



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE DATOS E INFORMÁTICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INFORMÁTICA**

**“RECOBRA: SISTEMA INTERACTIVO PARA EJERCITAR LA ESTIMULACIÓN DE LA  
MEMORIA EN PACIENTES POST-ACV”**

Proyecto de Título II para optar al Título de Ingeniero Informático con mención  
en gestión de la información y al grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

Autores:

Gonzalo Alonso Vega Rivera

Bastían Renato Oyarce Contreras

Profesor Guía: Mg. Javier Castillo Allaria

San Felipe, Chile

2025

## **I. DEDICATORIA**

Quiero dedicar este arduo trabajo a las personas que me apoyaron desde un inicio en mi carrera, quiero agradecerles a mi madre y a mi padre por su apoyo incondicional durante estos 5 años de carrera. También quiero agradecer a Javiera por su amor incondicional, a su increíble apoyo durante estos años, por apoyarme en momentos difíciles y siempre estar ahí.

También quiero agradecer al Profesor Ricardo Contreras por su paciencia y ayuda en estos 5 años de carrera, también agradecer a nuestro Profesor guía Javier Castillo por darnos una ayuda al comienzo de este proyecto al darnos la idea, asesorarnos y también por tener paciencia con nosotros.

**Gonzalo Alonso Vega Rivera**

## **I. DEDICATORIA**

A mis padres Claudia y Darwin, mis guías y quienes me han enseñado todo lo que sé, por acompañarme durante todo este proceso, por motivarme a seguir, incluso cuando el panorama no era alentador. Nada de esto habría sido posible sin su ayuda. Son mi inspiración y motivación para ser un excelente profesional y una gran persona, tal como ellos lo son. Este logro y todos los que vienen son de y para ellos.

A mis hermanos, Darwin y Maximiliano, quienes han sido mi sostén emocional y apoyo constante durante todo este proceso académico, con cada aventura que se les ocurre, cada panorama o cada actividad que nos mantiene unidos como hermanos y como familia. Les estaré eternamente agradecido por cada vez que me motivaron a seguir adelante, a levantarme, a no rendirme, incluso en aquel periodo negro de 2022 donde quizá no lo saben, pero salvaron mi vida. Creo que todo está dicho, pero quiero que sepan, que este logro es más de ustedes que mío.

A mis abuelas Gregoria María Cáceres y Magaly Pizarro, por su enorme apoyo y entrega no solo en este proceso universitario, sino, a lo largo de toda mi vida. Gracias por cada llamada de preocupación, por cada frase bonita que atesoraré para siempre y por ese apoyo económico que entregaban en cada visita como si fuera algo ilegal, acompañado de un “Para sus gastos de la U”.

A mi compañero de proyecto Gonzalo Vega, por la paciencia descomunal que me ha tenido a lo largo de la carrera y durante el desarrollo de este proyecto, por todas las veces que compartimos en los patios del campus con Ale, Gabriel y Jorge, donde, aunque el panorama académico no pintara muy alentador, la risa jamás faltó.

**Bastián Renato Oyarce Contreras**

## II. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer principalmente al profesor Ricardo Contreras, nuestro coordinador de carrera, por el apoyo, paciencia y dedicación que ha tenido con nosotros a lo largo de nuestra carrera universitaria, por recibirnos en su oficina cada vez que teníamos dudas sobre asignaturas o la misma práctica. Apreciamos mucho cada uno de esos detalles.

A nuestro profesor guía, Profesor Javier Castillo, por su acompañamiento constante durante las diversas etapas de este proyecto, agradecemos sus diferentes opiniones y observaciones a lo largo de todo el proceso de desarrollo. Valoramos enormemente el tiempo dedicado en reuniones y juntas telemáticas para revisar el correcto desarrollo de este documento.

A los diferentes profesores que nos acompañaron durante toda la carrera, como Cristian Mejías, Tatiana Ilabaca, Oscar Cid, Delia Ibacache y Cristian Ubal entre otros, por su compromiso con la enseñanza y con nosotros. Cada uno, desde su especialidad y profesión nos aportó herramientas o conocimiento para poder salir al mundo laboral con responsabilidad y lo más preparados posible para enfrentar diferentes desafíos que se presenten.

A la Señorita Catalina Pérez Parra, terapeuta ocupacional del hospital geriátrico la paz de la tarde en Limache, por su valioso apoyo y disposición con nosotros en el desarrollo de este proyecto. Por su ayuda desde la experiencia profesional para poder comprender las necesidades de las personas a las que va enfocado este proyecto.

### III. TABLA DE CONTENIDOS

|        |                                                     |    |
|--------|-----------------------------------------------------|----|
| I.     | DEDICATORIA.....                                    | 2  |
| I.     | DEDICATORIA .....                                   | 3  |
| II.    | AGRADECIMIENTOS .....                               | 4  |
| III.   | TABLA DE CONTENIDOS .....                           | 5  |
| IV.    | ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....                       | 9  |
| V.     | ÍNDICE DE TABLAS.....                               | 11 |
| VI.    | RESUMEN .....                                       | 12 |
| VII.   | ABSTRACT.....                                       | 13 |
| VIII.  | INTRODUCCIÓN .....                                  | 14 |
|        | CAPÍTULO I .....                                    | 15 |
|        | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                    | 15 |
| 1.1.   | Antecedentes.....                                   | 15 |
| 1.1.1. | Memoria .....                                       | 16 |
| 1.1.2. | Velocidad de procesamiento y reacción: .....        | 16 |
| 1.2.   | Identificación del problema .....                   | 17 |
| 1.2.1. | Factores económicos .....                           | 17 |
| 1.2.2. | Factores geográficos y logísticos .....             | 17 |
| 1.2.3. | Falta de motivación en el proceso terapéutico ..... | 17 |
| 1.2.4. | Limitada personalización de las terapias.....       | 17 |
| 1.3    | Estado del arte.....                                | 18 |
| 1.3.1  | Soluciones digitales existentes.....                | 19 |
| 1.4    | Propuesta de solución .....                         | 24 |
|        | CAPÍTULO II .....                                   | 26 |
|        | CONTEXTO Y ALCANCE DEL PROYECTO .....               | 26 |
| 2.     | Antecedentes del Proyecto .....                     | 26 |
| 2.1.   | Justificación del proyecto .....                    | 26 |
| 2.1.1. | Razones Técnicas .....                              | 26 |
| 2.1.2. | Razones Sociales.....                               | 27 |
| 2.1.3  | Razones Económicas.....                             | 27 |
| 2.1.4  | Razones Académicas.....                             | 28 |
| 2.1.5  | Razones Ambientales .....                           | 28 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2. Relevancia del Proyecto en el Área de Estudio .....               | 29 |
| 2.3. Alcances del sistema.....                                         | 29 |
| 2.4 Vinculación con profesionales de la salud.....                     | 31 |
| CAPÍTULO III .....                                                     | 32 |
| OBJETIVOS.....                                                         | 32 |
| 3.1 Objetivos del proyecto .....                                       | 32 |
| 3.1.1. Objetivo General.....                                           | 32 |
| 3.1.2. Objetivos Específicos .....                                     | 32 |
| CAPÍTULO IV .....                                                      | 34 |
| MARCO TEÓRICO .....                                                    | 34 |
| 4.1. ¿QUÉ ES UN ACCIDENTE CEREBROVASCULAR? .....                       | 34 |
| 4.1.1. ACV Isquémico .....                                             | 34 |
| 4.1.2. ACV Hemorrágico .....                                           | 36 |
| 4.2. El tiempo de respuesta: un factor determinante .....              | 39 |
| 4.3 Mucho más que una métrica .....                                    | 40 |
| 4.4 Neuro plasticidad y motivación.....                                | 41 |
| 4.5 Tecnologías Asistivas: una verdadera oportunidad .....             | 43 |
| 4.5.1 Tecnologías asistivas .....                                      | 44 |
| 4.5.2 Tecnologías adaptativas .....                                    | 44 |
| 4.6 Relevancia de las tecnologías asistivas en la vida cotidiana ..... | 44 |
| 4.7 Aplicación en rehabilitación física y cognitiva .....              | 45 |
| 4.8 Desigualdad de acceso en América Latina.....                       | 46 |
| CAPÍTULO V .....                                                       | 48 |
| METODOLOGÍA .....                                                      | 48 |
| 5.1. Metodología de Desarrollo y Planificación del Proyecto .....      | 48 |
| 5.1.1. Modelo espiral .....                                            | 48 |
| 5.2. Justificación del uso de la metodología espiral.....              | 49 |
| CAPÍTULO VI .....                                                      | 50 |
| PROPUESTA DE SOLUCIÓN .....                                            | 50 |
| 6.1 Descripción general del sistema .....                              | 50 |
| 6.1.1 Actores del sistema .....                                        | 51 |
| 6.1.2 Stakeholders.....                                                | 52 |
| 6.2 Requerimientos del sistema .....                                   | 54 |

|                                  |                                                                 |    |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.1                            | Requerimientos funcionales .....                                | 54 |
| 6.2.2                            | Requerimientos no funcionales .....                             | 55 |
| 6.2.3.                           | Requerimientos de datos .....                                   | 56 |
| 6.3                              | Diagrama de casos de uso .....                                  | 57 |
| 6.4                              | Modelo Entidad-Relación.....                                    | 58 |
| 6.4.1                            | Tabla 1: Información General del Paciente .....                 | 59 |
| 6.4.2                            | Tabla 2: Registro de Sesiones del Paciente .....                | 59 |
| 6.4.3                            | Tabla 3: Detalle de Intentos por Sesión .....                   | 60 |
| 6.4.4                            | Relaciones entre tablas .....                                   | 60 |
| CAPÍTULO VII .....               |                                                                 | 61 |
| ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....   |                                                                 | 61 |
| 7.1                              | Componentes utilizados para hardware .....                      | 61 |
| 7.1.1                            | Placa de desarrollo ESP32-C5-DevKitC-1 .....                    | 61 |
| 7.1.2.                           | Pantalla LCD.....                                               | 62 |
| 7.1.3.                           | LED RGB .....                                                   | 62 |
| 7.1.4.                           | Protoboard .....                                                | 63 |
| 7.1.5.                           | Cables macho-hembra y macho-macho.....                          | 63 |
| 7.1.6.                           | Botones pulsador de 45 mm con micro interruptor Led de 12V..... | 64 |
| 7.1.7                            | Power-Bank de 5V para alimentación del sistema .....            | 64 |
| 7.1.8                            | Placa fenólica con diseño tipo protoboard.....                  | 65 |
| 7.1.9                            | Cable RVV 28 AWG 4 núcleos .....                                | 65 |
| 7.1.10                           | Cautín y estaño para soldar.....                                | 66 |
| 7.1.11                           | Impresiones 3D.....                                             | 66 |
| 7.2                              | Esquema de conexión .....                                       | 66 |
| 7.3                              | Tecnologías de desarrollo.....                                  | 68 |
| 7.4                              | Modelo de base de datos.....                                    | 71 |
| 7.4.1                            | Tabla PACIENTE.....                                             | 72 |
| 7.4.2                            | Tabla SESIÓN.....                                               | 72 |
| 7.4.3                            | Tabla INTENTO.....                                              | 73 |
| 7.4.4                            | Relaciones entre Tablas.....                                    | 74 |
| 7.5                              | Base de datos .....                                             | 74 |
| CAPÍTULO VIII .....              |                                                                 | 77 |
| ITERACIONES DEL DESARROLLO ..... |                                                                 | 77 |

|                     |                                                              |     |
|---------------------|--------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1                 | Desarrollo Iterativo del Sistema .....                       | 77  |
| 8.1.1               | Primer ciclo – Prototipo inicial con Arduino UNO .....       | 77  |
| 8.1.2               | Segundo ciclo – Migración a ESP32-C5-WROOM-1 .....           | 79  |
| 8.1.3               | Ciclo 3 – Integración física y ensamblaje definitivo .....   | 81  |
| 8.1.4               | Ciclo 4 – Encapsulado final y red con IP fija.....           | 84  |
| 8.2                 | Interfaz web y Prototipo final:.....                         | 86  |
| 8.2.1               | Interfaz para ingreso de paciente:.....                      | 86  |
| 8.2.2               | Interfaz lista pacientes:.....                               | 87  |
| 8.2.3               | Interfaz para editar paciente: .....                         | 87  |
| 8.2.4               | Interfaz de selección de paciente para iniciar prueba: ..... | 88  |
| 8.2.5               | Interfaz en sesión / en prueba: .....                        | 88  |
| 8.2.6               | Interfaz de dashboard para selección de paciente:.....       | 89  |
| 8.2.7               | Interfaz de dashboard seleccionado: .....                    | 89  |
| 8.2.8               | Interfaz de vista de intentos en sesiones:.....              | 90  |
| 8.3                 | Prototipo final (Hardware finalizado).....                   | 90  |
| CAPÍTULO IX .....   |                                                              | 92  |
| PRUEBAS .....       |                                                              | 92  |
| 9.1                 | Pruebas del sistema .....                                    | 92  |
| 9.2                 | Metodología de Pruebas .....                                 | 92  |
| 9.3                 | Resultados Obtenidos .....                                   | 93  |
| 9.4                 | Estandarización de Datos .....                               | 94  |
| CAPÍTULO X .....    |                                                              | 96  |
| COSTOS.....         |                                                              | 96  |
| 10.1                | Software utilizado .....                                     | 96  |
| 10.2                | Hardware, materiales y costos asociados .....                | 97  |
| CAPÍTULO XI .....   |                                                              | 100 |
| CONCLUSIÓN.....     |                                                              | 100 |
| CAPÍTULO XII .....  |                                                              | 102 |
| ANEXOS .....        |                                                              | 102 |
| 11.1                | Consentimiento informado .....                               | 102 |
| 11.2                | Registro fotográfico de pruebas de usuario .....             | 121 |
| CAPITULO XIII ..... |                                                              | 132 |
| BIBLIOGRAFÍA.....   |                                                              | 132 |

## IV. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Plataforma CogniFit.....                                          | 20 |
| Ilustración 2. Plataforma NeuroNation .....                                      | 21 |
| Ilustración 3. Sistema Flexthand. ....                                           | 22 |
| Ilustración 4. Dispositivo indicador de carga de peso y actividad muscular. .... | 23 |
| Ilustración 5. Diagrama casos de uso .....                                       | 57 |
| Ilustración 6. Modelo entidad-Relación .....                                     | 58 |
| Ilustración 7. Placa de desarrollo ESP32-C5 .....                                | 61 |
| Ilustración 8. Pantalla LCD .....                                                | 62 |
| Ilustración 9. LED RGB .....                                                     | 62 |
| Ilustración 10. Protoboard .....                                                 | 63 |
| Ilustración 11. Cables Macho-Hembra y Macho-Macho .....                          | 63 |
| Ilustración 12. Botones de 45 mm con Led incorporado .....                       | 64 |
| Ilustración 13. Power Bank de 5V .....                                           | 64 |
| Ilustración 14. Placa fenólica .....                                             | 65 |
| Ilustración 15. Cable RVV 28 AWG 4 núcleos .....                                 | 65 |
| Ilustración 16. Cautín y estaño para soldar .....                                | 66 |
| Ilustración 17. Impresión 3d .....                                               | 66 |
| Ilustración 18. Modelo base de datos .....                                       | 72 |
| Ilustración 19. Interfaz inicial de MySql .....                                  | 74 |
| Ilustración 20. Interfaz de nueva conexión MySQL .....                           | 75 |
| Ilustración 21. Interfaz de entorno de trabajo MySql .....                       | 76 |
| Ilustración 22. Diseño de arquitectura Arduino Uno .....                         | 78 |
| Ilustración 23. Diseño de arquitectura ESP32-C5 .....                            | 80 |
| Ilustración 24. Interfaz para ingreso de paciente.....                           | 86 |
| Ilustración 25. Interfaz lista de paciente .....                                 | 87 |
| Ilustración 26. Interfaz para editar paciente.....                               | 87 |
| Ilustración 27. Interfaz de selección de paciente para prueba .....              | 88 |
| Ilustración 28. Interfaz de inicio de sesión .....                               | 88 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 29. Dashboard selección de paciente .....              | 89 |
| Ilustración 30. Dashboard de paciente seleccionado .....           | 89 |
| Ilustración 31. Vista de intentos en sesiones .....                | 90 |
| Ilustración 32. Prototipo final 1 .....                            | 90 |
| Ilustración 33. Prototipo final 2 .....                            | 91 |
| Ilustración 34. Prototipo final 3 .....                            | 91 |
| Ilustración 35. Clasificación de tiempo de reacción por edad ..... | 95 |

## V. ÍNDICE DE TABLAS

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Actores del sistema .....           | 51 |
| Tabla 2: StakeHolders .....                  | 52 |
| Tabla 4. Requisitos Funcionales .....        | 54 |
| Tabla 5. Requisitos No Funcionales .....     | 55 |
| Tabla 6. Requisitos de datos etapa 1.....    | 56 |
| Tabla 7. Requisitos de datos etapa 2.....    | 56 |
| Tabla 8. Requisitos de datos etapa 3.....    | 57 |
| Tabla 9. Modelo Entidad Paciente .....       | 59 |
| Tabla 10. Modelo Entidad Sesiones.....       | 59 |
| Tabla 11. Modelo Entidad Intentos.....       | 60 |
| Tabla 12. Esquema de conexión.....           | 68 |
| Tabla 13. Código de color pantalla LCD ..... | 82 |
| Tabla 14. Código de color Botones-Led.....   | 82 |

## **VI. RESUMEN**

El presente trabajo describe el desarrollo e implementación de un sistema interactivo de bajo costo orientado a apoyar procesos de rehabilitación cognitiva de personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), mediante la medición de tiempos de reacción y ejercicios basados en estímulos visuales. El proyecto integra hardware y software con el fin de registrar, almacenar y visualizar información útil para el seguimiento terapéutico.

Para su desarrollo se empleó el modelo de proceso en espiral, permitiendo un avance iterativo basado en retroalimentación de usuarios y profesionales de la salud. El sistema fue construido utilizando una placa ESP32-C5, una pantalla OLED y botones de arcade físicos, mientras que el software se implementó mediante Arduino IDE, ReactJS, Node.js y una base de datos destinada a almacenar los registros obtenidos.

Las pruebas realizadas permitieron evaluar el funcionamiento general del sistema, así como la consistencia en la captura automática de los datos y la precisión en la medición de los tiempos de reacción. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad técnica de la propuesta y evidencian su potencial como herramienta de apoyo para el monitoreo del desempeño cognitivo en contextos clínicos y domiciliarios.

## **VII. ABSTRACT**

This paper describes the development and implementation of a low-cost interactive system designed to support cognitive rehabilitation processes for stroke survivors by measuring reaction times and administering exercises based on visual stimuli. The project integrates hardware and software to record, store, and display information useful for therapeutic monitoring.

The system was developed using a spiral process model, allowing for iterative progress based on feedback from users and healthcare professionals. The system was built using an ESP32-C5 board, an OLED screen, and physical arcade buttons, while the software was implemented using Arduino IDE, ReactJS, Node.js, and a database to store the data.

The tests performed allowed for the evaluation of the system's overall performance, as well as the consistency of automatic data capture and the accuracy of reaction time measurements. The results obtained support the technical feasibility of the proposal and demonstrate its potential as a support tool for monitoring cognitive performance in clinical and home settings.

## VIII. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el Accidente Cerebrovascular (ACV) se ha consolidado como una de las principales causas de discapacidad a nivel mundial, afectando funciones cognitivas esenciales como la memoria, la atención y el tiempo de reacción. La rehabilitación cognitiva se vuelve fundamental en el proceso de recuperación; sin embargo, muchas de las herramientas disponibles son costosas o poco adaptables a las necesidades individuales, lo que limita su acceso y continuidad.

Ante esta situación surge ReCobra, una propuesta tecnológica accesible que integra hardware y software para apoyar la neurorrehabilitación mediante ejercicios basados en estímulos visuales y el registro preciso de tiempos de reacción. Esta información permite a los terapeutas monitorear el progreso del paciente de manera objetiva y constante.

El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema interactivo que apoye la rehabilitación cognitiva de pacientes post-ACV, priorizando la accesibilidad, la simplicidad de uso y la adaptabilidad a distintos entornos. La hipótesis plantea que la incorporación de tecnología de bajo costo puede mejorar el desempeño cognitivo y favorecer el compromiso del paciente durante su proceso de recuperación.

Para evaluar esta hipótesis se empleará la metodología de desarrollo en espiral, que permite avanzar mediante ciclos de diseño, construcción, prueba y mejora, incorporando retroalimentación continua de usuarios y profesionales de la salud.

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

En Chile, los accidentes cerebrovasculares (ACV) representan una de las principales amenazas para la salud pública, tanto por su alta tasa de incidencia como por el impacto permanente que generan en la calidad de vida de las personas. Según estadísticas del Ministerio de Salud (MINSAL), los ACV son responsables de aproximadamente el 9% de todas las muertes registradas en el país cada año, situándose como la segunda causa de muerte en adultos mayores y como la primera causa de discapacidad de origen neurológico. Además, se estima que el 40% de las hospitalizaciones por enfermedades neurológicas corresponden a eventos cerebrovasculares, y que más del 75% de los pacientes que sobreviven a un ACV presentan algún grado de discapacidad, lo que evidencia la gravedad del problema en el contexto nacional.

Esta situación se ve intensificada por el envejecimiento progresivo de la población chilena. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), para el año 2050 se proyecta que una de cada tres personas en Chile será mayor de 60 años, lo cual implica un aumento sostenido de la población en riesgo. Cabe destacar que las personas mayores de 65 años tienen hasta siete veces más probabilidades de sufrir un ACV en comparación con personas más jóvenes, lo que convierte a esta afección en una prioridad urgente en términos de salud pública, políticas de rehabilitación y adaptación social.

