.
- [7] A. D. Corral Sáenz, R. R. González y M. I. Chacón Murguía, “Análisis del Desempeño de Sistema de Detección de Señal SSVEP Utilizando Clasificadores Árbol Simple y Máquina de Vectores de Soporte”, *RECIBE. Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica*. Universidad de Guadalajara, vol. 8, núm. 1, pp. 1-23, 2019.





# Capítulo 28

---

## **Dispositivo para la integración del análisis biomecánico y la estadificación del sueño: Una propuesta al estudio del Parkinson**

*Citlalli Lona Yepes  
Carlos Uriel Prudencio Aguirre  
Gerardo De León García  
Juan Carlos Gutiérrez-García  
Tania Anaid Gutiérrez-García*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*citlalli.lona2930@alumnos.udg.mx  
carlos.prudencio4504@alumnos.udg.mx  
gerardo.deleon4525@alumnos.udg.mx  
juancarlos.gutierrez@academicos.udg.mx  
tania.gutierrez@academicos.udg.mx*

Durante el sueño, las enfermedades son poco estudiadas, a pesar de la relevancia que tiene esta actividad en la vida. Se ha demostrado que la enfermedad de Parkinson (EP) está asociada a alteraciones del sueño, sin embargo, la monitorización de la actividad nocturna presenta deficiencias de adquisición y análisis, ya que los sistemas actuales pueden ser subjetivos e inciertos. Se plantea un dispositivo que atiende a las necesidades de estudio de esta enfermedad como una herramienta que integra el estudio estructural y motor durante el sueño a partir de las características más relevantes y medibles de la EP. Además, se propone un sistema automático de estadificación del sueño como una primera etapa hacia la automatización del análisis del sueño. Dicho dispositivo representa un paso en el camino hacia la monitorización de datos en condiciones usuales y portátiles para disminuir la alteración de resultados.

## **I. Introducción**

Un tercio de la vida del ser humano se ocupa en dormir, lo que demuestra que es una actividad fisiológica imprescindible en la salud de los individuos [1]. La regulación del sueño y la vigilia se basan en una función altamente compleja e integrada del organismo, que puede verse afectada hasta desencadenar condiciones que alteran los patrones normales del sueño [2]. Hay diferentes causas para diferentes trastornos de sueño; sin embargo, a menudo se descuida el estudio de la interacción del sueño y enfermedades que no necesariamente están relacionadas a primera vista con la actividad nocturna. En la enfermedad de Parkinson (EP), que es el trastorno neurológico de más rápido crecimiento en prevalencia, discapacidad y muertes en todo el mundo [3]; los aspectos físicos de la enfermedad como el temblor, la rigidez y el desequilibrio postural, se han considerado tradicionalmente como las características más importantes de la enfermedad y como consecuencia han recibido la mayor atención tanto en la investigación como en la práctica clínica. No obstante, se ha demostrado que las alteraciones del sueño y la vigilia coexisten con la enfermedad y alteran el control motor durante el sueño [2], [4].

Actualmente se han diferenciado algunas alteraciones del sueño afines a la EP a partir de evaluaciones clínicas basadas en entrevistas individuales y la polisomnografía nocturna (PSG) [5], [6]. Sin embargo, presentan ciertas

desventajas tanto técnicas como clínicas. Por un lado, la PSG se caracteriza por su alto costo, así como el corto tiempo de registro, la incomodidad del cableado del sensor y el hecho de que obliga al paciente a dormir bajo condiciones inusuales y en un ambiente extraño, lo que puede condicionar efectos no esperados en los resultados [7]. Mientras que la evaluación clínica en pacientes con EP comúnmente implica entrevistas individuales, diarios y escalas de calificación basadas en la capacidad cognitiva y memoria del paciente y, por lo tanto, examinan las percepciones subjetivas de los síntomas con propiedades psicométricas variables, además de abordar parcialmente el tema de los movimientos nocturnos anormales [3]. Por estas razones, se evidencia la necesidad de un examen instrumental de las alteraciones nocturnas que obtenga datos más ecológicos y objetivos y que, al mismo tiempo, integre la arquitectura del sueño con la evaluación de aspectos biomecánicos durante la noche.

Para lo anterior, este proyecto se centra en el diseño de un dispositivo que considera los aspectos más relevantes de la EP en el sueño, para implementar una propuesta de herramienta clínica e instrumental que integra la evaluación de las etapas del sueño y los movimientos nocturnos más importantes al estudio de la enfermedad. Posteriormente, se propone un algoritmo de estadificación automática, atendiendo al hecho de que la estadificación manual sigue siendo la principal fuente de datos. Finalmente, discutimos las perspectivas para el futuro del proyecto.

## **II. Trabajos relacionados**

### **A. Enfermedad de Parkinson y sueño**

Las alteraciones del sueño son muy prevalentes en la EP y afectan hasta al 88 % de los pacientes [4]. Las categorías de trastornos del sueño aparentes en pacientes con EP comprenden los llamados trastornos primarios del sueño, es decir, las disfunciones en los centros reguladores del sueño, como el insomnio, somnolencia diurna excesiva, trastornos circadianos, así como trastornos del movimiento relacionados con el sueño. Entre las complicaciones motoras nocturnas relacionadas con la enfermedad, la

acinesia es una de las consecuencias más incapacitantes y conduce a movimientos nocturnos anormales. Además, los pacientes con EP pueden manifestar el síndrome de piernas inquietas (RLS por sus siglas en inglés), el trastorno de movimiento periódico de las extremidades (PLMD) y el trastorno de comportamiento (RBD) de movimientos oculares rápidos (REM) que, a diferencia de la acinesia nocturna, pueden ocurrir en fases tempranas o incluso prodrómicas de la EP [2], [4], [8].

Hasta ahora el reconocimiento y clasificación de los trastornos asociados al sueño en la EP se han evaluado a través de la PSG [9], [10], estudio que consiste en el registro simultáneo señales biológicas: electroencefalograma (EEG), electromiograma (EMG), movimientos oculares electrooculograma (EOG), entre otras señales bioeléctricas según el objetivo del estudio [11]. No obstante, a pesar de ser la PSG el método más común para estudiar patologías del sueño, la actigrafía [7], [12], [13] y tecnologías portátiles innovadoras [3] se han utilizado cada vez más para monitorear la actividad nocturna en la EP. Atendiendo específicamente las alteraciones motoras presentes en la EP, se ha evaluado la acinesia a través de unidades de medida inercial (IMU), que son sensores electrónicos que utilizan una combinación de acelerómetros y giroscopios para proporcionar información tridimensional sobre el movimiento y la posición del cuerpo, para determinar los movimientos de rotación axial durante el sueño [3], [14], [15], [16], así como la monitorización de registros y estándares de puntuación para detectar movimientos anormales en la extremidades [17], [18].

Hasta ahora estos estudios centran su desarrollo en el registro de una sola variable; no obstante, para proporcionar información más completa sobre el movimiento del cuerpo, recientemente han surgido enfoques de tecnología portátil que implica la integración de diferentes datos sensoriales, como señales inerciales y EMG [19], [20], aunque estos estudios limitan su aplicación al estado de vigilia de la enfermedad.

## **B. Simplificación y automatización de la estadificación del sueño**

La monitorización del sueño mediante PSG degrada gravemente la calidad del sueño debido a la invasión que supone para el paciente, además puede

alterar los resultados debido a la misma invasión y a los métodos manuales que se utilizan para evaluar las etapas del sueño. Para reducir la carga de la monitorización del sueño, se han propuesto enfoques de clasificación automática de las etapas del sueño a partir de un solo canal de electroencefalograma basados en *Machine Learning* y *Deep Learning* [21], [22], [23], [24], [25], [26]. También se ha explorado la idea de estadificar el sueño a partir de señales no electroencefalográficas como el electrooculograma un solo canal [27], [28], así como la integración de varias señales electrofisiológicas [29], [30]. La conjunción de estos métodos si bien utiliza más señales, sus resultados no discrepan de la simplificación de la PSG.

### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

La figura 1 muestra un diagrama a bloques del método propuesto. Cada uno de los bloques será explicado en esta sección.

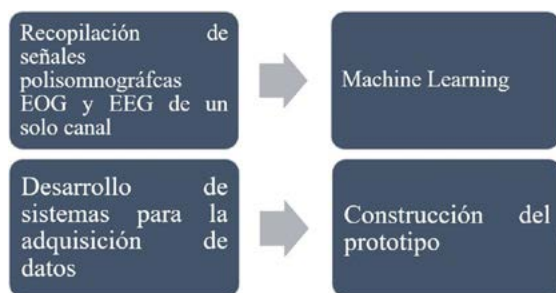


Fig. 1. Diagrama a bloques del método propuesto.

#### A. Recopilación de señales polisomnográficas

Para obtener señales polisomnográficas de EOG y EEG de un solo canal, se recurrió a la base de datos de PHYSIONE T, específicamente al PhyioBankATM: Sleep-EDF Expanded Database donde se encontraron 197 registros individuales de estas señales, así como el hipnograma de cada una ellas.

## **B. Machine Learning**

Para la estadificación del sueño de manera automática, es necesario implementar un aprendizaje automático para cumplir con los requerimientos planteados en el proyecto. Se utiliza la aplicación de Classification Learner integrada en Matlab que realiza un modelo que permite realizar una estadificación adecuada de las señales. Además, es necesario someter a las señales a un preprocesamiento. Este paso consiste en extraer ciertas características que son necesarias para el aprendizaje. El valor RMS, la media aritmética, la varianza, el sesgo, la curtosis, Sample Entropy y Zero Crossing, fueron las características utilizadas para el aprendizaje. Se utilizaron un total de 14 predictores, 7 provenientes del EOG y 7 del EEG.

Una vez se obtuvieron las características extraídas, se realizaron diversas pruebas con diferentes métodos de aprendizaje, dando como resultado que el llamado Bagged Trees fue el método que proporcionó los resultados más concretos para la estadificación.

## **C. Desarrollo sistemas para la adquisición de datos**

Las señales que se adquirieron para este trabajo fueron EOG, EEG, EMG y una señal correspondiente a las rotaciones que tendría el paciente en el eje axial.

Se plantearon varias formas para obtener tales señales. Para el procesamiento de la información obtenida, se consideró como la principal señal a la de tipo electrooculográfica. Se realizó una investigación acerca de los circuitos de adquisición que existían para dicho objetivo, donde la mayoría tenían en común la implementación del amplificador instrumental AD620 o INA128 debido a su gran sensibilidad para detectar estas señales. Después de varias pruebas, se obtuvo la señal acorde a las necesidades de nuestro estudio, y fue adquirida y digitalizada con la tarjeta de adquisición de datos USB-6009 de la marca National Instruments debido a que tiene características como la de poder registrar valores de voltaje negativos y así, prescindir de etapas de amplificación y acondicionamiento adicionales.

Para adquirir la señal electroencefalográfica, se utilizó la banda mind-wave mobile 2 que puede adquirir dicha señal mediante un electrodo en la

posición Fpz. La conexión de esta diadema se realizó mediante un Arduino Uno esclavo con un módulo de bluetooth HC-06.

La señal electromiográfica se obtuvo gracias al módulo Muscle Sensor v3 de la marca Advancer Technologies. Por último, para registrar las rotaciones axiales se utilizó un módulo de medición inercial GY-521. Este módulo cuenta con el integrado MPU-6050, que puede ser utilizado como un acelerómetro para obtener información de movimiento en los tres ejes.

## **D. Construcción del prototipo**

Para la unificación de los módulos de adquisición de datos, se utilizó un cinturón que se coloca alrededor de la cintura; de esta manera, la unidad de medida inercial se encuentra en el lugar ideal para la medición de movimientos, y los “latiguillos” de los módulos de las señales de EOG y EMG pueden alcanzar los electrodos para su correcta colocación. La diadema, al ser inalámbrica y tener una posición ya definida no sufre alteraciones a su colocación en la parte prefrontal del paciente.

## **Módulo I. Justificación del módulo electrofisiología**

Detrás del sueño hay un proceso activo, complejo y altamente organizado de una progresión de cambios fisiológicos en el cuerpo, cambios que se miden a partir de la ciencia que estudia los fenómenos eléctricos, la electrofisiología.

Durante un estudio habitual denominado polisomnografía se registran distintas bioseñales como el electroencefalograma (EEG), Electrocardiograma (ECG) y Electrooculograma (EOG). Como parte de la simplificación del proceso para estadificar el sueño, se conservará la esencia que caracteriza a los estudios especializados, basándonos en variables electrofisiológicas.

## **Módulo II. Justificación del módulo biomecánica humana**

La enfermedad de Parkinson es un trastorno neurodegenerativo que afecta el movimiento. Dentro de los protocolos de estudio del Parkinson, la biomecánica juega un papel importante tanto para el diagnóstico como el



seguimiento de pacientes con esta enfermedad. En este proyecto se analizará el movimiento durante el sueño como una propuesta para complementar los protocolos de estudio de la enfermedad del Parkinson.

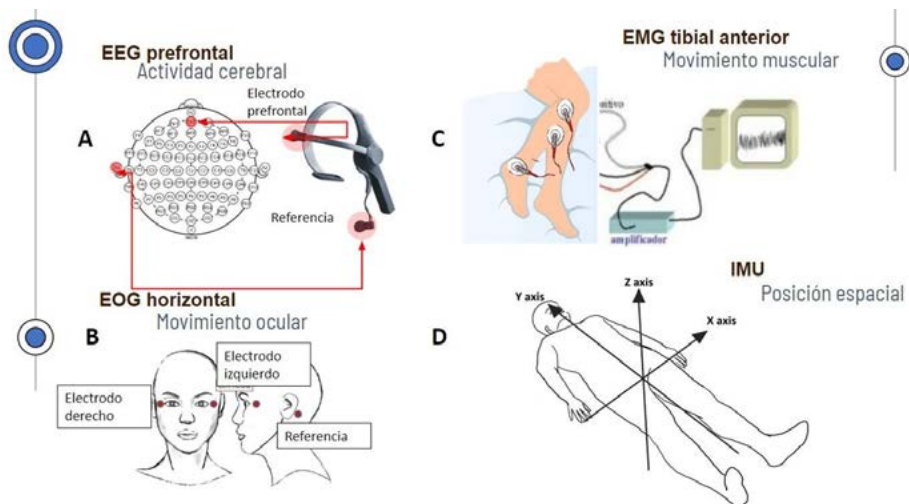


Fig. 2. Disposición de sistemas de adquisición: A) electroencefalograma prefrontal (EEG, FPZ), B) electrooculograma horizontal (EOG), C) electromiograma en músculo tibial anterior (EMG), y D) unidad de medida inercial (IMU).

### Módulo III. Justificación del módulo Instrumentación

Para este proyecto se pretende innovar en el campo del estudio del sueño, integrando las etapas de adquisición, acondicionamiento y procesamiento para diseñar y desarrollar un prototipo de un sistema funcional para la estadiificación del sueño. Integraremos la información electrofisiológica a partir de electrodos y sensores especializados con registros biomecánicos obtenidos de sensores que proporcionarán datos a partir de parámetros físicos.

## IV. Resultados obtenidos del proyecto

### A. Estadificación de sueño

Se consiguió una estadificación del sueño utilizando aprendizaje automatizado. La Fig. 3 muestra los resultados obtenidos empleando la aplicación de “Classification Learner” de Matlab, donde se puede observar una comparación entre la estadificación original manual hecha por un profesional (parte superior), y la estadificación hecha con aprendizaje automatizado obtenida con este trabajo (parte inferior).

Utilizando 50 señales de la base de datos obtenida previamente, se entrenó el modelo en algunos los métodos de clasificación que ofrece la aplicación, eligiendo “Bagged Trees” por su alto porcentaje de validación (94.4 %). Posteriormente, se hicieron pruebas con el modelo propuesto con una señal de la misma base de datos para probar su efectividad en pruebas reales, encontrando un menor desempeño al de validación (68.1 %). Sin embargo, al ser un modelo automatizado, la información de las señales utilizadas y la mejora en tiempo del procesamiento hacen de este un porcentaje muy alto a considerar.

La propuesta de este proyecto para emplear aprendizaje automatizado para estadificar el sueño resultó tener un buen desempeño, con un error cuantificable, evitando el tiempo del trabajo manual que los profesionales pueden emplear de una mejor manera; además, tiene versatilidad, ya que al utilizar una mayor cantidad de datos para entrenar el modelo, se puede obtener un mejor desempeño, por lo que esta propuesta es válida y mejorable para estadificar el sueño con características de señales electrofisiológicas y de movimiento.

### B. Prototipo del dispositivo

El resultado de este proyecto (Fig.4) fue la construcción de un dispositivo que cumple con el objetivo propuesto. Cuenta con tres módulos destinados a la adquisición de señales fisiológicas: el primero es el módulo de EMG, encargado de medir las contracciones del tibial anterior derecho, para identificar el síndrome de las piernas inquietas (RLS); el segundo es

el módulo de IMU, encargado de medir la aceleración en los tres ejes, esto para llevar un conteo de los giros del paciente en la cama; finalmente, el tercer módulo se encarga de medir el EOG de 1 canal horizontal, y que en conjunto con la medición de EEG de 1 canal prefrontal FPZ con la diadema “Mindwave Mobile 2”, se obtienen los datos necesarios para estadificar el sueño.

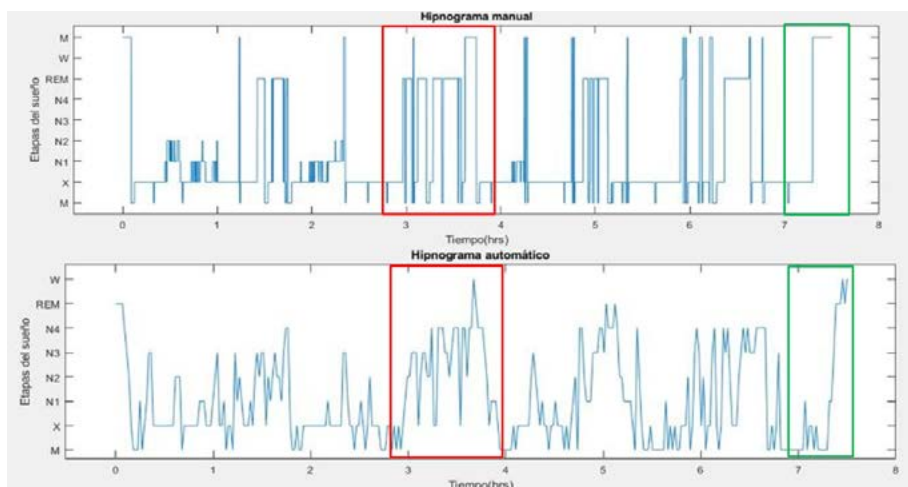


Fig. 3. Hipnograma original (manual) de la señal EOG (parte superior) e hipnograma resultante de emplear aprendizaje automatizado (parte inferior). Se remarcan las similitudes más evidentes.



Fig. 4. “Sleep belt”, prototipo de dispositivo para la integración del análisis biomecánico y la estadificación del sueño.

El prototipo cumple con los objetivos planteados, es decir, es capaz de adquirir distintas señales fisiológicas para la integración del análisis biomecánico y la estadificación del sueño, sin embargo, aún se encuentra en desarrollo, principalmente por la cantidad de cables necesarios para medir estas señales, además de que es frágil ante movimientos bruscos.

### C. Señales resultantes

Realizamos mediciones de las señales fisiológicas en conjunto con tres personas voluntarias. Primeramente, al colocarse y conectar el cinturón a la persona, el programa solicita la duración de la medición de las señales, los puertos de las tarjetas de adquisición de datos, de los cuales se desea medir cada señal, también, se solicita el número de dispositivo para medir la señal EEG a través de la diadema. Después, iniciada la ejecución, el programa muestra a tiempo real la adquisición de las señales durante el tiempo especificado anteriormente, y al finalizar se muestra una gráfica con todas las señales agrupadas en una figura, acondicionadas y filtradas (Fig. 5).

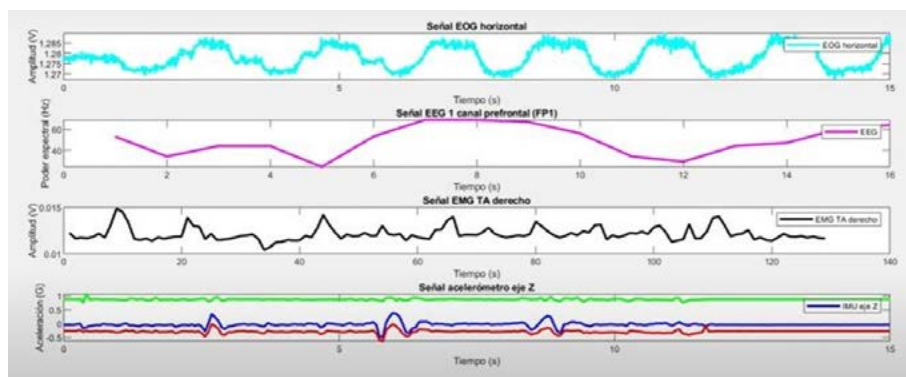


Fig. 5. Gráfica de las señales acondicionadas y filtradas, se pueden ver de arriba debajo de la siguiente manera: primero, la señal EOG de 1 canal horizontal, después, señal EEG de 1 canal prefrontal FPZ, enseguida la señal de EMG del tibial anterior derecho, y, por último, la señal acelerómetro en los tres ejes.

Este prototipo permite que todas las señales sean medidas y guardadas, para posteriormente ser acondicionadas y mostradas de manera correcta, por lo que cumple con los objetivos planteados ya que es capaz de adquirir las señales fisiológicas relevantes para la integración de la biomecánica y la estadificación del sueño de manera eficiente.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

El comportamiento de la EP durante el sueño tiene menos relevancia que en la vigilia, por lo que el desarrollo de dispositivos y procedimientos para la monitorización del sueño es fundamental para implementar estrategias de estudio en busca de nuevos hallazgos, además de representar una herramienta útil para recopilar datos que ayuden al seguimiento, e incluso diagnóstico y tratamiento de la enfermedad. El dispositivo desarrollado en este proyecto es el resultado de una profunda investigación acerca de los principales factores que se manifiestan durante el sueño en los pacientes con EP, además, proporciona un enfoque más completo que los trabajos desarrollados hasta el momento, ya que además cubre la monitorización de los movimientos anormales más importantes, a la vez que ofrece información sobre la regulación y arquitectura del propio sueño. Este sistema de adquisición simplificado propuesto, integra las señales más trascendentales y el algoritmo de estadificación automática diseñado aumenta la portabilidad. De esta manera, este proyecto tiene lo necesario para ser una propuesta viable para el estudio de la EP, al encaminar su desarrollo a ambientes más cómodos y usuales para el paciente, y así disminuir el sesgo de resultados.

El prototipo realizado tiene futuro en la investigación de la EP y en la investigación del sueño en general. Las áreas de oportunidad del proyecto incluyen:

1) Ergonomía: Se busca que el paciente utilice el dispositivo durante toda la noche; sin embargo, la gran cantidad de cables hacen que el paciente pueda no estar cómodo, lo que podría provocar una alteración de sueño.

Un diseño más compacto y sencillo podría permitir al paciente realizar más movimientos en la cama, lo que se traduciría en primer lugar, como una mejor calidad del sueño y, en segundo lugar, permitiría utilizar nuestro dispositivo para detectar otros trastornos de movimiento durante el sueño.

De este modo, mejorar todavía más el estudio de la enfermedad del Parkinson durante el sueño.

- 2) Reducción del tamaño del prototipo: Como se mencionó anteriormente, se busca que el prototipo tenga un diseño más compacto y sencillo. La tecnología Bluetooth sería la clave de esto, utilizando una conexión inalámbrica en lugar de cables, que permitiría que el paciente pueda moverse con mayor libertad en la cama.
- 3) Modelo de estadificación de sueño con aprendizaje automático: La propuesta de este proyecto de utilizar aprendizaje automatizado resultó ser confiable, con la capacidad de mejorar los resultados utilizando una mayor cantidad de señales para entrenar el modelo, lo que como trabajo para el futuro mejoraría el modelo de estadificación del sueño, teniendo un mejor porcentaje tanto en validación como en prueba, siendo este último nuestro mayor enfoque.

### **Reconocimientos**

Los autores agradecen al Dr. Jorge Luis Flores Nuñez, docente de la Universidad de Guadalajara por su tiempo y conocimiento, además de su disponibilidad y apoyo con equipo que hizo posible este proyecto. Al Ingeniero Carlos Samuel Guerra Santopietro del Instituto Jalisciense de Cancerología por sus donaciones que hicieron posible este proyecto. Al Dr. Omar Cárdenas Sáenz, médico neurólogo en el Antiguo Hospital Civil de Guadalajara “Fray Antonio Alcalde”, por el aporte de la perspectiva clínica del proyecto.