A nivel mundial, los datos no son menos alarmantes. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que cada año, alrededor de 15 millones de personas sufren un accidente cerebrovascular. De estas, 5 millones fallecen y otros 5 millones quedan con una discapacidad permanente, generando no solo un fuerte impacto a nivel personal y familiar, sino también un importante desafío para los sistemas de salud y los recursos destinados a cuidados

prolongados y rehabilitación. Se trata, entonces, de una problemática global que afecta a millones de personas, pero que exige respuestas concretas y contextualizadas a nivel local.

Las secuelas que deja un ACV son diversas y varían según múltiples factores clínicos, tales como el tipo de accidente (isquémico o hemorrágico), el sector del cerebro que fue afectado y el tiempo que transcurrió antes de recibir atención médica. Estas variables determinan la magnitud de los daños, que pueden afectar funciones motoras, sensoriales, del lenguaje y cognitivas. Entre estas últimas, se identifican como especialmente relevantes para este proyecto dos funciones críticas que comúnmente se ven deterioradas:

#### **1.1.1. Memoria**

Tanto la memoria a corto plazo (capacidad para retener y manipular información reciente) como la memoria a largo plazo (almacenamiento y recuperación de experiencias pasadas) suelen presentar déficits, lo que interfiere directamente en la autonomía del paciente.

#### **1.1.2. Velocidad de procesamiento y reacción:**

Luego de un ACV, los pacientes frecuentemente experimentan una disminución en su capacidad de responder de manera rápida y efectiva a estímulos visuales, auditivos o motores, lo que compromete su seguridad y desempeño en actividades cotidianas.

Luego de un ACV, los pacientes frecuentemente experimentan una disminución en su capacidad de responder de manera rápida y efectiva a estímulos visuales, auditivos o motores, lo que compromete su seguridad y desempeño en actividades cotidianas.

Frente a este escenario, la rehabilitación aparece como un componente esencial del proceso post-ACV. Existen múltiples terapias diseñadas para ayudar a recuperar o compensar las funciones perdidas, como la fisioterapia, la terapia ocupacional, el trabajo con fonoaudiólogos

o la estimulación cognitiva. No obstante, en la práctica, no todos los pacientes tienen acceso equitativo ni continuo a estas intervenciones, lo cual profundiza las desigualdades en salud y limita las posibilidades reales de reintegración social de las personas afectadas.

## **1.2. Identificación del problema**

Entre las principales barreras que dificultan la rehabilitación se encuentran:

### **1.2.1. Factores económicos**

Muchas de las terapias disponibles en el sistema privado tienen un costo elevado, lo que restringe el acceso de pacientes con menores recursos. Si bien existen programas públicos, estos no siempre cubren todas las necesidades del paciente ni cuentan con disponibilidad suficiente.

### **1.2.2. Factores geográficos y logísticos**

En zonas rurales o alejadas de centros urbanos, los pacientes pueden tener dificultades para trasladarse regularmente a centros de rehabilitación, especialmente si dependen de terceros o tienen movilidad reducida.

### **1.2.3. Falta de motivación en el proceso terapéutico**

Una gran cantidad de pacientes abandona las terapias debido a la monotonía de las actividades o a la percepción de escasos avances. La baja motivación afecta directamente la adherencia a los tratamientos, disminuyendo su eficacia a largo plazo.

### **1.2.4. Limitada personalización de las terapias**

Muchas veces, las intervenciones no están adaptadas a las características individuales del paciente, como su nivel de deterioro cognitivo, intereses o contexto sociocultural, lo que reduce su impacto positivo.

Estos factores no solo afectan el tratamiento de quienes ya han vivido un ACV, sino que también generan un sentimiento de frustración, aislamiento y desmotivación en pacientes y familias que enfrentan este proceso con incertidumbre. La tecnología, bien utilizada, puede convertirse en un puente entre estas barreras y una rehabilitación más accesible, cercana y humana.

Por eso, es urgente repensar las estrategias actuales y buscar nuevas formas de acompañar a quienes están en proceso de recuperación. Las herramientas digitales pueden ser mucho más que simples recursos: pueden transformarse en verdaderos espacios de esperanza, en los que las personas encuentren no solo estimulación cognitiva, sino también motivación, reconocimiento y un sentido de avance real en su rehabilitación.

Al final del día, este problema no se trata solo de estadísticas o cifras. Se trata de personas reales, de historias que cambian en un instante, y de todo un entorno que necesita apoyo. Diseñar soluciones accesibles, motivadoras y significativas es, entonces, una forma concreta de devolverles un poco de autonomía, dignidad y calidad de vida a quienes más lo necesitan.

### **1.3 Estado del arte**

Con los avances tecnológicos del último siglo, se han visto beneficiadas diversas áreas, y la de la salud no está fuera de ellas. Se ha dado paso a múltiples herramientas que apuntan a la rehabilitación de pacientes que han sufrido accidente cerebrovascular.

Entre estas, se destaca el concepto de serious games, lo cual engloba todo videojuego que fue diseñado no solo para entretener, sino que también tiene la misión de servir de terapia o educar al usuario.

Con respecto a lo anterior, estos juegos son utilizados para trabajar en las capacidades cognitivas, emocionales y físicas de los pacientes que se encuentran en proceso de rehabilitación.

Respecto al proyecto que estamos desarrollando, nuestro interés radica que es poca la información respecto a sistemas como este que se desarrollen en base a Arduino, muchos de los proyectos que se encuentran en la documentación si bien se asemejan, se enfocan a diferentes áreas como la robótica o terapia física respecto a ejercicios físicos, pero ninguna se refiere al tema que tratamos como proyecto.

### **1.3.1 Soluciones digitales existentes**

#### **1.3.1.1 Soluciones web**

**CogniFit:** El sitio web CogniFit ofrece a los usuarios una serie de evaluaciones cognitivas, las cuales se diseñaron en colaboración con expertos del área con la finalidad de monitorear y medir diversas funciones cognitivas. Cuenta con una amplia parrilla de pruebas que están validados científicamente, y que son de libre acceso tanto para profesionales del área como para usuarios que desean poner a prueba su estado cognitivo.

Sus métodos de evaluación se componen de tareas interactivas, juegos lúdicos, cuestionarios de selección múltiple entre otros. Cada actividad va acompañada de un informe con los resultados del test y recomendaciones para el usuario. Además, el sitio web cuenta con un apartado de entretenimiento cognitivo, que es un gran apoyo para mejorar diferentes habilidades, tales como la atención, la organización, la memoria, entre varios otros.



*Ilustración 1. Plataforma CogniFit.*

**NeuroNation:** El sitio web y aplicación NeuroNation ofrece a los usuarios una serie de ejercicios cognitivos interactivos que están diseñados para fortalecer funciones como la memoria, la atención, la lógica y la velocidad de procesamiento. Estas actividades están presentadas en formato de juegos, con niveles de dificultad que se adaptan automáticamente al rendimiento del usuario.

La plataforma está respaldada por principios de neurociencia y ha sido utilizada por instituciones de salud y educación para complementar tratamientos. NeuroNation proporciona gráficos de progreso y estadísticas que permiten hacer seguimiento del avance de los usuarios a lo largo del tiempo.

Aunque es una herramienta útil para entrenamientos cognitivos en línea, presenta ciertas limitaciones para la rehabilitación post-ACV, ya que no incluye interacción con hardware físico ni medición precisa del tiempo de reacción motriz. Su

aplicación está limitada al entorno digital, sin considerar las respuestas físicas reales que pueden ser clave en el tratamiento de pacientes con daño neurológico.

Empezar ciencia

## Fitness para tu cabeza

Descubre tu potencial real. Comience su entrenamiento de memoria personal con más de 30 ejercicios altamente efectivos.

COMIENCE AHORA



GALARDONADO CON EL PREMIO PROMOCIONAL AOK - LEONARDO PARA LA PREVENCIÓN DIGITAL



DER AOK-LEONARDO-  
PRAXISPREIS WIRD  
GEFÖRDERT VOM:

Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

Bundesministerium  
für Gesundheit

COOPERACIÓN CIENTÍFICA



CHARITÉ

Freie Universität  Berlin



MSH

Medical School Hamburg  
Forschungszentrum für  
Gerontologie und Medizin



### Entrenamiento de memoria altamente efectivo con más de 30 ejercicios específicos

Asegure el acceso sin restricciones a un excelente plan de entrenamiento personalizado con más de 30 ejercicios para fortalecer su cerebro.

[Prueba el entrenamiento de memoria gratis](#)

Ilustración 2. Plataforma NeuroNation

### 1.3.1.2 Tecnologías basadas en Arduino

**Flexthand:** El proyecto Flexthand presenta un sistema orientado a asistir a personas que han sufrido un Accidente Cerebrovascular (ACV), enfocado específicamente en pacientes cuya secuela principal afecta sus funciones auditivas. El dispositivo utiliza una tarjeta Arduino para recibir señales desde sensores y micrófonos, procesarlas y activar luces LED como alertas visuales en respuesta a sonidos del entorno, tales como timbres o alarmas. Su propósito es mejorar la calidad de vida del usuario mediante avisos visuales que suplan la percepción auditiva disminuida.

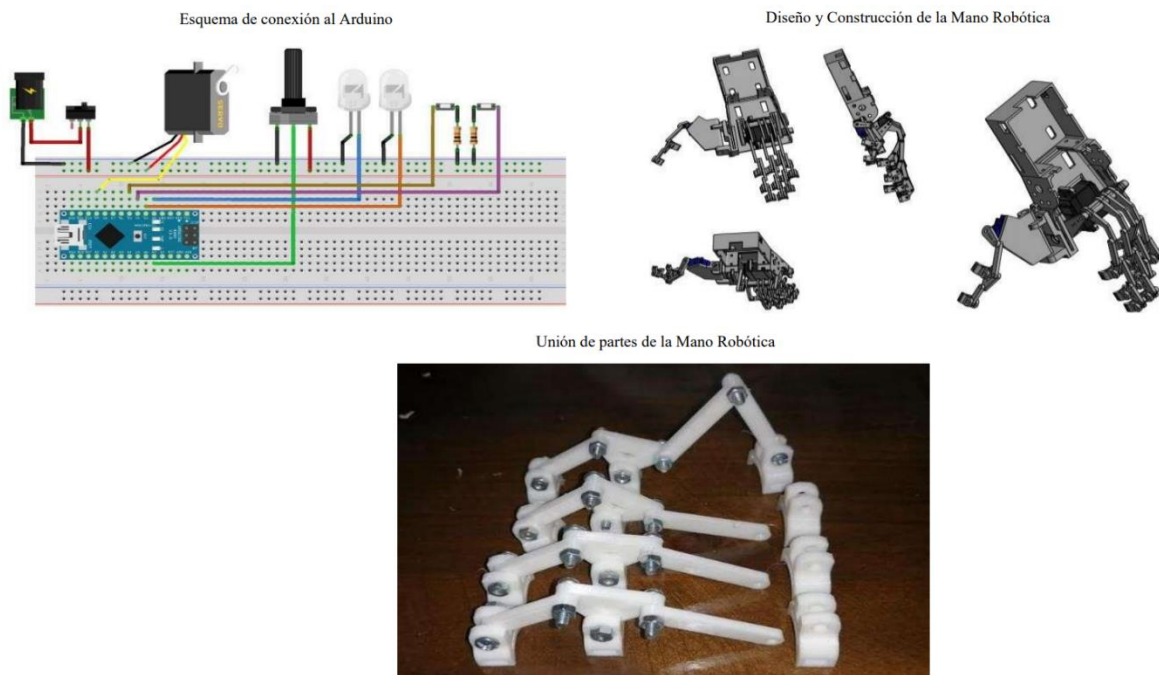


*Ilustración 3. Sistema Flexthand.*

### Dispositivo indicador de carga de peso y actividad muscular:

Este proyecto, al igual que el antes mencionado, desarrolla un dispositivo que se enfoca a la rehabilitación de personas que han sufrido un accidente cerebrovascular, con la diferencia, que este se enfoca en la mejora de la fuerza de agarre y movilidad de la mano del paciente.

Esto lo hacen por medio de una pelota inteligente, la cual, está desarrollada en base a Arduino. Esta pelota cuenta en su interior con sensores, los cuales tienen la misión de detectar la cantidad de presión que se ejerce por parte del paciente, para posteriormente traspasar la información recopilada a una plataforma digital, con la finalidad de medir el progreso en el tiempo que tiene el paciente.



Ilustración 4. Dispositivo indicador de carga de peso y actividad muscular.

## 1.4 Propuesta de solución

Frente a la necesidad de fortalecer los procesos de rehabilitación cognitiva en personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), se plantea el desarrollo de una herramienta tecnológica interactiva enfocada en medir la velocidad de respuesta ante estímulos mediante un botón físico.

Esta propuesta denominada ReCobra, se estructura como un sistema de fácil uso y bajo costo, diseñado para apoyar las terapias cognitivas tradicionales mediante el registro y análisis objetivo de las respuestas del paciente. El funcionamiento básico consiste en que, ante un estímulo visual (por ejemplo, una luz en pantalla), el sistema registre el tiempo que transcurre hasta que el paciente presiona el botón conectado al circuito.

El sistema estará diseñado para:

- Generación de estímulos visuales
- Medición del tiempo de reacción
- Registro automatizado de datos
- Permitir la visualización de la evolución del paciente en el tiempo a través de gráficos simples e intuitivos.

Este sistema no requiere conocimientos técnicos avanzados ni equipamiento especializado, lo que lo hace accesible tanto para centros de salud como para su uso en el hogar. Además, puede ser utilizado por terapeutas como complemento a las terapias tradicionales, facilitando el seguimiento del proceso de recuperación con información objetiva y útil.

El foco está puesto en lo simple pero funcional: una forma de apoyar al paciente, ofrecer retroalimentación motivadora y facilitar el trabajo del profesional de salud. Con esta solución, se

busca acercar la tecnología a la vida real, aportando a un proceso de rehabilitación más humano, constante y medible.

En síntesis, la propuesta busca acercar la tecnología a la rehabilitación cognitiva de manera práctica y humanizada, favoreciendo un proceso terapéutico más constante, medible y adaptado a las necesidades reales de cada persona.

### CONTEXTO Y ALCANCE DEL PROYECTO

## 2. Antecedentes del Proyecto

### 2.1. Justificación del proyecto

Refiriéndonos al desarrollo Recobra como una herramienta interactiva orientada a la rehabilitación cognitiva de pacientes post-accidente cerebrovascular (ACV), la justificación se sustenta con fundamentos técnicos, sociales, económicos, académicos y ambientales. Estas razones evidencian la relevancia y viabilidad del proyecto, tanto a nivel aplicado como científico, destacando su potencial impacto positivo dentro de la sociedad actual y futura.

#### 2.1.1. Razones Técnicas

La implementación de un sistema basado en hardware de tipo Arduino y tecnologías de libre acceso y bajo costo permite realizar mediciones precisas del tiempo de reacción en pacientes que han sufrido un ACV, mediante estímulos visuales y respuestas físicas controladas. Este enfoque posibilita el registro objetivo de parámetros cognitivos, facilitando su posterior análisis clínico.

Cabe señalar que el proyecto se dirige a un grupo específico de pacientes, dado que la variabilidad en la severidad de las secuelas post-ACV exige una cuidadosa selección de los usuarios que pueden interactuar de forma segura con el dispositivo de rehabilitación.

La combinación entre el software interactivo y el hardware compuesto por un led RGB, una placa ESP32-C5-DevKitC-1, una pantalla LCD y otros componentes ofrece una experiencia de usuario adaptable, fluida y personalizable. Esta combinación tecnológica permite ajustar la plataforma a las necesidades particulares de cada paciente.

La elección del microcontrolador ESP32-C5 es un aspecto clave para el proyecto, permite un trabajo de procesamiento de los datos y conectividad más fluido, aspectos esenciales dentro del ámbito del desarrollo tecnológico contemporáneo.

### **2.1.2. Razones Sociales**

La rehabilitación posterior a un accidente cerebrovascular representa uno de los principales desafíos en el ámbito de la salud , tanto para el paciente como para su entorno familiar, social o profesional. Dentro de este contexto, ReCobra se proyecta como una herramienta tecnológica de fácil uso y accesibilidad, destinada a hacer más interactivo, motivador y participativo el proceso de estimulación cognitiva.

En esta perspectiva, el sistema promueve una mayor participación del paciente en su propia recuperación, lo que fortalece su compromiso con la terapia. Asimismo, ofrece a los terapeutas una plataforma eficaz para monitorear avances, ajustar tratamientos y fomentar la adherencia terapéutica. De esta manera, ReCobra contribuye a mejorar la calidad de vida de los pacientes y a optimizar los procesos clínicos de rehabilitación.

### **2.1.3 Razones Económicas**

Una de las principales fortalezas de ReCobra, radica en su bajo costo de implementación. Al utilizar componentes económicos y que son de fácil acceso, el sistema es significativamente mucho más asequible en comparación con herramientas médicas comerciales especializadas en rehabilitación cognitiva.

Esta característica del sistema es la que amplía considerablemente las posibilidades de aplicación en entornos con recursos limitados, tales como hospitales públicos, centros de salud comunitarios y clínicas rurales. En consecuencia, ReCobra no solo representa una alternativa tecnológica eficaz, sino también una solución inclusiva respecto al acceso a terapias de estimulación cognitiva de calidad.

#### **2.1.4 Razones Académicas**

Desde el punto de vista académico, este proyecto aporta en el desarrollo del conocimiento aplicado en el ámbito de la neurorrehabilitación y tecnologías asistivas. Su enfoque multidisciplinario constituye un elemento bastante positivo, ya que permite generar evidencia relevante sobre el uso de hardware de bajo costo en terapias cognitivas, explorando nuevas metodologías de intervención adaptadas a las condiciones reales de los pacientes.

Asimismo, la utilización de tecnologías abiertas y programables, como Arduino, fomenta la investigación aplicada, el desarrollo de prototipos y la formación de futuros profesionales en áreas relacionadas con la salud y las ciencias cognitivas. De esta manera, el proyecto contribuye al fortalecimiento del vínculo entre la innovación tecnológica y la investigación universitaria.

#### **2.1.5 Razones Ambientales**

En este ámbito, aún no se dispone de información cuantitativa sobre el impacto ambiental del sistema, la orientación del proyecto hacia el uso de tecnologías de bajo consumo energético y la reutilización de componentes electrónicos refleja un compromiso con la sostenibilidad ambiental.

El uso del microcontrolador ESP32 y la pantalla LCD habla de un sistema que posee un bajo requerimiento energético, y refuerza esta perspectiva. Asimismo, la reutilización de cables y módulos electrónicos contribuye a disminuir la generación de residuos tecnológicos.

Por lo tanto, ReCobra se presenta como una solución no solo innovadora y accesible, sino también respetuosa con el medio ambiente, alineada con los principios de sostenibilidad tecnológica.

## **2.2. Relevancia del Proyecto en el Área de Estudio**

ReCobra tiene una gran oportunidad de éxito en el campo de la neurorrehabilitación, esto, ya que ofrece una solución moderna y tecnológica que es innovadora en el área de la estimulación cognitiva en pacientes post-ACV. Está diseñada con base en los principios de eficiencia, adaptabilidad y accesibilidad, creando una combinación entre un hardware físico y software interactivo en un entorno clínico controlado.

Además de lo anterior, la herramienta mide el progreso terapéutico del paciente, permitiendo su constante monitoreo. Además, permite ajustar dinámicamente las actividades según el perfil del paciente, y fomentando una participación en su proceso de recuperación.

Y finalmente, ReCobra, al ser de bajo costo, puede “democratizar” el acceso a tecnologías terapéuticas, especialmente en contextos donde los recursos económicos son limitados.

## **2.3. Alcances del sistema**

El presente proyecto contempla el desarrollo de un prototipo funcional orientado a la rehabilitación cognitiva de pacientes que han sufrido un Accidente Cerebrovascular (ACV). El sistema integra hardware de bajo costo con una plataforma digital, con el fin de generar estímulos visuales, registrar tiempos de reacción y proporcionar información útil para el seguimiento terapéutico.

La interacción con el sistema se realiza mediante una unidad física basada en una tarjeta ESP32-C5, equipada con botones y una pantalla OLED, la cual permite ejecutar actividades cognitivas y capturar las respuestas del usuario. Los datos obtenidos serán almacenados en una plataforma web a la que podrán acceder terapeutas y profesionales de la salud mediante credenciales, garantizando así la protección de la información recopilada.

De acuerdo con la naturaleza sensible de los datos, su uso estará restringido exclusivamente a profesionales autorizados que participen en el proceso de rehabilitación del paciente. Paralelamente, y tal como lo establece la normativa vigente sobre protección de datos personales, el paciente y/o su representante autorizado podrán acceder a una plataforma web para visualizar su información y consultar su historial de progreso.

El ingreso, administración y análisis de los registros asociados a los pacientes estarán habilitados únicamente para terapeutas o personal a cargo del tratamiento, quienes contarán con una interfaz web dedicada para dicha gestión.

El proyecto se limita, en su primera fase, a pacientes adultos que se encuentren en procesos de rehabilitación cognitiva post-ACV. La configuración del sistema, incluyendo la intensidad de los estímulos y el tipo de actividades cognitivas disponibles, será definida por el profesional de la salud a cargo, con el fin de asegurar que la herramienta se adapte a las necesidades individuales del paciente.

## **2.4 Vinculación con profesionales de la salud**

Durante el desarrollo del proyecto ReCobra, se realizaron dos visitas al Hospital de La Paz de Limache, instancia en la cual se sostuvo trabajo directo con la terapeuta ocupacional Srta. Catalina Pérez Parra, quien brindó apoyo y orientación técnica relevante para el diseño del sistema.

Estas visitas tuvieron como objetivo principal validar aspectos clínicos asociados a la clasificación de los tiempos de reacción promedio (expresados en milisegundos), con el fin de determinar cuándo los resultados obtenidos por los pacientes pueden considerarse adecuados o deficientes dentro de un proceso de rehabilitación cognitiva. A partir del análisis realizado junto a la profesional, se identificó una limitación clave: no es clínicamente correcto evaluar con el mismo criterio de velocidad de reacción a personas de distintos rangos etarios, por ejemplo, comparar directamente el tiempo de reacción de una persona de 22 años con el de una persona de 70 años.

Frente a esta problemática, la terapeuta ocupacional sugirió la necesidad de realizar evaluaciones diferenciadas por rangos etarios, permitiendo así establecer parámetros más realistas y justos para la interpretación de los resultados. Esta recomendación derivó en la propuesta de construir una tabla de clasificación estandarizada, basada en rangos de edad, que permita contextualizar los promedios de tiempo de reacción y facilitar una evaluación más precisa del desempeño cognitivo de cada paciente.

La información obtenida durante estas visitas fue considerada un aporte fundamental para el proyecto, ya que permitió ajustar el diseño del sistema ReCobra desde una perspectiva clínica, asegurando que los datos generados por la plataforma sean interpretables, comparables y útiles para los profesionales de la salud en un contexto real de rehabilitación.

En esta sección se presentan los requerimientos fundamentales que permiten definir el funcionamiento del sistema ReCobra, así como su estructura de datos y las interacciones entre los diferentes actores. El análisis incluye los **requerimientos funcionales, no funcionales, requerimientos de datos** y la definición de los **casos de uso** del sistema.

### 3.1 Objetivos del proyecto

#### 3.1.1. Objetivo General

Proponer el desarrollo de un sistema interactivo compuesto por un software y un hardware, que se oriente a la rehabilitación cognitiva de personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV).

#### 3.1.2. Objetivos Específicos

- Crear una interfaz visual simple y amigable que permita a los pacientes post-ACV realizar ejercicios de estimulación cognitiva de forma intuitiva.
- Implementar un sistema basado en Arduino y un botón físico para registrar con precisión el tiempo de reacción ante estímulos visuales, y visualizar los datos mediante gráficos.
- Probar el sistema con pacientes reales y profesionales de la salud para evaluar su efectividad en la rehabilitación cognitiva.
- Diseñar una solución accesible y portátil, utilizando hardware económico como Arduino, adaptable a contextos clínicos y domiciliarios.

- Mantener al paciente motivado mediante retroalimentación visual inmediata y registro del progreso, incentivando el uso constante de la herramienta.

#### 4.1. ¿QUÉ ES UN ACCIDENTE CEREBROVASCULAR?

Un accidente cerebrovascular (ACV), también denominado ictus o derrame cerebral, se define como una emergencia médica caracterizada por la interrupción repentina del flujo sanguíneo hacia una parte del cerebro. Este ocurre cuando se interrumpe el flujo sanguíneo hacia una parte del cerebro de forma abrupta y repentina, impidiendo que las células cerebrales reciban los nutrientes y el oxígeno que requiere para poder funcionar.

La interrupción del flujo sanguíneo puede variar en duración, sin embargo, incluso los episodios breves pueden generar daños neurológicos graves o irreversibles si no se actúa con rapidez. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los accidentes cerebro vasculares forman parte de las principales causas de muerte y discapacidad a nivel global, siendo los principales afectados los adultos mayores, seguidos por los adultos jóvenes.

Existen dos tipos de accidente cerebrovascular: el ACV **isquémico** y el **hemorrágico**, y si bien estos son parte de un mismo concepto, cada uno es diferente en cuanto a mecanismo, sintomatología y rehabilitación.

##### 4.1.1. ACV Isquémico

El accidente cerebrovascular isquémico es el más común entre los afectados, siendo este en el 85% de los casos de ACV. Esto ocurre cuando una arteria, la cual lleva sangre directo al cerebro con los nutrientes necesarios para su funcionamiento es obstruida, en el común de los casos, esta obstrucción la provoca un coágulo sanguíneo, o también puede ser provocada por lo que se conoce como un émbolo. La obstrucción generada produce una “isquemia cerebral”, que,

en palabras simples, se traduce como la disminución abrupta de oxígeno y glucosa a las células del cerebro, lo que, por consecuencia, provoca la muerte progresiva del cerebro en el caso de no restablecer el flujo sanguíneo de forma oportuna.

Si bien se sabe que el concepto de los ACV es bastante amplio, en el caso de los isquémicos se puede lograr identificar varias categorías.

- **Trombóticos:** Este es causado por un coágulo, el cual se genera directamente en una arteria al interior del cerebro, esto, comúnmente pasa debido a una enfermedad llamada aterosclerosis, que provoca que las arterias se endurezcan y se estrechen debido a la acumulación de placa, compuesta por colesterol, grasa y otras sustancias.
- **Embolígeno:** Este es producido por un fragmento o coágulo, el cual puede provenir desde cualquier parte del cuerpo hasta llegar al cerebro. Es importante mencionar, que este tipo se relaciona de forma frecuente con las numerosas enfermedades cardíacas existentes, o incluso con la fibrilación auricular.
- **Lacunar:** Este se encuentra asociado directamente a la obstrucción de arterias perforantes de mínimo tamaño, las cuales irrigan estructuras profundas del cerebro, tales como el tálamo y los ganglios basales.

La manera de tratar un ACV puede variar dependiendo del caso, y no existe una terapia universal para todos los casos. Sin embargo, en el caso de los isquémicos, si bien no es una solución general, al ser el tipo más común, es la más usada para tratar. Este tratamiento se basa en administrar de forma apresurada medicamentos que se encargan de disolver los coágulos de

sangre que bloquean el flujo correcto de la sangre, estos medicamentos tienen el nombre de “trombolíticos”. La administración de estos medicamentos debe ser dentro de un rango ideal de entre 4 y 5 horas desde que la persona presenta síntomas de un accidente cerebro vascular. También, se recomienda el uso de técnicas de trombectomía mecánica, este es un procedimiento, el cual fue diseñado para eliminar coágulos sanguíneos que obstruyen las arterias del cerebro. Esta técnica se aplica únicamente en casos específicos, y la rehabilitación temprana resulta fundamental para reducir las secuelas del ACV.

#### **4.1.2. ACV Hemorrágico**

Este representa aproximadamente el 15% de todos los casos de ACV a nivel mundial. No obstante, este suele ser mucho más grave en cuanto a desarrollo, secuelas, e incluso tasa de mortalidad.

Este tipo de ACV ocurre por la ruptura de un vaso sanguíneo dentro del cerebro, lo que provoca un sangrado interno, exponiendo a daños las estructuras cerebrales que se encuentren alrededor del vaso roto, aumentando la presión al interior del cráneo.

Al igual que los isquémicos, los ACV hemorrágicos también se dividen en categorías, específicamente en tipos de hemorragia ocurrida. Estas son:

- **Hemorragia intracerebral:** Como bien lo menciona el nombre, este tipo de hemorragia ocurre cuando la ruptura del vaso sanguíneo tiene lugar al interior del tejido cerebral.
- **Hemorragia subaracnoidea:** Este ocurre cuando la sangre comienza a acumularse en el área entre el cerebro y las membranas que lo recubren, más conocido como “espacio subaracnoideo”.

Es importante tener en cuenta las causas de los ACV hemorrágicos, ya que, si bien son los menos frecuentes, las razones para que estos ocurran no se encuentran muy lejos de la vida

cotidiana. Algunas de las causas más comunes suelen ser, hipertensión arterial crónica sin un control, aneurismas cerebrales, y, en casos particulares, incluso el uso de anticoagulantes de forma excesiva. También puede deberse a traumatismos craneales o enfermedades hematológicas.

La forma de tratamiento que tiene un ACV hemorrágico es más complejo y menos estandarizado que el del isquémico. Este sienta sus bases en el control de la presión arterial, prevención del aumento de la presión al interior del cráneo. Además de esto, en ciertos casos particulares, es necesario someter al paciente a una intervención quirúrgica con el fin de evacuar el hematoma generado y poder así reparar el vaso sanguíneo que se vio afectado al momento del ACV. Ahora bien, el proceso de recuperación y la recuperación como tal varían dependiendo de una serie de factores, como lo es la localización y extensión del sangrado.

Cualquiera sea el caso, un accidente cerebro vascular puede causar daño cerebral irreversible de no ser tratado adecuadamente.

Según datos entregados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias (SEMES), en los tiempos actuales, los ACV están catalogados como una de las amenazas más importantes y peligrosas para la salud a nivel global del siglo XII. Ambos comparten un resultado estadístico que es alarmante, ya que, según estudios estadísticos, se estima que una de cada seis personas a nivel global sufrirá un ACV en algún momento de su vida. Esto no considera solamente a los grupos etarios de riesgo como adultos mayores y adultos jóvenes, sino que abarca a población desde adolescentes hasta adultez en general.

Estas cifras resultan alarmantes y evidencian la falta de políticas públicas orientadas al diagnóstico temprano, la prevención y la rehabilitación integral de los pacientes. Si bien el

impacto más grave de un ACV es el acto mismo del corte del flujo sanguíneo al cerebro, este no termina en este evento específico. Uno de los más preocupantes es las diversas posibilidades de secuelas que pueden quedar en el afectado en caso de que este sobreviva. Se logró demostrar por medio de diversos estudios que alrededor del 30% de quienes sobreviven a un accidente cerebrovascular quedan con algún tipo de discapacidad grave, lo que, si bien es esperable dado la gravedad del asunto, esto repercute en su día a día, afectando su calidad de vida, su autonomía y su bienestar psicológico.

Estas discapacidades van desde dificultades de habla, pérdida de sensibilidad, deterioro de funciones cognitivas, dificultades motoras entre un sinnúmero de posibilidades, de las cuales todas requieren atención y un constante apoyo.

Por esta misma línea, se estima que el 70% de los pacientes que sobreviven a un ACV necesita algún tipo de rehabilitación neurológica especializada en todas las áreas que se puedan ver afectadas, tanto físico como cognitivo. Es en estos casos donde la rehabilitación toma un papel esencial para la recuperación de los pacientes. Sin embargo, esto puede resultar bastante complejo para algunas personas, ya que suele ser un proceso prolongado, demandante emocionalmente, y por, sobre todo, muy costoso tanto para el paciente como para el círculo social que lo acompaña, generalmente, su familia. Y es justamente en este punto donde Recobra plantea una alternativa real, económica y escalable.

## **4.2. El tiempo de respuesta: un factor determinante**

Cuando una persona sufre un accidente cerebrovascular (ACV), muchas cosas cambian de golpe. A veces esos cambios son evidentes (como perder fuerza en una pierna, tener problemas para hablar o dificultad para moverse), pero otras veces los efectos son más silenciosos, menos visibles... como lo que ocurre con el tiempo de respuesta.

Este tiempo, que puede parecer algo menor, se refiere a lo que tarda alguien en reaccionar ante un estímulo: una luz que se enciende, un sonido repentino o una sensación al tacto. Aunque suene simple, esta reacción es una ventana directa al estado del sistema nervioso. Cuando ese sistema se ve afectado (como ocurre tras un ACV), esta capacidad de reaccionar también se resiente.

Estudios hechos por profesionales del área de rehabilitación en Chile han señalado que más del 60% de las personas que han tenido un ACV experimentan una disminución importante en su tiempo de respuesta. Esto impacta en su vida diaria de formas que muchas veces no se ven a simple vista. Actividades cotidianas como vestirse, cocinar o cruzar la calle pueden convertirse en situaciones de riesgo o frustración simplemente porque el cuerpo no responde con la misma rapidez que antes.

Las primeras horas que marcan la diferencia

Existe un periodo muy crítico en todo este proceso: las primeras 6 a 8 horas después del ACV. En ese lapso, se define gran parte del daño neurológico, y si se recibe atención médica rápidamente, las probabilidades de recuperación son mucho mayores. Es lo que algunos llaman “la ventana dorada” (un momento en el que las decisiones y acciones médicas pueden cambiar por completo el pronóstico).

Pero incluso después de esas horas, hay otra ventana (más larga, pero igual de importante) que puede extenderse hasta los 6 meses siguientes al ACV. Durante este tiempo, el cerebro entra en un proceso que los especialistas llaman neuroplasticidad (que es su capacidad para adaptarse, reorganizarse y aprender nuevas rutas para seguir funcionando). Es como si el cerebro buscará otros caminos para hacer lo que antes hacía con normalidad. Y mientras más se entrene, mayores son las posibilidades de recuperación.

#### **4.3 Mucho más que una métrica**

Hablar del tiempo de respuesta no es solo hablar de números o pruebas clínicas. Es hablar de la seguridad, la autonomía y la confianza de una persona que intenta recuperar su vida. Cuando esta habilidad está afectada, se pierde agilidad para responder a lo que ocurre alrededor. Un plato caliente que se cae, una señal de advertencia, una bicicleta que pasa rápido... todo se vuelve más lento (y con eso, más riesgoso).

Por eso, medir y entrenar esta capacidad es fundamental. No solo permite detectar problemas motores o cognitivos, también sirve para monitorear avances durante el proceso de rehabilitación. A medida que la persona va ganando rapidez en sus respuestas, también va recuperando independencia, seguridad y autoestima. Ver mejoras (aunque sean pequeñas) puede tener un impacto muy grande en lo emocional.

Además, registrar esta evolución de forma sistemática (por ejemplo, usando sensores o ejercicios repetitivos con tiempos controlados) permite a terapeutas y familiares ajustar los tratamientos, decidir cuándo avanzar o cuándo insistir en ciertos ejercicios. En el fondo, se trata de entender que cada persona progresa a su ritmo (y que ese ritmo también se puede observar, medir y acompañar).

#### **4.4 Neuro plasticidad y motivación**

La neuroplasticidad es uno de los descubrimientos más esperanzadores dentro de las neurociencias. Se trata de la capacidad del cerebro humano para adaptarse, modificarse y reestructurarse frente a nuevas experiencias, aprendizajes o incluso daños como los provocados por un accidente cerebrovascular (ACV). Esta capacidad no desaparece con la edad ni se detiene por una lesión. Muy por el contrario, se mantiene activa durante toda la vida y se convierte en un motor de recuperación cuando el entorno y las experiencias lo permiten. Gracias a la neuroplasticidad, una persona puede volver a aprender a mover una mano, a hablar, a recordar o a coordinar acciones, siempre que el cerebro reciba los estímulos adecuados y en el momento oportuno.

Este proceso no ocurre de forma automática. La plasticidad cerebral necesita esfuerzo, repetición, atención y, sobre todo, propósito. Cuando las terapias son planificadas de manera que el paciente se involucre activamente, el cerebro responde generando nuevas conexiones neuronales que intentan compensar las áreas dañadas. Lo maravilloso es que, incluso ante limitaciones físicas o cognitivas, el cerebro encuentra caminos alternativos para lograr una función. Es como si cada acción que se intenta por más pequeña que sea dejará una huella, una pista para que las neuronas vuelvan a encontrarse y trabajen juntas.

Pero este viaje de recuperación no es fácil. Quienes han pasado por un ACV, además de los desafíos físicos o cognitivos, enfrentan muchas veces emociones complejas: frustración, miedo, ansiedad, cansancio y, lamentablemente, en muchos casos, desmotivación. Aquí es donde aparece otro componente fundamental en la rehabilitación: la motivación.

La motivación es ese impulso interior que nos mueve a actuar, a no rendirnos, a levantarnos cada día con la esperanza de mejorar. En el contexto de la rehabilitación, no basta con que una terapia sea clínicamente efectiva; también debe ser emocionalmente significativa

para quien la recibe. Cuando una persona se siente escuchada, comprendida, acompañada y, sobre todo, protagonista de su recuperación, se compromete con más fuerza al proceso.

Sin embargo, la realidad es que muchas terapias tradicionales, aunque bien intencionadas, pueden volverse monótonas y poco atractivas. Actividades repetitivas y desprovistas de estímulo emocional pueden provocar que el paciente sienta que no avanza, que está solo o que simplemente "ya no puede". Estudios indican que cerca del 45% de los pacientes abandona los procesos de rehabilitación antes de cumplir los seis meses, lo cual representa una pérdida enorme no sólo en términos clínicos, sino también humanos. Detrás de cada abandono hay historias personales, sueños detenidos, vidas que podrían mejorar si encontraran el acompañamiento adecuado.

Frente a este escenario, se vuelve urgente repensar la manera en que se diseñan las intervenciones terapéuticas. Incorporar estrategias que activen la curiosidad, el juego, el disfrute, el desafío y la recompensa puede hacer una gran diferencia. Por ejemplo, el uso de estímulos visuales como luces de colores que respondan a la acción del usuario, sonidos que indiquen logros o correcciones, y metas ajustadas al ritmo de cada persona, son elementos que pueden transformar la experiencia de la rehabilitación en algo mucho más cercano, significativo y sostenido en el tiempo.

Además, ofrecer al paciente la posibilidad de **visualizar su progreso** de manera clara y positiva a través de gráficos o indicadores simples permite reforzar su sentido de logro. No se trata solo de decirle "vas mejorando", sino de mostrárselo, celebrarlo y construir junto a él una narrativa de avance. Cada pequeña mejora, cada segundo ganado en un ejercicio, puede convertirse en un impulso emocional que fortalece la autoestima, la autonomía y el deseo de seguir adelante.

Al entender que la recuperación no es solo física, sino también emocional y social, se abre la puerta a terapias más integrales, humanas y efectivas. Se reconoce al paciente no como alguien que “recibe tratamiento”, sino como una persona activa, capaz de aprender, superar obstáculos y volver a disfrutar de la vida, incluso en medio de la adversidad.

Cuando se combinan los principios de la neuroplasticidad con un enfoque genuino en la motivación, lo que se logra no es solamente una mejora clínica, sino una transformación profunda en la manera en que las personas enfrentan su proceso de recuperación. Porque detrás de cada ejercicio hay una historia de lucha, de resiliencia y de esperanza. Y si a esa historia le sumamos herramientas que estimulen el cerebro y toquen el corazón, entonces el camino de la rehabilitación deja de ser una obligación para convertirse en una oportunidad de renacer.

#### **4.5 Tecnologías Asistivas: una verdadera oportunidad**

En las últimas décadas, el desarrollo tecnológico ha transformado la forma en que las sociedades enfrentan los desafíos relacionados con la discapacidad. En este contexto, las tecnologías asistivas han emergido como una herramienta esencial para promover la autonomía, la dignidad, la participación social y la calidad de vida de millones de personas en el mundo. Lejos de ser una opción secundaria o de lujo, estas tecnologías se han convertido en un componente fundamental de los derechos humanos, alineado con los principios de inclusión, equidad y accesibilidad universal.

Las tecnologías asistivas abarcan una amplia gama de dispositivos, servicios, sistemas y herramientas diseñadas específicamente para ayudar a personas con alguna discapacidad o limitación funcional —ya sea de carácter físico, sensorial, intelectual, comunicacional o cognitivo— a realizar actividades que, de otro modo, serían difíciles o imposibles. Estas herramientas no son adaptaciones de lo existente, sino creaciones desarrolladas desde su origen con un propósito claro: asistir, facilitar, habilitar.

#### **4.5.1 Tecnologías asistivas**

Hace referencia a cualquier producto, equipo o sistema que se utilice para aumentar, mantener o mejorar las capacidades funcionales de las personas con discapacidad. Esta categoría abarca desde objetos simples hasta soluciones altamente sofisticadas.

Estas tecnologías pueden ser utilizadas por personas con distintos grados de discapacidad y en diferentes momentos de su vida, tanto en el ámbito educativo, laboral, doméstico, comunitario o sanitario.

#### **4.5.2 Tecnologías adaptativas**

Estas consisten en la modificación de tecnologías comunes o productos comerciales existentes para hacerlos accesibles a personas con discapacidad. Si bien estas soluciones tienen un valor significativo en ciertos contextos, en esta exposición no profundizaremos en ellas, ya que el foco está puesto en las tecnologías asistivas como un campo completo que es cada vez más importante y con un enfoque social, creado específicamente para romper barreras y lograr que las personas con discapacidad puedan vivir de forma más plena, independiente e integrada en la sociedad.

#### **4.6 Relevancia de las tecnologías asistivas en la vida cotidiana**

El impacto de las tecnologías asistivas se manifiesta de manera transversal en la vida de las personas, desde actividades básicas como vestirse o desplazarse, hasta dimensiones más complejas como comunicarse, trabajar, educarse o socializar.

Se estima que, a nivel mundial, más de 1.000 millones de personas requieren al menos una tecnología asistivas para llevar una vida funcional. Este número seguirá aumentando debido al envejecimiento poblacional y al crecimiento de enfermedades crónicas y neurodegenerativas.

De ese total:

- Más del 50% corresponde a personas mayores de 60 años que necesitan apoyo para su movilidad, visión, audición o funciones cognitivas.
- Aproximadamente un 15% de la población mundial vive con algún tipo de discapacidad significativa, según la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Solo entre el 10% y el 20% de quienes necesitan tecnologías asistivas pueden acceder a ellas de manera efectiva en países en desarrollo.
- Estas cifras reflejan no sólo la magnitud del desafío, sino también la urgencia de adoptar políticas públicas, sistemas de innovación y modelos de atención centrados en el acceso equitativo a estas tecnologías.

#### **4.7 Aplicación en rehabilitación física y cognitiva**

Uno de los campos donde las tecnologías asistivas han demostrado ser especialmente útiles es en la rehabilitación post-accidente cerebrovascular (ACV). Los ACV son la segunda causa más común de discapacidad en el mundo, y cada año millones de personas deben iniciar un proceso de recuperación física y cognitiva.

Según estimaciones internacionales:

- Cerca del 65% de los sobrevivientes de ACV quedan con algún grado de dependencia funcional.