## Referencias

- [1] L. Fabres y P. Moya, “Sueño: Conceptos generales y su relación con la calidad de vida”, *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 32, núm. 5, pp. 527-534, 2021. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2021.09.001>
- [2] A. Stefani y B. Högl, “Sleep in Parkinson’s disease”, *Neuropsychopharmacology*, vol. 45, núm. 1, pp. 121-128, junio de 2019. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1038/s41386-019-0448-y>
- [3] A. Zampogna, A. Manoni, F. Ascì, C. Liguori, F. Irrera y A. Suppa, “Shedding light on nocturnal movements in parkinson’s disease: Evidence from wearable technologies”, *Sensors*, vol. 20, núm. 18, p. 5171, septiembre de 2020. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/s20185171>
- [4] M. Menza, R. D. Dobkin, H. Marin y K. Bienfait, “Sleep disturbances in Parkinson’s disease”, *Movement Disorders*, vol. 25, S1, pp. S117-S122, 2010. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/mds.22788>
- [5] K. R. Chaudhuri, “The Parkinson’s disease sleep scale: A new instrument for assessing sleep and nocturnal disability in Parkinson’s disease”, *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, vol. 73, núm. 6, pp. 629-635, diciembre de 2002. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.6.629>
- [6] B. Karna, Abdulghani Sankari y Geethika Tatikonda, “Sleep Disorder,” *Nih.gov*, Jul. 19, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560720/>
- [7] C. J. Madrid-Navarro et al., “Validation of a device for the ambulatory monitoring of sleep patterns: A pilot study on parkinson’s disease”, *Frontiers in Neurology*, vol. 10, abril de 2019. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00356>
- [8] M.-H. Yong, S. Fook-Chong, R. Pavanni, L.-L. Lim y E.-K. Tan, “Case control polysomnographic studies of sleep disorders in parkinson’s disease”, *PLoS ONE*, vol. 6, núm. 7, julio de 2011, e22511. Accedi-

- do el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0022511>
- [9] T. Peeraully, M.-H. Yong, S. Chokroverty y E.-K. Tan, “Sleep and Parkinson’s disease: A review of case-control polysomnography studies”, *Movement Disorders*, vol. 27, núm. 14, pp. 1729–1737, octubre de 2012. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/mds.25197>
- [10] Y. Zhang et al., “Sleep in Parkinson’s disease: A systematic review and meta-analysis of polysomnographic findings”, *Sleep Medicine Reviews*, vol. 51, p. 101281, junio de 2020. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.smr.2020.101281>
- [11] P. Torterolo et al., “Chapter 2 - Polysomnography in humans and animal models: Basic procedures and analysis”, Academic Press, pp. 17-32, 2022. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85235-7.00010-7>
- [12] M. Louter, J. B. Arends, B. R. Bloem y S. Overeem, “Actigraphy as a diagnostic aid for REM sleep behavior disorder in Parkinson’s disease”, *BMC Neurology*, vol. 14, núm. 1, abril de 2014. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1186/1471-2377-14-76>
- [13] A. Nass y R. D. Nass, “Actigraphic evidence for night-time hyperkinesia in parkinson’s disease”, *International Journal of Neuroscience*, vol. 118, núm., pp. 291-310, enero de 2008. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/00207450701591065>
- [14] M. Akamatsu y M. Shiraishi, “Overnight monitoring of turnover movements in parkinson’s disease using A wearable three-axis accelerometer”, *Journal of Neurological Disorders*, vol. 4, núm. 3, 2016. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4172/2329-6895.1000267>
- [15] R. Bhidayasiri, J. Sringean y C. Thanawattano, “Impaired bed mobility: Quantitative torque analysis with axial inertial sensors”, *Neurodegenerative Disease Management*, vol. 7, núm. 4, pp. 235-243, agosto de 2017. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.2217/nmt-2017-0016>



- [16] K. Uchino, M. Shiraishi, K. Tanaka, M. Akamatsu y Y. Hasegawa, “Impact of inability to turn in bed assessed by a wearable three-axis accelerometer on patients with Parkinson’s disease”, *Plos One*, vol. 12, núm. 11, noviembre de 2017, art. n.º e0187616. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187616>
- [17] R. Ferri et al., “World Association of Sleep Medicine (WASM) 2016 standards for recording and scoring leg movements in polysomnograms developed by a joint task force from the International and the European Restless Legs Syndrome Study Groups (IRLSSG and EU-RLSSG)”, *Sleep Medicine*, vol. 26, pp. 86-95, octubre de 2016. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2016.10.010>
- [18] J. Montplaisir et al., “Immobilization tests and periodic leg movements in sleep for the diagnosis of restless leg syndrome”, *Movement Disorders*, vol. 13, núm. 2, pp. 324-329, marzo de 1998. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1002/mds.870130220>
- [19] I. Mazzetta, A. Zampogna, A. Suppa, A. Gumiero, M. Pessione y F. Irrera, “Wearable sensors system for an improved analysis of freezing of gait in parkinson’s disease using electromyography and inertial signals”, *Sensors*, vol. 19, núm. 4, p. 948, febrero de 2019. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/s19040948>
- [20] A. Zampogna et al., “Fifteen years of wireless sensors for balance assessment in neurological disorders”, *Sensors*, vol. 20, núm. 11, p. 3247, junio de 2020. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/s20113247>
- [21] B. P. Lucey et al., “Comparison of a single-channel EEG sleep study to polysomnography”, *Journal of Sleep Research*, vol. 25, núm. 6, pp. 625-635, junio de 2016. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1111/jsr.12417>
- [22] J. Zhou et al., “Automatic sleep stage classification with single channel EEG signal based on two-layer stacked ensemble model”, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 57283-57297, 2020. Accedido el 17 de noviembre de 2022.

- [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1109/access.2020.2982434>
- [23] *Electronic Devices, Circuits, and Systems for Biomedical Applications*. Elsevier, 2021. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/c2020-0-02289-9>
- [24] B. L. Radhakrishnan, E. Kirubakaran, I. J. Jebadurai, A. I. Selvakumar y J. D. Peter, “Efficacy of single-channel EEG: A propitious approach for in-home sleep monitoring”, *Frontiers in Public Health*, vol. 10, abril de 2022. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.839838>
- [25] P.-L. Lee et al., “Automatic sleep staging in patients with obstructive sleep apnea using single-channel frontal EEG”, *Journal of Clinical Sleep Medicine*, vol. 15, núm. 10, pp. 1411-1420, octubre de 2019. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.5664/jcsm.7964>
- [26] C. Salo Casajuana, “Clasificación de las fases del sueño utilizando señales EEG”, Trabajo de grado, Escola Técnica Superior d’ Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona, 2019. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/128953/memoriatfg-fases-sueno-carminasalo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [27] M. M. Rahman, M. I. H. Bhuiyan y A. R. Hassan, “Sleep stage classification using single-channel EOG”, *Computers in Biology and Medicine*, vol. 102, pp. 211–220, noviembre de 2018. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2018.08.022>
- [28] “Rychter, Ewa, 2021. “Passing a looped and knotted string between their hands”. *The Bible, the Women’s Liberation Movement and Women’s Bonds in Michèle Roberts’s The Wild Girl*. *Prague Journal of English Studies*, Volume 10, Number 1, pages 23-41. doi: 10.2478/pjes-2021-0002”, *Prague Journal of English Studies*, mayo de 2022. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.2478/pjes-2021-0008>
- [29] J. Pan et al., “Automatic sleep staging based on EEG-EOG signals for depression detection”, *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 28, núm. 1, pp. 53–71, 2021. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.32604/iasc.2021.015970>

- [30] S. Myllymaa et al., “Assessment of the suitability of using a forehead EEG electrode set and chin EMG electrodes for sleep staging in polysomnography”, *Journal of Sleep Research*, vol. 25, núm. 6, pp. 636–645, mayo de 2016. Accedido el 17 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1111/jsr.12425>

# Capítulo 29

---

## **BCI con intensidad de movimiento**

*Juan Pablo Cruz Valadez  
Carlos Alberto Fregoso Iturria  
Moisés Alejandro Pérez Salcedo  
Omar Paredes*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*juan.cruz6793@alumnos.udg.mx  
carlos.fregoso2930@alumnos.udg.mx  
moises.perez6036@alumnos.udg.mx  
omar.paredes@academicos.udg.mx*

Se desarrolló una interfaz cerebro computadora (BCI) colocada en la región frontoparietal para la adquisición de señales electroencefalográficas, en particular de las ondas alfa, las cuales están relacionadas con la intención motora, con el objetivo de interpretar los datos en el movimiento a manera de asistencia por medio de un exoesqueleto. Las pruebas realizadas demostraron que, al alcanzar un umbral en la banda de frecuencia relacionada con la intención motora, obteníamos una respuesta de movimiento a manera de asistencia para la mano por medio del exoesqueleto. Una BCI es una herramienta versátil, la cual nos permite adquirir señales electroencefalográficas para interpretarlas y brindarles una aplicación.

## I. Introducción

La discapacidad motora, así como la alteración de la capacidad del movimiento que se presenta en distintos grados, limitan la función de desplazamiento de la persona o de manipulación, y por lo tanto, obstaculiza el desarrollo personal y social del individuo. Puede ser de nacimiento o adquirida, siendo esta última una consecuencia de lesiones, accidentes, consecuencias de enfermedades que afectan al cuerpo, entre otros [1].

Se ha demostrado que la discapacidad con mayor proporción en personas de la tercera edad está relacionada con la movilidad (dificultad para caminar, moverse, subir o bajar) y que afecta de manera muy similar tanto en hombres como mujeres [2].



Fig. 1. Gráfico porcentual de discapacidades en adultos mayores de 60 años.

De acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para el año 2050 el 21.5 % de la población total en México serán adultos de 60 años o más [2] (Ver figura 2).

El deterioro cognoscitivo es una condición presente en un gran número de la población de edad avanzada, que conlleva la mayoría de las veces a una situación de discapacidad grave, generando un incremento de la mortalidad en el adulto mayor, asociándose con una mayor utilización de los servicios de salud, mayor gasto para los familiares o la persona misma [3], [4].

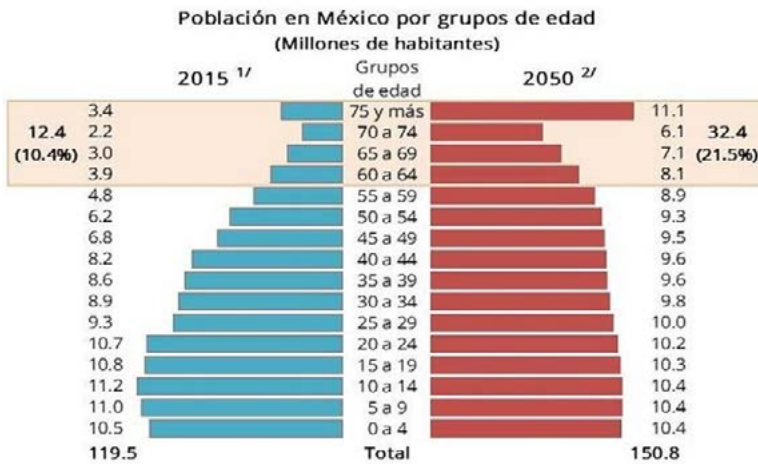


Fig. 2. Gráfico de proyección porcentual de adultos mayores en México.

Esto quiere decir que, una cuarta parte de la población tiene altas posibilidades de presentar una o ambas discapacidades, siendo este un porcentaje significativo. Es por ello por lo que con el desarrollo de nuestro proyecto buscamos disminuir la pérdida progresiva del movimiento y al mismo tiempo ejercitar el cerebro del usuario, que de acuerdo con la literatura, es posible tratar la discapacidad motora con técnicas de rehabilitación (entre ellas la implementación de exoesqueletos). De esta manera, la solución que proponemos es el desarrollo de un exoesqueleto para la rehabilitación asistida y soporte de mano, controlado por medio de una banda de adquisición de señales EEG. Sin embargo, este proyecto puede ser aplicable para cualquier extremidad o parte del cuerpo que requiera movimiento asistido.

Nuestra propuesta de proyecto consiste en una interfaz cerebro-computadora (BCI), que se define como, un sistema de comunicación que monitoriza la actividad cerebral y traduce determinadas características, correspondientes a las intenciones del usuario, en comandos de control de un dispositivo. Bajo esta definición, los sistemas BCI pueden resultar muy útiles para las personas dependientes de avanzada edad o con cierta discapacidad, ya que suponen un nuevo canal de comunicación [5].

La interfaz cerebro-computador funciona por medio de electroencefalografía, que es una técnica aplicada fundamentalmente para investigar el funcionamiento del cerebro. Sin embargo, se ha demostrado la posibilidad de usar este método para detectar intenciones, de forma que una persona pudiera controlar determinados dispositivos a partir de su actividad cerebral [6].

La técnica neurofisiológica del electroencefalograma permite la evaluación de la actividad electrocortical del cerebro y puede captar la actividad cerebral espontánea. La actividad EEG espontánea, con sus bandas de frecuencia típicas (delta: 1-4 Hz; theta: 4-8 Hz; alfa: 8-13 Hz; beta: 13-35 Hz; y gamma: > 35 Hz) se considera una buena medida del estado fisiológico cerebral [7].

En los sujetos adultos, en reposo y con los ojos cerrados, suele predominar el ritmo alfa de frecuencia entre 8 y 12 Hz. También se observa un ritmo con frecuencia dominante en la banda 8-13 Hz denominado “ritmo mu” o “alfa mu”. El ritmo mu aparece cuando el sistema motor está en reposo y se bloquea cuando se produce un movimiento del hemicuerpo contralateral, ya sea activo (voluntario), pasivo o de actividad motora refleja. En reposo existe una sincronía en las neuronas corticales de la corteza sensitivo-motora cuyo reflejo en el EEG es el llamado ritmo mu. La activación de estas áreas corticales produce una desincronización cortical manifestada en la atenuación de este ritmo. Esta reactividad se estudia en los registros EEG rutinarios mediante la maniobra de cerrar el puño de la mano contralateral al hemisferio donde se observa el ritmo mu, ya que este es unilateral y alternante [8].

## II. Trabajos relacionados

A continuación, se presentan algunos trabajos que proponen una solución al problema estudiado en este proyecto.

### **A. Brain-Computer Interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento**

El Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de Valladolid nos propone el empleo de sistemas BCI (Brain-Computer Interface), que traducen las intenciones del usuario en comandos de control, como herramienta de entrenamiento cognitivo que ayude a prevenir los efectos del envejecimiento. También desarrollará una aplicación BCI asistida que permita el control de dispositivos domóticos y electrónicos presentes en una vivienda.

Se propone el desarrollo de una aplicación de entrenamiento cognitivo empleando un sistema BCI basado en imágenes motoras. Los usuarios han de realizar diferentes tareas mentales (visualización del movimiento de las manos, pies, lengua, rotación de un cubo, operaciones aritméticas, etc.). El objetivo consiste en adaptar esas tareas mentales para que sean tareas de entrenamiento cognitivo válidas para las personas mayores [9].



Fig. 3. Prototipo de sistema BCI aplicado al entrenamiento cognitivo.



### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

El proceso de elaboración del prototipo para nuestro proyecto modular se efectuó en etapas.

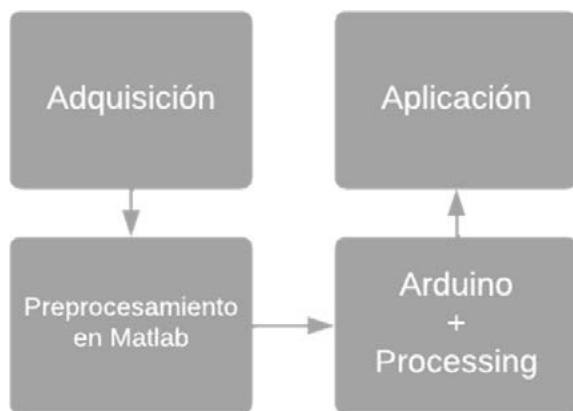


Fig. 4. Diagrama a bloques etapas de desarrollo del proyecto modular.

El diseño del prototipo parte de la idea de utilizar una banda en la cual se pudiera adquirir la señal electroencefalográfica desde la región frontoparietal, con el principal objetivo de obtener una fácil colocación para el usuario, así como características ergonómicas y estéticas adecuadas para su empleo en la vida cotidiana.

Aunque se sugiere que el registro sea en la región del vertex, este parte no tiene las condiciones necesarias para cumplir con estándares estéticos, ergonómicos y de practicidad para el usuario. Sin embargo, se ha demostrado que en la región frontoparietal también es posible detectar la intención motora.

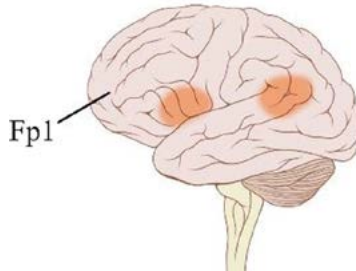


Fig. 5. Región Fp1 de adquisición de intención motora.

Para el desarrollo de este proyecto, se decide utilizar baterías AA para alimentar el módulo bluetooth y los indicadores LED, mientras que la etapa de potencia que se conecta con los motorreductores se alimenta con una batería de 9 V. Sin embargo, tomando en cuenta la practicidad para el usuario, se considera en un futuro realizar una adaptación para que todo el sistema sea funcional con una batería portátil (Power Bank), reduciendo el tamaño del prototipo, esto ayudando a reducir costos y mejorar la viabilidad de adquisición para el usuario.

## A. Metodología

### 1) Adquisición

Se realizó un circuito en protoboard para registrar la actividad eléctrica del cerebro (Ver figura 10). Después de comprobar su funcionamiento, el siguiente paso fue diseñar una placa de circuito impreso para acoplarla a manera de una banda y así poder realizar el registro de la señal de manera continua, esto por medio de tres electrodos de plata colocados de manera estratégica.



Fig. 6. Prototipo de banda para adquisición de señales EEG.

## 2) *Preprocesamiento en Matlab*

Para el preprocesamiento de la señal obtenida, se desarrollaron filtros tanto analógicos como digitales, estos últimos fueron elaborados en un algoritmo de Matlab, con el objetivo de realizar filtrado de tipo Butterworth de orden 4 y así lograr extraer la información relevante en el espectro de frecuencia dentro del rango de los 8 y 35 Hz. Puesto que en este rango de frecuencia podemos encontrar las ondas de frecuencia relacionadas con el “ritmo Mu” o “Alfa Mu”. Ya que esta onda predomina en el rango de frecuencia de las bandas alfa y beta [8].

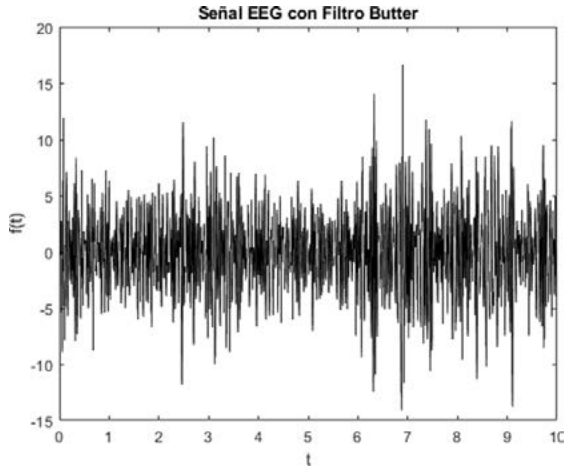


Fig. 7. Señal obtenida luego de aplicar filtros digitales.

### 3) Arduino + Processing

En cuanto al diseño de la interfaz, se desarrolló en Arduino la librería necesaria para después poder programar el microcontrolador ATtiny 23, esto con el objetivo de no utilizar una placa de Arduino dentro de nuestro proyecto, minimizando el tamaño del prototipo.

En *Processing* se desarrolló la interfaz gráfica, con el propósito de poder visualizar de manera más sencilla y estética los valores de las bandas de frecuencia que adquirimos en la parte superior de la ventana, mientras que en la parte inferior observamos gráficos de barras, que representan el umbral de cada banda de frecuencia, todo en tiempo real (Ver figura 8).

### 4) Aplicación

En la etapa final, diseñamos un circuito el cual cumple con el propósito de indicar la calidad de conexión de la banda (prototipo) con el módulo bluetooth, este indicador es un LED RGB, el cual dependiendo del color que encienda representa un estado diferente:

- = mala conexión
- = conexión estable
- = conexión ideal

Por otro lado, hay cinco leds diferentes que nos indican el nivel de intención motora con colores: rojo, amarillo y verde, siendo el rojo un nivel bajo, amarillo un nivel intermedio y verde el nivel máximo (Ver figura 11).

Por último, se elaboró un circuito cuyo propósito es controlar un par de motorreductores, con el fin de realizar el movimiento de un exoesqueleto diseñado e impreso en 3D que, por medio de hilos de nailon, que se encuentran sujetando cada uno de los dedos, con el fin de realizar el movimiento de cierre, mientras que otros hilos se mantienen tensos todo el tiempo para controlar la apertura del exoesqueleto, una vez que el motor deja de girar y se mueve en la dirección opuesta (Ver figura 9).

## **B. Materiales**

- Impresora 3D
- Filamento PLA
- Placa de circuito impreso
- Software MATLAB, Arduino y *Processing*
- Baterías de 1.5V y 9V
- Puente H
- Motorreductores
- LED RGB
- Leds
- ATtiny 23

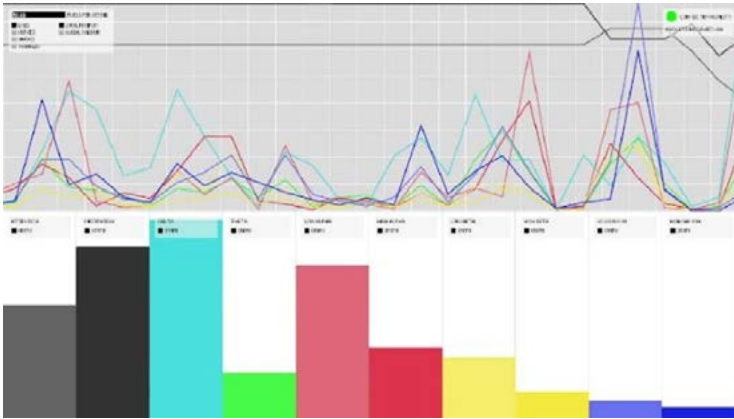


Fig. 8 Interfaz gráfica en *Processing*.

## Modulo I. Justificación de biomecánica humana

Para este módulo diseñamos una órtesis de miembro superior en forma de exoesqueleto, para la asistencia y control de un movimiento. Implementando el movimiento natural de la mano, imitando la biomecánica de esta, para no forzar ni lastimar al usuario respetando sus grados de libertad.

## Modulo II. Justificación de instrumentación médica

Se desarrolló una placa de circuito impreso a manera de banda (prototipo) para la adquisición de los ritmos (frecuencia) electroencefalográficos en la parte frontoparietal, además de un exoesqueleto diseñado e impreso en 3D controlado por medio de un circuito cuyo propósito era controlar motorreductores para la ejecución del movimiento.

## Modulo III. Justificación de electrofisiología

Se implementó un circuito para la adquisición de señales electroencefalográficas (EEG), para posteriormente realizar un procesamiento de la señal en Matlab y realizar así la extracción de ritmos de frecuencia relevantes para el proyecto, diseñar las librerías en Arduino y mostrar los ritmos de frecuencia en una interfaz diseñada en *Processing*.



Fig. 9. Prototipo de exoesqueleto impreso en 3D.

### **III. Resultados obtenidos del proyecto**

Como resultado se obtuvieron registros EEG de sujetos sanos, observando toda la banda electrofisiológica (0.5 a 35 HZ) del cual se analiza principalmente el ritmo mu, logrando la separación de la misma gracias a un filtrado analógico y digital, donde se logran caracterizar dichas ondas para su interpretación en un dispositivo externo (indicadores LED y exoesqueleto que imita la apertura y cierre de la mano). Durante la demostración presencial demostramos de dos maneras:

- Mediante la intención de aumentar las bandas de frecuencia realizando actividades diversas como leer, observar un punto fijo o generar argumentos para generar movimiento.
- Mediante la relajación o distracción del individuo para evitar el movimiento del dispositivo.

### **IV. Conclusiones y trabajo para el futuro**

No fue necesario buscar u obtener una base de datos debido a que las señales que buscábamos eran genéricas en todos los individuos, se le dio

mayor importancia al filtrado de la señal y para esto se aplicó a quince sujetos corroborando su funcionalidad.

Al momento de desarrollar el proyecto, se fue trabajando de acuerdo con la tecnología disponible, es por ello por lo que nuestra caracterización de señales tiene como referencia el subtipo de onda “Alfa Mu” y no potenciales evocados.