- Entre un 35% y un 50% requiere apoyo tecnológico para reintegrarse a su vida cotidiana de forma autónoma.
- La implementación de tecnologías asistivas puede reducir hasta en un 40% la necesidad de asistencia constante de cuidadores.
- Además, se ha registrado un aumento del 50% en los niveles de adherencia a las terapias de rehabilitación cognitiva cuando estas tecnologías están disponibles, especialmente en adultos mayores.

El uso de plataformas de estimulación cognitiva, juegos interactivos, sistemas de seguimiento del tiempo de reacción, sensores de actividad y entornos virtuales adaptados, permite mantener la motivación del paciente, estimular la neuroplasticidad cerebral y medir el progreso en tiempo real.

#### **4.8 Desigualdad de acceso en América Latina**

En América Latina, la situación es aún más preocupante. A pesar de que existen múltiples iniciativas innovadoras y centros especializados, el acceso a tecnologías asistivas sigue siendo muy limitado:

- En promedio, solo el 20% de las personas que necesitan tecnología asistiva en América Latina puede obtenerla.
- En zonas rurales, la cifra es aún menor: menos del 10% de los usuarios potenciales acceden a dispositivos funcionales.
- Más del 70% de los servicios y dispositivos disponibles están centralizados en capitales o grandes ciudades.

- Un 45% de las familias declara no conocer opciones tecnológicas accesibles para la discapacidad de su familiar.
- El 60% del personal de salud y educación en la región no cuenta con formación específica en el uso o prescripción de estas herramientas.

Además, existe una fuerte dependencia de productos importados, lo que encarece el acceso y genera barreras económicas. En algunos casos, el costo de una silla de ruedas eléctrica especializada o un comunicador aumentativo puede superar los tres salarios mínimos mensuales.

#### 5.1. Metodología de Desarrollo y Planificación del Proyecto

Para llevar adelante el desarrollo del sistema interactivo destinado a la rehabilitación cognitiva de personas que han sufrido un accidente cerebrovascular (ACV), se tomó la decisión de implementar el modelo de desarrollo en espiral.

##### 5.1.1. Modelo espiral

El modelo en espiral se estructura en ciclos iterativos, donde cada iteración incluye fases de planificación, análisis de riesgos, diseño, implementación, prueba y evaluación. En cada vuelta de este ciclo, se obtiene una versión más robusta y refinada del sistema, lo que evita la acumulación de errores o fallos críticos hacia el final del proceso. Esta estrategia resulta especialmente útil cuando el proyecto debe interactuar con usuarios reales en un entorno clínico, como es el caso de los pacientes en rehabilitación post-ACV.

Uno de los principales beneficios del modelo en espiral es la posibilidad de involucrar activamente a los usuarios finales desde etapas tempranas del desarrollo. En este contexto, tanto pacientes como terapeutas pueden utilizar versiones preliminares del sistema, brindar retroalimentación sobre su usabilidad, funcionalidad y utilidad clínica, y proponer mejoras concretas. Esta interacción constante garantiza que el resultado final esté alineado con las necesidades reales del entorno de rehabilitación.

## 5.2. Justificación del uso de la metodología espiral

Esta metodología fue seleccionada por su enfoque flexible y adaptativo, que permite construir sistemas de manera gradual, incorporando constantemente mejoras a partir de evaluaciones, pruebas y retroalimentación directa de los usuarios.

Además de lo antes mencionado, se optó por este modelo de desarrollo porque:

- (Permite una mejora progresiva del sistema) gracias a su estructura iterativa, no es necesario desechar grandes bloques de código en caso de error, sino que se avanza paso a paso corrigiendo y mejorando.
- (Favorece una organización clara por etapas) lo que facilita la planificación, el control de tiempos y la distribución de tareas dentro del equipo de desarrollo.
- (Facilita la retroalimentación de usuarios) lo que incrementa notablemente la probabilidad de que el sistema sea útil, funcional y aceptado por quienes lo usarán en la práctica clínica.
- (Reduce el riesgo de fallos graves) mediante la evaluación continua de los avances y la identificación temprana de posibles problemas técnicos o funcionales.

### PROPUESTA DE SOLUCIÓN

#### 6.1 Descripción general del sistema

ReCobra es un sistema interactivo que fue diseñado con el fin de dar apoyo a personas que se encuentran en proceso de rehabilitación cognitiva tras haber sufrido un Accidente Cerebrovascular (ACV). El propósito que tiene es estimular las diferentes funciones críticas del paciente, como la memoria y la velocidad de reacción por medio de actividades compuestas por estímulos visuales y el registro del tiempo de respuesta del paciente.

El sistema ReCobra combina un software interactivo con un hardware de muy fácil accesibilidad (Arduino y sensores de estímulos). Ambas partes en conjunto permiten:

- Presentar estímulos visuales y registrar la reacción del paciente.
- Guardar y analizar el desempeño para que los terapeutas supervisen el progreso.
- Poner a disposición tanto de pacientes como de terapeutas una herramienta que sea económica, accesible, portátil y adaptable a distintos contextos de la rehabilitación.
- Mantener a los pacientes motivados por medio de una terapia de rehabilitación interactiva y poco monótona.

### 6.1.1 Actores del sistema

Estos corresponden a todos aquellos que interactúan con el sistema para su funcionamiento pleno. Estos son:

| Actor               | Rol dentro del sistema                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Paciente (Post ACV) | Este corresponde al actor principal dentro del sistema. Su tarea es realizar los diferentes ejercicios de estimulación cognitiva que se le soliciten, reaccionar ante los estímulos visuales y generar los datos, que son la materia prima del caso. |
| Terapeuta evaluador | Está a cargo de la supervisión del progreso del paciente, analiza los datos registrados en el sistema y se encarga de adaptar las actividades basado en las necesidades individuales de cada paciente.                                               |

*Tabla 1. Actores del sistema*

### 6.1.2 Stakeholders

Stakeholders es la forma en la se define a aquellos que se ven afectados o que podrían ser afectados por las actividades del sistema como tal.

En términos más generales, un stakeholder es toda persona o entidad que tiene un interés, influencia o se ve afectado por el sistema, aunque no interactúa directamente con él.

| Stakeholder                                     | Interés                                                             |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Paciente Post-ACV                               | Recuperación cognitiva y autonomía                                  |
| Terapeutas evaluadores                          | Evaluar progreso y adaptar terapias                                 |
| Familiares o cuidadores                         | Apoyo en la rehabilitación y motivación.                            |
| Ministerio de Salud                             | Implementación en programas de rehabilitación y políticas de salud. |
| Investigadores en neurociencia y rehabilitación | Datos para estudios clínicos.                                       |
| Desarrolladores                                 | Mantenimiento y mejora técnica del sistema.                         |

*Tabla 2: StakeHolders*

#### 6.1.2.1 Descripción de los Stakeholders:

##### **Paciente Post-ACV:**

Se ven beneficiados directamente en su rehabilitación por medio de la realización de los ejercicios de estimulación cognitiva.

##### **Terapeutas evaluadores:**

Ellos supervisan el desempeño del paciente, además de analizar los datos registrados, así como también el progreso del paciente.

**Familiares o cuidadores:**

Su interés está principalmente en la rehabilitación y bienestar del paciente, reforzar su motivación y acompañarlo en el proceso.

**Ministerio de Salud:**

Puede ser un inicio para potenciales adaptaciones del sistema en programas gubernamentales de rehabilitación.

**Investigadores en neurociencia y rehabilitación:**

Su interés va enfocado en los datos que genera el sistema, con el fin de elaborar estudios clínicos y académicos.

**Desarrolladores:**

El interés principal es el correcto mantenimiento, optimización y evolución tecnológica del software y hardware. Con la finalidad de garantizar que la herramienta que se propone sea escalable, accesible y adaptable

## 6.2 Requerimientos del sistema

A continuación, se presentan los requerimientos funcionales, no funcionales, y los requerimientos de datos.

### 6.2.1 Requerimientos funcionales

A continuación, se describen las funciones que el sistema debe ejecutar para cumplir con los objetivos planteados:

| Códigos | Requerimientos                                                                                                                                                       |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RF-01   | El sistema debe permitir el registro de pacientes con datos personales básicos.                                                                                      |
| RF-02   | El sistema debe permitir ingresar una <b>descripción clínica del paciente</b> , incluyendo el tipo de ACV (isquémico o hemorrágico) y otros antecedentes relevantes. |
| RF-03   | El sistema debe permitir que el profesional de la salud registre <b>comentarios</b> asociados a cada paciente.                                                       |
| RF-04   | El sistema debe permitir iniciar una prueba de tiempo de reacción desde el hardware.                                                                                 |
| RF-05   | El sistema debe capturar el tiempo de reacción del paciente en milisegundos.                                                                                         |
| RF-06   | El sistema debe enviar los datos capturados desde la ESP32 al backend mediante comunicación WebSocket.                                                               |
| RF-07   | El sistema debe almacenar los resultados de las pruebas en la base de datos.                                                                                         |
| RF-08   | El sistema debe permitir visualizar los resultados históricos del paciente a través de la plataforma web.                                                            |
| RF-09   | El sistema debe permitir al profesional consultar la información clínica y los resultados de cada paciente.                                                          |
| RF-10   | El sistema debe permitir reiniciar o finalizar una sesión de prueba.                                                                                                 |

*Tabla 3. Requisitos Funcionales*

### 6.2.2 Requerimientos no funcionales

A continuación, se describen los requerimientos que establecen condiciones de calidad, seguridad y rendimiento del sistema:

| Códigos       | Requerimiento                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>RNF-01</b> | El sistema debe ser de bajo costo y utilizar componentes de libre acceso.                  |
| <b>RNF-02</b> | El sistema debe garantizar una comunicación estable entre hardware y backend.              |
| <b>RNF-03</b> | El sistema debe estar disponible al menos el <b>95% del tiempo</b> durante su operación.   |
| <b>RNF-04</b> | El sistema debe registrar los tiempos de reacción con precisión en milisegundos.           |
| <b>RNF-05</b> | El sistema debe contar con una interfaz web clara y fácil de usar.                         |
| <b>RNF-06</b> | El sistema debe permitir la escalabilidad para futuras versiones.                          |
| <b>RNF-07</b> | El acceso a la información de los pacientes debe estar restringido a usuarios autorizados. |

*Tabla 4. Requisitos No Funcionales*

### 6.2.3. Requerimientos de datos

La siguiente tabla describe los datos principales que utiliza el sistema.

| Etapa 1 — Datos del paciente |                                                                                                                             |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dato                         | Descripción                                                                                                                 |
| id_paciente                  | Identificador único del paciente.                                                                                           |
| nombre                       | Nombre del paciente.                                                                                                        |
| edad                         | Edad de paciente (Calculado con fecha de nacimiento en el sistema).                                                         |
| género                       | Género del paciente.                                                                                                        |
| activo                       | Estado del paciente (habilitado/deshabilitado).                                                                             |
| comentarios                  | Observaciones clínicas, notas del terapeuta o información que sea relevante sobre el paciente, como el tipo de ACV u otros. |
| descripción                  | Detalles generales sobre el perfil del paciente.                                                                            |

*Tabla 5. Requisitos de datos etapa 1*

| Etapa 2 — Datos de la sesión |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| Dato                         | Descripción                      |
| id_sesion                    | Identificador único.             |
| id_paciente                  | Paciente asociado.               |
| fecha                        | Fecha en que inició la sesión.   |
| promedio _ms                 | Promedio de tiempos de reacción. |
| intentos                     | Cantidad total de intentos.      |

*Tabla 6. Requisitos de datos etapa 2*

| Etapa 3 — Datos del intento |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Dato                        | Descripción                      |
| id_intento                  | ID único del intento.            |
| id_sesion                   | ID de la sesión asociada.        |
| tiempo_ms                   | Tiempo de reacción.              |
| numero_intento              | Número de secuencia del intento. |
| fecha_intento               | Fecha y hora exacta del intento. |

Tabla 7. Requisitos de datos etapa 3

### 6.3 Diagrama de casos de uso

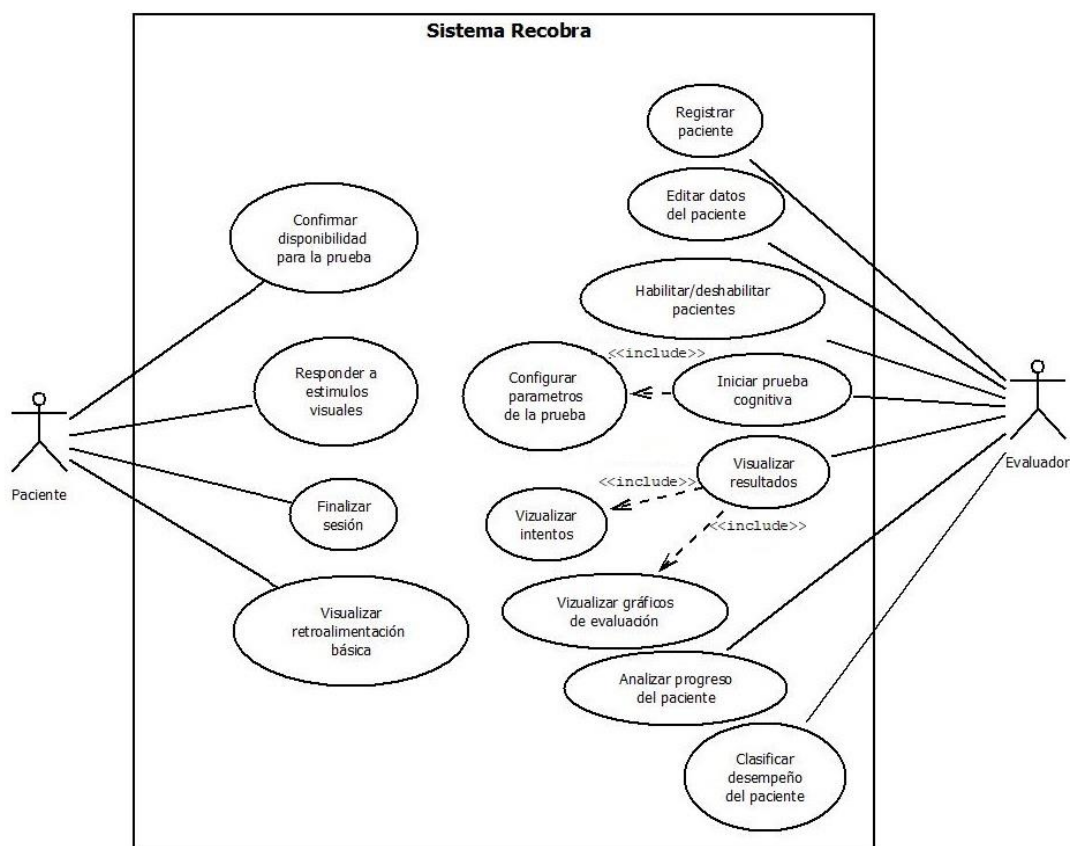


Ilustración 5. Diagrama casos de uso

## Explicación del diagrama

El diagrama de casos de uso permite ver detalladamente las **interacciones funcionales** entre los actores principales y el sistema ReCobra. El modelo deja visualizar de forma estructurada y clara las acciones realiza cada usuario y cómo estas acciones se relacionan de forma directa con el sistema, facilitando así, el análisis de los requisitos y el diseño lógico de la solución.

## Actores del sistema

Dentro de lo que se presenta en el diagrama, tenemos dos actores que lo componen, estos son:

- **Paciente post-ACV:** Corresponde al usuario final del sistema. Él es quien realiza las actividades de estimulación cognitiva.
- **Evaluador (terapeuta ocupacional o profesional de la salud):** Se encarga de registrar pacientes, configurar correctamente las pruebas, analizar resultados y supervisar el progreso.

## 6.4 Modelo Entidad-Relación

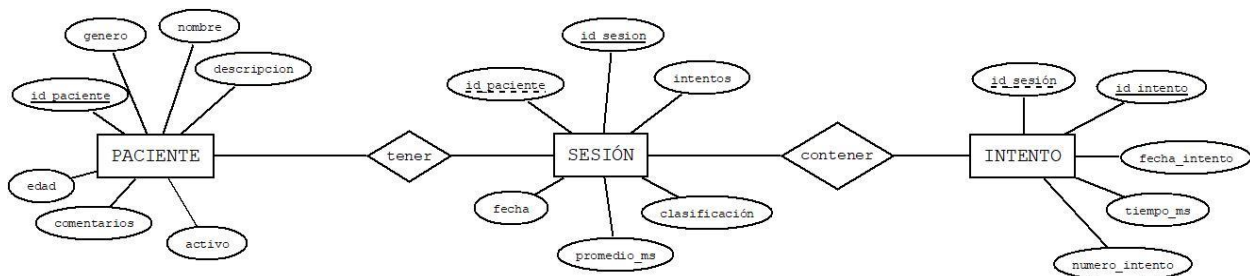


*Ilustración 6. Modelo entidad-Relación*

#### 6.4.1 Tabla 1: Información General del Paciente

Corresponde al registro de los datos personales y el estado de cada usuario dentro del sistema ReCobra.

| Campo       | Descripción                                       |
|-------------|---------------------------------------------------|
| id_paciente | Identificador único del paciente (clave primaria) |
| nombre      | Nombre del paciente                               |
| género      | Género del paciente                               |
| edad        | Edad del paciente                                 |
| descripción | Información adicional del paciente                |
| comentarios | Observaciones relevantes                          |
| activo      | Estado del paciente dentro del sistema            |

*Tabla 8. Modelo Entidad Paciente*

#### 6.4.2 Tabla 2: Registro de Sesiones del Paciente

Almacena la información relacionada con cada sesión realizada por los pacientes, incluyendo métricas de desempeño y resultados obtenidos.

| Campo         | Descripción                                         |
|---------------|-----------------------------------------------------|
| id_sesion     | Identificador único de la sesión (clave primaria)   |
| id_paciente   | Identificador del paciente asociado (clave foránea) |
| fecha         | Fecha en que se realizó la sesión                   |
| intentos      | Cantidad total de intentos en la sesión             |
| promedio_ms   | Tiempo promedio de respuesta en milisegundos        |
| clasificación | Clasificación del desempeño del paciente            |

*Tabla 9. Modelo Entidad Sesiones*

### 6.4.3 Tabla 3: Detalle de Intentos por Sesión

Contiene el registro detallado de cada intento efectuado durante una sesión, permitiendo el análisis individual del rendimiento.

| Campo          | Descripción                                         |
|----------------|-----------------------------------------------------|
| id_intento     | Identificador único del intento (clave primaria)    |
| id_sesion      | Identificador de la sesión asociada (clave foránea) |
| fecha_intento  | Fecha y hora en que se realizó el intento           |
| tiempo_ms      | Tiempo de respuesta del intento en milisegundos     |
| numero_intento | Número secuencial del intento dentro de la sesión   |

*Tabla 10. Modelo Entidad Intentos*

### 6.4.4 Relaciones entre tablas

Las relaciones entre las tablas del sistema ReCobra definen la forma en que los datos se vinculan entre sí, asegurando la coherencia y trazabilidad de la información almacenada.

- **Paciente – Sesión (1 a N):**

Un paciente puede realizar una o múltiples sesiones a lo largo del tiempo. Cada sesión está asociada a un único paciente, lo que permite mantener un historial organizado de las evaluaciones o interacciones realizadas por cada usuario.

- **Sesión – Intento (1 a N):**

Cada sesión puede contener varios intentos, los cuales representan acciones individuales ejecutadas durante la sesión. Sin embargo, cada intento pertenece exclusivamente a una sola sesión, permitiendo un análisis detallado del desempeño dentro de cada sesión.

### ARQUITECTURA DEL SISTEMA

Dentro del próximo capítulo presentaremos la arquitectura del sistema ReCobra, detallando aspectos técnicos relevantes de hardware, base de datos, las tecnologías usadas para su desarrollo y su esquema de conexión con el microcontrolador. El objetivo que se tiene es mostrar su estructura lógica incluso antes de su implementación.

#### 7.1 Componentes utilizados para hardware

El sistema ReCobra se compone por una serie de componentes electrónicos, que destacan por ser de bajo costo y fácil acceso. Estos fueron seleccionados por su compatibilidad con la plataforma Arduino y su capacidad de integrar funciones de conectividad y respuesta en tiempo real. A continuación, se detallan los principales elementos que conforman el sistema:

##### 7.1.1 Placa de desarrollo ESP32-C5-DevKitC-1

Este es un microcontrolador de bajo costo con capacidades Wi-Fi y Bluetooth integradas. Este es el núcleo del sistema, el cual está encargado de procesar la información y coordinar los estímulos y respuestas.



*Ilustración 7. Placa de desarrollo ESP32-C5*

### **7.1.2. Pantalla LCD**

Dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica tales como mensajes, instrucciones o resultados al paciente. Facilita la interacción visual y mejora la comprensión de las tareas.



*Ilustración 8. Pantalla LCD*

### **7.1.3. LED RGB**

Componente a cargo de emitir diferentes colores de luz como estímulo visual, con el fin de medir la velocidad de respuesta del paciente frente a un cambio de color específico.



*Ilustración 9. LED RGB*

#### **7.1.4. Protoboard**

Placa de pruebas que permite la inserción de elementos electrónicos y arman circuitos sin la necesidad de soldar ninguno de los componentes necesarios.

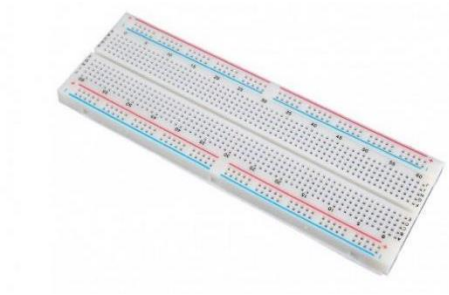


*Ilustración 10. Protoboard*

#### **7.1.5. Cables macho-hembra y macho-macho**

Permiten realizar las conexiones entre el ESP32, la pantalla LCD, el LED y otros componentes del circuito. Son esenciales para el modularidad del sistema.

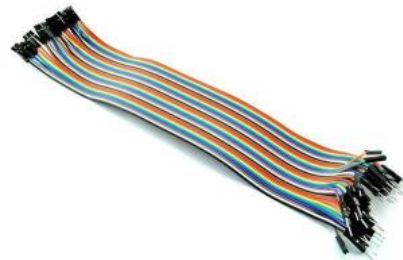


*Ilustración 11. Cables Macho-Hembra y Macho-Macho*

#### 7.1.6. Botones pulsador de 45 mm con micro interruptor Led de 12V

Botones con los que interactúa el usuario, permite capturar su reacción por medio del contacto. Posee una luz LED en su interior. Se cuenta con 4 botones, de los colores Azul, Rojo, Verde y amarillo.



*Ilustración 12. Botones de 45 mm con Led incorporado*

#### 7.1.7 Power-Bank de 5V para alimentación del sistema

Para garantizar la movilidad y autonomía del prototipo, se utiliza un Power Bank de 5V como fuente de alimentación principal. Este dispositivo permite suministrar energía de manera estable a todos los componentes electrónicos, asegurando el funcionamiento continuo del sistema sin necesidad de conexión directa a la red eléctrica.



*Ilustración 13. Power Bank de 5V*

### 7.1.8 Placa fenólica con diseño tipo protoboard

La placa fenólica, también denominada PCB prototipo, es utilizada para asegurar las conexiones eléctricas permanentes entre los distintos componentes del sistema. A diferencia del protoboard convencional, esta placa permite fijar los elementos mediante soldadura, otorgando mayor estabilidad, durabilidad y confiabilidad al montaje final.



*Ilustración 14. Placa fenólica*

### 7.1.9 Cable RVV 28 AWG 4 núcleos

Cable utilizado para las conexiones internas del sistema. Posee cuatro conductores aislados, adecuados para señales de bajo voltaje. Su calibre de 28 AWG permite una instalación ordenada y flexible dentro del dispositivo.



*Ilustración 15. Cable RVV 28 AWG 4 núcleos*

### 7.1.10 Cautín y estaño para soldar

Herramientas utilizadas para fijar de manera permanente las conexiones electrónicas sobre la placa, garantizando un montaje estable y duradero del circuito.



*Ilustración 16. Cautín y estaño para soldar*

### 7.1.11 Impresiones 3D

Las piezas fabricadas mediante impresión 3D se utilizan para crear soportes y estructuras personalizadas que permiten fijar y organizar los componentes del sistema. Estas impresiones aportan estabilidad, protección y una mejor presentación del prototipo final.

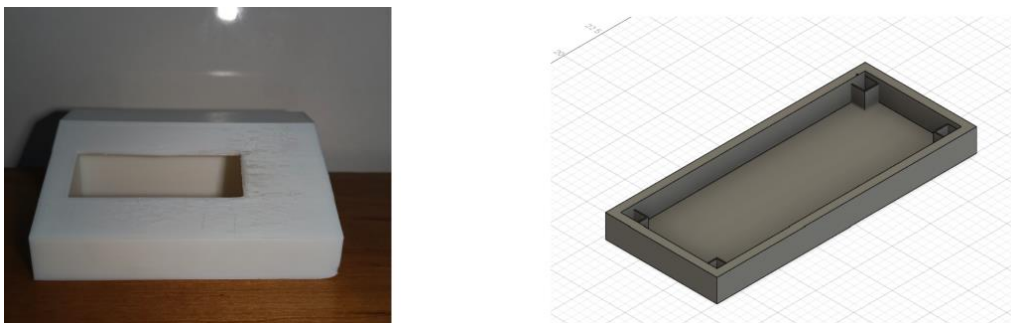


*Ilustración 17. Impresión 3d*

## 7.2 Esquema de conexión

A continuación, se presenta el esquema de conexión del sistema ReCobra, donde se detallan las interconexiones entre la placa ESP32-C5 y los distintos componentes electrónicos utilizados:

| Componente              | Elemento             | Color del cable | Pin ESP32            | Descripción / Función                     |
|-------------------------|----------------------|-----------------|----------------------|-------------------------------------------|
| <b>Botones Arcade</b>   | Botón Rojo           | Amarillo        | GPIO 2               | Entrada digital para captura de respuesta |
|                         | Botón Verde          | Amarillo        | GPIO 3               | Entrada digital para captura de respuesta |
|                         | Botón Azul           | Amarillo        | GPIO 4               | Entrada digital para captura de respuesta |
|                         | Botón Amarillo       | Amarillo        | GPIO 5               | Entrada digital para captura de respuesta |
|                         | Tierra botones       | Blanco          | GND                  | Referencia a tierra común                 |
| <b>LED de Botones</b>   | LED Botón (positivo) | Rojo            | Alimentación LED     | Iluminación del botón                     |
|                         | LED Botón (tierra)   | Negro           | GND                  | Retorno a tierra                          |
| <b>LEDs Indicadores</b> | LED Rojo             | —               | GPIO 9               | Señal visual de estímulo                  |
|                         | LED Verde            | —               | GPIO 7               | Señal visual de estímulo                  |
|                         | LED Azul             | —               | GPIO 8               | Señal visual de estímulo                  |
|                         | LED Amarillo         | —               | GPIO 6               | Señal visual de estímulo                  |
| <b>Buzzer</b>           | Buzzer activo        | —               | GPIO 10 (vía buffer) | Señal acústica de confirmación            |
| <b>Pantalla LCD I2C</b> | GND                  | Blanco          | GND                  | Tierra                                    |
|                         | SDA                  | Amarillo        | GPIO 26              | Línea de datos I2C                        |
|                         | SCL                  | Negro           | GPIO 25              | Línea de reloj I2C                        |

|  |     |      |           |                             |
|--|-----|------|-----------|-----------------------------|
|  | VCC | Rojo | 5V / 3.3V | Alimentación de la pantalla |
|--|-----|------|-----------|-----------------------------|

Tabla 11. Esquema de conexión

### 7.3 Tecnologías de desarrollo

El desarrollo del sistema ReCobra requirió la integración de múltiples tecnologías orientadas tanto al ámbito del hardware como del software, abarcando herramientas de programación, control de versiones, modelamiento, almacenamiento de datos y pruebas. La selección de estas tecnologías permitió construir un sistema funcional, modular y escalable, capaz de captar tiempos de reacción desde el prototipo físico, procesarlos en el backend y presentarlos visualmente en una plataforma web. A continuación, se describen en detalle las herramientas utilizadas durante la implementación:

#### 7.3.1 Arduino

**IDE:**

Entorno utilizado para la programación del microcontrolador ESP32-C5. En este software se desarrolló el firmware que controla los cuatro botones de entrada, los LED RGB que generan los estímulos visuales, el buzzer que actúa como señal auditiva y la lógica interna que mide los tiempos de reacción. Además, Arduino IDE permitió gestionar librerías específicas para la comunicación, temporización y manejo del hardware.

#### 7.3.2

**ESP32-C5:**

Microcontrolador que constituye el núcleo del prototipo físico. Su capacidad de conexión Wi-Fi permite la comunicación con el servidor mediante WebSocket, mientras que su velocidad de procesamiento lo hace adecuado para registrar tiempos en milisegundos. El ESP32-C5 administra la lógica de activación de estímulos, la detección de la respuesta del paciente, la emisión del buzzer y el envío de los intentos al backend.

### **7.3.3**

### **WebSocket:**

Protocolo de comunicación utilizado para transmitir, en tiempo real, los datos generados por el ESP32. A diferencia de métodos tradicionales como HTTP, WebSocket permite una comunicación bidireccional y persistente, esencial para enviar cada intento sin retrasos y asegurar un flujo continuo de la prueba cognitiva hacia el backend.

### **7.3.4**

### **Node.js:**

Plataforma utilizada para desarrollar el backend del sistema. Aquí se implementaron los servicios que reciben los datos del ESP32-C5, se procesan los intentos, se generan las sesiones correspondientes y se almacenan en la base de datos. Node.js también administra la ruta WebSocket y la validación de los datos antes de guardarlos.

### **7.3.5**

### **JavaScript:**

Lenguaje de programación principal del backend y de la plataforma web. Permite manejar la lógica del servidor, procesar datos, generar gráficas y construir interfaces interactivas con React.

### **7.3.6**

### **React:**

Framework empleado para desarrollar la interfaz web del sistema. Desde esta plataforma, terapeutas y usuarios pueden iniciar pruebas, visualizar sesiones, revisar intentos y analizar datos históricos mediante gráficos dinámicos. React permite un desarrollo modular, reutilizable y con actualización en tiempo real de los componentes visuales.

### **7.3.7**

### **MySQL:**

Sistema de gestión de bases de datos utilizado para almacenar la información estructurada del sistema. El uso directo de MySQL permitió definir tablas optimizadas

para pacientes, sesiones e intentos, garantizando integridad referencial y eficiencia en las consultas realizadas desde el backend.

#### **7.3.8**

**Git:**

Sistema de control de versiones que permitió gestionar el código fuente del proyecto, registrar cambios durante todas las etapas del desarrollo, crear ramas para nuevas funcionalidades y mantener un historial detallado de modificaciones. Git resultó fundamental para asegurar orden, trazabilidad y respaldo de cada ajuste realizado en el sistema.

#### **7.3.9**

**GitHub:**

Plataforma de alojamiento de repositorios utilizada para almacenar y sincronizar el código versionado con Git. También permitió mantener respaldos del proyecto, gestionar actualizaciones, documentar avances y facilitar la organización del desarrollo.

#### **7.3.10**

**Visual**

**Studio**

**Code:**

Editor de código empleado para programar el backend y la plataforma web. Ofrece soporte integrado para JavaScript, Node.js, React y Git, lo que permitió centralizar gran parte del proceso de desarrollo del software en un solo entorno cómodo y eficiente.

#### **7.3.11**

**Wokwi:**

Herramienta utilizada para modelar el circuito del ESP32-C5 y los componentes electrónicos del prototipo. Permite visualizar de forma clara la conexión de botones, LED, buzzer y alimentación, ayudando a documentar el diseño físico del hardware.

#### **7.3.12**

**Dia:**

Aplicación empleada para elaborar diagramas de arquitectura, diagramas de flujo, casos de uso y el modelo entidad-relación. Estos elementos fueron esenciales para la documentación técnica del sistema.

### **7.3.13**

### **Google**

### **Drive:**

Plataforma utilizada para almacenar respaldos del proyecto, documentos, imágenes, diagramas y versiones preliminares del informe. Permitió mantener disponibilidad constante del material de trabajo y facilitar el acceso desde distintos dispositivos.

### **7.3.14 Navegadores web (Firefox, Chrome y Edge):**

Herramientas fundamentales para probar, visualizar y depurar la plataforma web. La compatibilidad entre distintos navegadores permitió verificar el correcto funcionamiento del sistema desde diferentes entornos y asegurar una experiencia uniforme para los usuarios.

### **7.3.15 MySQL Workbench:**

Aplicación gráfica que permitió diseñar y administrar la estructura de la base de datos de forma intuitiva. Con MySQL Workbench fue posible crear el diagrama entidad–relación (DER), revisar dependencias, ejecutar consultas y documentar visualmente la arquitectura de datos del sistema.

## **7.4 Modelo de base de datos**

A continuación, se presenta el diseño de la base de datos del sistema ReCobra, donde se detalla la estructura utilizada para el almacenamiento de la información. Se describen las tablas, claves primarias, claves foráneas y relaciones necesarias para garantizar la integridad y correcta gestión de los datos generados por el sistema.



Ilustración 18. Modelo base de datos

#### 7.4.1 Tabla PACIENTE

- **Descripción:** Almacena la información personal y el estado de cada usuario del sistema.
- Clave primaria (PK):**
  - id\_paciente: Identificador único del paciente.
- **Campos principales:**
  - nombre
  - edad
  - género
  - activo
  - comentarios
  - descripción
- **Función:** Permite identificar y gestionar a los pacientes que interactúan con el sistema ReCobra.

#### 7.4.2 Tabla SESIÓN

- **Descripción:** Registra cada sesión realizada por un paciente dentro del sistema.
- **Clave primaria (PK):**

- id\_sesion: Identificador único de la sesión.
- **Clave foránea (FK):**
  - id\_paciente: Referencia al paciente asociado.
- **Campos principales:**
  - fecha
  - promedio\_ms
  - intentos
  - clasificación
- **Función:** Centraliza los resultados y métricas obtenidas en cada sesión de uso.

#### 7.4.3 Tabla INTENTO

- **Descripción:** Almacena el detalle de cada intento efectuado durante una sesión.
- **Clave primaria (PK):**
  - id\_intentos: Identificador único del intento.
- **Clave foránea (FK):**
  - id\_sesion: Referencia a la sesión correspondiente.
- **Campos principales:**
  - tiempo\_ms
  - numero\_intento
  - fecha\_intento
- **Función:** Permite analizar el desempeño del paciente a nivel individual por intento.

#### 7.4.4 Relaciones entre Tablas

- **PACIENTE – SESIÓN (1:N):**
  - Un paciente puede tener una o varias sesiones.
  - Cada sesión pertenece a un único paciente.
- **SESIÓN – INTENTO (1:N):**
  - Una sesión puede contener múltiples intentos.
  - Cada intento pertenece a una sola sesión.

#### 7.5 Base de datos

La base de datos del sistema ReCobra fue desarrollada en MySQL, utilizando MySQL Workbench para diseñar su estructura y definir las relaciones entre tablas. El modelo se organizó en las entidades Paciente, Sesión e Intento, permitiendo almacenar de forma ordenada la información generada durante las pruebas cognitivas y asegurar la trazabilidad del progreso de cada usuario. Su interfaz Inicial es la siguiente:

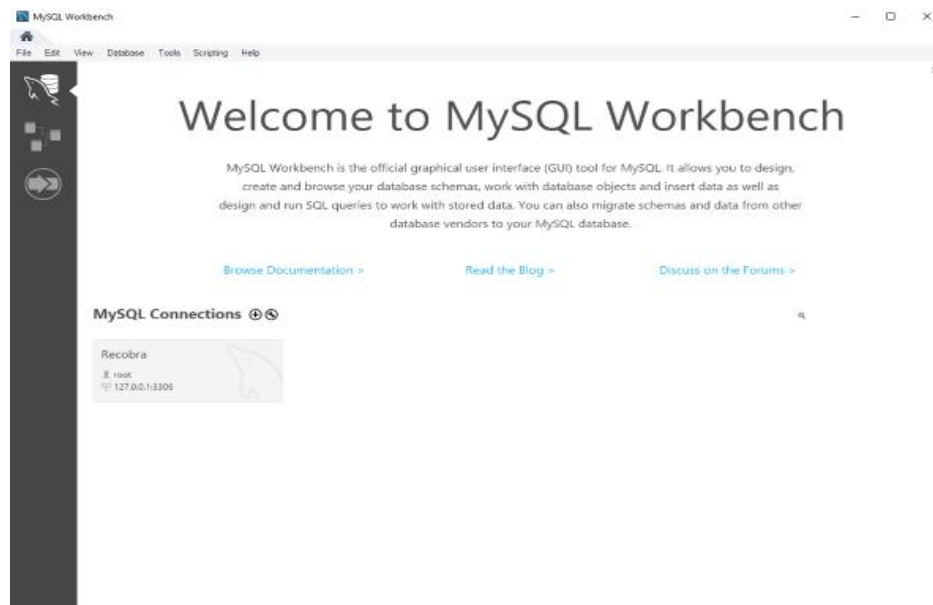


Ilustración 19. Interfaz inicial de MySql

La imagen muestra la pantalla inicial de MySQL Workbench con la conexión del proyecto “Recobra”, utilizada para acceder y gestionar la base de datos del sistema.

Interfaz para realizar la configuración de nueva conexión MySQL:

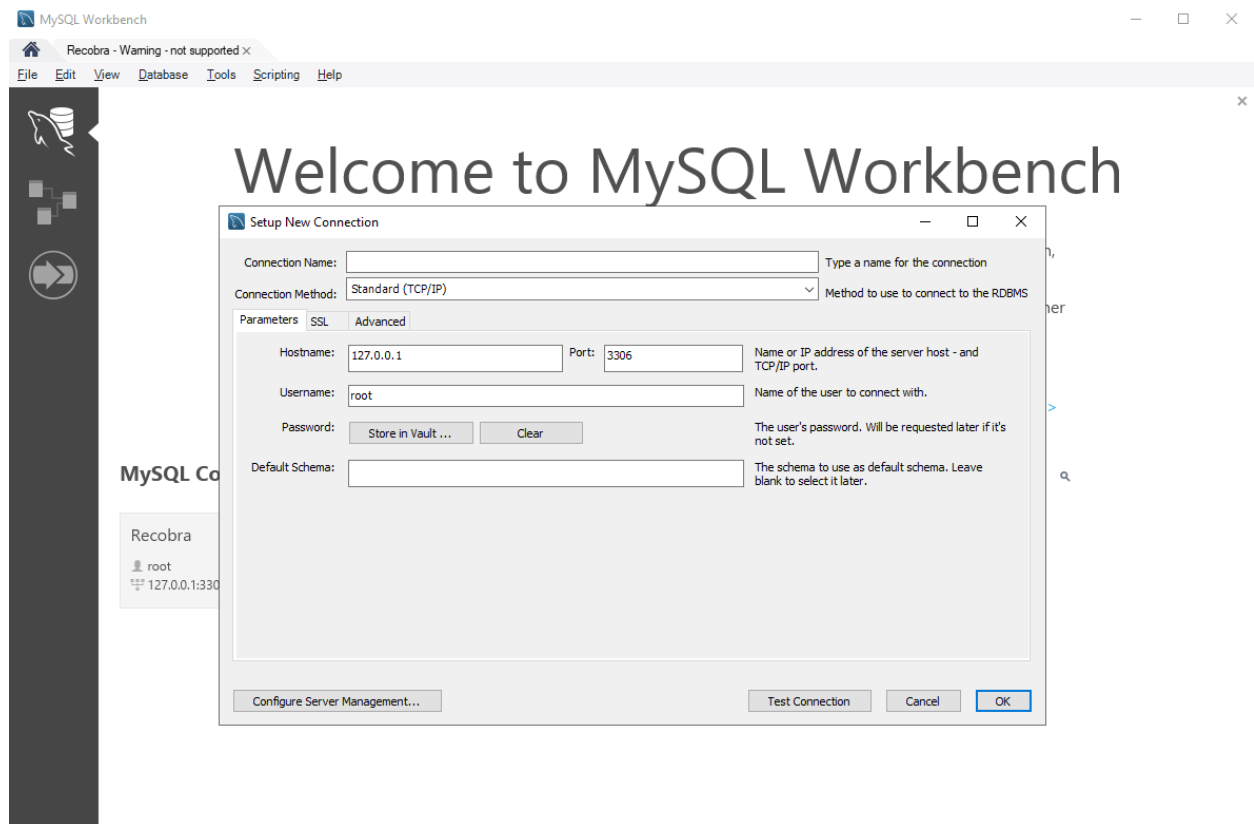


*Ilustración 20. Interfaz de nueva conexión MySQL*

La imagen presenta la ventana de configuración de una nueva conexión en MySQL Workbench. Aquí se definen parámetros como **hostname**, **puerto**, **usuario** y **contraseña**, necesarios para establecer la conexión con el servidor MySQL y acceder a la base de datos del proyecto.

## Interfaz de entorno de trabajo de MySQL Workbench:

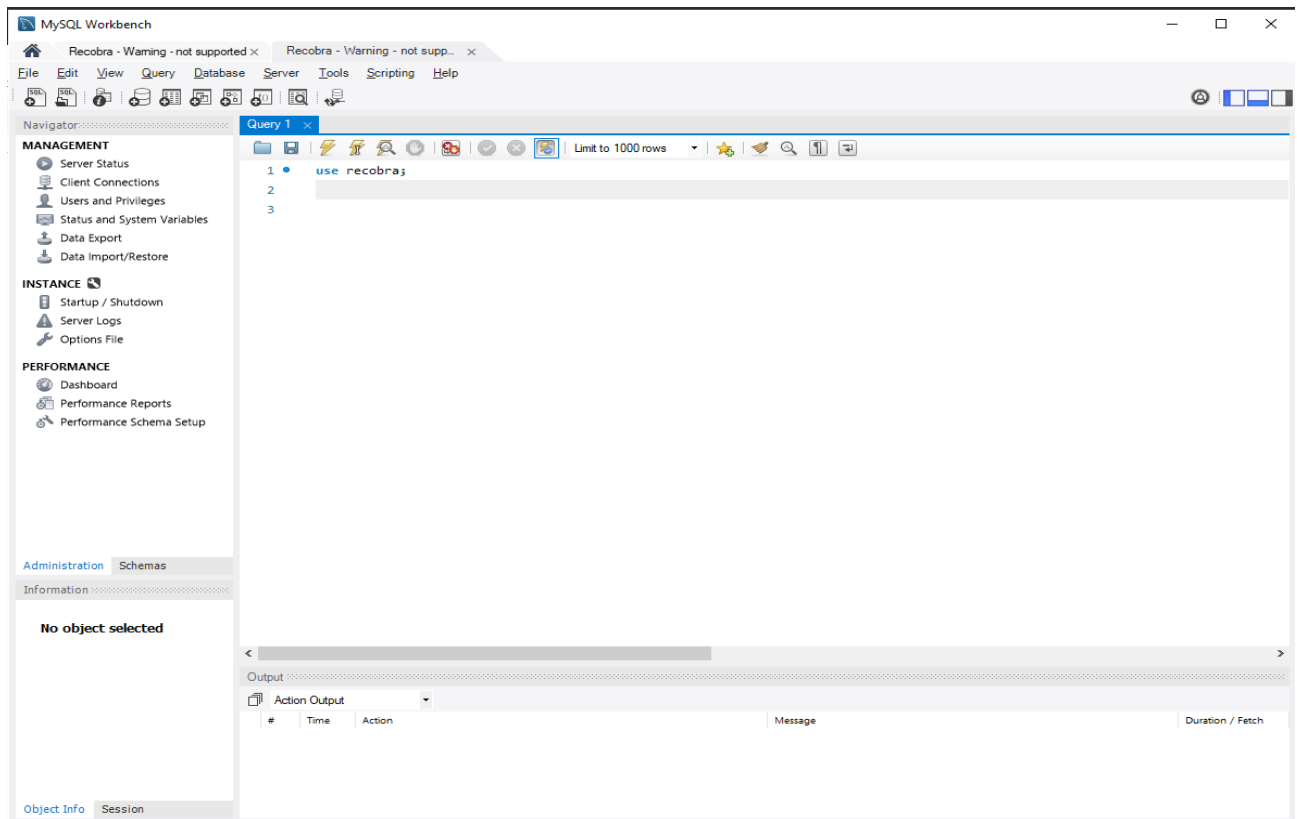


*Ilustración 21. Interfaz de entorno de trabajo MySql*

La imagen muestra el entorno principal de trabajo de MySQL Workbench, donde se pueden ejecutar consultas SQL, explorar esquemas, administrar tablas y visualizar la estructura completa de la base de datos. Este espacio se utilizó para gestionar el modelo de datos del sistema ReCobra.