Este trabajo tiene proyección para el futuro ya que se basa en su nivel de madurez tecnológica (TRL), el cual se encuentra en nivel 3 en proceso de cambio a nivel 4; Esta escala de innovación de proyectos fue desarrollada por la NASA al evaluar la viabilidad del uso de tecnología nueva para aplicar en sus cohetes y misiones espaciales sin que supusiera un riesgo, posteriormente la Agencia Espacial Europea (ESA) adoptó esta metodología debido a su efectividad, ulterior a ello se estableció como estándar internacional en cuanto a metodología para desarrollo de tecnología.

Para dar una idea general sobre el avance de nuestro prototipo lo pondremos en retrospectiva:

Existen nueve niveles de TRL, donde 1 corresponde solo investigación y 9 es una garantía de aceptación de todas las normas y certificaciones correspondientes. Nuestro proyecto supera la prueba conceptual/experimental y está por superando la prueba en entorno relevante fuera de laboratorio, con una alta probabilidad de ser utilizada en entornos reales. Usualmente los proyectos estudiantiles se encuentran en un TRL 2.

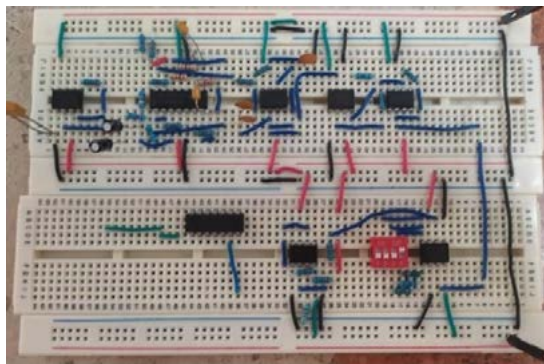


Fig. 10. Circuito EEG.





Fig. 11. Indicadores LED.

## Referencias

- [1] E. S. Guajardo, C. Durán, M. Escalera, B. Mora, Á. Pacheco, y M. de los Á. Pérez, *Discapacidad motora y Resiliencia en adultos. In Estudios del desarrollo humano y socioambiental*, pp. 236-252, Corporación Universitaria Reformada, 2018.
- [2] P. F. Consumidor, (s. f.). “Asilos. Una alternativa para el cuidado y atención de los adultos mayores”. Gobierno de México.
- [3] C. Jen-Hau, L. Kun-Pei y C. Yen-Ching, “Risk factors for dementia”. *J Formos Med Assoc*, vol. 108, núm. 10, pp. 754-64.
- [4] A. Estrella, A. González Pedraza y Y. Moreno, “Deterioro cognitivo y calidad de vida en ancianos de una clínica de medicina familiar de la ciudad de México”. *Archivos en Medicina Familiar*, vol. 10, núm. 4, pp. 127-132, 2018.
- [5] Martínez-Cagigal, V. y Hornero, R., “Selección de Canales en Sistemas BCI basados en Potenciales P300 mediante Inteligencia de Enjambre”. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 14, núm. 4, pp. 372-383, 2017.
- [6] Romero, J. U. L. I. O., “El mito del hemisferio derecho del cerebro y la creatividad”. *Arte, individuo y sociedad*, vol. 1, núm. 8, 99-106, 1996.
- [7] M. Palau-Baduell, A. Valls-Santasusana, B. Salvadó-Salvadó y M. Cloufent-Torrentó, “Aportación del electroencefalograma en el autismo”, *Revista de neurología*, vol. 56, Supl 1, S35-43, 2013.
- [8] M. Palau-Baduell, A. Valls-Santasusana y B. Salvadó-Salvadó, “Trastornos del espectro autista y ritmo mu. Una nueva perspectiva neurofisiológica”. *Rev Neurol*, vol. 52, Supl 1, S141-6, 2011.
- [9] R. Hornero, R. Corralejo y D. Álvarez, “Brain-Computer Interface (BCI) aplicado al entrenamiento cognitivo y control domótico para prevenir los efectos del envejecimiento”, *Fundación General CSIC LY-CHNOS [en línea]*, 8, 2012.



# Capítulo 30

---

## **ArthriBox: Dispositivo rehabilitador para mano para pacientes con artritis reumatoide**

*Pizano Parra Alejandra Adali  
Mendizabal Ruíz Eduardo Gerardo*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)  
*alejandra.pizano4030@alumnos.udg.mx*  
*gerardo.mendizabal@academicos.udg.mx*

La artritis reumatoide (AR) es una enfermedad autoinmune que se estima que afecta al 1.6 % de la población en México. Esta produce diferentes grados de deformidad y dolor en las articulaciones. En general, un paso clave es la rehabilitación física que ayuda a aliviar los síntomas y frenar la progresión de la enfermedad. En este trabajo se describe y propone un prototipo de dispositivo útil y novedoso para el proceso de rehabilitación de la mano para pacientes con AR, basado en un sistema neumático que implementa mini bombas de aire y un microcontrolador de uso comercial para brindar una alternativa viable y compacta en relación con otros sistemas existentes. El prototipo final es capaz de realizar la extensión de las falanges, así como la flexión de estas mediante la ejecución de un agarre de fuerza. Esto puede suponer una opción no solo para aliviar síntomas comunes de la artritis como la rigidez matutina, sino que además prevenir el deterioro articular y mejorar el rango de movilidad muscular. A pesar de ser el primer prototipo, añadiendo ciertas mejoras podemos tener un sistema completo, personalizado y de bajo costo.

## **I. Introducción**

La artritis reumatoide (AR) es una enfermedad autoinmune sistémica, inflamatoria y crónica que afecta fundamentalmente a las articulaciones diartrodiales, que produce diferentes grados de deformidad [1], [2]. Además, provoca un aumento de la discapacidad y el deterioro socioeconómico [3]. Esta enfermedad tiene una prevalencia del 0.5 % al 1 % en la población a nivel mundial, mientras que, en México, se estima que la AR tiene una prevalencia del 1.6 % [4].

Anteriormente la AR era considerada una enfermedad de curso favorable, hoy día se sabe que, sin tratamiento, la mayoría de los pacientes presentarán un deterioro estructural, funcional y social muy relevante durante el curso de la AR, asociándose a una reducción de la supervivencia global, por lo que es muy importante brindar atención al cuidado de este padecimiento [1].

Habitualmente se ven comprometidas las articulaciones metacarpofalángicas y las muñecas y muy comúnmente afecta las articulaciones metatarsofalángicas. Su principal síntoma es el dolor en la articulación afectada. También, es frecuente la rigidez generalizada sobre todo en periodos de inactividad [5].

Entre las opciones terapéuticas para artritis reumatoide se incluyen fármacos modificadores de la enfermedad y agentes biológicos [6]. No obstante, los medicamentos en el mercado para tratarla producen efectos secundarios peligrosos que afectan la calidad de vida del paciente. En este contexto, la rehabilitación física desempeña un papel importante como complemento del trabajo de los medicamentos convencionales [7].

Los objetivos de la terapia de ejercicio para AR son la restauración, la preservación o el aumento de la amplitud de movimiento de la articulación, la fuerza muscular o la condición cardiovascular [8]. Además, este tipo de terapia reduce el dolor específico articular, la rigidez matutina, previene las deformidades, preserva la postura correcta, mantiene y mejora la movilidad, la fuerza, la flexibilidad, la condición física y la salud psicosocial [9], [10].

Alrededor del 70 % de los pacientes con AR realizan algún tipo de ejercicio. Los ejercicios de amplitud de movimiento (ROM, por sus siglas en inglés) son recomendados y están indicados para las articulaciones incapaces de moverse y con riesgo de desarrollar contracturas, y tienen por objeto mantener o mejorar la amplitud de movimiento y la flexibilidad de las articulaciones. Estos pueden ejecutarse de forma activa, asistida o pasiva [8], [11]. El movimiento angular activo de las articulaciones por parte de los propios pacientes es importante para mantener la amplitud de movimiento. Si los pacientes están demasiado débiles o son incapaces de mover activamente sus articulaciones, se pueden realizar ejercicios de ROM asistidos, los cuales también pueden realizarse con máquinas automáticas de movimiento pasivo continuo (MPC).

Desgraciadamente, el éxito de la recuperación depende en gran medida de la capacidad del paciente para asistir a la terapia, que puede verse disuadida por diversos factores. En este escenario, los dispositivos robóticos podrían mejorar el acceso al ejercicio repetido y utilizarse como terapia complementaria para mejorar el acceso del paciente, su cumplimiento y los resultados posteriores de la rehabilitación.

En los últimos años, se han desarrollado dispositivos para aplicaciones de rehabilitación en la mayoría de las articulaciones del cuerpo, como tobillos, rodillas, hombros, codos y muñecas [12]. Los enfocados en la mano, lamentablemente no cuentan con un diseño adaptable y ergonómico para los pacientes con artritis reumatoide. Es por esta razón que en el presente proyecto se propone diseñar un dispositivo innovador para rehabilitar

mano artrítica diferente a los convencionales que pueda ser una opción para realizar ejercicios o secuencias de movimiento tipo ROM para conseguir una rehabilitación desde casa basado en actuadores neumáticos.

## **II. Trabajos relacionados**

Los dispositivos para aplicaciones de rehabilitación son un área de interés de los últimos años y por ende existen muchas opciones en el mercado. Estos dispositivos pueden clasificarse en dos categorías principales: los tipos *desktop* y *wearable*. Las desventajas de los *wearable*, es que normalmente constan de una estructura de exoesqueleto y por ende son pesados, e incómodos. Recientemente, se ha demostrado que el actuador neumático blando es más adecuado y prospectivo para la rehabilitación de la mano que el sistema accionado por motor, debido a su conformidad, flexibilidad y adaptabilidad inherentes.

La robótica blanda elimina las limitaciones de los grados de libertad y también reduce los problemas de alineación de las articulaciones, lo que podría evitar daños en las articulaciones [12]. Además, esta es más ligera y tiene diseños más sencillos, lo que la hace portátil y abre la posibilidad de la rehabilitación en casa.

Varios estudios han evidenciado que las terapias asistidas con exoesqueletos han arrojado resultados muy favorables para la vida de los pacientes, ayudándoles a recobrar sus habilidades motoras y funcionales (13). Además, existen múltiples prototipos que han sido realizados para presentar una solución ante las diversas enfermedades que afectan el funcionamiento óptimo de las manos, ya sean problemas musculares, articulares o neurológicos. Estos consisten en novedoso guantes robóticos blandos y neumáticos o exoesqueletos robóticos blandos [7], [14].

Sin embargo, al tener todos un diseño similar en forma de guante, se deja de lado que puede ser no compatible con la mano artrítica debido a las deformaciones que presentan los pacientes o simplemente porque resulta imposible usar los sistemas de rehabilitación debido al dolor articular de los pacientes, a la hora de poner los guantes, o la carencia de asistencia de un tercero para apoyar con la puesta y montaje de estos dispositivos.

Uno de los puntos que vale la pena resaltar es que se encontró un artículo que ya planteaba cambiar el diseño convencional de los dispositivos para rehabilitación de mano, sin embargo, es enfocado para pacientes que sufrieron un derrame cerebral. Este sistema incluye una función para inducir el movimiento voluntario utilizando un estímulo de fuerza que es controlado por un actuador multiglobo [15]. Aunque el enfoque de rehabilitación es diferente, es importante resaltar el hecho de que se basan en un sistema neumático que incluye actuadores en forma de globo.

De esta manera, se establece un panorama en donde si bien los robots blandos neumáticos muestran un gran valor potencial de aplicación en el campo de la rehabilitación manual, estos se estancan en el diseño del dispositivo y complejidad del sistema, resultando en soluciones de muy alto presupuesto o con prototipos incómodos y poco prácticos.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

#### **A. Diseño de actuadores**

Un actuador debe generar una fuerza fuerte y ser seguro para la rehabilitación manual. Para lograr esto, el objetivo principal radicaba en encontrar una opción favorable para el material de los “globos” actuadores, se plantearon varias opciones.

Primeramente, estos debían tener una forma entre cilíndrica, rectangular o alguna parecida con la finalidad de favorecer a la ejecución del movimiento, lo que significaba, por ende, acompañar de mejor manera la flexión y extensión de las articulaciones interfalángicas.

Aunado a esto, debían ser de un material resistente para no comprometer la durabilidad del dispositivo. Por esta razón se propuso la opción de fabricar los actuadores usando una cámara de bicicleta o motocicleta. Para esto se hizo uso de la cámara para llanta de moto del número 18. Esto permitía la oportunidad de cortar segmentos a la medida deseada y posteriormente vulcanizarlos para poder inyectar aire y que no presentara fugas.

No obstante, existieron detalles como la terminación del vulcanizado, ya que este no era preciso y esto distorsionaba la forma de los actuadores.



Además, este material era muy pesado y significaba comprometer el tamaño del circuito y las bombas de aire utilizadas, lo que a su vez hacía del dispositivo más pesado y voluminoso.

De esta manera, se optó por emplear un material que fuera más ligero, pero resistente. Así es como se emplearon dos materiales. El primero, para los actuadores colocados en la palma de la mano, encargados de la flexión de las falanges, para los cuales se emplearon brazaletes neonatales de presión no invasiva. Estos resultaban de un tamaño adecuado para cubrir con totalidad el ancho y largo de la mano. Además, se fabricó otro actuador de mayor tamaño, con el plástico de los flotadores para brazo de dos cámaras para niños, siendo este el segundo material utilizado. Este material resulta económico y sencillo de manipular, ya que, para lograr la forma y tamaño deseada de este último actuador, solo se necesitó recortar a la longitud deseada y, posteriormente, sellar con calor el corte realizado.



Fig. 1. Diseño de las primeras dos propuestas para los actuadores: a) Actuadores de brazaletes neonatales de presión no invasiva; b) Actuadores hechos a base de cámara de motocicleta.

Respecto a los actuadores empleados para la extensión, estos también fueron elaborados con el material de los flotadores, ya que se necesitaban de dos cámaras de mayor longitud para poder ser colocadas en la parte dorsal de la mano y cubrir así la totalidad de las falanges.

Respecto a la elección de los distintos tamaños se hicieron con base en un estudio de las dimensiones antropométricas de las manos, realizados a población latina con la finalidad de obtener medidas aproximadas del

promedio tanto de la palma como de los dedos de la mano en adultos de entre 18-65 años de edad [16]. También, se tomaron las medidas de nuestro paciente de prueba, la cual es una mujer de 64 años de edad con artritis reumatoide que presenta deformidades en múltiples falanges.



Fig. 2. Visualización de la mano derecha de paciente de prueba con AR: a) Vista frontal; b) Vista lateral; c) Vista posterior.

## B. Disposición de actuadores y movimiento articular

Para comenzar, se pensó en un diseño que fuera sencillo de usar para el paciente, además de accesible. De esta manera, se pensó en realizar una especie de “caja” donde el paciente solo introdujera su mano y la rehabilitación comenzara. El primer paso fue analizar las necesidades de nuestro paciente de prueba.

Primeramente, se analizó y delimitó el rango de movimiento articular de la paciente. Para comprender de una mejor manera el desempeño de las articulaciones se le pidió realizar un agarre de fuerza apoyándose de una almohadilla, el cual se comparó con el agarre de una mano sana.

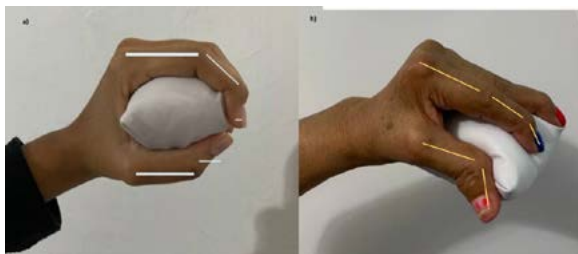


Fig. 3. Comparación del agarre de fuerza de una mano de un sujeto de prueba sano, contra el de la paciente con AR.

Como podemos observar en la Fig 3. el agarre de fuerza sano presenta flexión de las articulaciones interfalángicas, pulgar aducido, ligera desviación cubital y ligera dorsiflexión [17], mientras que en el paciente con AR se presenta una flexión en las articulaciones interfalángicas distales, con una ligera extensión en la articulación interfalángica proximal, además de una extensión en la articulación interfalángica del pulgar. Para corregir esto se demostró que, al hacer una presión en la articulación interfalángica proximal de manera lenta, el movimiento se completa de manera eficaz y sin dolor.

Posteriormente, se identificó cuál era la mejor distribución de los actuadores para lograr el patrón funcional y de esta manera realizar la flexión y extensión de las falanges de manera repetitiva, con la finalidad de promover la recuperación motora y evitar el deterioro articular.

Para lograr la flexión de las falanges y con ellos un agarre global, se colocaron tres actuadores en la parte inferior del dispositivo. Dos de ellos centrados, dejando un espacio al centro de estos por donde sale y se alinea el tercer actuador, formando así una especie de pirámide, para de esta manera proporcionar en la etapa de inflado un mayor soporte y punto de presión correctos a las articulaciones antes mencionadas.

Gracias a esta distribución, es posible ayudar a emular el movimiento de agarre al “ahuecar” la mano y conseguir los arcos longitudinales y transversales característicos de la mano cuando se adapta para la toma de un objeto. Además, en la parte frontal de la mano, a la altura de las yemas de los dedos se colocó otro actuador de mayor tamaño para poder ejercer presión en toda la parte dorsal de la mano y completar el cierre de esta alrededor de los actuadores.



Fig. 4. Visualización del sistema neumático en distintas etapas: a) Estado inicial de los actuadores encargado de la flexión. Mano en posición neutra; b) Actuadores inferiores (de flexión) llenos de aire. La mano logra un realizar el movimiento de agarre de fuerza; c) Actuadores de flexión en reposo. Mano en posición neutra; d) Actuadores de flexión inyectados de aire. Mano extendida debido a la presión de los actuadores.

Finalmente, todo el montaje se hizo en una especie de “caja” de MDF para asegurar que el prototipo fuera ligero, pero resistente.

### C. Diseño del circuito

La finalidad del circuito a implementar era la de alternar la activación de bombas de aire durante un periodo de tiempo determinado para así, “inflar” o “desinflar” los actuadores y poder realizar la extensión y flexión de las falanges.

Primeramente, para decidir qué bombas se incluirían en el circuito fue necesario revisar múltiples fuentes bibliográficas para comprender el rango de presión a los que sería sometido el sistema. Este rango se tomó principalmente de un artículo en el cual se identificaron y resumieron un total de 62 artículos relacionados con el diseño de dispositivos robóticos blandos para la rehabilitación de la mano [12]. Este marco incluye un análisis de las tendencias en cuanto a sistemas de actuación, donde el tipo de dispositivo con mayor presencia era el que utilizaba un actuador neumático para guiar la flexión/extensión del dedo. De esta manera, se delimitó un rango de 34 kPa-100 kPa.

Para cubrir este rango definido, se implementaron bombas de aire de 12 V, dos de inyección y dos de vacío, las cuales trabajan en un rango de presión que va de 50-120 kPa, suficientes para abastecer y expulsar el aire de los actuadores en un tiempo óptimo, de manera segura. Para la alimentación de las bombas y de otros componentes del circuito se usó una fuente conmutada de 12 V a 2 A.

Posteriormente se hizo uso de un módulo de relay de 5 V y un Arduino UNO para controlar la secuencia de activación de las bombas. El relay es alimentado con el Arduino y a su vez, los puertos de relay se conectan a este mismo para controlar los tiempos de inyección y vacío del sistema.

Respecto al funcionamiento del sistema neumático, este siempre mantiene activa una bomba de inyección y otra de vacío. De esta manera, el relay activa, por ejemplo, el contacto 1, donde se efectúa la inyección de los actuadores inferiores, mientras retira el aire de los actuadores superiores, para posteriormente cambiar al siguiente contacto, donde ahora se realiza el vacío de los actuadores inferiores e inyección de los superiores y así sucesivamente. Es importante mencionar que el sistema de mangueras conecta la salida de las bombas de vacío de los actuadores a la entrada de aire de los contrarios, de esta manera, el sistema se retroalimenta con el flujo de aire y se asegura una buena presión en el inflado total de los actuadores.

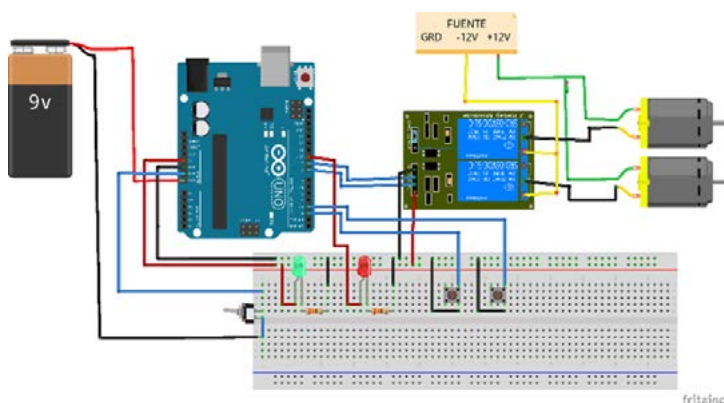


Fig. 5. Circuito implementado.

Además, se aplicó un control de la duración del movimiento mediante la expansión o encogimiento de los actuadores en diferente rango de tiempo,

siempre a una velocidad relativamente baja por seguridad. Esto es controlado gracias a un código que se implementó en el microcontrolador Arduino.

Se establecieron dos modos de intensidad controlados por botones. El primero corresponde a cuatro segundos de inyección para los actuadores inferiores y de vacío para los actuadores superiores, seguidos de otros cuatro segundos de inyección para los actuadores superiores y cuatro de vacío para los inferiores. Este tiempo es el mínimo necesario para inflar los “globos” en su totalidad y ejercer la presión necesaria para emular el movimiento deseado. Sin embargo, es importante mencionar, que con esta modalidad no se sostiene la ejecución del movimiento, simplemente una vez alcanzada la flexión máxima se cambia el accionado para buscar la extensión y viceversa. Este modo está pensado para no incomodar al paciente los días donde no pueda sostener ya sea el movimiento de extensión o flexión durante mucho tiempo.

El segundo modo se pensó para sostener la postura por mayor tiempo. Esta tarda cuatro segundos en alcanzar la flexión máxima y la sostiene por otros seis segundos más. Esto funciona de la misma manera para la extensión.

Tabla I. Resumen del tiempo y secuencia de accionamiento de las bombas.

Modo 1. Intensidad alta	Actuadores superiores		
	Llenado	Ejecución de postura para flexión de las falanges	Vacío
	4 s	6 s	10 s
	Actuadores inferiores		
	Llenado	Ejecución de postura para extensión de las falanges	Vacío
	4 s	6 s	10 s
Modo 2. Intensidad baja	Actuadores superiores		
	Llenado	Ejecución de postura para la flexión de las falanges	Vacío
	4 s	0 s	4 s
	Actuadores inferiores		
	Llenado	Ejecución de postura para la extensión de las falanges	Vacío
	4 s	0 s	4 s

Para establecer los tiempos de activado y apagado de las bombas, así como la alternancia, se hicieron múltiples pruebas en manos de distintos tamaños y peso, jugando con el tiempo más favorable para nuestros dos modos. A pesar de que existen manuales que indican los tiempos favorables, el criterio se basó principalmente en las necesidades del paciente de prueba. Se tuvieron que probar con múltiples variables de tiempo a prueba y error hasta lograr con una secuencia en la que la paciente se sintiera cómoda. Este mismo procedimiento se realizó para definir el número de repeticiones por ciclo, con la diferencia de que en esta ocasión, también se tomó en cuenta múltiples fuentes bibliográficas, en donde es sugerido que el número de repeticiones óptimas para ejercicios de rehabilitación en mano abarca un rango de entre 5-10 repeticiones [18].

Por último, se añadió un switch para encender o apagar el dispositivo y unos indicadores led, uno verde para comprobar la alimentación del circuito y otro rojo de control, el cual parpadea cada que se completa un ciclo de flexión/extensión.

## D. Análisis de la actividad muscular

Para evaluar si el dispositivo promueve la actividad muscular al realizar la flexo-extensión de las falanges, se hizo uso de un sensor electromiográfico conectado a la entrada analógica del Arduino UNO y electrodos de superficie. Se tomaron las señales mioeléctricas del músculo extensor común de los dedos, así como del flexor común profundo de los dedos.

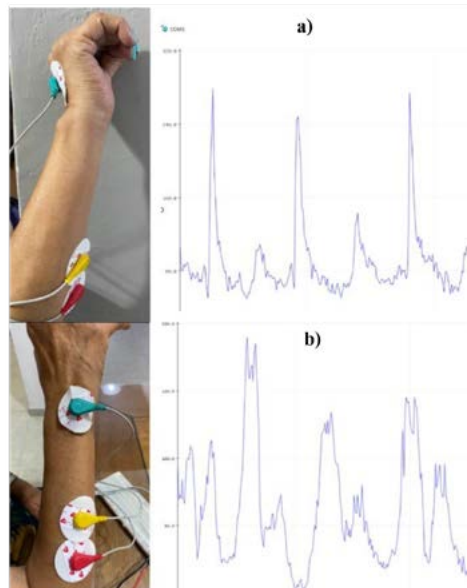


Fig. 6. Colocación de electrodos para el registro de actividad muscular y visualización de calibración de señal: a) Disposición de electrodos de superficie en el flexor común profundo de las falanges y ploteo de la señal cruda de este músculo para calibración del sensor; b) Colocación de electrodos de superficie en el músculo extensor común de los dedos y visualización de la señal proveniente de este.