### ITERACIONES DEL DESARROLLO

Este capítulo describe la implementación del sistema ReCobra, incluyendo el desarrollo del hardware, del software y su integración. Se detalla el ensamblaje del prototipo basado en un ESP32-C5, la programación del firmware para gestionar estímulos y registrar tiempos de reacción, el backend encargado de recibir y almacenar datos mediante WebSocket y la plataforma web utilizada para visualizar el progreso de los pacientes. A continuación, se presentan los componentes principales y su funcionamiento dentro del sistema.

#### 8.1 Desarrollo Iterativo del Sistema

El modelo en espiral aplicado en ReCobra se desarrolló mediante ciclos iterativos que incluyeron planificación, análisis de riesgos, diseño, implementación, pruebas y evaluación. Cada ciclo permitió mejorar el prototipo según su desempeño real y la retroalimentación obtenida. A continuación, se describen los ciclos realizados.

##### 8.1.1 Primer ciclo – Prototipo inicial con Arduino UNO

###### **Planificación:**

Se definió el objetivo de validar la interacción básica mediante pulsadores y evaluar la factibilidad de capturar respuestas de forma simple.

###### **Análisis de riesgos:**

Se identificaron riesgos asociados a la baja capacidad de procesamiento del Arduino UNO y la ausencia de conectividad inalámbrica, lo que podría afectar la precisión de los tiempos

###### **Diseño:**

Se modeló un primer esquema electrónico utilizando tres botones conectados a una placa Arduino UNO mediante protoboard.

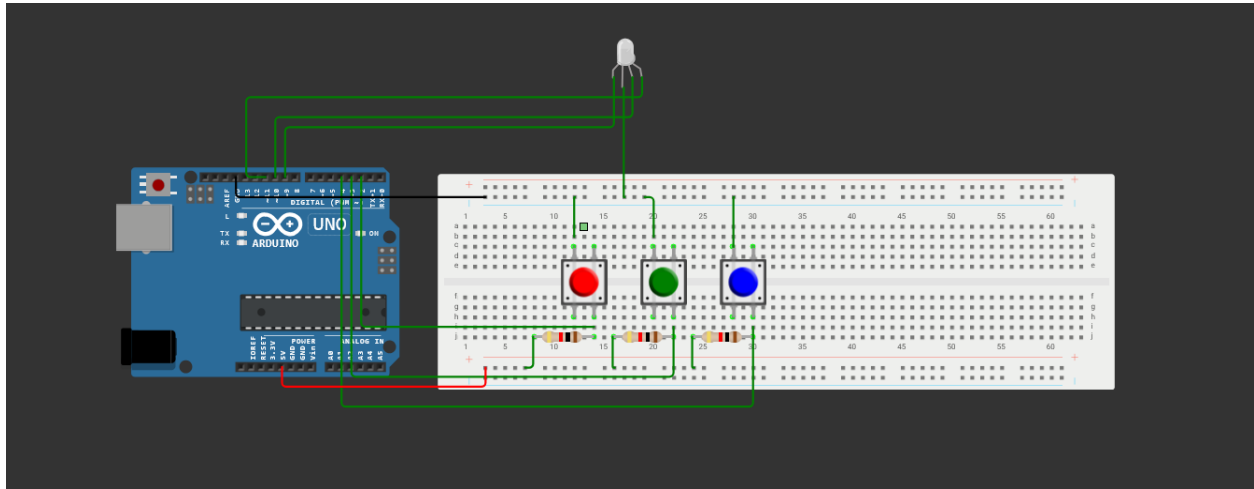


*Ilustración 22. Diseño de arquitectura Arduino Uno*

### **Implementación:**

Se programó un código básico en Arduino IDE y también se creó una Interfaz para la llegada de los datos para detectar pulsaciones y enviar eventos por puerto serial

### **Pruebas:**

Se efectuaron pruebas de respuesta, registrando tiempos de manera manual y detectando limitaciones claras en velocidad y precisión.

### **Evaluación:**

Las pruebas realizadas en este primer ciclo permitieron comprobar que, si bien el Arduino UNO respondía correctamente a la detección de pulsaciones, su desempeño no era suficiente para los requerimientos del sistema. La placa presentaba limitaciones en la velocidad de procesamiento, lo que afectaba la precisión en la medición de los tiempos de reacción, uno de los elementos fundamentales del proyecto. Además, la ausencia de conectividad inalámbrica

impedía enviar los datos en tiempo real al backend, obligando a depender del puerto serial y dificultando la integración con la plataforma web.

Debido a estas restricciones técnicas, se concluyó que el Arduino UNO no podía satisfacer las necesidades del sistema ReCobra, por lo que se optó por avanzar hacia un microcontrolador más potente y con capacidades de comunicación integradas: ESP32-C5-WROOM-1, el cual ofrecía una mejora significativa en rendimiento, conectividad y flexibilidad para el siguiente ciclo del desarrollo.

### **8.1.2 Segundo ciclo – Migración a ESP32-C5-WROOM-1**

#### **Planificación:**

El objetivo de este segundo ciclo fue mejorar la precisión en la captura de tiempos de reacción e incorporar comunicación inalámbrica real entre el dispositivo y el backend. Se proyectó reemplazar la placa anterior por un microcontrolador más avanzado capaz de manejar Wi-Fi, mayor velocidad y ejecución más estable.

#### **Análisis de riesgos:**

Se identificaron como riesgos principales la posible inestabilidad en la conexión Wi-Fi, la latencia en el envío de datos en tiempo real y la compatibilidad de librerías para manejar botones, LEDs y comunicación simultáneamente. También se consideró el riesgo de errores en la temporización debido a operaciones internas del microcontrolador.

#### **Diseño:**

Se utilizó la base del prototipo anterior, pero se incorporó la **ESP32-C5-WROOM-1**, la cual ofrece mayor capacidad de procesamiento y una conectividad inalámbrica más estable. Además, se integró una **pantalla LCD** para mostrar información del estado del sistema y retroalimentación durante las pruebas. El diseño incluyó tres botones para capturar la

respuesta del usuario, un sistema de estímulos visuales mediante LED y la programación necesaria para habilitar la comunicación inalámbrica directa con el backend del sistema.

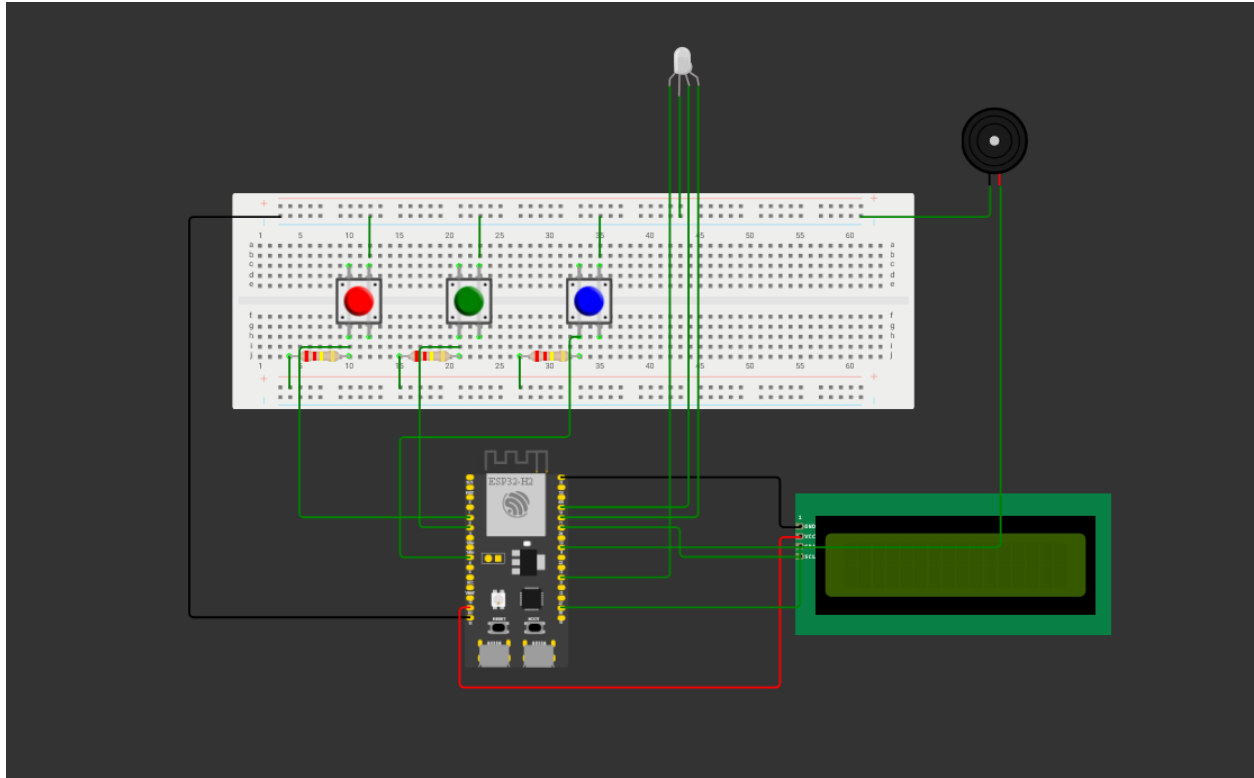


*Ilustración 23. Diseño de arquitectura ESP32-C5*

### Implementación:

El firmware fue reescrito para aprovechar las capacidades de la ESP32, permitiendo la captura más precisa de los tiempos de reacción y el envío de los datos de forma inalámbrica hacia el backend mediante **WebSocket**.

### Pruebas:

Las pruebas mostraron una mejora significativa en la velocidad de respuesta y en la estabilidad de los datos capturados. Sin embargo, se detectaron desconexiones ocasionales relacionadas con cambios en la red utilizada.

## **Evaluación:**

La ESP32-C5-WROOM-1 demostró cumplir con los requerimientos funcionales del sistema, consolidándose como la base del hardware principal para las siguientes iteraciones.

### **8.1.3 Ciclo 3 – Integración física y ensamblaje definitivo**

#### **Planificación**

En esta etapa se definió como objetivo principal aumentar la robustez física y la confiabilidad del prototipo, dejando atrás las conexiones temporales utilizadas en fases anteriores. Se buscó transformar el sistema en un dispositivo más cercano a un producto final, capaz de soportar un uso continuo sin que se produjeran fallas por manipulación, vibraciones o movimientos del usuario durante la interacción. Asimismo, se consideró la necesidad de integrar todos los componentes en una única estructura compacta, facilitando su transporte, mantenimiento y uso en entornos reales de rehabilitación.

#### **Análisis de riesgos**

Durante el análisis de riesgos se identificaron posibles problemas asociados a falsos contactos eléctricos, desconexiones accidentales de cables, fallos de alimentación y desgaste de conexiones temporales como protoboards y cables sueltos. También se evaluó el riesgo de interferencias eléctricas entre componentes, así como la posibilidad de daños al sistema por una manipulación incorrecta o cortes inesperados de energía. Estos riesgos justificaron la necesidad de una solución definitiva basada en soldaduras permanentes y un sistema de control de energía más confiable.

#### **Diseño**

El diseño de esta etapa contempló la creación de una placa de desarrollo personalizada donde se integraron de forma permanente todos los componentes del sistema. Se incluyeron cuatro botones arcade de gran tamaño y alta resistencia, identificados por los colores azul, rojo, verde y amarillo, con el fin de mejorar la accesibilidad y la experiencia de uso del paciente. Además, se incorporó la placa **ESP32-C5** como núcleo del sistema, una pantalla **LCD** para la visualización de información durante las pruebas, un **buzzer** para generar estímulos sonoros y un **interruptor de corte de energía** que permite encender y apagar el dispositivo de manera segura, en donde igualmente se conversó sobre la ayuda que realizaba el led RGB en la cual se concluyó que se retirara del diseño. El diseño priorizó la distribución ordenada de los componentes mediante código de color para botones arcade y para pantalla LCD.

#### Tabla de Conexión de Cables – Pantalla LCD

| Color del cable | Función            | Pin / Conexión |
|-----------------|--------------------|----------------|
| Blanco          | Tierra (GND)       | GND            |
| Amarillo        | Datos (SDA)        | Pin 26         |
| Negro           | Reloj (SCL)        | Pin 25         |
| Rojo            | Alimentación (VCC) | VCC            |

Tabla 12. Código de color pantalla LCD

#### Tabla de Conexión de Cables – Botones con LED

| Color del cable | Función              | Conexión |
|-----------------|----------------------|----------|
| Blanco          | Tierra del botón     | GND      |
| Negro           | Tierra del LED       | GND      |
| Rojo            | Alimentación del LED | + LED    |
| Amarillo        | Señal del botón      | + Botón  |

Tabla 13. Código de color Botones-Led

## **Implementación**

En la fase de implementación, todos los componentes fueron soldados de forma permanente sobre la placa de desarrollo, reemplazando completamente las conexiones temporales utilizadas en prototipos anteriores. Este proceso permitió mejorar significativamente la estabilidad mecánica y eléctrica del sistema, reduciendo pérdidas de señal y errores de funcionamiento. Asimismo, se realizaron ajustes en el firmware para adaptarlo a la nueva configuración física, asegurando la correcta lectura de los botones, el funcionamiento del buzzer, la actualización del LCD y la gestión eficiente de la alimentación del dispositivo.

## **Pruebas**

Una vez ensamblado el sistema, se llevaron a cabo pruebas prolongadas de funcionamiento continuo, simulando sesiones reales de uso. Durante estas pruebas se evaluó la respuesta de los botones, la estabilidad de la comunicación, el correcto funcionamiento del LCD y la fiabilidad del sistema de alimentación. Los resultados evidenciaron un comportamiento estable, sin pérdidas de conexión ni fallos asociados a la interacción del usuario, confirmando la efectividad de la integración física realizada.

## **Evaluación**

Como resultado de este ciclo, se concluyó que la integración física del sistema representó un avance clave en la evolución del proyecto. El prototipo alcanzó un nivel de confiabilidad y robustez significativamente superior a las versiones anteriores, sentando las bases para su encapsulado final y su uso en entornos reales. Esta etapa permitió reducir riesgos técnicos y acercar el sistema ReCobra a una solución funcional y sostenible.

#### 8.1.4 Ciclo 4 – Encapsulado final y red con IP fija

##### Planificación

En este último ciclo se estableció como objetivo principal la finalización del prototipo funcional del sistema ReCobra, enfocándose en su presentación final, protección física y estabilidad de la comunicación. Se buscó consolidar todos los avances técnicos logrados en ciclos anteriores, asegurando que el sistema pudiera operar de forma continua y confiable en un entorno real, sin requerir configuraciones constantes ni intervención técnica frecuente.

##### Análisis de riesgos

Durante el análisis de riesgos se identificaron posibles daños físicos a los componentes electrónicos debido a la exposición directa, manipulación del usuario o transporte del dispositivo. Asimismo, se consideraron riesgos asociados a la comunicación de red, específicamente los problemas derivados del cambio dinámico de direcciones IP, los cuales podrían provocar interrupciones en la conexión entre la ESP32 y el computador que ejecuta el backend del sistema, afectando la captura y visualización de los datos.

##### Diseño

El diseño de esta etapa contempló la creación de un encapsulado físico que permitiera alojar de manera segura todos los componentes del sistema, incluyendo la placa de desarrollo, los botones arcade, la pantalla LCD, el buzzer y el sistema de alimentación. Además, se diseñó e incorporó un **soporte impreso en 3D** para la placa de desarrollo, con el objetivo de fijarla firmemente al interior de la caja y evitar

movimientos o tensiones en las conexiones. El encapsulado fue pensado para facilitar la interacción del usuario, proporcionando accesibilidad a los botones, visibilidad clara del LCD y un acceso seguro al interruptor de encendido, además de ofrecer protección frente a golpes, polvo y manipulación accidental.

## **Implementación**

En la fase de implementación, el sistema fue instalado completamente dentro de una caja física, asegurando cada componente para evitar desplazamientos o desconexiones internas. La placa de desarrollo fue montada sobre el soporte impreso en 3D, mejorando la estabilidad mecánica del conjunto. Paralelamente, se configuró un router dedicado para establecer una red local controlada, asignando direcciones IP fijas tanto a la ESP32 como al computador que aloja el backend. Esta configuración permite eliminar los problemas ocasionados por cambios automáticos de IP, garantizando una comunicación constante y estable durante la ejecución del sistema.

## **Pruebas**

Las pruebas finales se realizaron con el sistema completamente encapsulado y operando en la red configurada con IP fija. Se evaluó el funcionamiento continuo del hardware, la estabilidad de la comunicación inalámbrica y la correcta recepción y visualización de los datos en la plataforma web. Los resultados confirmaron un comportamiento estable, sin pérdidas de conexión ni errores durante sesiones prolongadas de uso.

## **Evaluación**

Como resultado de este ciclo, se consolidó el prototipo del sistema ReCobra, alcanzando un nivel adecuado de robustez física, estabilidad de red y confiabilidad

operativa. La incorporación del encapsulado y del soporte impreso en 3D permitió mejorar significativamente la seguridad y durabilidad del dispositivo, dejando el sistema preparado para su utilización y evaluación en escenarios reales, tanto en contextos clínicos como domiciliarios.

## 8.2 Interfaz web y Prototipo final:

### 8.2.1 Interfaz para ingreso de paciente:

The image shows a web interface for patient registration. The title is 'Registro de Paciente' with the subtitle 'Registra un nuevo paciente en el sistema'. The form is divided into sections: 'Información del Paciente' and 'Resumen'. In the 'Información del Paciente' section, there are input fields for 'Nombre Completo', 'Fecha de Nacimiento', and 'Edad'. The 'Género' section has three buttons: 'Masculino', 'Femenino', and 'Otro'. Below this is a 'Descripción del Tipo de ACV' section with a text area containing 'ACV isquémico de arteria cerebral media, con hemiparesia derecha'. The 'Resumen' section displays the entered information: 'Nombre: No especificado', 'Edad: 0 años', and 'Género: No especificado'. At the bottom, there are two buttons: 'Cancelar' and 'Registrar Paciente'.

*Ilustración 24. Interfaz para ingreso de paciente*

## 8.2.2 Interfaz lista pacientes:

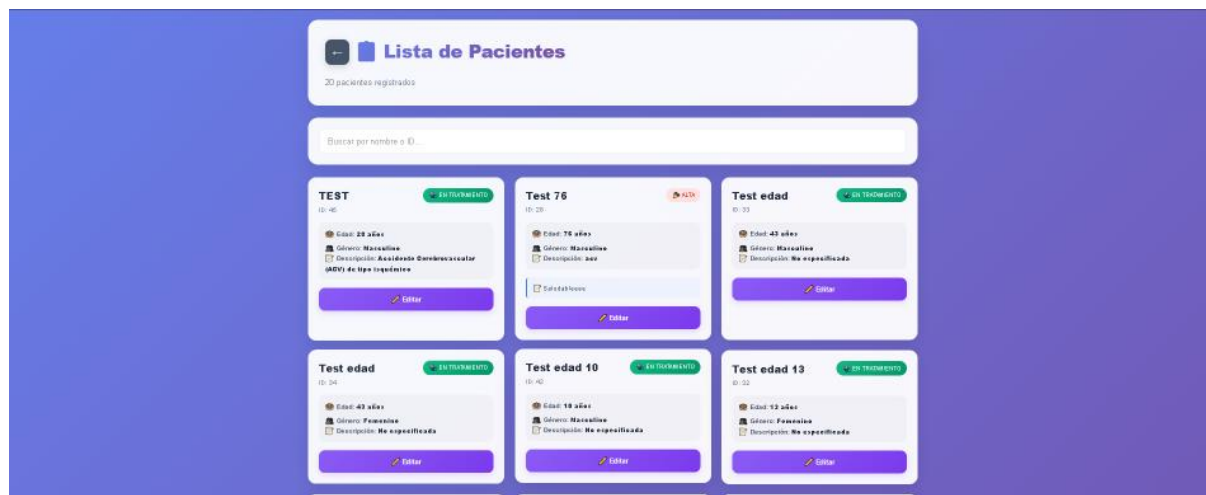


Ilustración 25. Interfaz lista de paciente

## 8.2.3 Interfaz para editar paciente:

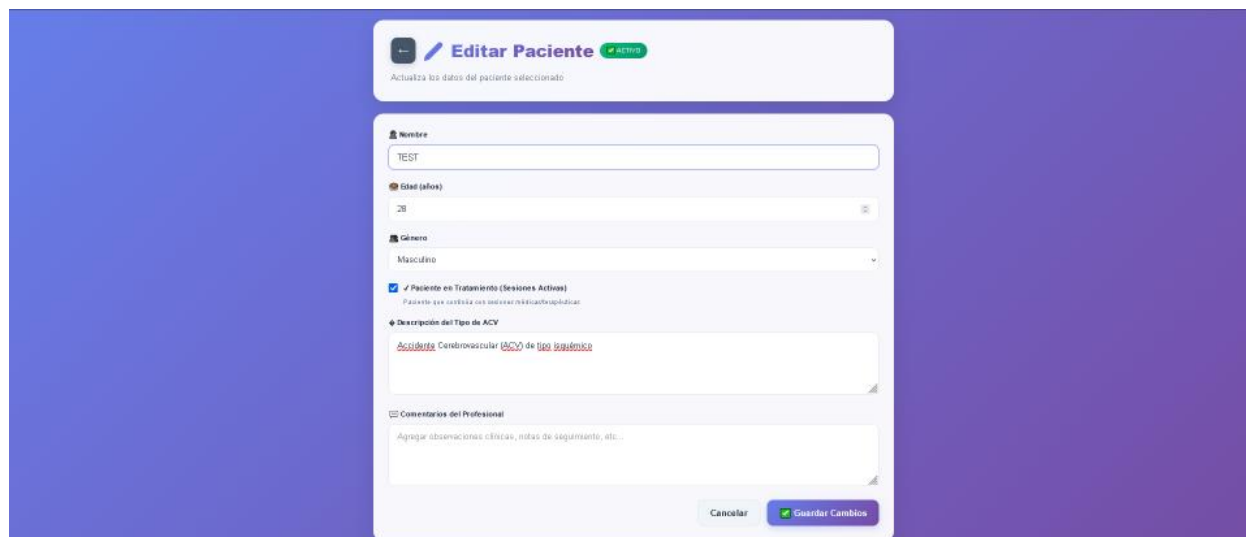


Ilustración 26. Interfaz para editar paciente

## 8.2.4 Interfaz de selección de paciente para iniciar prueba:

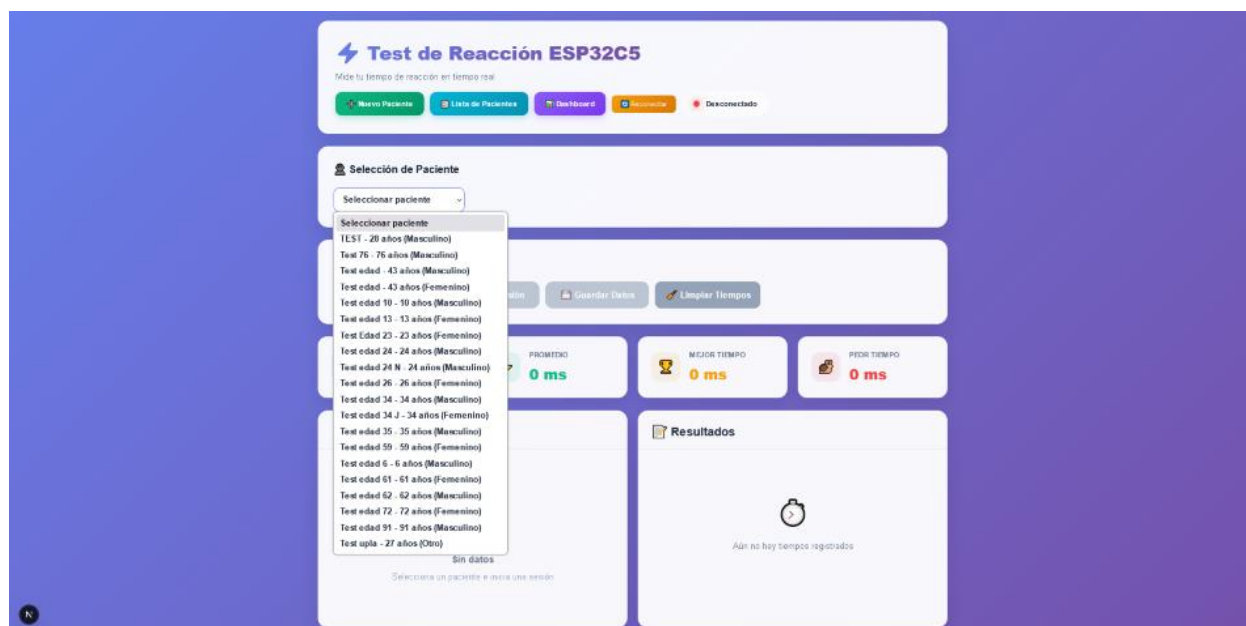


Ilustración 27. Interfaz de selección de paciente para prueba

## 8.2.5 Interfaz en sesión / en prueba:

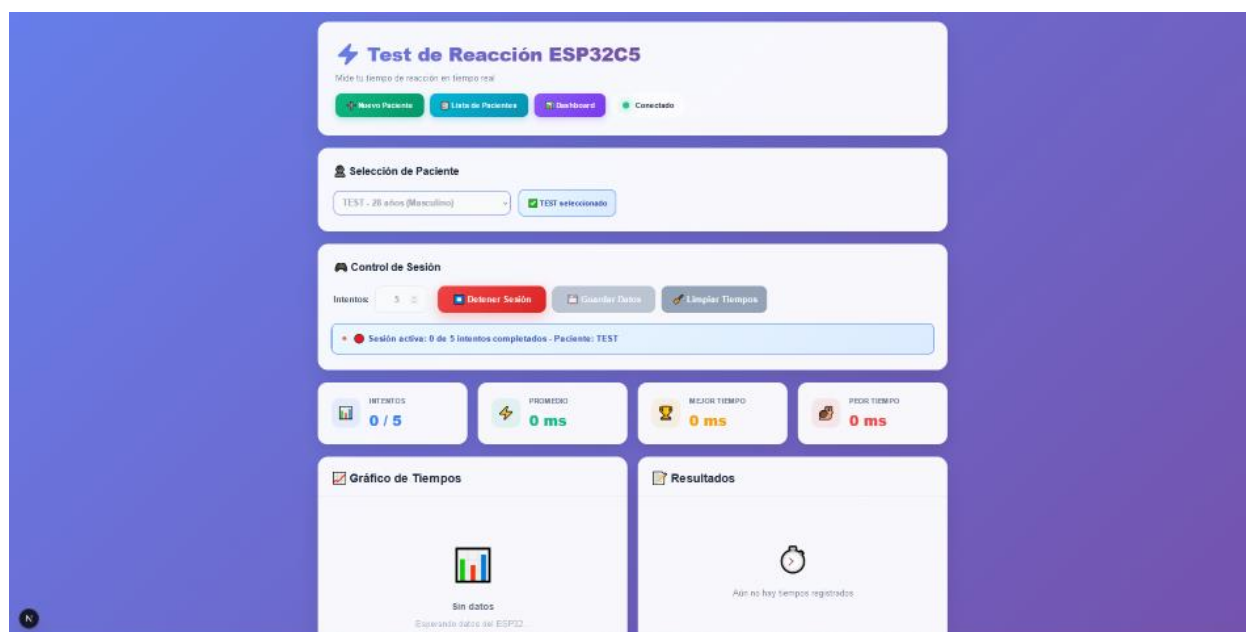


Ilustración 28. Interfaz de inicio de sesión

## 8.2.6 Interfaz de dashboard para selección de paciente:

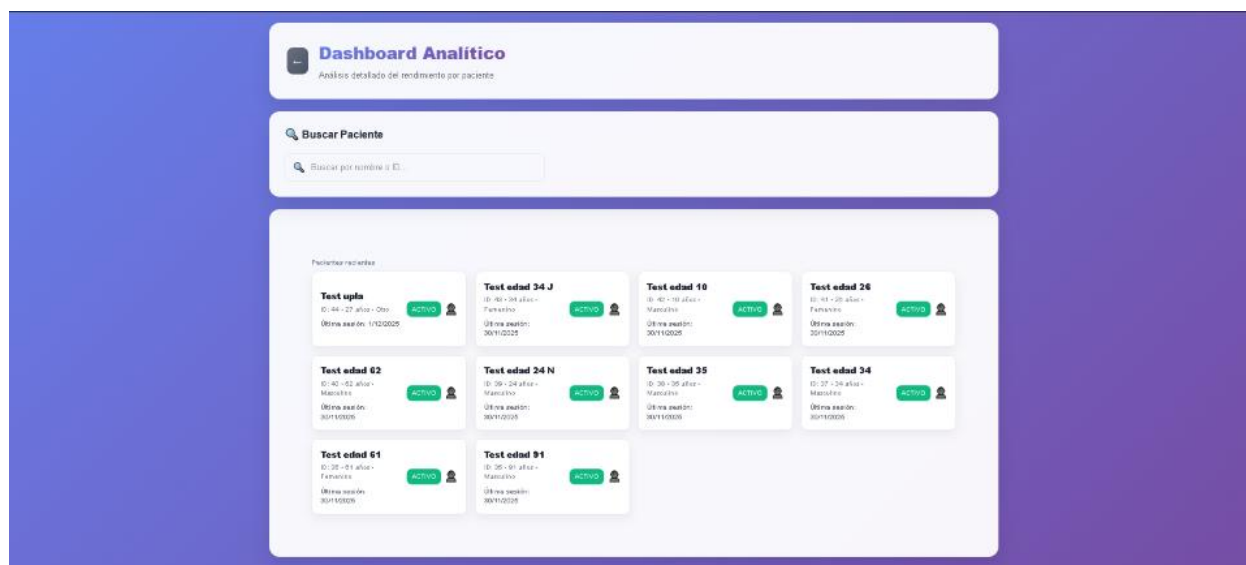


Ilustración 29. Dashboard selección de paciente

## 8.2.7 Interfaz de dashboard seleccionado:

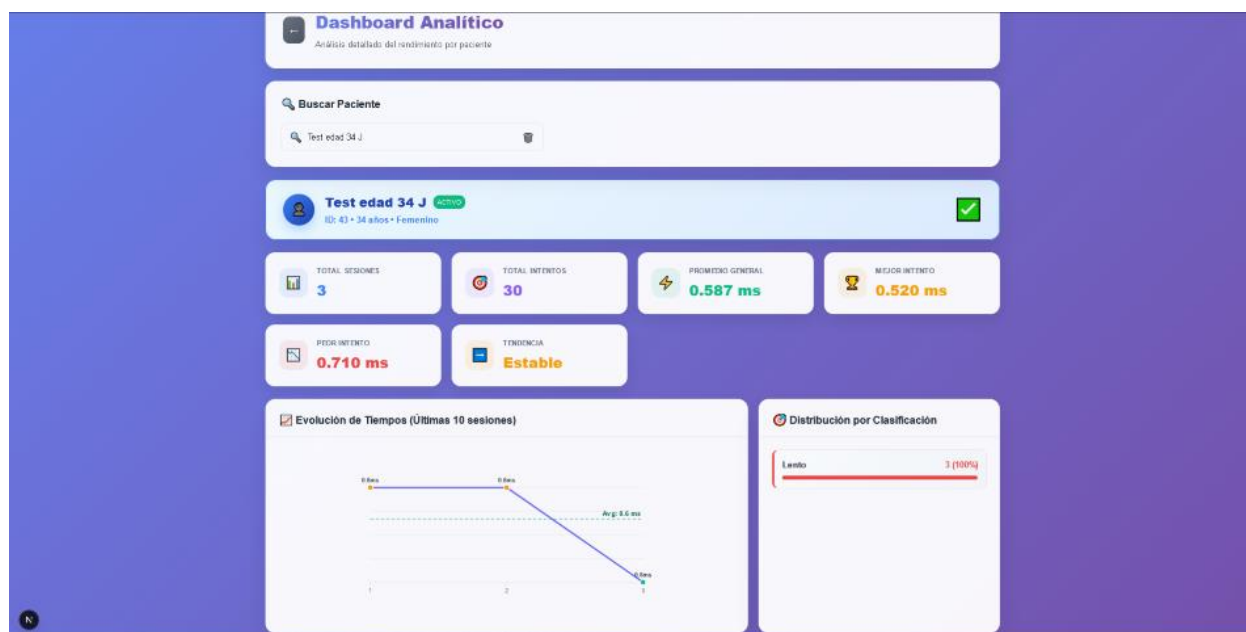


Ilustración 30. Dashboard de paciente seleccionado

## 8.2.8 Interfaz de vista de intentos en sesiones:

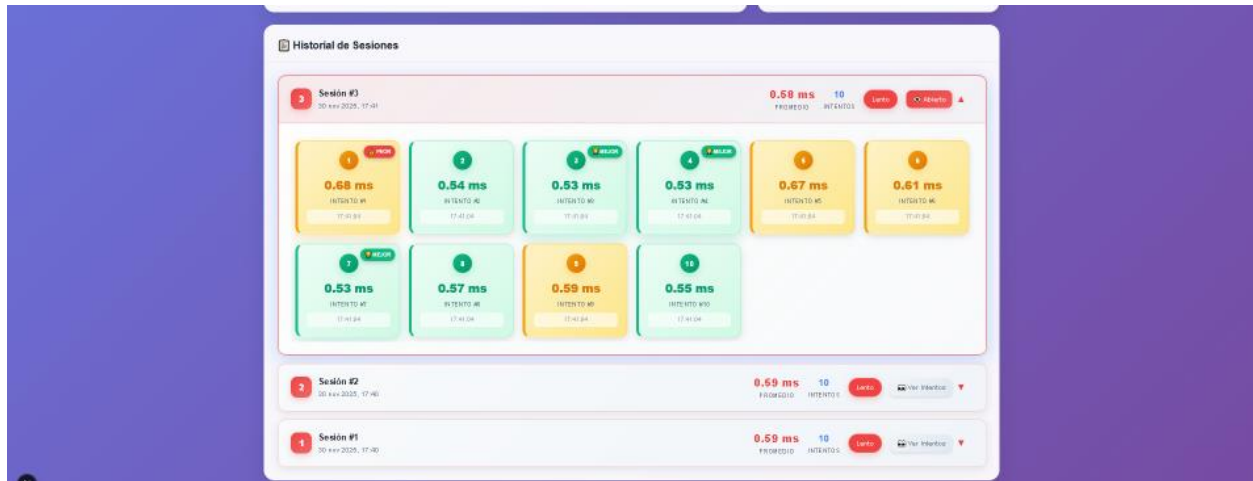


Ilustración 31. Vista de intentos en sesiones

## 8.3 Prototipo final (Hardware finalizado)



Ilustración 32. Prototipo final 1



*Ilustración 33. Prototipo final 2*



*Ilustración 34. Prototipo final 3*

#### 9.1 Pruebas del sistema

Con el objetivo de validar el correcto funcionamiento del sistema ReCobra, se realizaron pruebas orientadas a comprobar la captura, transmisión, almacenamiento y visualización de los tiempos de reacción obtenidos a partir de los estímulos visuales presentados al usuario. Las pruebas se llevaron a cabo considerando distintos rangos etarios, con el fin de analizar la consistencia de los datos y establecer una base de referencia para su posterior estandarización.

#### 9.2 Metodología de Pruebas

Las pruebas del sistema se desarrollaron con un enfoque exploratorio de carácter funcional, con el objetivo de evaluar el correcto funcionamiento del prototipo y la consistencia de los datos obtenidos. En la evaluación participaron 19 usuarios, de los cuales dos correspondían a personas con antecedente de accidente cerebrovascular (ACV) en diferentes grados, mientras que el resto correspondía a personas sin ningún diagnóstico neurológico, utilizadas como grupo de referencia. Los participantes seleccionados asistieron a la prueba por convocatoria y su selección fue de carácter no probabilístico, considerando su participación voluntaria y su disponibilidad.

Previo a la ejecución de las pruebas, todos los participantes recibieron información sobre el objetivo general del estudio, además de firmar una carta de consentimiento informado y de uso de información. Cada participante fue registrado en la plataforma web del sistema y posteriormente asignado a una sesión de prueba individual.

En cada sesión, los participantes se posicionaron frente al dispositivo físico y recibieron instrucciones estandarizadas para responder lo más rápido posible a los estímulos visuales

presentados por el sistema, mediante la interacción con botones físicos. El sistema generó estímulos visuales de forma aleatoria y midió automáticamente el tiempo transcurrido entre que el estímulo apareció y la respuesta del participante mediante la presión del botón correspondiente.

Cada participante realizó 30 intentos en total divididos en tres sesiones (10 intentos por sesión). La primera y segunda sesión se ejecutaron a modo de prueba, con la finalidad de que los participantes se familiarizaran con el sistema. La tercera sesión se utilizó como muestra definitiva de cada participante. Esto permitió obtener múltiples mediciones individuales y reducir la influencia de valores atípicos.

Los tiempos de respuesta de cada participante fueron enviados desde la placa ESP32 al backend mediante comunicación WebSocket, almacenados en la base de datos y posteriormente visualizados en la plataforma web.

### **9.3 Resultados Obtenidos**

Los resultados que se obtuvieron están basados en la medición de los tiempos individuales de reacción registrados durante la tercera sesión de cada participante, la cual fue designada como la muestra definitiva. Para cada participante se consideraron 10 mediciones de tiempo de respuesta válidas, las cuales correspondían a los intentos que realizaron en la tercera sesión.

Tomando estos datos, se calculó el tiempo de reacción promedio de forma individual para cada usuario, el cual se agrupó posteriormente según el rango etario al cual pertenecía cada participante. Esta agrupación por rangos de edad permitió analizar los diferentes comportamientos del sistema en aspectos generales frente a distintos grupos etarios y poner a prueba la consistencia de las mediciones obtenidas.

Los resultados muestran que existe una tendencia clara en el aumento del tiempo de reacción a medida que la edad de los participantes es mayor. Este resultado coincide con lo reportado en los diferentes estudios respecto al desempeño cognitivo y tiempos de respuesta, lo que, a su vez, es respaldado por la coherencia de los datos que se captaron con el sistema.

Con estos resultados, se puede verificar que el sistema es capaz de capturar, registrar y diferenciar los tiempos de reacción de los participantes de manera consistente, lo que lo convierte en una herramienta de monitoreo del desempeño cognitivo válida.

#### **9.4 Estandarización de Datos**

A partir de los datos obtenidos durante las pruebas, se elaboró una tabla de promedios de tiempo de reacción por rango etario. Esta tabla permite utilizar los resultados como valores de referencia, facilitando la comparación del desempeño individual de un paciente con el promedio correspondiente a su grupo de edad.

A continuación, se presenta una tabla con los datos obtenidos durante las pruebas realizadas, la cual resume los tiempos de reacción registrados y su agrupación por rangos etarios, permitiendo el análisis y estandarización de los resultados.

| Clasificación por edad            |           |         |         |         |
|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|
| Valores mostrados en s (segundos) |           |         |         |         |
| Edad                              | Excelente | Bueno   | Normal  | Lento   |
| 0-18                              | 0.450 s   | 0.570 s | 0.690 s | 0.800 s |
| 19-29                             | 0.500 s   | 0.650 s | 0.780 s | 0.900 s |
| 30-40                             | 0.480 s   | 0.620 s | 0.750 s | 0.880 s |
| 41-51                             | 0.500 s   | 0.630 s | 0.760 s | 0.900 s |
| 52-60                             | 0.520 s   | 0.660 s | 0.800 s | 0.950 s |
| 61-71                             | 0.900 s   | 1.150 s | 1.450 s | 1.800 s |
| 72-81                             | 0.950 s   | 1.200 s | 1.550 s | 2.000 s |
| 81+                               | 2.000 s   | 2.600 s | 3.200 s | 4.000 s |

*Ilustración 35. Clasificación de tiempo de reacción por edad*

#### 10.1 Software utilizado

Para desarrollar el presente proyecto fue necesario utilizar herramientas software orientadas a la programación y la gestión de bases de datos.

La principal utilizada fue **Visual Studio Code**, un editor de código fuente de distribución gratuita y de código abierto, el cual permite escribir código en la mayoría de los lenguajes de programación. Este fue utilizado como entorno de desarrollo para la edición y programación del código fuente de la interfaz web.

Para la gestión y administración de la base de datos del proyecto se utilizó MySQL 9.5 Command Line Client en conjunto con Workbench 8.0 Community Edition, Ambas herramientas de distribución gratuita. Dichas herramientas se encargan de la ejecución de consultas en SQL, el mantenimiento y control de toda la información y datos que se almacenen en las pruebas y la administración de la estructura de la base de datos.

Otras herramientas que también se usaron dentro del proyecto son el entorno de ejecución **NodeJS**, el framework **ReactJS** y el Software **Arduino IDE**. Todos estos de acceso gratuito y libre para todo público.

El uso de solamente software libre y gratuito no solo nos permitió desarrollar un sistema funcional y de una alta calidad, sino que también, nos permitió reducir significativamente los costos asociados al desarrollo de este.

## **10.2 Hardware, materiales y costos asociados**

Para el desarrollo de ReCobra se tuvieron que considerar diversos costos asociados a diferentes aristas, tales como la adquisición del hardware, materiales electrónicos y elementos físicos para concretar su construcción entre otros.

En este caso en particular, los costos se dividen en dos puntos principales:

- Adquisición de materiales por compra directa.
- Materiales obtenidos sin costo monetario.

Para poder comenzar con la construcción del proyecto, se utilizó kit básico de Arduino, el cual contenía componentes como una pantalla LCD y un búfer, los cuales fueron implementados dentro del proyecto. Este Kit no tuvo un costo asociado, ya que la universidad nos facilitó este kit y todos sus componentes.

Para comenzar con el hardware usamos una placa fenólica con diseño tipo protoboard, el cual tampoco contó con un costo asociado, ya que esta fue reutilizada por uno de los integrantes del equipo, quien la mantenía en desuso.