Primeramente, se colocaron dos electrodos en toda la cara anterior del antebrazo y un electrodo de referencia en la parte dorsal de la mano para medir la flexión, mientras que para la extensión se colocaron dos electrodos en la cara posterior del antebrazo y el electrodo de referencia en el tubérculo dorsal.

Posteriormente, se le pidió al paciente que hiciera movimiento de extensión y flexión de las falanges en intervalos de dos segundos durante diez segundos y se visualizó la señal cruda directamente en Arduino para comprender su comportamiento. Una vez que la señal era estable se realizó un registro. Seguido a esto, se registró la actividad muscular haciendo uso del dispositivo por diez segundos.

Debido a que resultaba incómodo realizar el movimiento de extensión para el paciente de prueba, esto dificultó la toma de muestras por lo que solo se tomó el registro de la actividad muscular flexora. Una vez obtenidas las señales, se recortaron y plotearon en el software Matlab. Además, se normalizaron las señales para poder comparar sus amplitudes y visualizar si existen similitudes o diferencias significativas.

## **Modulo I. Justificación de módulo de instrumentación médica**

Se aplicaron conocimientos en materia de diseño de circuitos electrónicos para poder crear un sistema neumático-eléctrico funcional, desde la elección de componentes adecuados, hasta el cálculo matemático para cuestiones como manejo de Voltaje, amperaje, etc. Además, para controlar el circuito planteado se diseñó un código en Arduino, en el cual se emplean conocimientos prácticos obtenidos en los cursos de programación.

## **Modulo II. Justificación módulo de biomecánica humana**

El proyecto gira en torno a lograr la ejecución correcta de la extensión de las falanges y la flexión de estas a través de la ejecución de un agarre de fuerza. Para lograr esto se analizó la mecánica del movimiento de la mano. Lo anterior engloba el rango de movimiento articular tanto de una mano sana como el del paciente de prueba, con el fin de determinar cuál es la

mejor disposición y tamaño de los actuadores, poniendo así en práctica, en su mayoría, conocimientos de la materia de prótesis y órtesis.

### **Modulo III. Justificación de módulo de electrofisiología**

Para evaluar el desempeño del dispositivo se hizo uso de lo aprendido en el curso de procesamiento y acondicionamiento de bioseñales, para la adquisición de señales provenientes de los músculos flexores y extensores de la mano, haciendo uso del dispositivo o no, para posteriormente comparar los rangos de amplitud de la actividad del músculo. De esta manera, se analiza si el dispositivo promueve la actividad muscular y por ende pudiera rehabilitar a pacientes con AR.

### **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Como prototipo final, se obtuvo *ArthriBox*, un dispositivo de tamaño mediano, ligero y fácil de usar. Como podemos observar este cuenta con una abertura principal donde el paciente solo introduce su mano, para posteriormente encender el sistema y elegir el modo de terapia.

Este concepto resultó cómodo y sencillo de usar para el paciente de prueba, ya que no necesitó de ningún tercero para poder hacer uso del mismo. Asimismo, el prototipo resulta ligero, lo que facilita su traslado por el paciente a cualquier lugar donde se quiera realizar la rehabilitación. Este punto es muy importante, ya que uno de los objetivos principales a cumplir, era que el paciente pudiera realizar la rehabilitación desde casa de una manera activa, lo cual se consigue, permitiendo una opción para que el paciente no interrumpa su actividad muscular asistida debido a factores como traslado, tiempo, presupuesto, entre otros.



Fig. 7. Prototipo final.

Respecto al funcionamiento general, este fue óptimo, ya que se logra realizar la flexo-extensión de las falanges. Los actuadores funcionan como una especie de “almohadilla”, que al encontrarse entre los dedos y la palma de la mano, funcionan como guía para completar el movimiento de manera satisfactoria. No obstante, los grados de flexión conseguidos no son de un rango amplio, lo cual podría significar un problema para los pacientes que presenten una buena ejecución de un agarre de fuerza, ya que no se alcanzarían nuevos grados de movilidad.

A pesar de que el prototipo final solo se utilizó durante una semana completa por el paciente y, por ende, resulta imposible definir si en realidad favorece a la rehabilitación muscular o articular, el paciente notificó no solo una disminución en la rigidez matutina, típica de pacientes con AR, sino que además mejora la ejecución y coordinación de los movimientos.

Además, se observó que el modo preferido por el paciente fue en el que se deja sostenida la postura de agarre y extensión por menor tiempo, ya que esto provoca una menor incomodidad por las mañanas.

También, a pesar de que los ejercicios se realizan de manera lenta y cuidado que no se aplique demasiada presión para no lastimar, la extensión provoca pequeños espasmos de dolor al llegar al punto máximo de esta. Como solución se podría plantear un rango personalizado de flexo-extensión y de esta manera adaptarse al grado de movilidad articular de cada paciente.

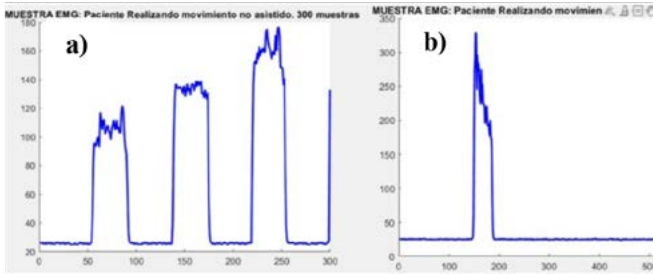


Fig. 8. Actividad muscular flexora; a) actividad muscular del flexor de las falanges proveniente del movimiento voluntario del paciente; b) actividad muscular del flexor cuando el paciente hace uso del dispositivo.

Finalmente, al observar la actividad muscular flexora podemos notar que mientras que para el paciente es posible realizar múltiples flexiones voluntarias de las falanges en un periodo de tiempo corto (10 s), al usar el dispositivo solo se alcanza un pico de activación del músculo común flexor de los dedos. Esta activación resulta más corta en comparación de las realizadas por el paciente, ya que la señal corresponde a la obtenida en el modo de baja intensidad, en donde apenas se alcanza la flexión máxima de las falanges, a los cuatro segundos de inflado de los actuadores, empieza el vacío de los mismos, lo que impide que se sostenga esa postura. No obstante, la amplitud máxima de la señal al hacer uso de la *ArthriBox* es mayor que la proveniente del paciente al realizar el ejercicio por cuenta propia.

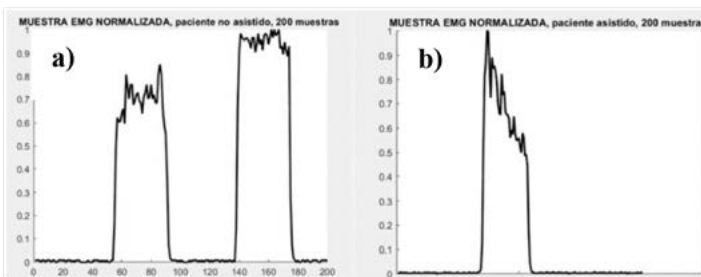


Fig. 9. Señal normalizada. a) Movimiento no asistido. b) Movimiento asistido con *ArthriBox*.

Por último, al visualizar las señales normalizadas, se tomó una muestra de 200 muestras. Se puede observar que tenemos dos picos de activa-

ción muscular en la flexión realizada por el usuario, mientras que solo uno cuando se hace uso del dispositivo. Esto se explica por lo mencionado en el párrafo anterior. Al observar los puntos de amplitud máxima, nos damos cuenta de que los que provienen del usuario se sostienen por más tiempo, mientras que el tipo de estimulación muscular provocada por el dispositivo rehabilitador otorga un periodo muy corto de flexión máxima, para después disminuir notoriamente la amplitud de esta.

Lo anterior, podría indicar que tal vez sea necesario algún otro tipo de estimulación, tal vez mioeléctrica implementada en el prototipo para tener un mejor rendimiento muscular. Esto no signifique el dispositivo no produzca una estimulación muscular, solo que la induce en menor medida.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Actualmente existen múltiples opciones en el mercado para rehabilitar la mano de pacientes que sufren distintos padecimientos, sin embargo, no existe uno focalizado en pacientes con artritis reumatoides.

Aquí se planteó la creación de un dispositivo de fácil implementación y uso para el paciente, dando como resultado la creación un diseño global, que permita al paciente con AR hacer uso de este de forma independiente, incluso si se presentan deformaciones articulares o poco rango de movilidad y llevando una rehabilitación desde la comodidad del hogar.

El dispositivo ayuda a realizar el movimiento de extensión de las falanges, así como el agarre de fuerza gracias a un sistema neumático basado en actuadores de plástico. Este demostró ser una opción eficaz para aliviar la rigidez matutina que muchos de los pacientes con AR presentan, devolviendo así la funcionalidad de la mano al ampliar el rango de movimiento de esta y permitiendo al paciente hacer sus actividades del día a día. Además, se plantea la posibilidad de que al estimular el movimiento articular, no solo se retrase o prevenga el grado de deformidad de las articulaciones, sino que también podría aumentar los rangos de movilidad e incluso desarrollar fuerza muscular.

A pesar de que el dispositivo es funcional aún quedan varios aspectos que se deben de mejorar en prototipos futuros. Primeramente, se propone implementar termoterapia en el dispositivo, ya que hay múltiples estudios

que indican una efectividad positiva de agentes físicos superficiales que aumentan la temperatura de los tejidos corporales en contra del dolor, lo que podría mejorar de gran manera el desempeño del dispositivo [19].

Aunado a esto, otro punto a mejorar es el diseño y distribución y tamaño de los actuadores, ya que al tener distintas dimensiones de palmas y falanges, es muy importante que los actuadores cubran con totalidad los puntos de presión correctos, así como el área de toda la mano. Para solucionar esto se podrían manufacturar distintos rangos de tamaños como chico, mediano y grande. También se tiene que considerar que los actuadores podrían variar un poco su forma ya que algunos pacientes pueden presentar un grado de deformidad más avanzado.

Finalmente, añadir un sensor de presión nos permitiría tener un control más personalizado y por ende un mejor control de movimiento y desempeño motor del paciente, además, sería posible retroalimentar el sistema y aumentar o disminuir la presión según el enfoque del paciente.

Por último, podemos concluir que este proyecto aporta una solución real y eficiente a un problema muy común en nuestra sociedad, no solo a nivel nacional, sino que a nivel mundial. A pesar de que aún quedan muchas mejoras por delante para el prototipo, la primera versión es funcional y de bajo costo, lo que puede ser de gran utilidad para mejorar la calidad de vida de múltiples pacientes.

## Referencias

- [1] C. M. Perles, J. A. Sánchez, B. García-Magallón y C. S. Gómez, “Artritis reumatoide (II)”, *Medicine-Programa de Formación Médica Continua Acreditado*, vol. 11, núm. 30, 1850-1855, 2013.
- [2] J. Q. Franco-Aguirre, A. A. Cardona-Tapias y J. A. Cardona-Arias, “Calidad de vida relacionada con la salud en pacientes con artritis reumatoide de Medellín-Colombia, 2014”, *Revista Colombiana de Reumatología*, vol. 22, núm. 3, 153-161, 2015.
- [3] M. F. V. Solís, *Programa fisioterapéutico para pacientes con artritis reumatoide*, 2018.
- [4] M. H. Cardiel, A. Díaz-Borjón, M. V. del Mercado Espinosa, J. I. Gámez-Nava, L. A. B. Fabris, C. P. Tena, R. E. Morales, et al., “Actualización de la Guía mexicana para el tratamiento farmacológico de la artritis reumatoide del Colegio Mexicano de Reumatología”. *Reumatología Clínica*, vol. 10, núm. 4, 227-240, 2014.
- [5] V. V. García y A. B. Criado, “¿El control precoz de la artritis reumatoide augura un mejor pronóstico a largo plazo?” *Reumatología clínica*, vol. 6, núm. 2, 106-110, 2010.
- [6] G. Mendoza-Vázquez, A. D. Rocha-Muñoz, A. de Jesús Guerra-Soto, M. Ramírez-Villafaña, A. G. González-Sánchez, J. I. Gámez-Nava y A. Nava, “Artritis reumatoide y dislipidemias”. *El residente*, vol. 8, núm. 1, 12-22, 2013.
- [7] E. D. Aguiar Salazar, A. S. Alcivar Carmigniani, B. P. Aldaz Luna, D. F. Clavijo Calderón, P. P. Echeverría Ortíz, G. F. Villalba-Meneses y D. Almeida-Galárraga, *Design of a glove controlled by electromyographic signals for the rehabilitation of patients with rheumatoid arthritis. In Conference on Information and Communication Technologies of Ecuador* (pp. 3-11). Springer, Cham, 2020.
- [8] S. R. Ytterberg, M. L. Mahowald y H. E. Krug, “Exercise for arthritis”, *Bailliere’s clinical rheumatology*, vol. 8, núm. 1, 161-189, 1994.
- [9] C. Mihai, S. Van der Linden, R. De Bie y G. Stucki, “Experts’ beliefs on physiotherapy for patients with ankylosing spondylitis and assessment of their knowledge on published evidence in the field. Results of a questionnaire among international ASAS members”. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, vol. 41, núm. 2, p. 149, 2005.

- 
- [10] H. Santos, S. Brophy y A. Calin, "Exercise in ankylosing spondylitis: how much is optimum?". *The Journal of rheumatology*, vol. 25, núm. 11, 2156-2160. 1998.
- [11] T. P. V. Vlieland, "Rehabilitation of people with rheumatoid arthritis", *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, vol. 17, núm. 5, 847-861, 2003.
- [12] C. Y. Chu y R. M. Patterson, "Soft robotic devices for hand rehabilitation and assistance: a narrative review". *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, vol. 15, núm. 1, 1-14, 2018.
- [13] M. Borghetti, E. Sardini y M. Serpelloni, "Sensorized glove for measuring hand finger flexion for rehabilitation purposes". *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 62, núm. 12, 3308-3314, 2013.
- [14] M. C. H. Chua, L. J. Hoon y R. C. H. Yeow, "Design and evaluation of Rheumatoid Arthritis rehabilitative Device (RARD) for laterally bent fingers". In *2016 6th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)* (pp. 839-843). IEEE, 2016.
- [15] K. I. Koyanagi, T. Murabayashi, T. Oshima, K. Kagechika, T. Tamamoto, K. Sawai, ... y H. Masuta, "Multiballoon actuator for advanced hand rehabilitation after stroke". En *2017 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)* (pp. 930-935). IEEE, 2017.
- [16] O. Binignat, A. Almagià, P. Lizana y E. Olave, "Aspectos biométricos de la mano de individuos chilenos". *International Journal of Morphology*, vol. 30, núm. 2, 599-606, 2012.
- [17] L. A. A. López, "Biomecánica y patrones funcionales de la mano". *Morfología*, vol. 4, núm. 1, 2012.
- [18] The American College of Rheumatology website. (2020) [Online]. Available: <https://www.rheumatology.org/I-Am-A/Patient-Caregiver/Diseases-Conditions/Living-Well-with-Rheumatic-Disease/Ejercicio-y-Artritis#:~:text=La%20mayor%20de%20las%20personas,m%20sin%20aumentar%20el%20dolor>.
- [19] F. P. Ulloa, "Agentes físicos superficiales y dolor. Análisis de su eficacia a la luz de la evidencia científica". *Revista de la sociedad española del dolor*, vol. 16, núm. 3, 182-189, 2009.





# Capítulo 31

---

## **Cardiomonitoreo a partir de parámetros biomecánicos y electrofisiológicos para la detección de anomalías**

*David Alejandro Martínez González*

*Julieta Abigail Corona Soltero*

*Daniel Alexander Pascoe Gonzalez*

*Braniff de la Torre Valdovinos*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*david.martinez2931@alumnos.udg.mx*

*julieta.corona2933@alumnos.udg.mx*

*daniel.pascoe2932@alumnos.udg.mx*

*braniff.delatorre@academicos.udg.mx*

Las enfermedades cardiovasculares son una de las principales causas de muerte en México y en el mundo, por lo que un correcto estudio y monitoreo del corazón es de vital importancia para prevenir, detectar y tratar alguna anomalía. Por ese motivo en este proyecto se busca realizar un análisis a partir de la obtención de señales acústicas y mecánicas provenientes de la actividad cardíaca, llevando a cabo una comparación simultánea de estas con señales eléctricas derivadas del ECG.

## **I. Introducción**

En la primera mitad del año 2021 el INEGI registró a las enfermedades cardíacas como la segunda causa de muerte dentro de las diez principales a nivel nacional con 113 899 defunciones. Esta estadística solo se vio superada por los decesos suscitados a causa del COVID-19 [1].

Comúnmente estas enfermedades se detectan o diagnostican mediante estudios intensivos o prolongados empleando el electrocardiograma como herramienta fundamental para dichos fines. Este método de diagnóstico nos permite obtener señales electrofisiológicas a partir de la colocación de electrodos que permiten obtener los voltajes generados en el tejido miocárdico.

Sin embargo, el electrocardiograma no es la única técnica que nos permite obtener información acerca del estado del corazón. Existen otras técnicas que, mediante sensores distintos, pueden proporcionarnos diferentes perspectivas fisiológicas y mecánicas del estado del órgano.

En este documento se pretende plantear dos alternativas para la evaluación de las condiciones cardíacas: la cardiografía por fuerza y la auscultación cardíaca de manera digital.

La técnica de cardiografía por fuerza resulta como un método no invasivo posterior a la técnica de cardiosismografía que permite obtener mediciones mecanomiográficas como las asociadas al volumen ventricular, además de permitirnos monitorear, simultáneamente a las señales cardíacas.

La auscultación cardíaca es una técnica de exploración de los sonidos que se producen en el corazón. Dicha exploración se hace en la actualidad con la ayuda de dispositivos como el estetoscopio, que permite focalizar y magnificar los sonidos internos del paciente.

La auscultación depende de una buena capacidad de audición, además del conocimiento suficiente que le permita al oyente distinguir los sonidos con respecto al tono y duración de los sonidos cardiacos. Mediante esta técnica se pueden encontrar diferentes hallazgos, los principales son:

- Ruidos cardíacos
- Soplos
- Roces

Cada uno de estos hallazgos se identifican por sus diferentes características como la intensidad del sonido, su localización o su ubicación dentro del ciclo cardiaco [2].

## **II. Trabajos relacionados**

Actualmente se cuentan con múltiples herramientas para realizar un diagnóstico de cualquier tipo, sin embargo, cuando se trata del corazón, regularmente se realiza un chequeo a partir de las condiciones electrofisiológicas, así como la tensión o presión arterial con la que cuenta nuestro sistema, esta información puede obtenerse mediante la obtención regular de un electrocardiograma, así como a partir de un monitor de signos vitales o dispositivo holter, que le permita al médico dar seguimiento prolongado del paciente.

Sin embargo, el estudio de las señales cardiacas de manera simultánea a la obtención de señales respiratorias supone realizar una comparación directa y visual de los parámetros como la frecuencia cardiaca y su representación gráfica, estos se conservan como evidencia únicamente a través de la posibilidad de conservar el registro en el dispositivo medico de medición.

Es entonces que a partir de estos antecedentes que optamos por realizar el monitoreo cardiaco a partir de sensores y técnicas menos convencionales de las cuales nos permita obtener y registrar una medición o señal comparable en el tiempo con las otras señales obtenidas. Sumado a ello, las técnicas y sensores con los que realizamos dichos procesos nos proporcionan también la posibilidad de obtener señales que además de contar con referencia y manejo cardiaco, nos permitan trabajarlas o filtrarlas para obtener de ellas las señales relacionadas al ciclo respiratorio.

### III. Descripción del desarrollo del proyecto modular

Como se mencionó anteriormente, se contó con tres diferentes sensores para el monitoreo de los diferentes parámetros fisiológicos.

#### A. Electrocardiografía

El primer sensor fue para la obtención del electrocardiograma (ECG), que nos serviría como parámetro de referencia, ya que es considerado como el procedimiento gold standard cuando hablamos del estudio de la actividad cardíaca.

Para ello y debido a que era necesario una lectura confiable y de alta repetibilidad, se utilizó el módulo de ECG AD8232 de la familia Analog Devices. Esta tarjeta está diseñada para extraer, amplificar y filtrar pequeños biopotenciales en condiciones de ruido, tales como aquellas creadas por el movimiento o la colocación de los electrodos. Además, tiene un bajo consumo de energía de aproximadamente 170  $\mu\text{A}$  y se puede configurar una ganancia de hasta 100.



Fig. 1. Módulo AD8232 para la adquisición de la señal ECG.

El módulo cuenta con la capacidad de alimentarse con +3.3 V, lo que lo hace una opción ideal debido a que puede ser alimentado con el voltaje de salida que proporciona el microcontrolador ESP32, mismo que utilizamos para integrar todo el sistema y del cual se hablará más adelante.

Si bien el AD8232 cuenta con diferentes filtros que son de gran ayuda, nuestro sistema en general se encuentra alimentado por medio de una

fuelle regulada conectada a corriente alterna AC, además de estar conectado por el bus USB a una laptop, lo cual puede traer ruido externo no deseado, siendo el ruido de la red eléctrica el principal y más presente. Para ello, se diseñó un filtro Notch a 60 Hz, mismo que se caracteriza por rechazar una frecuencia determinada.

Para diseñar el circuito, tomamos los valores RC a partir de la frecuencia de corte  $f_c = 60 \text{ Hz}$ , tomando en cuenta un valor comercial para el capacitor  $C = 100 \text{ nf}$ . Obteniendo el valor para  $R$  de la siguiente manera:

$$R = \frac{1}{2\pi C f_c}$$

$$R = \frac{1}{2\pi * 100 \text{ nF} * 60 \text{ Hz}}$$

$$R = 26.52582 \Omega$$

En la siguiente figura, se muestra el diagrama del circuito del filtro Notch utilizado con los valores de las resistencias y capacitores correspondientes.

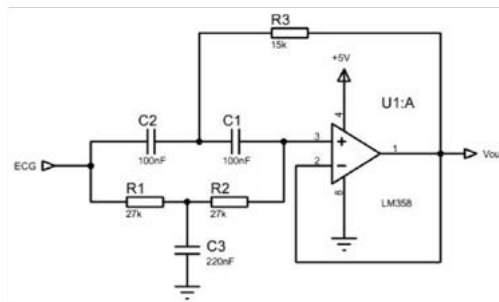


Fig. 2. Circuito filtro Notch para eliminar el ruido de 60 Hz.

Al simular dicho circuito en el programa Proteus 8, se obtiene el siguiente comportamiento en frecuencia, donde podemos observar que comenzamos a obtener una atenuación en la señal aproximadamente a los 30 Hz hasta llegar a los 60, para después volver a permitir las frecuencias arriba de los 70 Hz.

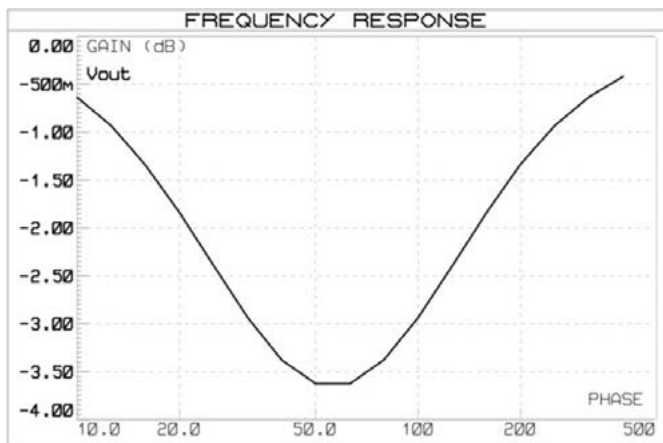


Fig. 3. Respuesta en frecuencia del filtro Notch a 60 Hz.

## B. Sensor de auscultación

El segundo sensor diseñado fue el estetoscopio electrónico para la auscultación cardíaca. Para la elaboración de este se utilizó la campana de un estetoscopio Classic III Littmann 3M, el cual es un instrumento de alta calidad que ofrece una alta sensibilidad acústica, hecho por una campana de acero inoxidable capaz de detectar sonidos y ritmos normales y anormales.



Fig. 4. Campana de estetoscopio Littmann empleada.

Con el objetivo de convertir el sonido a una señal eléctrica, se le adaptó un micrófono tipo electret en el diafragma del estetoscopio, el cual fue conectado a un circuito de acondicionamiento que consta de tres etapas: una etapa de amplificación de alta impedancia, un filtro pasa bajas y un filtro pasa altas, mismas que se describen a continuación.



Fig. 5. Micrófono electret adaptado a campana de estetoscopio.

Es necesario polarizar el micrófono para producir un cambio capacitivo en la tensión entre la membrana y la placa posterior cuando se mueva por la presión de una onda sonora y con ello, poder registrar los cambios de voltaje correspondientes al sonido. Se utilizó una resistencia con valor de  $2.2\text{ K}\Omega$  y un capacitor de  $2.2\text{ }\mu\text{F}$  el cual se utiliza para eliminar la continua del circuito.

## 1. Amplificación de alta impedancia

La primera etapa del circuito consta de un amplificador de alta impedancia construido a partir del amplificador de instrumentación AD623, configurado como inversor. Este integrado, además de ser de bajo consumo, es de bajo ruido, lo cual es de gran ayuda al trabajar con señales de baja amplitud como son los sonidos cardiacos.



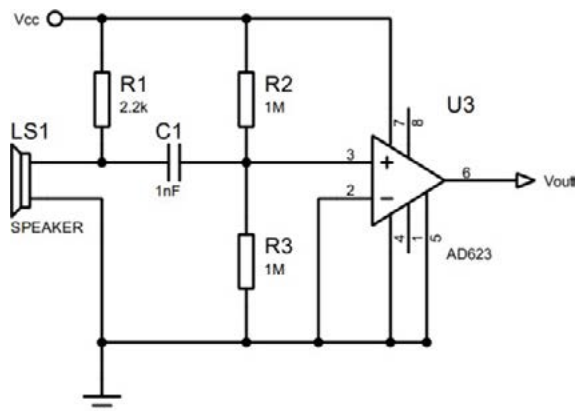


Fig. 6. Diagrama circuito de amplificación de alta impedancia.

En la segunda y tercera etapa se realizó el filtrado de la señal mediante el uso de filtros activos. En este caso, se utilizó el integrado TLV2274 de Texas Instruments, dicho componente cuenta con cuatro amplificadores operacionales con la característica de ser *rail-to-rail*, lo cual permite obtener un voltaje de salida muy cercano a su fuente de alimentación, incrementando su desempeño al ser alimentado por una fuente de alimentación única.

## 2. Filtro pasa bajas

Se diseñó un filtro pasa bajas tipo Butterworth en su configuración Sallen-Key con una frecuencia de corte de 100 Hz.

Con el objetivo de no añadir más amplificadores al circuito que pudieran añadir ruido, se estableció que el filtro fuera de orden 2.

Para el diseño del filtro, comenzamos suponiendo que,

$$R_1 = R_2$$

Una tercera resistencia  $R_F$  de retroalimentación, se utiliza para eliminar la tensión de salida en continua debido al efecto de las corrientes de “bias” a la entrada, misma que la establecemos en:

$$R_F = 10K\Omega$$

Ahora, considerando la frecuencia  $w = 0$ , obtenemos:

$$C_1 = 2 * C_2$$

Por lo que la ecuación de diseño final para el filtro es:

$$f_n = \frac{1}{2 * \pi * R * C_1 * \sqrt{2}}$$

A partir de dicha ecuación, sabiendo que nuestra frecuencia de corte es de 100 Hz y definiendo un valor comercial para el capacitor  $C_1 = 100 \text{ nF}$ , podemos obtener los valores de los demás capacitores y resistencias de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} C_1 &= 100 \text{ nF} \\ C_2 &= 200 \text{ nF} \\ R &= \frac{1}{2 * \pi * f_n * C_1 * \sqrt{2}} \\ R &= \frac{1}{2 * \pi * 100 * 10^{-9} * \sqrt{2}} \end{aligned}$$

$$R = 11,253 \Omega$$

$$R_1 = 11 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 11 \text{ K}\Omega$$

A partir de los valores previamente calculados obtenemos el siguiente diseño para el filtro Butterworth Sallen-Key pasa bajas a 100 Hz.

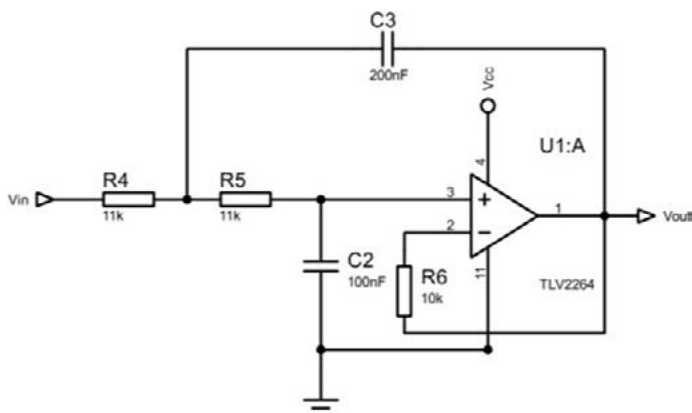


Fig. 7. Diagrama filtro pasa bajas 100 Hz.

### 3. Filtro pasa altas

La siguiente parte de la etapa de filtrado consta de un filtro pasa altas con frecuencia de corte a 10 Hz, debido a que vamos a trabajar con frecuencias mayores a los 20 Hz.

Al igual que en el caso anterior, se diseñó un filtro bajo el esquema Butterworth, ya que no nos interesa introducir una ganancia en el filtro y se utilizará la configuración Sallen-Key modificado de orden 2.

Para realizar el diseño del filtro, partimos por las siguientes suposiciones a partir de valores comerciales:

$$C_1 = C_2 = 100 \text{ nF}$$

$$R_2 = 2 * R_1$$

Y, de igual forma, definimos una resistencia  $R_F$  para eliminar la corriente “bias” a la entrada, estableciendo un valor de:

$$R_F = 200 \text{ K}\Omega$$

Una vez definido lo anterior, obtenemos la ecuación final del filtro para obtener los demás valores:

$$R = \frac{1}{2 * \pi * f_h * C_1 * \sqrt{2}}$$

$$R = \frac{1}{2 * \pi * 10 * 10^{-9} * \sqrt{2}}$$

$$R_1 = 112.54 \text{ K}\Omega \approx 100 \text{ K}\Omega$$

$$R_2 = 225.08 \text{ K}\Omega \approx 200 \text{ K}\Omega$$

Con ello, el diseño final para la última etapa del filtro queda de la siguiente manera:

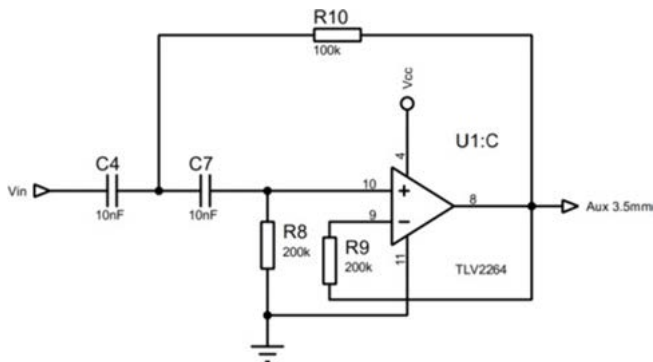


Fig. 8. Diagrama filtro pasa altas 10 Hz.

Por último, para conectar la salida del circuito a la entrada de la laptop y transmitir la señal, se utilizó un conector estéreo de 3.5 mm.



Fig. 9. Sistema de auscultación con salida Jack 3.5 mm y conector para auriculares.

### **C. Sensor de cardiografía de fuerza**

El tercer y último sensor diseñado fue un sensor de cardiografía de fuerza (FCG), que es capaz de registrar las vibraciones cardiacas inducidas en la pared torácica. Con ello, es posible monitorizar la respiración, así como el componente cardíaco correspondiente a la actividad ventricular.

Se seleccionó el sensor de presión FS4-402, el cual tiene un diámetro de 18 mm y puede detectar fuerzas desde 0.1 hasta 10 Newtons.



Fig. 10. Sensor de presión FS4-402 utilizado.

Con el objetivo de leer la señal proveniente del sensor, se diseñó un circuito que actúa como un divisor de voltaje, teniendo al sensor como la resistencia variable y con ello leer los cambios de voltaje.

En el circuito se utilizó el amplificador LM358, se eligió debido a que es un operacional capaz de ser alimentado con una fuente única. Dicho circuito se muestra a continuación.

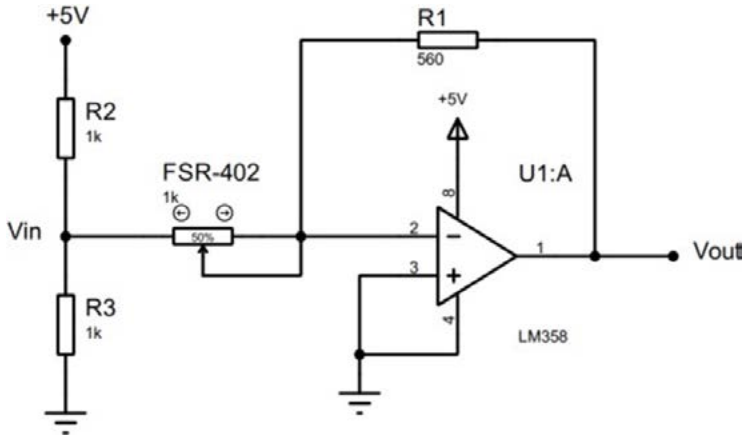


Fig. 11. Circuito divisor de voltaje para el sensor de cardiografía de fuerza.

Con el objetivo de que el sensor percibiera mejor la presión a lo largo de la membrana, se le adaptó un domo formado por resina epóxica de la siguiente manera.



Fig. 12. Sensor de presión con domo de resina epóxica.

El sensor fue colocado alrededor del paciente, a la altura del quinto espacio intercostal. Para ello, se utilizó una correa con un cojín deslizante, en donde se insertó el sensor, buscando que fuera lo más cómodo para el usuario.



Fig. 13. Correa sujetadora para sensor de presión.

## **D. Interfaz de usuario**

Con el fin de ser un programa amigable con el usuario, se decidió hacer una interfaz para un uso más sencillo y que además ayude a que el usuario tenga toda la información de una forma más visual y también pueda mover según sea necesario.

Para ayudar al seguimiento al paciente y tener registro de las citas que ha tenido, la interfaz crea una base de datos del paciente en un dispositivo de almacenamiento o en el mismo equipo. Con esta base de datos, podemos acceder a antiguos registros y saber si las señales que se le tomaron al paciente han cambiado, también os permite ver la información del paciente y poder visualizarla antes de los registros.

Mediante la interfaz, también se hacen algunos procesamientos digitales a las señales obtenidas antes de mostrárselas al usuario.

## **E. Procesamiento de las señales**

Para lograr obtener unas señales más limpias y que tuviera una interpretación de manera ideal se decidió hacer un procesamiento digital. A todas las señales que se tomaron se les aplicó algún tipo de filtrado o de ampliación con el objetivo de eliminar artefactos que dañaran nuestra señal.

1) ECG: Para el ECG se decidió hacerle un filtrado debido a que solo se tomaban tres derivadas y la señal que obteníamos de esta a pesar de que

se pasaba por un filtrado analógico, se continuaba viendo con algún tipo de artefacto.

Se usó un filtraje FIR de un orden 200, con la función FIR1 que nos proporciona Matlab, para posteriormente hacer uso de la función `filtfilt`.

En esta parte del procesamiento también se utilizó la separación de nuestro complejo QRS con el fin de poder calcular el pulso cardíaco que nuestro paciente tiene, la obtención de las ondas se hizo gracias a la función `findpeaks`, ya que de esa manera nos fue un poco más sencillo identificar cuantas ondas teníamos y así seccionarlas.

2) Fuerza cardíaca y expansión torácica: Para la señal de fuerza cardíaca se hizo un filtro Butterworth orden 2, con la función de Matlab `BUTTER`. En este filtraje se buscaba hacer la separación de dos señales que se obtenían mediante el mismo sensor, además de eliminar cualquier tipo de artefacto que no sumara al monitoreo del paciente. Debido a que en la señal que se buscaba se pretendía mantener la mayor información posible se utilizó un filtro de un orden bajo.

En cuanto a la expansión torácica, el mismo proceso de filtrado empleado para la fuerza cardíaca nos permitió separar las dos señales y de esta manera obtener esta señal.

3) Auscultación cardíaca: Para la obtención de esta señal, posterior a los procesos análogos ya expuestos, se empleó la función de Matlab “`recorderaudio`”, posterior a la grabación del sonido se decidió hacer un filtraje digital con el objetivo de eliminar ruidos que interfirieran con la audición pura del corazón, este ruido eliminado corresponde a posibles sonidos externos dentro de un área controlada. Para el filtraje de ruido referido se utilizó un filtro Butterworth de segundo orden, con la función de Matlab `BUTTER` tipo `STOP`.

Posterior a la limpieza de la señal, realizamos un filtrado del sonido para obtener los sonidos identificados como S1, que corresponde al sonido que sigue posterior a la sístole; y S2, que corresponde al sonido de la diástole o el cierre de las válvulas aórtica y pulmonar [2]. Para este proceso de filtrado se implementó un filtro Butterworth de segundo orden de `BANDPASS` según las frecuencias de cada sonido.



Esta separación de los dos sonidos cardíacos se plantea como una herramienta funcional y de mejor acceso para el médico al momento de realizar el diagnóstico.

Todo este procesamiento se hará en nuestra aplicación de registro para después pasar a mostrar los resultados obtenidos al usuario.

### **Modulo I. Justificación de biomecánica**

El sensor de cardiografía por fuerza provee información adicional acerca de la contracción ventricular. Además, los componentes de bajas frecuencias obtenidas por parte del sensor estarían asociados con variaciones en el volumen ventricular [3], [4]

Además, dicho sensor nos permite evaluar el cambio de estado pulmonar mediante la fuerza que se ejerce durante las etapas del ciclo respiratorio, tomando así en cuenta no solo la biomecánica cardíaca, sino también la respiratoria para llevar a cabo un análisis y posible relación con los datos obtenidos de las otras mediciones y que permita valorar patologías cardíacas relacionadas con el sistema cardiorrespiratorio.

### **Modulo II. Justificación de instrumentación médica**

Se implementa el uso de distintos principios para la obtención de señales, como es el uso del electrocardiograma y los principios empleados en el estetoscopio para la auscultación cardíaca, así como la integración de los datos obtenidos mediante una aplicación que permite al usuario visualizar los datos obtenidos y llevar un registro temporal de las mediciones realizadas según el paciente.

### **Modulo III. Justificación de electrofisiología**

Se obtiene la señal electrocardiográfica de la segunda derivación que nos servirá como marco de referencia para el análisis y comparación de las señales no electrofisiológicas que se obtienen simultáneamente. Además, se realiza el procesamiento y acondicionamiento de cada una de las señales obtenidas de manera digital para su visualización y, de manera futura, análisis específico.

## IV. Resultados obtenidos del proyecto

Se realizó el desarrollo de una aplicación para llevar a cabo el seguimiento del paciente mediante el registro de las diferentes citas que tiene en el tiempo y además a obtener los registros de nuestras señales y así poder mostrar al usuario los resultados de cada uno de los registros hechos de una manera instantánea.

En una primera parte de nuestra aplicación podemos dar de alta a nuestro paciente, y de esta manera crear una base de datos dentro de un dispositivo de almacenamiento. Posterior al llenado de los datos de nuestro paciente, procederemos a hacer el registro.



Fig. 14. Registro de la información del usuario para la base de datos.

Una vez completado el registro obtendremos las gráficas en tiempo real de cada una de las señales, cada una de las señales se toma de forma separada, solo la señal de ECG y sensor de fuerza se grafican conforme se van tomando las muestras. En el caso de la auscultación primero se realiza la grabación de audio con la función mencionada anteriormente para después graficarla.

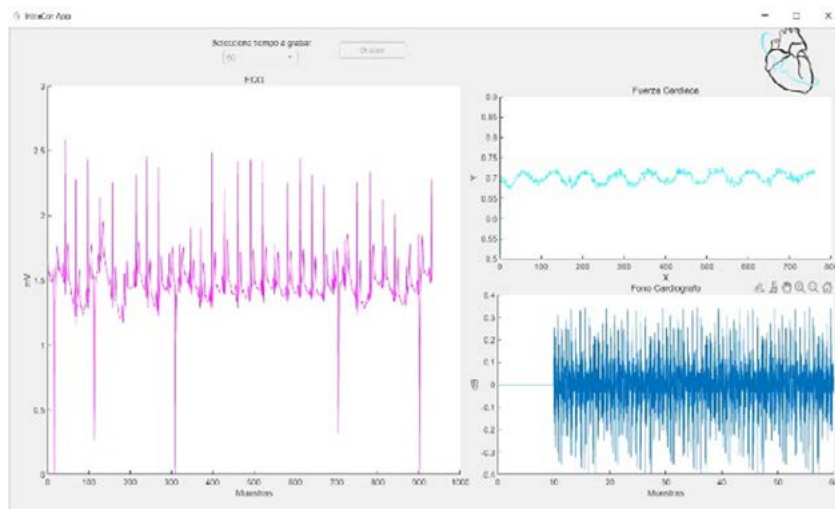


Fig. 15. Registro de las señales fisiológicas y mecánicas del paciente.

La interfaz permitirá la visualización de las señales adquiridas directamente por unos instantes, previo a continuar. Cabe señalar que las señales mostradas hasta este punto no han sido procesadas de forma digital, por lo cual la señal se puede observar con algunos artefactos.

Continuando en la sección siguiente se desplegarán todas nuestras señales después de haber sido procesadas de la forma mencionada anteriormente correspondiente a cada una de las señales.

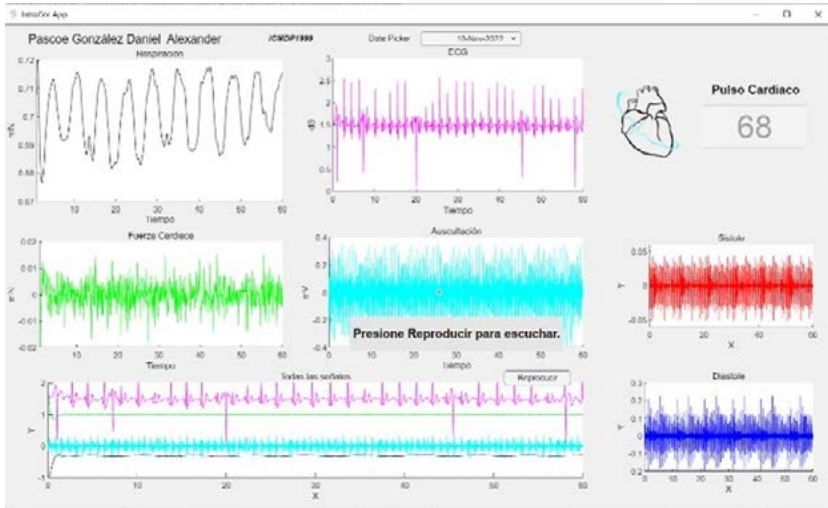


Fig. 16. Registro completo del usuario con señales procesadas.

En la auscultación cardíaca, se hacen los dos filtros que ayudara a poder obtener los diferentes sonidos que tiene el latido cardíaco. En esta sección de la interfaz podemos escuchar el sonido cardíaco, así como también se presenta la visualización de la frecuencia cardíaca.

Toda esta información adquirida se mostrará en nuestra base de datos del paciente, donde nosotros podemos visualizar las fechas en que se tomaron las señales y la duración de cada registro.

The screenshot shows the 'IntraCor App' interface. At the top, there is a search icon and a search bar. Below this, the 'Base de datos paciente.' section contains several input fields for patient information: 'Nombre' (Julietta Abigail), 'Apellidos' (Corona Soltero), 'ID' (IG/O199), 'Edad' (23), 'Siguiete cita' (11-22-2022), and 'Ultima cita' (11-05-2022). A heart icon is visible to the right of these fields. Below the form is a table with two columns: 'Fecha de Registro' and 'Tiempo Grabado'. The table contains several rows of data with dates and times. At the bottom of the screen, there is a 'Siguiete' button.

Fecha de Registro	Tiempo Grabado
11/11/0016	00:00:00
07/14/0017	00:00:00
11/12/0017	00:00:00
11/12/0017	00:00:00
07/14/0016	00:00:00
09/11/0016	00:00:00
12/12/0016	00:00:00
01/11/0017	00:00:00
04/13/0017	00:00:00

Fig. 17. Historial de los registros del paciente.

Nuestra interfaz permite el hacer registro a partir de una base de datos donde permite ingresar varios pacientes, por lo que cuenta con una herramienta de búsqueda del paciente, a partir de diferentes datos, como lo son la fecha de registro, el nombre del paciente o el ID que genera el programa.

The screenshot shows a dialog box titled 'Tipo de búsqueda'. It contains the text 'Seleccione cómo desea hacer la búsqueda del registro de su paciente.' and three buttons: 'Nombre Paciente', 'ID Paciente', and 'Fecha de registro'. Below the dialog box is a stylized illustration of a heart with blue and black outlines.

Fig. 18. Cuadro de texto para la búsqueda de datos del paciente.

Una vez realizada la búsqueda según la elección del usuario, la interfaz desplegará los datos personales como al inicio del registro con la posibilidad de visualizar los registros previos en sus gráficas correspondientes.

## **V. Conclusiones y trabajo para el futuro**

Nuestro sistema de monitoreo cardíaco permite obtener señales de manera digital a partir de técnicas recientes como la cardiografía por fuerza, así como técnicas de mayor uso y antigüedad como son la auscultación cardíaca y la electrocardiografía.

La adquisición, procesamiento y almacenamiento de estas señales se propone como una herramienta para el diagnóstico clínico, buscando que este resulte de una mayor y más concisa información que le permita al personal clínico hacer del registro el mejor uso posible, ya que sus características le permiten examinar y realizar interconsultas una cantidad de veces ilimitada considerando siempre las mismas condiciones de la adquisición de las señales cuando se trata de un único registro, o bien, de la comparación de resultados obtenidos en diferentes temporalidades de un mismo paciente.

Nuestro sistema permite a su vez la adquisición de algunas señales o datos que corresponde al ciclo respiratorio de manera simultánea al cardíaco, lo que de manera futura podría abordarse con mayor precisión para complementar el tipo de monitoreo que se realiza y que este pueda ser implementado en pruebas de diagnóstico como las pruebas de esfuerzo o, en su caso, la implementación del sistema completo como una herramienta de adquisición continua durante periodos extensos para la evaluación del estado de ambos sistemas fisiológicos en su conjunto, información que hoy en día resulta de utilidad y mayor importancia a partir de la pandemia por COVID-19 de la que aun padecemos secuelas y seguimos encontrando casos.

Estas futuras posibles aplicaciones nos inclinan hacia la portabilidad de nuestro sistema de monitoreo, cuestión que nos permitiría obtener mayor beneficio del mismo dispositivo.

## **Reconocimientos**

Agradecemos el apoyo y guía de nuestros maestros, quienes nos brindaron las herramientas y consejo durante nuestros años de estudio, así como a lo largo del proceso de este proyecto, en especial a nuestro asesor, quien fue pilar clave y nos aportó su tiempo, equipo, espacios, consejo y dirección para que este proyecto pudiese llegar a su presentación.

## Referencias

- [1] INEGI, (2022). Estadística de defunciones registradas de enero a junio de 2021 (Preliminar). [Online]. Available: [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/dr/d\\_r2021.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2022/dr/d_r2021.pdf)
- [2] J. I. Gupta, M. J. Shea, (2021). Auscultación Cardíaca. Manual MSD versión para profesionales. [Online]. Available: <https://www.msmanuals.com/es-mx/professional/trastornos-cardiovasculares/abordaje-del-paciente-card%C3%ADaco/auscultaci%C3%B3n-card%C3%ADaca>
- [3] E. Andreozzi. Forcecardiography: A Novel Technique to Measure Heart Mechanical Vibrations onto the Chest Wall. *Sensors*, vol. 20, no. 14, p. 3885, Jan. 2020. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/14/3885>.
- [4] A. Cienfuegos, S. de la Torre Carazo. Volúmenes Pulmonares. [Online]. Available: [https://www.neumomadrid.org/wp-content/uploads/monogxviii\\_3.\\_volumenes\\_pulmonares.pdf](https://www.neumomadrid.org/wp-content/uploads/monogxviii_3._volumenes_pulmonares.pdf)
- [5] J. F. Ramirez Villegas, E. Lam Espinosa. (2009). Análisis de la variabilidad de la frecuencia cardiaca integrando la señal de la frecuencia respiratoria. [Online]. Available: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/6161/T04160.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [6] J. A. Roza Zamora. (2011). Salida de Audio de la Separación del Sonido Cardíaco y Pulmonar en Procedimientos de Auscultación. [Online]. Available: [https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14691/u442\\_416.pdf?sequence=1](https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/14691/u442_416.pdf?sequence=1)
- [7] E. Andreozzi. Respiration Monitoring via Forcecardiography Sensors, *Sensors*, vol. 21, no. 12, p. 3996, Jun. 2021.
- [8] Procuraduría Federal del Consumidor. (2017). No rompas más tu corazón. Salud cardiovascular. [Online]. Available: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/no-rompas-mas-tu-corazon-salud-cardiovascular?state=published> [9] J. E. Lemus, C. García, and M. Urina, “Cuidado Crítico Cardiovascular,” 2003 [Online]. Available: <http://scc.org.co/wp-content/uploads/2012/08/libro-cuidado-critico-2012-1.pdf>.
- [9] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, A stochastic model of TCP Reno congestion avoidance and control. Univ. of Massachusetts, Amherst, MA, CMPSCI Tech. Rep. 99-02, 1999.





# Capítulo 32

---

## **Electroestimulador adaptable con interfaz digital para la mejora del rendimiento muscular en afectaciones del brazo para pacientes en proceso de rehabilitación posoperatoria**

*Luis Angel Guerrero Cuevas  
Samuel Martínez Hernández  
Daniela Itchel Torres Gómez  
Juan Carlos Gutiérrez-García*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI, UDG)

*luis.guerrero5977@alumnos.udg.mx  
samuel.martinez4064@alumnos.udg.mx  
daniela.torres6256@alumnos.udg.mx  
juancarlos.gutierrez@academicos.udg.mx*

La electroestimulación es una técnica utilizada en diversas terapias. Actualmente los equipos en el mercado son poco intuitivos lo que da como resultado diferentes errores para el usuario no experto al momento de utilizarlos. Con el uso de la electrónica analógica y digital, la implementación de una aplicación móvil y una prenda de brazo, se ha desarrollado un dispositivo electroestimulador controlado por celular, llamado DEMS, para la terapia de miembro superior basada en TENS (trascutaneous electric nerve stimulation) con el cual se logra un control del dolor, así como fortalecimiento muscular.

## **I. Introducción**

Los nuevos escenarios en procedimientos de cirugía ortopédica de miembro superior, como lo es la artroscopia de hombro, conllevan a que el paciente necesite rehabilitación posoperatoria [1].

La electroestimulación ha demostrado ser una técnica segura y eficaz en el tratamiento del dolor y el fortalecimiento muscular [2], [9]. Sin embargo, la mala aplicación de esta práctica da como resultado un proceso terapéutico erróneo.

Los equipos de electroestimulación actuales presentan dificultad para ser utilizados por el usuario inexperto, propiciando el cometer errores como: mala localización de electrodos, parámetros incorrectos, etc., derivados de una interfaz poco amigable y de difícil comprensión. Por ello, es necesario que se empleen electroestimuladores pensados principalmente en el paciente, que sean intuitivos y de fácil manejo, corrigiendo así errores comunes, con lo que se apoyaría al buen uso y mejora acelerada del trastorno rehabilitar, así como del resultado final de la cirugía.

## **II. Trabajos relacionados**

Son diversos los modelos de equipos de electroestimulación presentes en el mercado con el fin de controlar el dolor o fortalecimiento muscular. En la Fig. 1 se muestra un electro estimulador digital, modelo DaraBaby Otr0048, además de sus características. El usuario se encarga de posicionar los electrodos, ajustar la intensidad y elegir algún modo de masaje.

Adicionalmente, contiene dos canales con los que se estimula hasta dos músculos diferentes.



Fig. 1. Electro estimulador digital, modelo DaraBaby Otr0048.

Otros complementos que se pueden encontrar en el mercado para la terapia de rehabilitación basada en electroestimulación es el uso de prendas para una correcta localización de los electrodos. En la Fig. 2 se muestra una codera para utilizar junto a un dispositivo TENS con el fin de controlar el dolor de codo de tenista. Compuesto de hilos de plata, el vendaje conduce la corriente eléctrica de manera homogénea, de esta manera, logra la rehabilitación solo de la articulación del codo.



Fig. 2. Codera para electroestimulación TENS para el control del dolor de codo de tenista.

### **III. Descripción del desarrollo del proyecto modular**

Para este proyecto, se desarrolló un dispositivo al que se le denominó DEMS, el cual es un Dispositivo Electroestimulador del Miembro Superior localizado, controlado a través del celular, el cual se compone de tres partes principales: una aplicación en el celular del usuario, la manga con los electrodos y el equipo de electroestimulación.

La manga cuenta con electrodos ya posicionados para apoyar en el tratamiento padecimientos puntuales como: lesiones en el manguito rotador y la epicondilitis lateral, también conocido como codo de tenista. Para lograr atenuar el dolor en las zonas afectadas, se colocaron los electrodos en tres regiones: hombro, brazo y antebrazo, así como enfocar la electroterapia en una de tipos TENS.

Cada zona a tratar cuenta con un par de electrodos que cubren un músculo diferente. En el caso del hombro, se inervan los músculos deltoides anterior y posterior; los electrodos del brazo inervan los músculos bíceps y tríceps; el último par de electrodos cubren los músculos braquiorradial y flexor radial del carpo en el antebrazo.

Cada par de electrodos cuenta con un indicador visual que encenderá de acuerdo con la zona que se esté inervando. El color de cada led varía de acuerdo con este parámetro, donde el color rojo corresponde al hombro, el verde el brazo, y el azul el antebrazo. Estos colores corresponden a los utilizados en la aplicación, lo que ayuda como una guía visual e intuitiva para el usuario.

Por último, el equipo electroestimulador se encuentra protegido por un chasis a medida donde se encuentran: 1) Un botón de paro de emergencia; 2) Un regulador de intensidad, para que el usuario pueda variar este parámetro según su comodidad; 3) Las conexiones para los electrodos. Además, cuenta con etiquetas para indicarle al usuario en dónde se deben conectar cada par de electrodos, así como el mínimo y máximo de la intensidad de la electroestimulación (véase Fig. 10, sección IV).

#### **A. Desarrollo del software**

La aplicación fue diseñada para establecer una conexión entre un teléfono celular y el electroestimulador vía Bluetooth, así como servir como una

guía de usuario para que este cuente con la debida información sobre las contraindicaciones del equipo [3] y de cómo debe usarse. Asimismo, la aplicación posee un menú con diversas rutinas: una de demostración, otra pensada para la lesión del manguito rotador y la última para el codo de tenista (véase Fig. 3).

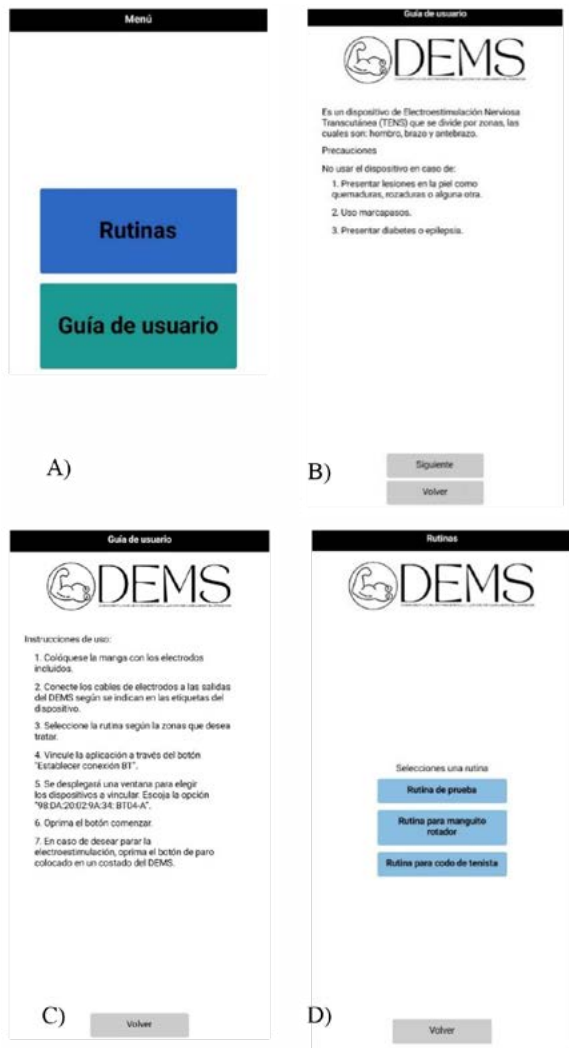


Fig. 3. Interfaz de la aplicación móvil. A) Menú principal. B) Guía de usuario – contraindicaciones. C) Guía de usuario – instrucciones de uso. D) Rutinas.

Una vez que el usuario elige una rutina, se despliega otra pantalla en donde se describe la frecuencia del impulso eléctrico, la duración total y las zonas a inervar. Como último paso, es necesario establecer la conexión Bluetooth e inicializar la rutina de rehabilitación, (véase Fig. 4).

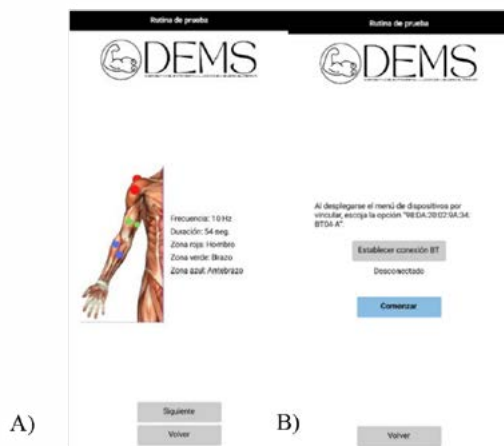


Fig. 4. Interfaz de la aplicación móvil. A) Rutinas- descripción. B) Rutinas- comenzar.

La aplicación fue desarrollada en MIT App Inventor, un entorno de programación que funciona a través de bloques, los cuales son usados para representar de manera gráfica operadores lógicos, (véase Fig. 5).



Fig. 5. Bloques MIT App Inventor.



Además, se utilizó el entorno de programación Arduino para establecer los parámetros de cada rutina, como lo es la frecuencia, la duración total y el par de electrodos que estará activo, es decir, la zona a inervar. Es necesario aclarar que la aplicación solo crea la conexión Bluetooth, por lo que todos los demás parámetros antes mencionados son definidos en Arduino.

## B. Desarrollo del hardware

Como se mencionó anteriormente, el usuario puede controlar en qué momento inicia la rutina a través de la aplicación, por lo que es indispensable que se establezca la conexión Bluetooth, primeramente. Para tal propósito, se utilizó el módulo HC-05, el cual recibe los datos recibidos desde la aplicación, y a través de la comunicación inalámbrica, se encarga de enviarlos a la placa de control presente en el electroestimulador.



Fig. 6. Diagrama de bloques del sistema completo.

Ahí se genera la señal y se determina qué par de electrodos son los que transmitirán el impulso eléctrico al paciente, según lo que el usuario haya seleccionado en la aplicación.

Una vez que la placa de Arduino genera la señal de la electroestimulación tipo TENS, la señal llega a una etapa de potencia, en la cual se amplifica y se regula hasta llegar a un umbral perceptible. En esta etapa también se encuentra el control de intensidad manual regulado por el usuario (véase Fig. 7).

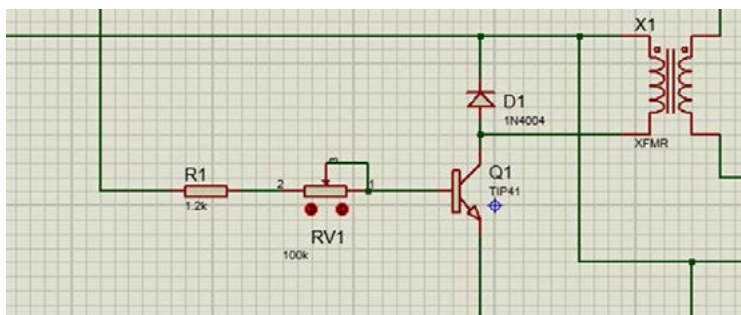


Fig. 7 Etapa de potencia.

Una vez amplificada, se busca que la señal llegue con la forma ideal para la rehabilitación del paciente, por lo que se pasa por una etapa de rectificación, en la cual se eliminaron las variaciones en la forma de señal (véase Fig. 8).

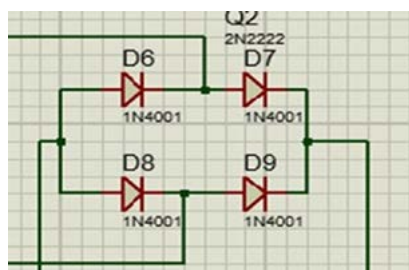


Fig. 8. Puente rectificador.

La señal pasa a una etapa de bifurcación, en la cual, según lo definido por la rutina, permite el paso del pulso de electroestimulación uno de los tres canales, brindando la posibilidad de una electroestimulación multizona (véase Fig. 9).

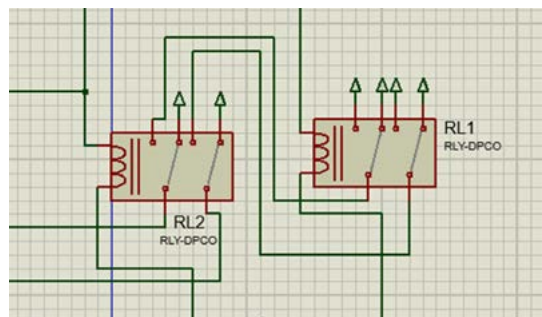


Fig. 9. Bifurcación y salidas.

Como medida de seguridad, y dado que se observó que el electroestimulador continuaba generando los pulsos, incluso si la conexión Bluetooth se perdía, es decir, si dicha conexión fallaba, la rutina seguiría hasta terminar su duración total. Por lo anterior, se optó por implementar un botón físico de paro de emergencia y el regulador de intensidad de manera analógica para asegurar la seguridad del usuario.

### C. Desarrollo de rutinas

Se optó por utilizar únicamente el tipo de electroestimulación TENS debido a su seguridad hacia con el paciente, sus cualidades analgésicas y eficacia en el apoyo para el fortalecimiento muscular [2], [9].

Se desarrollaron dos rutinas específicas: una para lesiones musculares en el manguito rotador y otra para epicondilitis lateral, también conocido como codo de tenista [4], [5], [6], [7], [8]. Las rutinas fueron diseñadas con el apoyo de un profesional, específicamente de un fisioterapeuta, para asegurar la buena implementación de la electroestimulación tipo TENS, tanto en el posicionamiento de los electrodos como en la frecuencia los pulsos.

### Modulo I. Justificación de biomecánica humana

Los impulsos eléctricos generados por un electroestimulador se asimilan a los impulsos eléctricos enviados por el sistema nervioso para la contracción muscular. El paciente, al carecer de una completa movilidad posoperatoria recibirá rehabilitación en aquellos músculos atrofiados donde haya

necesidad de terapia, generando así una mejora o restauración de la fuerza y por ende de la contracción motora, logrando así, un impacto en la biomecánica de la extremidad superior tras sufrir una afectación.

## **Modulo II. Justificación de instrumentación médica**

Un electroestimulador es un dispositivo electrónico capaz de llevar a cabo tareas terapéuticas/rehabilitadoras mediante la emisión de impulsos de alta frecuencia por medio de electrodos cutáneos superficiales, con el objetivo de producir contracciones musculares, controlar el dolor (crónico, agudo y posoperatorio), promover la cicatrización celular y fortalecer/reeducar los complejos musculares.

## **Modulo III. Justificación de electrofisiología**

Los miocitos son células excitables a través de potenciales de acción, los cuales son impulsos eléctricos capaces de generar contracciones musculares. Sin embargo, también es posible evocar la contracción muscular a través de estímulos eléctricos externos, que es la base conceptual que se usa en los electroestimuladores, es decir, son un tipo de equipo médico capaz de emular una función electrofisiológica del cuerpo.

## **IV. Resultados obtenidos del proyecto**

Un dispositivo electroestimulador basado en TENS, de seis canales permutables con el que se logra un mayor alcance de grupos musculares estimulados. Control de intensidad en todo momento y un botón de paro (véase Fig. 10).



Fig. 10. DEMS. Control de intensidad (cuadro rojo). Paro de emergencia (cuadro amarillo). Recuadro azul: puertos de conexión.

El dispositivo manda las señales con las frecuencias y tiempo correcto para cada una de las rutinas de rehabilitación diseñadas.

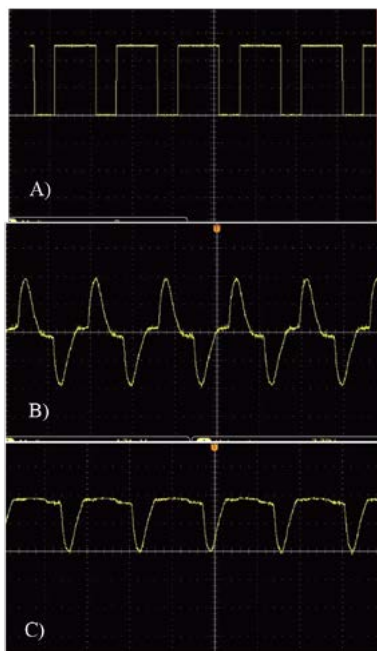


Fig. 11. Comportamiento de la señal. A) Tren de pulsos, generado por el electroestimulador. B) Señal tras etapa de potencia. C) Señal rectificada en la salida hacia los electrodos.

Una prenda ajustable que cubre el miembro superior a rehabilitar. Internamente, posee los cables conectores y electrodos posicionados en seis músculos diferentes. Externamente, incluye leds indicadores con los que se visualiza la zona estimulada (véase Fig. 12).



Fig. 12. Manga con electrodos. Indicador, rojo en la sección del hombro, el verde en la sección del brazo y el azul en el antebrazo.

Se desarrolló una aplicación móvil a forma de interfaz intuitiva para el uso en conjunto del dispositivo electro estimulador con la que el usuario puede elegir entre distintas rutinas preestablecidas para el control del dolor de afectaciones del miembro superior, como lo son lesiones del manguito rotador o codo de tenista. De igual forma, en la misma encuentra una guía de usuario con instrucciones de uso, así como contraindicaciones (véase Fig. 13).



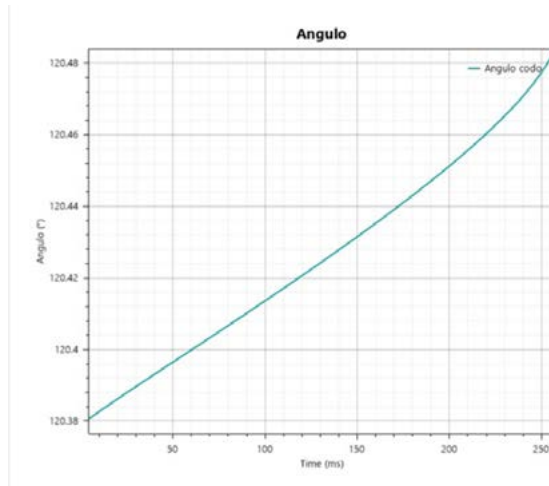
Fig. 13. Aplicación móvil. Sección rutinas.

Se probó el dispositivo desarrollado con la rutina para el codo de tenista en un paciente con esta patología con las siguientes características: mujer de 64 años, estatura de 1.56 metros y sin ningún tipo de enfermedad crónico-degenerativo ni afecciones en la piel, consiguiendo resultados satisfactorios tras terminar la rutina.

En la Fig. 14 se muestra un antes y después de la rutina. Se muestra aumento en su rango de movimiento angular de  $23.12^\circ$  en su punto máximo después de terminar la rutina específica para el codo de tenista.



A)



B)

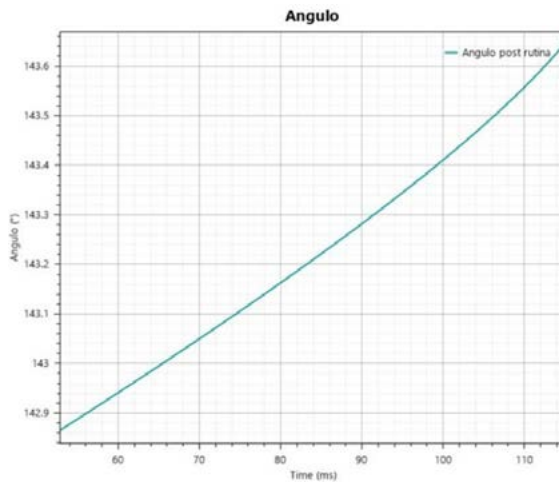


Fig. 14. Gráficas del rango de movimiento angular del paciente. A) Antes de someterse a la rutina para el codo de tenista. B) Después de someterse a la rutina para el codo de tenista.

## V. Conclusiones y trabajo para el futuro

En el desarrollo de este proyecto se implementaron e integraron los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de Ingeniería Biomédica, a través de los módulos de biomecánica humana, electrofisiología e instrumentación médica. Basándonos en la amplia búsqueda sobre información útil referente a los efectos positivos a nivel fisiológico de la electroestimulación nerviosa transcutánea en pacientes pre y posoperatorio de miembro superior, se llegó a la conclusión de que, si bien existen electroestimulaciones que no tienen suficientes bases científicas que las respalden, el TENS es uno de las pocas técnicas rehabilitadoras que han demostrado mejoría en diferentes tipos de lesiones (en este caso de miembro superior).

El dispositivo implementado con este trabajo cumplió con el objetivo principal del proyecto: desarrollar un equipo accesible e intuitivo que permita que el paciente, siguiendo las indicaciones de manera adecuada, pueda por sí mismo tener rehabilitación en casa, dando como resultado un trabajo multifuncional de paciente-médico-fisioterapeuta, lo que significa dar mejoría a la lesión o patología de forma más pronta posible, inclusive evitando en algunos casos el tratamiento invasivo.

Teniendo como objetivo la constante mejora en el prototipo de proyecto, se planea en un futuro la creación de diferentes tallas de la manga de electrodos, con el propósito de abarcar un mayor abanico poblacional y disminuir el rango de error del posicionamiento de electrodos. Además, la implementación de un repositorio de rutinas con el fin de abarcar un mayor número de lesiones y afecciones en el miembro superior.

### Reconocimientos

Agradecemos la importante participación de Helen Jacqueline Carreón Aguilar, quien, gracias a sus conocimientos como profesional en fisioterapia, nos apoyó en el desarrollo de rutinas específicas para las lesiones mencionadas en el presente artículo.

## Referencias

- [1] P. C. M. de Soto, A. G. Cáceres, I. D. R. Aznar, M. M. Moreno y J. D. Heredia, "Manejo perioperatorio del dolor en cirugía artroscópica de hombro". *Rev Esp Artrosc Cir Articul*, vol. 29, núm. 2, 89-100, 2022.
- [2] C. Campos-Jara, C. Martínez-Salazar, V. Carrasco-Alarcón, R. Arcay-Montoya, R. Ramírez-Campillo, M. Mariscal-Arcas, ... y M. E. da Silva-Grigoletto, (2016). "Efecto de 8 semanas de corriente TENS modificada y la corriente rusa, sobre la fuerza muscular y la composición corporal". *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, vol. 9, núm. 1, 3-6, 2016.
- [3] A. M. D. López, "Técnicas electroterápicas con corrientes de baja, media y alta frecuencia. tipos. sistemas de aplicación. indicaciones y contraindicaciones".
- [4] J. M. Rodríguez, "Dosificación en electroterapia". *Fisioterapia*, 23 (monográfico 2), pp. 2-11, 2011.
- [5] A. Morral, "Electrodiagnóstico y electroestimulación de músculos denervados". *Fisioterapia*, 23 (monográfico 2), pp. 23-35, 2001.
- [6] L. S. Chesterton, N. E. Foster, C. C. Wright, G. D. Baxter y P. Barlas, "Effects of TENS frequency, intensity and stimulation site parameter manipulation on pressure pain thresholds in healthy human subjects". *Pain*, vol. 106, 73-80, 2003.
- [7] J. Martinek, M. Reichel, F. Rattay y W. Mayr, "Analysis of calculated electrical activation of denervated muscle fibers in the human thigh". *Artif Organs*, vol. 29, p. 444-7, 2005
- [8] F. Schmid, *Aplicación de Corrientes Estimulantes*. Jims: Barcelona, 1987.
- [9] P. Fenollosa, H. Salazar, M. A. Canós y J. Pallarés, "Eficacia del TENS a largo plazo en el dolor crónico no maligno". *Rev. Soc. Esp. Dolor*, 6, 351-356, 1999.s



# Capítulo 33

---

## **Simulador de realidad virtual de máquinas de reacción en cadena**

*Diego García Orozco*

*Ramses Alejandro Chavez Lopez*

*Jairo Alejandro Navarro Serrano*

*Jose Luis David Bonilla Carranza*

Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, (CUCEI,  
UDG)

*[diego.garcia6534@alumnos.udg.mx](mailto:diego.garcia6534@alumnos.udg.mx)*

*[ramses.chavez6225@alumnos.udg.mx](mailto:ramses.chavez6225@alumnos.udg.mx)*

*[jairo.navarro@alumnos.udg.mx](mailto:jairo.navarro@alumnos.udg.mx)*

*[jose.bcarranza@academicos.udg.mx](mailto:jose.bcarranza@academicos.udg.mx)*

## Resumen

En este artículo presentamos el desarrollo de un proyecto en realidad virtual cuyo objetivo es proporcionar un entorno didáctico y entendible para personas que son nuevas en el uso de estas tecnologías. Mediante la implementación de escenas interactivas se buscó un diseño que permitiera la enseñanza, ya sea de forma autodidacta o guiada, del uso de la realidad virtual. Durante el proceso de desarrollo se encontraron varios problemas, entre ellos la compatibilidad de elementos que permiten la funcionalidad coherente entre las distintas partes que conforman el proyecto. A pesar de haberse logrado la construcción de escenas, controles, gestión de datos del proyecto y la integración de una inteligencia artificial, se concluye que la tecnología de realidad virtual es aún inmadura y que requiere de mejores ajustes para alcanzar un mayor potencial y alcance.

## I. Introducción

En este artículo, se abordará el desarrollo de un proyecto de realidad virtual con el propósito de demostrar la aplicación de estas herramientas para uso didáctico. El proyecto modular surgió de la curiosidad por explorar el entorno de realidad virtual (Virtual Reality, VR, por sus siglas en inglés) y utilizarlo como medio para replicar acciones del mundo real en un entorno virtual. Para lograr esto, se utilizaron las principales herramientas de desarrollo en el campo, como Unity, Visual Studio Code y un LAMP stack en Docker, junto con el lenguaje de programación C#.

El objetivo principal de este proyecto es mostrar que es posible recrear acciones del mundo real en un entorno virtual y está dirigido a todas aquellas personas interesadas en experimentar el mundo de la realidad virtual. Además, busca ilustrar, a través de ejemplos concretos, la complejidad y los desafíos que implica el desarrollo de un proyecto de este tipo.

Resolver este tipo de proyectos proporciona un conocimiento único en el campo de la realidad virtual, el cual puede ser de utilidad para cualquier persona interesada en acercarse al desarrollo de este tipo de proyectos. Además de los aspectos técnicos, también se abordarán temas como el

costo y el esfuerzo requeridos para llevar a cabo este tipo de proyectos, brindando información clave para aquellos que deseen emprender iniciativas similares.

En resumen, este artículo ofrece una visión detallada sobre el desarrollo de un proyecto de realidad virtual con fines educativos, utilizando herramientas de vanguardia y destacando los desafíos y beneficios asociados. Se espera que el contenido sea una guía valiosa para aquellos interesados en adentrarse en el mundo de la realidad virtual y deseen comprender mejor los aspectos técnicos, las implicaciones y el proceso de desarrollo de proyectos en este campo.

## **II. Trabajos relacionados**

El desarrollo en Unity es el método más común para la programación de proyectos enfocados en videojuegos. Unity es un motor gráfico multiplataforma 2D y 3D, que transforma día a día la industria del videojuego, pertenece a Unity Technologies y sirve para la creación de videojuegos.

Dentro de este se pueden desarrollar juegos para varios dispositivos sin cambiar de plataforma. Aunque cabe mencionar que también se usa para agregar experiencias con realidad virtual, en el cine, la animación, y sus funciones favorecen sectores como el sector salud, automotriz, el de la construcción, entre otros [1] [2].

Muchos juegos populares tienen como base un desarrollo en entorno Unity; sin embargo, el desarrollo en VR es una nueva apuesta, pues este tipo de proyectos son relativamente recientes, lo cual lleva a propuestas que pueden llegar a ser volátiles y pueden presentar un riesgo en cuestiones de tiempo y esfuerzo si se enfoca a un modelo práctico [3].

Este proyecto se desarrolló sobre la plataforma de Oculus Quest, que son unas gafas de realidad virtual que ofrecen la tecnología necesaria para ejecutar software que se encuentre en entorno de realidad virtual. El manejo de datos es un área común de la programación, necesaria para dar seguimiento a datos o guardar información, así como dar acceso a la misma de forma segura, para este proyecto se optó la última, haciendo una validación de un usuario registrado a una base de datos. Para el manejo de

datos se usó un encriptado con SHA-256, que es un algoritmo de hash seguro de 256 bits<sup>2</sup> se utiliza para

la seguridad criptográfica. Los algoritmos de hash criptográfico generan hashes irreversibles y únicos. Cuanto mayor sea la cantidad de hashes posibles, menor será la probabilidad de que dos valores creen el mismo hash [12].

Por otro lado, las inteligencias artificiales tienen diferentes ámbitos de uso, desde el análisis de datos e incluso cubrir puestos de trabajo como un call-center. En la búsqueda de una inteligencia artificial que se acoplara a la particularidad del proyecto propuesto, se encontró que IBM Watson era compatible con Unity [23] [24]. Watson es una plataforma de inteligencia artificial que permite incorporar herramientas de IA a un entorno de software, sin importar donde estén alojados, logrando a través de diversas herramientas usar estos datos para mejorar la experiencia de usuario, optimizar procesos y diseñar flujos de trabajo. Mediante la revisión de varios proyectos, como por ejemplo un juego de realidad virtual desarrollado por la empresa Ubisoft *Star Trek: Bridge Crew* se determinó que sí se podía integrar en nuestro proyecto. [24]

Para el control de versiones del proyecto se usó GitHub, que es un portal creado para alojar el código de las aplicaciones de cualquier desarrollador, y que fue comprado por Microsoft en junio del 2018. La plataforma está creada para que los desarrolladores suban el código de sus aplicaciones y herramientas, y que como usuario no solo puedas descargar la aplicación, sino también entrar a su perfil para leer sobre ella o colaborar con su desarrollo.

Para el desarrollo del proyecto se tomaron de inspiración tres softwares de realidad virtual ya existentes:

- *Gadgeteer*, figura 1a, es un juego de rompecabezas de física en realidad virtual desarrollado por el estudio Metanaut, en el que se construyen máquinas de reacción en cadena para resolver y armar rompecabezas con partes móviles y fijas. Se inspira de las llamadas máquinas de Rube Goldberg, las cuales son aparatos principalmente mecánicos cuyo propósito es completar una tarea a través de una pista, cuyo circuito una vez completado termina una tarea (no es



relevante para este tipo de máquinas si la tarea es importante o no). [4]

- *Sports Scramble VR*, figura 1b, es un videojuego desarrollado por el estudio Armature que consiste en integrar una mezcla de deportes que hacen los partidos de tenis, béisbol y bolos con interacción en realidad virtual. [5]
- *Star Trek: Bridge Crew*, figura 1c, es un videojuego de realidad virtual desarrollado por Ubisoft ambientado dentro del universo de Star Trek, el cual consiste en dirigir a la tripulación de la nave Enterprise a través de diferentes misiones. Lo destacable de este software es la integración real de una inteligencia artificial asistida por IBM Watson. [6]



(a) Imagen de presentación del juego Gadgeteer.



(b) Imagen de presentación del juego Sports Scramble VR.



(c) Imagen de presentación del juego *Star Trek: Bridge Crew*

**Figura 1:** Ejemplos de tres videojuegos desarrollados en realidad virtual: *Gadgeteer* ilustra las mecánicas de los objetos en realidad virtual, *Sports Scramble VR* es ejemplo en el movimiento de controles y coordinación con el jugador y *Star Trek: Bridge Crew* es ejemplo en el uso de inteligencia artificial dentro de las dinámicas de un juego.

### III. Desarrollo del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto se requirió del siguiente equipo:

- Oculus Quest, figura 2:
  - Versión de Sistema 49845030259200400
  - Versión de Release 50.0.0.195.257.454885341
  - Almacenamiento 128 GB [7]
- Laptop Asus TUF FX506H
  - CPU Intel Core i5-11400H 2.70 GHz
  - 32 GB RAM, 1 TB SSD M.2.
  - GPU Nvidia GeForce RTX 3050Ti 4 GB
- Computadora ensamblada
  - CPU Intel Core i7-10700 2.90 GHz
  - 16 GB RAM, 500 GB SSD M.2.
  - GPU Nvidia GeForce RTX 3060Ti 8 GB

Y el siguiente software:

- Windows 10 Home Edition, Version 22H2, OS Build 19045.2913
- Unity 2019.4.26f1
  - Unity-sdk-core-1.2.3
- Docker versión 4.12.0
  - Xampp versión 8.2.4 sobre imagen con Debian 10
- IBM Watson Assistants 92
- Visual Studio Code version 1.78
- Blender 3.4

El proyecto modular parte de una escena básica en Unity para empezar a desarrollar, figura 4, se tuvo que investigar cómo crear los controles y que fueran compatibles con el VR. Unity proporciona nativamente algunos, pero solo eran disponibles con la versión de Unity 2021.3.9 [8]; debido a que IBM Watson solo se podía usar en la versión de Unity 2019.4.26 y de esta versión a previas, debido a que IBM dejó de dar soporte a versiones

posteriores; en la versión que se trabajó se tuvo que diseñar los controles desde cero que no fue una tarea sencilla, se diseñó manos en Blender y mediante programación en lenguaje C#, se logró tener unos controles funcionales, a partir de esta se fueron añadiendo las principales necesidades de un juego, siendo estas el movimiento libre sobre el mapa y controles de interacción usando para esto Visual Studio Code. [17]



Figura 2: Set de Oculus Quest, el visor de realidad virtual al centro y los controles a los extremos.

En el control de versiones se utilizó la herramienta GitHub, esta fue conectada por medio de la terminal incorporada en Visual Studio Code, permitiendo tener el proyecto en un repositorio y actualizar el mismo con los cambios que efectuaban durante el desarrollo del proyecto; también fue gracias a esta herramienta que una vez actualizada la versión de Unity y darnos cuenta de que esto causaba conflictos se pudo restaurar el proyecto a una versión anterior por medio del Git SHA de un commit, algo parecido a moverse a un branch de desarrollo diferente, permitiendo nuevamente la estabilidad entre los diferentes módulos realizados.

Al momento de integrar la interfaz de realidad virtual se encontró el primer problema, el cual era conseguir una computadora con los requerimientos necesarios para ejecutar el proyecto; los proyectos en VR necesitan de especificaciones que se encuentran en computadoras de altas prestaciones o denominación *gamer* [10]. Una vez solucionado este primer problema, se desarrollan objetos en Blender para generar assets virtuales con los cuales interactuar, figura 3, y se codifican las físicas del juego; así cubriendo las necesidades básicas del módulo.



**Figura 3:** Ejemplo de creación de un asset usando Blender.

Para el módulo II se optó por usar una nueva escena dentro del juego con Unity con una interfaz de login y registro de usuarios básica que registra el nombre del usuario y la contraseña, también se asigna un ID para cada usuario que se registra la contraseña está encriptada mediante SHA-256.

Nuevamente usando Visual Studio Code se codificó un back-end, este para conectarlo a una base de datos remota alojada en un contenedor Docker; a partir de este punto se tuvieron algunas dificultades para poder hacer la conexión con la base de datos, pero mediante a varias revisiones se logra hacer la conexión con éxito.

El módulo III se intentaron diferentes modos para implementar la inteligencia artificial, primero se planteó utilizar MLAgents, que es un framework de IA integrado al entorno de desarrollo de Unity, pero tras diferentes pruebas y errores, no se logró integrar este framework al trabajo con realidad virtual.

La integración con IA se logró por medio de IBM Watson, el cual consiste una conexión por medio de API y árboles de decisión alojada en una base de datos de IBM, la funcionalidad base del chatbot es detectar palabras clave que permite responder al usuario por medio de voz a través de Text-to-Speech.

### III-A. Módulo I Gestión de la tecnología de información

Se utilizaron tres escenarios con sus respectivos scripts en lenguaje de programación C#, fue a partir de aquí donde se generó código específico para manipular las físicas del juego, objetos y controles, además de las interfaces visuales en forma de manos humanas para estos mismos.



**Figura 4:** Vista inicial del programa en VR, tal y como se vería dentro de Unity.

Manejo de controles de movimiento: Los scripts de manejo de controles se programaron desde los elementos más básicos del framework de trabajo de Unity debido a que para la versión utilizada no hay presentes elementos predefinidos para los controles. Si bien fue un proceso ligeramente laborioso, se obtuvo un resultado satisfactorio, teniendo control de los objetos de manera intuitiva tanto con la toma de objetos de forma remota (control láser o raycast) y la forma manual (similar a la vida real). Este código es un script de movimiento continuo en Unity para aplicaciones de realidad virtual que permite al jugador moverse en el entorno virtual utilizando un controlador de movimiento de mano, como los controladores de Oculus Touch. Las variables de dicho código se listan a continuación [18]:

- Variables públicas:
  - speed: La velocidad de movimiento del jugador.
  - inputSource: El controlador de mano que se utilizará para el movimiento.
  - gravity: La fuerza de gravedad aplicada al jugador.

- `groundLayer`: La capa en la que se considerará que el jugador está en el suelo.
- `additionalHeight`: Altura adicional del jugador para ajustar la posición de la cápsula de colisión.
- Variables privadas:
  - `fallingSpeed`: La velocidad de caída del jugador.
  - `rig`: El componente `XRRig` que representa el cuerpo del jugador en el mundo virtual.
  - `inputAxis`: El vector de entrada del controlador de mano, que se utiliza para determinar la dirección de movimiento.

Estas variables son invocadas en la función `ContinuousMovement` como se ilustra en el siguiente código:

```
public class ContinuousMovement:MonoBehaviour
{
    public float speed = 1;
    public XRNode inputSource; public float
    gravity = -9.81f; public LayerMask
    groundLayer;
    public float additionalHeight = 0.2f;
    private float fallingSpeed;
    private XRRig rig;
    private Vector2 inputAxis;
    private CharacterController character;
    // Start is called before the firstframe update
}
```

La función `Start` obtiene los componentes `CharacterController` y `XRRig` para el objeto al que se adjunta el script:

```
void Start()
{
    character =GetComponent<CharacterController>();
    rig = GetComponent<XRRig>();
}
```

La función `Update` obtiene el dispositivo de entrada (controlador de mano) especificado por `inputSource`. Intenta obtener el valor del eje 2D primario del dispositivo, que se utiliza para el movimiento:

```
void Update ()
{
    InputDevice
device=InputDevices.GetDeviceAtXRNode (inputSource) ;
    device.TryGetFeatureValue (CommonUsages.primary2DAxi
s, out inputAxis);
}
```

La función `FixedUpdate` llama a otra función llamada `CapsuleFollowHeadset` para ajustar la altura y posición de la cápsula de colisión según la posición de la cabeza del jugador en el mundo virtual. Calcula la dirección de movimiento en función de la orientación de la cabeza y el vector de entrada del controlador de mano. Mueve al personaje utilizando el componente `CharacterController`, multiplicando la dirección por la velocidad y el tiempo transcurrido desde el último fotograma fijo. Aplica la gravedad al personaje, ajustando su velocidad de caída. Si el personaje está en el suelo, la velocidad de caída se restablece a cero. Mueve al personaje hacia arriba según la velocidad de caída y el tiempo transcurrido desde el último fotograma fijo.

```
private void FixedUpdate ()
{
    CapsuleFollowHeadset (); Quaternion
headYaw =
Quaternion.Euler (0, rig.cameraGameObject.tr
ansform.eulerAngles.y, 0);
    Vector3 direction = headYaw * new
Vector3 (inputAxis.x, 0, inputAxis.y);
character.Move (direction * Time.fixedDeltaTime *
speed);
    //gravity
    bool isGrounded = CheckIfGrounded ();
    if (isGrounded) {fallingSpeed = 0;
    }
    else {
        fallingSpeed += gravity * Time.fixedDeltaTime;
    }
}
```

```

        character.Move(Vector3.up * fallingSpeed *
Time.fixedDeltaTime);
    }

```

La función `CapsuleFollowHeadset` ajusta la altura de la cápsula de colisión `character.height` para que coincida con la altura de la cabeza del jugador en el mundo virtual. Calcula el centro de la cápsula de colisión, `character.center`, en función de la posición de la cabeza del jugador en el espacio de la cápsula de colisión.

```

void CapsuleFollowHeadset()
{
    character.height = rig.cameraInRigSpaceHeight +
additionalHeight; Vector3 capsuleCenter =
transform.Inverse
TransformPoint(rig.cameraGameObject.transform.posit
ion); character.center = new
    Vector3(capsuleCenter.x,character.height/2 +
character.skinWidth,capsuleCenter.z);
}

```

La función `CheckIfGrounded` realiza un raycast, que es una traza en el espacio para indicar o apuntar algún objeto y tener interacción remota con este, figura 5, hacia abajo desde el centro de la cápsula de colisión para comprobar si el personaje está en el suelo. Devuelve `true` si el raycast golpea un objeto en la capa especificada por `groundLayer`, indicando que el personaje está en el suelo.

```

bool CheckIfGrounded(){
    //tells us if ground Vector3
rayStart = transform.TransformPoint
(character.center);
    float rayLength = character.center.y + 0.01f;
    bool hasHit = Physics.SphereCast(rayStart,
character.radius,Vector3.down, out RaycastHit
hitInfo, rayLength, groundLayer);
    return hasHit;
}

```

En resumen, este conjunto de scripts permite al jugador moverse en el entorno virtual mediante un controlador de mano, con una cápsula de colisión que se ajusta a la altura de



la cabeza del jugador. También aplica la gravedad para que el personaje pueda caer y saltar en función de su interacción con el suelo.

*Manejo de controles de jugador.* Para los controles de jugador se construyó una representación de manos en Unity que permitiera mostrar un modelo de mano o un controlador 3D en función de los dispositivos de entrada de VR detectados

[19]. El modelo se compone de las siguientes variables:

- Variables públicas:
  - `showController`: Un booleano que determina si se muestra un controlador 3D o un modelo de mano.
  - `controllerCharacteristics`: Las características de los dispositivos de entrada que se utilizarán para determinar los controladores disponibles.
  - `controllerPrefabs`: Una lista de objetos prefabricados (modelos) que representan los diferentes controladores de VR.
  - `handModelPrefab`: El objeto prefabricado (modelo) que representa una mano.
- Variables privadas:
  - `targetDevice`: El dispositivo de entrada seleccionado para la representación de la mano.
  - `spawnedController`: El objeto instanciado que representa el controlador 3D.
  - `spawnedHandModel`: El objeto instanciado que representa el modelo de mano.
  - `handAnimator`: El componente Animator asociado al modelo de mano.

Para iniciar los dispositivos de entrada se invoca a la función `Start` que a su vez anida a la función `TryInitialize`, que obtiene los dispositivos de entrada disponibles con las

características especificadas. Si se encuentran dispositivos, se selecciona el primero de la lista. Busca el modelo de control correspondiente al nombre del dispositivo y le hace una instancia correspondiente. Si no se

encuentra el modelo de control, se muestra un mensaje de error y se llama al primer elemento de la lista de modelos de control. También se hace una instancia del modelo de mano y se obtiene el componente Animator asociado a este.

```

void Start()
{
    TryInitialize();
}
void TryInitialize()
{
    List<InputDevice> devices = new
List<InputDevice>(); InputDevices.
GetDevicesWithCharacteristics(controllerCharacteri
stics, devices);
    //InputDevices.GetDevices(devices)
    foreach (var item in devices{
        Debug.Log(item.name+item.characteristics);
    }
if(devices.Count > 0){ targetDevice = devices[0];
    GameObject prefab
=controllerPrefabs.Find(controller =>
controller.name == targetDevice.name);
        if(prefab) {
            spawnedController = Instantiate(prefab,
transform);
        }
        else{Debug.LogError("Modelo de control no
encontrado"); spawnedController =
Instantiate(controllerPrefabs[0],transform);
        }
        // spawnedController.SetActive(true);
        spawnedHandModel =
Instantiate(handModelPrefab,transform);
        spawnedHandModel.SetActive(false);handAnimator=
spawnedHandModel.GetComponent<Animator>();
    }
}

```

La función `updateHandAnimation` actualiza las animaciones de la mano en función de los valores de entrada del dispositivo, obtiene el valor del gatillo y lo asigna al parámetro `Trigger` del `Animator` y

además el valor del agarre y lo asigna al parámetro Grip del Animator [20].

```

void updateHandAnimation () {
    if(targetDevice.TryGetFeatureValue(CommonUsages.trigger, out float triggerValue))
    {
        handAnimator.SetFloat("Trigger",triggerValue);
    }
    else{
        handAnimator.SetFloat("Trigger", 0);
    }
    if(targetDevice.TryGetFeatureValue(CommonUsages.grip, out float gripValue))
    {
        handAnimator.SetFloat(Grip", gripValue);
    }
    else{
        handAnimator.SetFloat("Grip", 0);
    }
}

```

La función Update comprueba si el dispositivo de entrada seleccionado sigue siendo válido, si no es válido, se intenta inicializar nuevamente. Si el dispositivo es válido, se muestra el controlador 3D o el modelo de mano según el valor de showController: si es verdadero, se desactiva el modelo de mano y se activa el controlador 3D; si es falso, se activa el modelo de mano y se desactiva el controlador 3D. Luego, se actualizan las animaciones de la mano.

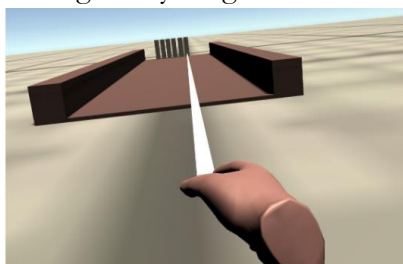
```

void Update()
{
    if(!targetDevice.isValid)
    {
        TryInitialize();
    }
    else
    {
        if(showController)
        {

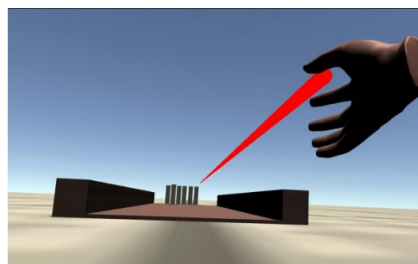
```

```
        spawnedHandModel.SetActive(false);  
        spawnedController.SetActive(true);  
    }  
else {  
    spawnedHandModel.  
    < SetActive(true); spawnedController.  
    <     SetActive(false);  
    updateHandAnimation();  
    }  
}  
}
```

Este conjunto de scripts permite mostrar una representación visual de las manos del usuario en una aplicación de realidad virtual. Puede mostrar un modelo de mano o un controlador 3D según la preferencia del usuario. Además, anima la mano en función de las entradas del dispositivo de VR, como el gatillo y el agarre.



(a) Mano y raycast, en un ángulo donde se apunta a un objeto.



(b) Mano y raycast, en un ángulo donde no se apunta a un objeto.

**Figura 5:** Ejemplos de cómo se visualiza la mano de control y raycast, el cuál cambia de color de acuerdo con se tenga (a) apuntado a un objeto o (b) no se esté apuntando a nada.

### III-B. Módulo II Sistemas robustos, paralelos y distribuidos

Para el manejo de cuentas de usuario, se implementó una escena previa al acceso al juego que permitía a los usuarios realizar acciones básicas como el registro y la lectura de usuarios, figura 6. Con el objetivo de lograr esta funcionalidad, se utilizó una solución basada en contenedores de Docker. Docker es una plataforma que permite empaquetar y distribuir aplicaciones junto con sus dependencias en contenedores, lo que facilita la portabilidad y la escalabilidad del sistema.

En el contexto de este proyecto, se creó un contenedor Docker con el sistema operativo Debian 10. Este sistema operativo proporciona una base estable y confiable para el funcionamiento del servidor. Además, se instaló Xampp dentro del contenedor Docker, lo que permitió configurar un LAMP Stack (Linux, Apache, MySQL y PHP) para el manejo de la base de datos y el servidor web de PHPMyAdmin. El LAMP Stack proporciona una infraestructura sólida para el desarrollo de aplicaciones web, ya que combina el sistema operativo Linux como base, el servidor web Apache para la gestión de las peticiones HTTP, el sistema de gestión de bases de datos MySQL para almacenar y administrar la información de los usuarios, y el lenguaje de programación PHP para la interacción entre la aplicación y la base de datos. Mediante esta configuración, se pudo establecer un entorno de servidor completo dentro del contenedor Docker, lo que permitió gestionar las cuentas de usuario de manera eficiente. Los usuarios podían registrar nuevas cuentas y acceder a sus perfiles existentes a través de la interfaz proporcionada por el servidor web en el contenedor.

Para lograr la comunicación entre el programa de realidad virtual y el servidor, se implementaron scripts en C# que interactúan con otro conjunto de scripts en PHP. Esta elección se basó en el hecho de que PHP es un lenguaje comúnmente utilizado en el desarrollo de bases de datos y aplicaciones de backend en entornos de nube.

La configuración de esta comunicación se realizó dentro del servidor Docker, que actúa como un entorno aislado y seguro para ejecutar la aplicación. Dentro del servidor Docker, se configuró un sistema de base de datos utilizando phpMyAdmin, una herramienta popular para la administración de bases de datos MySQL mediante una interfaz web [13].

La configuración de esta comunicación se realizó dentro del servidor Docker, que actúa como un entorno aislado y seguro para ejecutar la aplicación. Dentro del servidor Docker, se configuró un sistema de base de datos utilizando phpMyAdmin, figura 7, una herramienta popular para la administración de bases de datos MySQL mediante una interfaz web. El código que se requirió para el desarrollo de la conexión con base de datos desde Unity es un reto considerable, pues Unity como tal es simplemente una interfaz interactiva que compila los scripts del juego. Las líneas de

código que se presentan a continuación definen cómo se abordó el problema.



(a) Pantalla de inicio de sesión.

(b) Pantalla de registro de usuario.

**Figura 6:** Las pantallas de inicio de sesión (a) y de registro de usuario (b) son el par de pantallas que el usuario ve por primera vez al ejecutar el programa.

La primera sección del código de acceso al juego es la clase, la cual es una base generada por Unity con un nombre dado al generar un script, en este caso Login. Dentro de la misma línea encontramos MonoBehaviour [21], la cual es una clase nativa de Unity que contiene un conjunto de variables, objetos y funciones internas [14].

```
public class Login : MonoBehaviour
{
    public InputField nameField; public InputField
passwordField; public Button submitButton;
    public void CallLogin() {
        StartCoroutine(LoginPlayer());
    }
}
```

Debajo de esto tenemos 3 variables, que se definen de la siguiente manera: dos Input field nameField y passwordField, y un Button.submitButton, los primeros 2 intuitivamente los usaremos para la captura de datos de usuario y el botón para la confirmación de estos datos. Estas variables tienen la propiedad public con la finalidad de depurar de errores estos campos abiertamente desde la interfaz Unity. Finalmente, para este bloque de código se tiene la llamada de función, CallLogin(), la cual inicializa una función interna de Unity de tipo Coroutine(startCoroutine) [9] que llama a la función principal de inicio de sesión(LoginPlayer()). En esta sección se utiliza un

`IEnumerator`, el cual solamente se puede utilizar por parte de las `Coroutine`; dentro del bloque de código tenemos una variable basada en `WWWForm`, este se utiliza para mandar información a un servidor web - el cual en nuestro caso sería nuestra base de datos.

```
IEnumerator LoginPlayer() { WWWForm form = new
WWWForm();
form.AddField("name", nameField.text);
form.AddField("password", passwordField.text);
```

Esta variable `form` podría considerarse un arreglo de información, en la cual empuja los campos “name” y “password” referenciando los `InputField` del bloque anterior, especificando que únicamente necesitamos la propiedad de texto como indica la rutina `.text`.

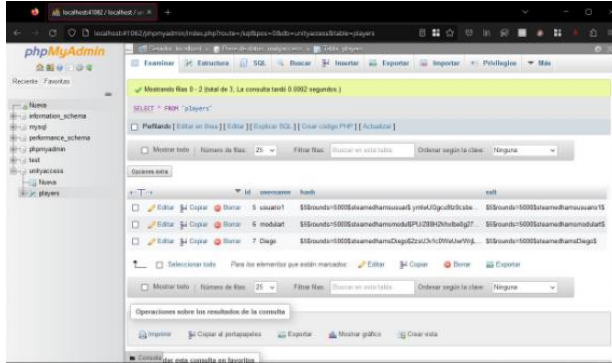
La siguiente sección de código sencillamente se encarga de comunicarse con la web con el `form` que previamente llenamos con los datos de usuario [16].

```
WWW www = new
WWW("http://localhost:41062/sqlconnect/login.php",
form);
yield return www;
```

Finalmente, tenemos la sección de validación de datos; verificamos que el texto de nuestro sitio no esté vacío indicando que sí existe una conexión a base de datos web; una vez validado, se utiliza el administrador de escenas del motor de Unity para movernos a una escena del juego, si la validación falla no se permite el acceso al juego y dentro de la interfaz de depuración de Unity recibimos un mensaje.

```
if(www.text[0]== '0') {
UnityEngine.SceneManagement.SceneManager.LoadScene(4);
}
else{
Debug.Log("User login failed.Error #"+ www.text );
}
```

Todos estos archivos son accesibles al público dentro del repositorio del juego, anexo en la sección de referencias número [27]; el código que acabamos de describir anteriormente se puede encontrar bajo la ruta `\Assets\Scenes>Login.cs`.



**Figura 7:** Vista principal del administrador de base de datos PHPMyAdmin, el cuál es ejecutado en el navegador web conectándose a la IP del contenedor de Docker que alberga el sistema de registro.

Para finalizar el detalle sobre los registros en base de datos, se incluye el uso de Salt es una medida de ciberseguridad que mejora la protección de las contraseñas almacenadas en la base de datos. El proceso de encriptación mediante el uso de Salt garantiza que incluso si la base de datos se ve comprometida, las contraseñas no serán fácilmente descifrables.

Esta forma resultó ser más práctica para mostrar un sistema distribuido, puesto que permite ahorrar en montar una red física y aprovecha el potencial de Docker en materia de práctica para sistemas distribuidos.

### **III-C. Módulo III Justificación de Cómputo Flexible (soft-computing)**

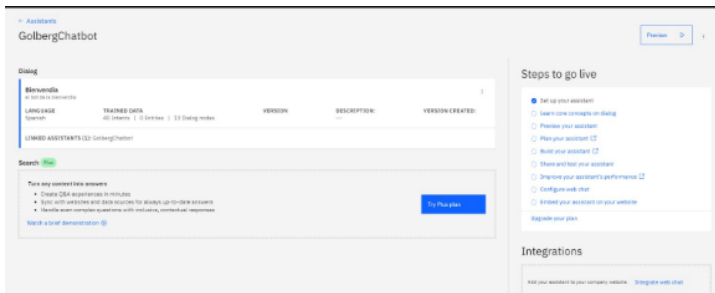
Para el tercer módulo se desarrolló el Chatbot de GoldbergChatBot. En este chatbot se utilizó tecnología de IBM Watson, figura 8a, el cual es un elemento interactivo a base de reconocimiento de voz con inteligencia artificial utilizando una base de conocimientos o árbol de decisiones alojado en servidores de IBM, por los cuales se analiza una cadena de caracteres obtenida de la voz por parte del usuario; al finalizar el análisis de la voz dentro del motor de IBM Watson se ejecuta el árbol de decisiones, una vez



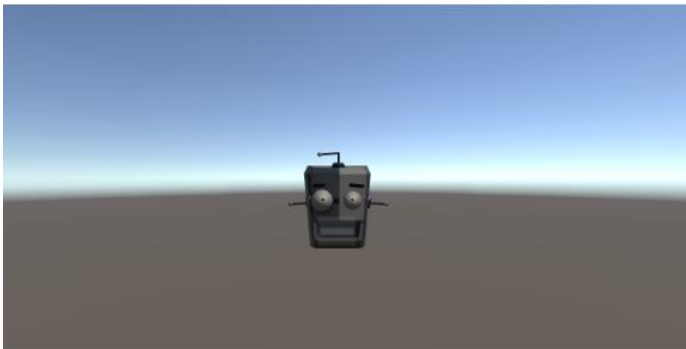
hecho esto, el árbol de decisiones devuelve una respuesta, la cual es escuchada por medio de text-to-speech para responder a las preguntas del usuario [26].

IBM Watson funciona a partir de la construcción de árboles de decisión, figura 8b. Los árboles de decisión son una técnica de aprendizaje automático utilizada en IBM Watson para la toma de decisiones basada en una serie de reglas y condiciones. Estos árboles se utilizan para representar y visualizar las opciones y resultados posibles en forma de un árbol jerárquico. Estos árboles de decisión se crean mediante algoritmos de aprendizaje automático que analizan un conjunto de datos de entrenamiento y generan un modelo predictivo. Este modelo se construye utilizando características o atributos del conjunto de datos, y establece reglas y condiciones que permiten clasificar o predecir nuevas instancias [23].

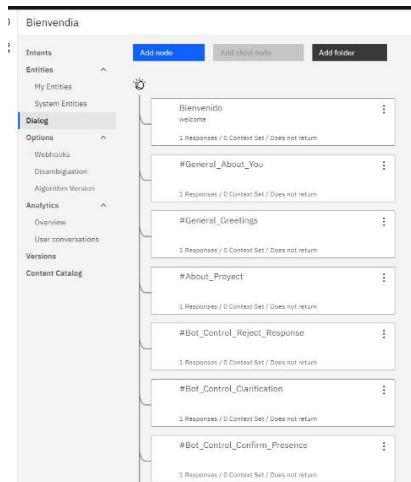
Dentro de este funcionamiento, se implica dividir el conjunto de datos inicial en función de las características que mejor discriminan las distintas clases o categorías de interés. Esta división se basa en la selección del atributo más informativo en cada paso, utilizando medidas como la ganancia de información o la impureza de Gini. Una vez que se ha construido el árbol de decisión, este se puede utilizar para realizar predicciones o clasificar nuevas instancias según las reglas y condiciones establecidas. La instancia se sigue por el árbol, evaluando las características en cada nodo y siguiendo las ramas correspondientes hasta llegar a una hoja, donde se toma una decisión final. Los árboles de decisión se utilizan en diversas aplicaciones que requieran una toma de decisiones. Estos modelos permiten automatizar procesos y ayudar a los usuarios a tomar decisiones informadas basadas en datos y patrones identificados en el conjunto de entrenamiento.



(a) Página principal de IBM Watson.



(b) Escena de IA con un asset que le representa.



(c) Árbol de decisiones de IBM Watson.

**Figura 8:** El trabajo con la IA involucro la inclusión del motor de IBM Watson (a) basándose en árboles de decisión (c) que toma diferentes opciones basándose en el diálogo con el usuario. Un asset con forma de cabeza de robot (b) se encarga de representar a la IA que interactúa con el usuario.

#### **IV. Resultados obtenidos**

Durante la realización del proyecto con realidad virtual, se buscaba crear una experiencia inmersiva para los usuarios. Sin embargo, es importante destacar que los resultados obtenidos fueron contrastantes, con logros significativos en ciertas áreas, pero también dificultades importantes en otras.

En primer lugar, el proyecto logró desarrollar escenas primordiales con detalle suficiente como para que los usuarios aprendieron a dirigirse con los controles para realidad virtual y se encontrarán inmersos en entornos que les permitieron experimentar lo suficiente. La calidad visual y la interactividad lograron crear una sensación envolvente, lo que contribuyó a la creación de una experiencia emocionante y cautivadora.

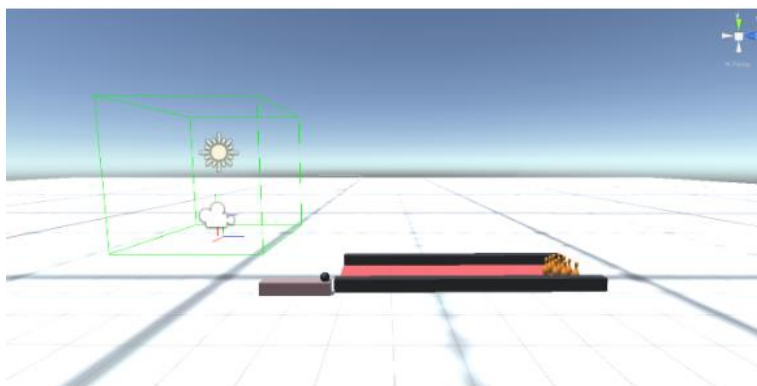
Además, se logró proporcionar una visión prometedora de las posibilidades y limitaciones de la realidad virtual en la creación de experiencias inmersivas. Los resultados positivos en cuanto a la calidad visual y la creación de escenas lo suficientemente detalladas y que puedan comunicar por sí mismas su propósito demuestran el potencial de esta tecnología para sumergir a los usuarios en mundos virtuales convincentes.

Sin embargo, también se encontraron dificultades importantes en ciertas áreas del proyecto. Por ejemplo, la optimización del rendimiento fue un desafío, ya que se requería un equilibrio entre la calidad visual y el rendimiento fluido en diferentes dispositivos. Además, la creación de interacciones complejas y realistas en el entorno virtual resultó ser un proceso complejo y laborioso.

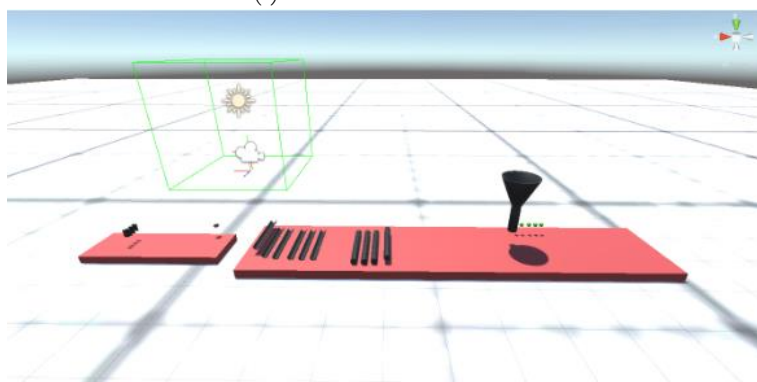
A pesar de estas dificultades, se lograron avances significativos y se sentaron las bases para futuros desarrollos en el campo de la realidad virtual. Es importante destacar que este proyecto sirvió como punto de partida y aprendizaje para comprender mejor los desafíos y oportunidades que surgen al crear experiencias inmersivas con tecnología VR.

El proyecto de realidad virtual logró ofrecer una experiencia inmersiva y emocionante para los usuarios, con escenas lo suficientemente entendibles y una calidad visual aceptable, figuras 9 y 8c. Si bien se enfrentaron dificultades en ciertas áreas, los resultados obtenidos demuestran el potencial de la realidad virtual para crear mundos virtuales convincentes.

Estos hallazgos proporcionan una base sólida para futuros trabajos en el campo de la realidad virtual, donde se podrán abordar los desafíos identificados y seguir mejorando las experiencias inmersivas para los usuarios.



(a) Escena de Boliche.



(b) Escena de máquina de Goldberg.

**Figura 9:** Escenas finalizadas del proyecto: escena de boliche, (a), en disposición tradicional de juego de boliche, en la cual el usuario puede tomar una bola y tirar de esta sobre una pista para tirar un grupo de pinos. Escena de máquina de Goldberg, (b), se presenta un conjunto de objetos interactivos, tanto móviles como fijos, entre canicas, canaletas y un embudo, el usuario puede tomar cualquiera de estos elementos y ordenarlos a placer.

Asimismo, la implementación de un sistema de registro y acceso con cuenta fue un logro importante, pues generar este tipo de funcionalidades en juegos es ciertamente desafiante, resaltando el hecho de que en esta ocasión se utilizó un entorno VR, el cual se realiza de manera poco común

en este ámbito, lo cual abre las posibilidades de este tipo de programas. Por otro lado, uno de los aspectos más desafiantes fue la implementación de un teclado virtual dentro del entorno de realidad virtual. La versión de desarrollo utilizada presentó dificultades significativas en esta área, lo que afectó la usabilidad y la comodidad de los usuarios.

La interacción con el teclado virtual, aunque siendo poca para el usuario dentro del entorno virtual, resultó poco intuitiva y debía de hacerse de forma asistida desde el exterior (usando el teclado de la computadora), lo que limitó la capacidad de los usuarios para realizar tareas que requerían el uso de un teclado.

Los obstáculos encontrados en la implementación del teclado virtual destacan la importancia de contar con versiones de desarrollo estables y adecuadas para garantizar la funcionalidad y la usabilidad de las interacciones en la realidad virtual. Estos desafíos señalan la necesidad de una mayor investigación y desarrollo en el ámbito de las interfaces de usuario en la realidad virtual, con el fin de superar las limitaciones actuales y mejorar la experiencia general del usuario.

En resumen, se muestran dos resultados contrastantes en el proyecto. Por un lado, se lograron implementaciones significativas en la creación de escenas realistas y envolventes, lo que brindó a los usuarios una experiencia emocionante. Sin embargo, la implementación de aspectos como el teclado virtual se vio obstaculizada por la versión de desarrollo utilizada, lo que plantea desafíos importantes en términos de usabilidad y funcionalidad. Estos resultados destacan la necesidad de seguir explorando y mejorando la tecnología de realidad virtual para maximizar su potencial en la creación de experiencias inmersivas y satisfactorias para los usuarios.

## **V. Conclusiones y trabajo a futuro**

Durante el desarrollo de este proyecto, se lograron crear tres escenas de realidad virtual, incluyendo también las de sesión o inicio de sesión, las cuales incorporaron un proceso de verificación utilizando tecnologías de back-end como PHP y bases de datos para gestionar los datos básicos de registro de usuarios y autenticación.

Uno de los principales desafíos encontrados durante el desarrollo de este proyecto fue asegurar la compatibilidad entre los diferentes componentes de software requeridos, especialmente entre la capa de desarrollo para realidad virtual (Unity) y el componente de Inteligencia Artificial utilizado.

Estos componentes están en constante evolución, lo que a veces ocasiona rupturas o limitaciones en el desarrollo de proyectos que combinan estas tres características. No obstante, se logró superar estos obstáculos y se concluyeron satisfactoriamente las escenas y la funcionalidad del programa, demostrando así un ejemplo práctico del uso de la realidad virtual para el aprendizaje interactivo.

Es importante destacar que la tecnología de realidad virtual aún se encuentra en una etapa temprana de desarrollo y presenta ciertas limitaciones. Aunque se han logrado avances significativos, se puede considerar que la realidad virtual todavía carece de adaptabilidad y flexibilidad suficiente para convertirse en un producto viable de uso diario en diversos ámbitos.

A pesar de las limitaciones actuales, este proyecto ha proporcionado una perspectiva valiosa sobre el potencial y las posibilidades de la realidad virtual en el ámbito educativo. La capacidad de recrear entornos y experiencias inmersivas ofrece una nueva forma de aprendizaje y exploración interactiva. Si bien aún hay desafíos por superar, este proyecto demuestra el valor de incorporar la realidad virtual en el ámbito didáctico y cómo puede mejorar la forma en que las personas aprenden e interactúan con la información.

En conclusión, el desarrollo de este proyecto de realidad virtual ha demostrado la aplicación de la tecnología VR en el ámbito educativo, permitiendo a los usuarios aprender e interactuar de manera inmersiva. Aunque se enfrentaron desafíos técnicos, se logró completar con éxito la creación de las escenas y la funcionalidad del programa. Si bien la realidad virtual aún está en desarrollo y presenta desafíos en términos de compatibilidad y madurez tecnológica, este proyecto resalta el potencial de la realidad virtual como herramienta educativa y sugiere un camino prometedor para futuras investigaciones y mejoras en el campo de la realidad virtual.

## Reconocimientos

Para el desarrollo de este proyecto nos gustaría agradecer a las siguientes personas:

- Juan Alberto García Orozco Apoyo en pruebas con el chatbot.
- Isaac García Orozco, Juan Jose García Hernandez, y Maria Julia Leticia Orozco Galvan con el apoyo en pruebas de los minijuegos.
- Leonardo Daniel Santiago por las pruebas y correcciones en el código de la presentación de este artículo.

## Referencias

[1] Medium. 2022. How is AI Used in Sports. [online] Available at: <https://medium.com/@mygreatlearning/how-is-ai-used-in-sports-cdfbdd97ad82>.

[2] Deepmind.com. 2022. Advancing sports analytics through AI research. [online] Available at: <https://www.deepmind.com/blog/advancing-sports-analytics-through-ai-research>.

[3] Elmqaddem, N., 2019. Augmented Reality and Virtual Reality in Education. Myth or Reality?. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), [online] Available at: <https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/9289>.

[4] Gadgeteer. 2022. [Online] Available at: <https://gadgeteergame.com/>

[5] Armature, Sports Scramble VR. 2022. [online] Available at: <https://armature.com/games/sports-scramble/>

[6] Ubisoft, Star Trek Bridge Crew. 2022. [online] Available at: <https://www.ubisoft.com/en-gb/game/star-trek/bridge-crew>

[7] Support.oculus.com. 2021. Explore Oculus Quest Features. [online] Available at: <https://support.oculus.com/articles/in-vr-experiences/oculus-features/index-oculus-features>.

[8] Technologies, U., 2021. Unity - Manual: Unity User Manual 2020.3 (LTS). [online] Docs.unity3d.com. Available at: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.

[9] Docs.unity3d.com. 2022. Coroutines. [online] Available at:

<https://docs.unity3d.com/es/2018.4/Manual/Coroutines.html>.

[10] Docs.unity3d.com. 2022. VR Overview. [online] Available at: <https://docs.unity3d.com/540/Documentation/Manual/VROverview.html>

[11] Docs.unity3d.com. 2022. WWWForm. [online] Available at: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/WWWForm.html>.

[12] Board To Bits Games. Unity & MySQL Databases, Part 1: Setting Up. (20 de abril de 2018). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=SKbY-0zt2VE>.

[13] Board To Bits Games. Unity & MySQL Databases, Part 2: Registering Users. (27 de abril de 2018). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=4W90-mh70JY>.

[14] Board To Bits Games. Unity & MySQL Databases, Part 3: Parsing Server Data. (4 de mayo de 2018). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=AjBtDvERlyg>.

[15] Board To Bits Games. Unity & MySQL Databases, Part 4: User Login. (11 de mayo de 2018). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=NvdjIXgbiMM>.

[16] Board To Bits Games. Unity & MySQL Databases, Part 5: Saving User Data. (18 de mayo de 2018). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=0QeRgd40qM>.

[17] Valem. Introduction to VR in Unity - PART 1 : VR SETUP. (8 de abril de 2020). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=gGYtahQjmWQ>.

[18] Valem. Introduction to VR in Unity - PART 2 : INPUT and HAND PRESENCE. (15 de abril de 2020). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=VdT0zMccgTQ>.

[19] Valem. Introduction to VR in Unity - PART 3 : TELEPORTATION. (24 de abril de 2020). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=fZXKGJYri1Y>.

[20] Valem. Introduction to VR in Unity - PART 4 : CONTINUOUS MOVEMENT. (19 de mayo de 2020). Accedido el 17 de mayo de 2023. [Video en línea]. Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=5NRTT8Tbmoc>.



- [21] GameDevTraum. 2022. ¿Qué es MnoBehaviour en Unity? [online] Available at: <https://gamedevtraum.com/es/desarrollo-de-videojuegos-y-aplicaciones-con-unity/serie-manejo-general-del-motor-unity/que-es-monobehaviour-en-unity-funcionamiento/>.
- [22] IBM. 2022. Decision Trees [online] Available at: <https://www.ibm.com/topics/decision-trees>.
- [23] ZDNET, IBM Watson: What are companies using it for? 2015. [online] Available at: <https://www.zdnet.com/article/ibm-watson-what-are-companies-using-it-for/>
- [24] GitHub, Unity-SDK, 2022. [online] Available at: <https://github.com/watson-developer-cloud/unity-sdk>
- [25] IBM, IBM and Ubisoft® Partner to Bring Voice Command with Watson to Virtual Reality in Star Trek™: Bridge Crew. 2017. [Online] Available at: <https://uk.newsroom.ibm.com/2017-05-11-IBM-and-Ubisoft-R-Partner-to-Bring-Voice-Command-with-Watson-to-Virtual-Reality-in-Star-Trek-TM-Bridge-Crew>
- [26] Scott Hwang, Setting Up a 3D Chatbot with Unity / IBM Watson / Oculus Lipsync. 2020. [online] Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=qz3Ac9Xi29g>
- [27] hrrhcksthl et al. Proyecto Goldberg. 2023. [online] Available at: <https://github.com/hrrhcksthl/ProyectoGoldberg>

Innovación aplicada en proyectos tecnológicos.

Se terminó de editar en diciembre de 2023

en los talleres de Astra Ediciones

Av. Acueducto No. 829

Colonia Santa Margarita, C. P. 45140

Zapopan, Jalisco, México.

33 38 34 82 36

E-mail: [edicion@astraeditorial.com.mx](mailto:edicion@astraeditorial.com.mx)

[www.astraeditorialshop.com](http://www.astraeditorialshop.com)

En este libro se presenta el desarrollo de herramientas que incorporan metodologías avanzadas en tecnología y en inteligencia artificial. Se incluye la descripción de diseños en sistemas inteligentes y de cómputo, que cubren dominios tan variados como el aprendizaje y la enseñanza en contextos educativos y culturales centrados en el ser humano, análisis inteligente de datos, teoría de grafos, diseño de aplicaciones, toma de decisiones asistida por computadora, seguridad comunitaria, satisfacción de necesidades humanas y mejora de la comunicación interpersonal, así como innovaciones en el desarrollo web.

ISBN: 978-84-19799-87-6