Para lograr que el sistema tuviera un funcionamiento óptimo en cuanto al envío y recepción de los datos, se adquirió una placa de desarrollo ESP32-C5-DevKitC-1, la cual tuvo un costo de \$18.600CLP.

Para la generación de los estímulos visuales se adquirieron 4 pulsadores con micro interruptor LED de 12V de diferentes colores (rojo, azul, amarillo y verde), los cuales tuvieron un costo unitario de \$2.200CLP y un costo total de \$8.800CLP.

Para realizar las conexiones de todos los componentes se necesitó Cable RVV de 28AWG con 4 Cores, el cual se compró en rollo de 5 metros, con un valor de \$5.900CLP considerando impuestos a compras internacionales debido a la nueva ley implementada el 25 de octubre de este año.

Para la soldadura de todos estos componentes se tuvo que adquirir 2 cautines, estaño, y pasta para soldar, los cuales en su totalidad suman un monto de \$12.000CLP.

Para la alimentación del sistema, se utilizó una batería externa AMP 3 marca Zagg de 3.000 Mah, la cual, al igual que la placa fenólica, no tiene un costo asociado, ya que pertenece uno de los integrantes del equipo, quien la mantenía en desuso.

La caja de madera que se utilizó para el encapsulamiento del proyecto no implicó ningún gasto asociado, ya que esta fue obtenida mediante una donación realizada por el gerente de operaciones de una viña ubicada en la comuna de Panquehue.

La pintura blanca con la que se pintó la caja que encapsula el proyecto corresponde a un esmalte al Agua satinado blanco de la marca Kolor, el cual tuvo un costo de \$13.290CLP, aunque algo a considerar, es que no se usó la totalidad del contenido, sino una cantidad mínima de este.

Las impresiones 3D como el soporte de la pantalla y el de la placa fenólica fueron hechas utilizando el material e impresora proporcionados por la universidad, lo que no tuvo ningún tipo de costo adicional.

En términos generales, el costo total de todos los componentes del Hardware y los Softwares utilizados suma un total de \$58.590CLP, lo que se entiende como un margen acotado y accesible si se habla de tecnologías de este tipo.

## **CAPÍTULO XI**

### **CONCLUSIÓN**

Tal como se mencionó en el apartado de objetivo general, el proyecto ReCobra consistía en desarrollar un sistema interactivo que fuera de bajo costo, y que se enfocara en apoyar procesos de rehabilitación cognitiva por medio de la medición de tiempos de reacción. A partir del trabajo que se ha realizado, se puede concluir que dicho objetivo fue cumplido a nivel tanto tecnológico y funcional, ya que se logró diseñar un prototipo capaz de capturar, almacenar y visualizar tiempos de respuesta de forma automática y consistente, implementarlo y finalmente ponerlo en funcionamiento.

Respecto a los objetivos específicos que se plantearon, se logró la integración de hardware y software por medio del uso de una placa ESP32-C5, componentes electrónicos de fácil acceso y de bajo costo, junto con una plataforma web, lo que permitió transmitir de forma inalámbrica los datos captados hacia un backend estructurado. Además de esto, se desarrolló una interfaz web que estuviera orientada a la visualización de los datos, lo que facilita el análisis y seguimiento de los resultados obtenidos en cada sesión.

Desde el punto de vista metodológico, el uso del modelo en espiral permitió que el avance del sistema fuera iterativo, lo que hizo muy favorable la detección de errores de forma temprana, así como también la mejora progresiva del prototipo.

En cuanto al alcance del estudio, es importante señalar que la evaluación realizada corresponde a una validación técnica y funcional del sistema, la cual está enfocada en comprobar el nivel de consistencia que tienen las mediciones, así como también el correcto funcionamiento del prototipo. Si bien dentro de los participantes había personas que tenían antecedentes de accidente cerebrovascular en diferentes niveles, los resultados que se obtuvieron no constituyen una validación clínica en ningún aspecto, sino que permiten establecer la viabilidad del sistema como herramienta de monitoreo y apoyo.

Finalmente, el proyecto crea y deja abiertas varias líneas de trabajo con proyección a futuro, tales como el desarrollo de nuevos ejercicios cognitivos o la realización de estudios con un mayor número de pacientes post-ACV. Estas proyecciones podrían permitir ampliar y escalar el alcance del sistema, así como también evaluar su impacto dentro de entornos clínicos reales, lo que consolidaría el proyecto ReCobra como una base para futuras investigaciones tecnológicas.

## 11.1 Consentimiento informado


**Universidad de Playa Ancha**

Ingeniería Informática, Mención en Gestión de la Información.

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
Proyecto ReCobra

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

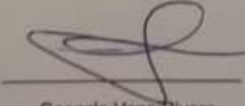
Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

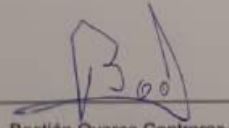
**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Paulina Sepúlveda

Firma: [Firma] Fecha: 30.11.2025

  
 Gonzalo Vega Rivera  
 Encargado del proyecto

  
 Bastián Oyarce Contreras  
 Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Javiera Ramirez Canallo. (Tutora Facundo Robles)

Firma: [Firma] Fecha:    /    /   

[Firma]

Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto

[Firma]

Bastían Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Javiera Ramirez Carvallo

Firma: [Firma] Fecha:    /    /   

[Firma]  
Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto

[Firma]  
Bastían Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Griette V. Robles Muñoz

Firma: [Firma] Fecha:    /    /   

[Firma]  
Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto

[Firma]  
Bastían Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: William A. Robles M.

Firma: 

Fecha: 30.11.2025

  
Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto

  
Bastián Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

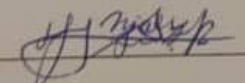
**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

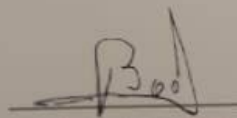
Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Nicolás Sepúlveda Zeballos

Firma:  Fecha: 30 / 11 / 2023



Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto



Bastián Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Humberto H. P. Velásquez

Firma: 

Fecha: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

  
Gonzalo Vega Rivera

Encargado del proyecto

  
Bastián Oyarce Contreras

Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
  - Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.
- Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías y sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Myrko Robles Peña

Firma: [Firma] Fecha: 30 / 11 / 2025

[Firma]

Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto

[Firma]

Bastían Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Se tomarán fotografías. Sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

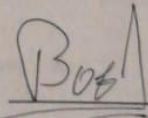
**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: William ROBLES

Firma:  Fecha: 28 / 11 / 25

Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto

  
Bestián Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBE HACER?**

- En el tablero verá una serie de botones que se encenderán en un orden aleatorio.
- Al momento en el que se encienda un botón con el color indicado, deberá presionarlo lo más rápido que pueda.
- Esta actividad tiene una duración de aproximadamente 10 a 20 minutos.

**RIESGOS**

La realización de esta actividad no conlleva riesgos importantes, solo existe la posibilidad de que pueda sentir un poco de cansancio visual. De ser así, la actividad se puede detener cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar funciones de memoria y atención.
- Conocer su avance dentro de las pruebas.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Durante la evaluación se tomarán fotografías y se almacenarán datos, los que serán de uso privado y cuyo único propósito son fines académicos. No se mostrará su nombre ni información personal de ningún tipo en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

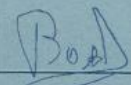
Usted declara estar en completo entendimiento de los fines que tiene el uso de la información proporcionada en esta evaluación, en la cual aceptó participar de forma voluntaria.

Nombre del voluntario(a): Irwin Alejandro Sepulveda Silva

Firma: 

Fecha: 08 / 12 / 2025

  
Gonzalo Vega Rivera  
Encargado de proyecto

  
Bastián Oyarce Contreras  
Encargado de proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBE HACER?**

- En el tablero verá una serie de botones que se encenderán en un orden aleatorio.
- Al momento en el que se encienda un botón con el color indicado, deberá presionarlo lo más rápido que pueda.
- Esta actividad tiene una duración de aproximadamente 10 a 20 minutos.

**RIESGOS**

La realización de esta actividad no conlleva riesgos importantes, solo existe la posibilidad de que pueda sentir un poco de cansancio visual. De ser así, la actividad se puede detener cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar funciones de memoria y atención.
- Conocer su avance dentro de las pruebas.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Durante la evaluación se tomarán fotografías y se almacenarán datos, los que serán de uso privado y cuyo único propósito son fines académicos. No se mostrará su nombre ni información personal de ningún tipo en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Usted declara estar en completo entendimiento de los fines que tiene el uso de la información proporcionada en esta evaluación, en la cual aceptó participar de forma voluntaria.

Nombre del voluntario(a): Gregoria Cáceres

Firma: Gregoria Cáceres

Fecha: 08 / 12 / 2025

Gonzalo Vega Rivera  
Encargado de proyecto

Bastían Oyarce Contreras  
Encargado de proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBE HACER?**

- En el tablero verá una serie de botones que se encenderán en un orden aleatorio.
- Al momento en el que se encienda un botón con el color indicado, deberá presionarlo lo más rápido que pueda.
- Esta actividad tiene una duración de aproximadamente 10 a 20 minutos.

**RIESGOS**

La realización de esta actividad no conlleva riesgos importantes, solo existe la posibilidad de que pueda sentir un poco de cansancio visual. De ser así, la actividad se puede detener cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar funciones de memoria y atención.
- Conocer su avance dentro de las pruebas.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Durante la evaluación se tomarán fotografías y se almacenarán datos, los que serán de uso privado y cuyo único propósito son fines académicos. No se mostrará su nombre ni información personal de ningún tipo en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Usted declara estar en completo entendimiento de los fines que tiene el uso de la información proporcionada en esta evaluación, en la cual aceptó participar de forma voluntaria.

Nombre del voluntario(a): Josquín Arambiza Benítez Alejandro

Firma: [Firma]

07 12 2025  
Fecha: 07 / 12 / 2025

[Firma]  
Gonzalo Vega Rivera  
Encargado de proyecto

[Firma]  
Bastían Oyarce Contreras  
Encargado de proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBE HACER?**

- En el tablero verá una serie de botones que se encenderán en un orden aleatorio.
- Al momento en el que se encienda un botón con el color indicado, deberá presionarlo lo más rápido que pueda.
- Esta actividad tiene una duración de aproximadamente 10 a 20 minutos.

**RIESGOS**

La realización de esta actividad no conlleva riesgos importantes, solo existe la posibilidad de que pueda sentir un poco de cansancio visual. De ser así, la actividad se puede detener cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar funciones de memoria y atención.
- Conocer su avance dentro de las pruebas.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Durante la evaluación se tomarán fotografías y se almacenarán datos, los que serán de uso privado y cuyo único propósito son fines académicos. No se mostrará su nombre ni información personal de ningún tipo en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

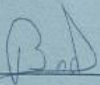
Usted declara estar en completo entendimiento de los fines que tiene el uso de la información proporcionada en esta evaluación, en la cual aceptó participar de forma voluntaria.

Nombre del voluntario(a): Aljondro Amador Pizarro

Firma: 

Gonzalo Vega Rivera  
Encargado de proyecto

Fecha: 07, 12, 25



Bastián Oyarce Contreras  
Encargado de proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBE HACER?**

- En el tablero verá una serie de botones que se encenderán en un orden aleatorio.
- Al momento en el que se encienda un botón con el color indicado, deberá presionarlo lo más rápido que pueda.
- Esta actividad tiene una duración de aproximadamente 10 a 20 minutos.

**RIESGOS**

La realización de esta actividad no conlleva riesgos importantes, solo existe la posibilidad de que pueda sentir un poco de cansancio visual. De ser así, la actividad se puede detener cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar funciones de memoria y atención.
- Conocer su avance dentro de las pruebas.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

Durante la evaluación se tomarán fotografías y se almacenarán datos, los que serán de uso privado y cuyo único propósito son fines académicos. No se mostrará su nombre ni información personal de ningún tipo en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Usted declara estar en completo entendimiento de los fines que tiene el uso de la información proporcionada en esta evaluación, en la cual aceptó participar de forma voluntaria.

Nombre del voluntario(a): Maryli Figueroa

Firma: Maryli Figueroa

Fecha: 07 / 12 / 2025

Gonzalo Vega Rivera

Gonzalo Vega Rivera  
Encargado de proyecto

Bastian Oyarce Contreras

Bastian Oyarce Contreras  
Encargado de proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBE HACER?**

- En el tablero verá una serie de botones que se encenderán en un orden aleatorio.
- Al momento en el que se encienda un botón con el color indicado, deberá presionarlo lo más rápido que pueda.
- Esta actividad tiene una duración de aproximadamente 10 a 20 minutos.

**RIESGOS**

La realización de esta actividad no conlleva riesgos importantes, solo existe la posibilidad de que pueda sentir un poco de cansancio visual. De ser así, la actividad se puede detener cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar funciones de memoria y atención.
- Conocer su avance dentro de las pruebas.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

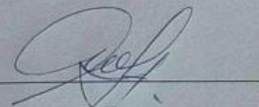
Durante la evaluación se tomarán fotografías y se almacenarán datos, los que serán de uso privado y cuyo único propósito son fines académicos. No se mostrará su nombre ni información personal de ningún tipo en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

Usted declara estar en completo entendimiento de los fines que tiene el uso de la información proporcionada en esta evaluación, en la cual aceptó participar de forma voluntaria.

Nombre del voluntario(a): Elizabeth Becerra Diaz

Firma: \_\_\_\_\_



Gonzalo Vega Rivera  
Encargado de proyecto

Fecha: 07/12/2025



Bastián Oyarce Contreras  
Encargado de proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

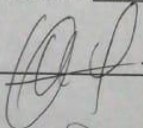
**CONFIDENCIALIDAD**

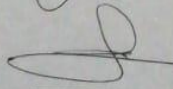
Se tomarán fotografías. Sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

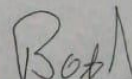
Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Paula Calderón.

Firma:  Fecha: 28, 11, 25



Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto



Bastián Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

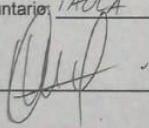
**CONFIDENCIALIDAD**

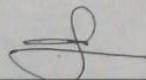
Se tomarán fotografías. Sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

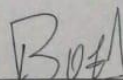
Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: PAULA CALDERÓN (MAMA') JOSEFA ROBLES.-

Firma:  Fecha: 28, 11, 25



Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto



Bastián Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

**CONFIDENCIALIDAD**

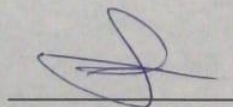
Se tomarán fotografías. Sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

**AUTORIZACIÓN**

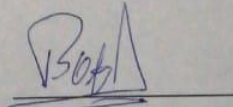
Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Bruno Soto

Firma: Bruno Soto Fecha: 29 / 11 / 25



Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto



Bastián Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

**CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**Proyecto ReCobra**

ReCobra es un sistema que ayuda a ejercitar la memoria y la atención en personas que han tenido un Accidente Cerebrovascular (ACV). Para esto, se usan luces y un botón que permiten medir su tiempo de reacción.

**¿QUÉ DEBO HACER?**

- Ver luces que se encienden.
- Presionar un botón cuando aparezca el color indicado.

Las actividades duran entre 10 y 20 minutos.

**RIESGOS**

No existen riesgos importantes. Podría sentir un poco de cansancio visual, si es así puede detener la actividad cuando lo desee.

**BENEFICIOS**

- Ejercitar memoria y atención.
- Conocer su avance.
- Ayudar al desarrollo de una herramienta de rehabilitación.

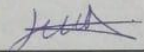
**CONFIDENCIALIDAD**

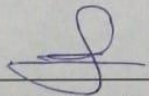
Se tomarán fotografías. Sus datos serán privados, usados sólo para fines académicos. No se mostrará su nombre en ningún informe.

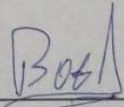
**AUTORIZACIÓN**

Declaro que entiendo esta información y acepto participar voluntariamente.

Nombre del voluntario: Javiera Robles C.

Firma:  Fecha: 29, 11, 25

  
Gonzalo Vega Rivera  
Encargado del proyecto

  
Bastián Oyarce Contreras  
Encargado del proyecto

## 11.2 Registro fotográfico de pruebas de usuario



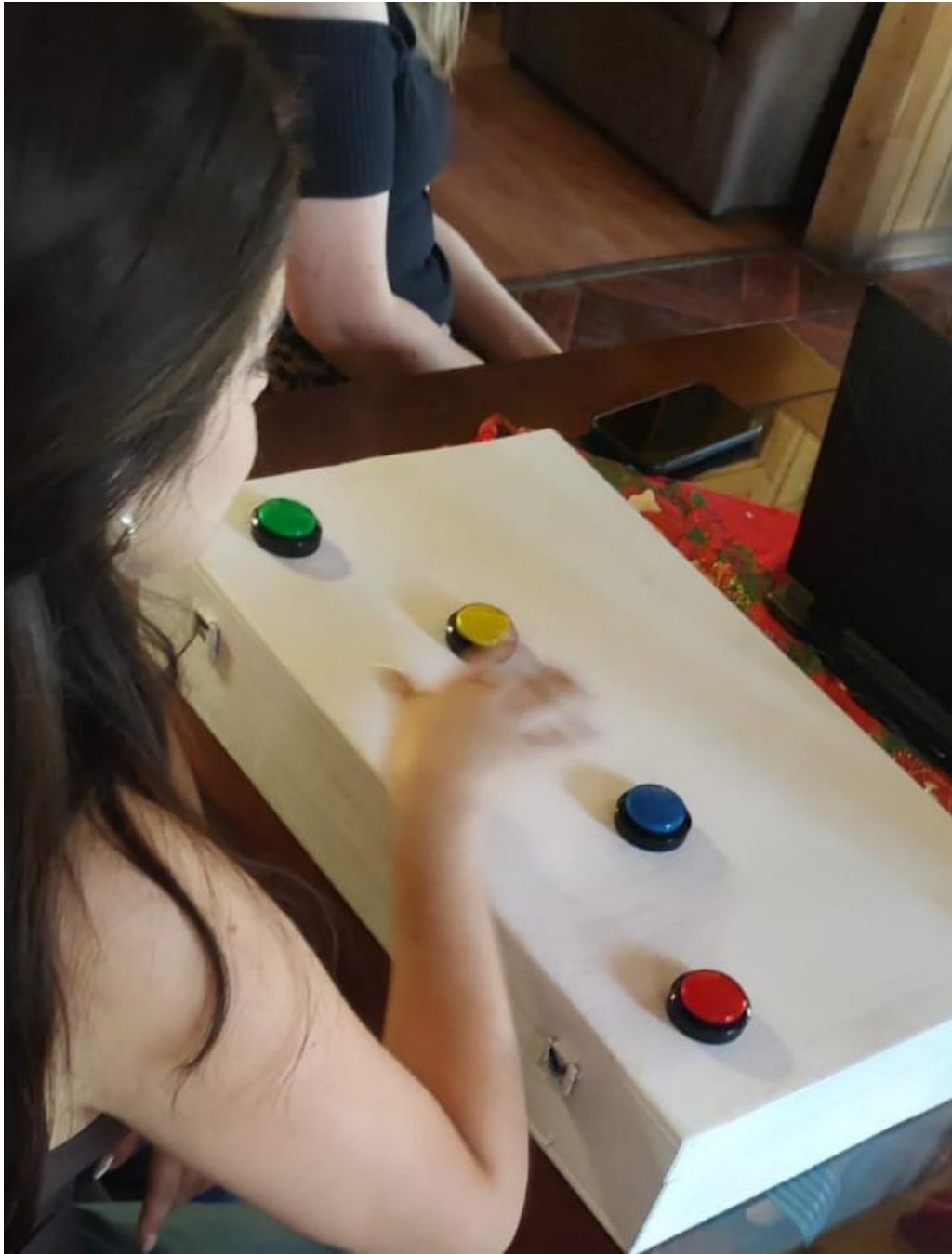




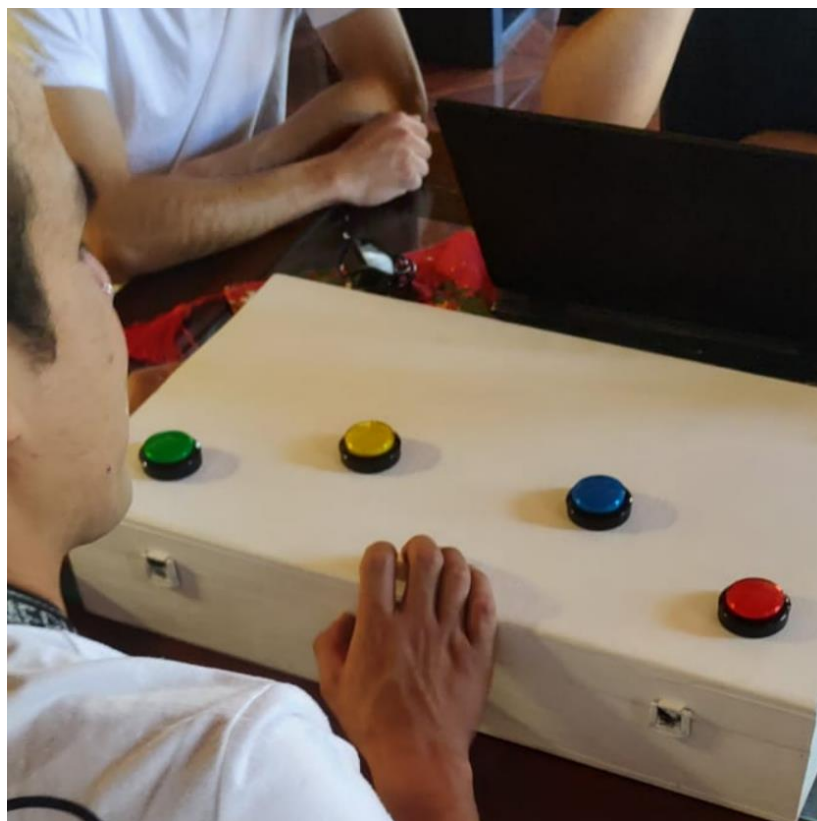
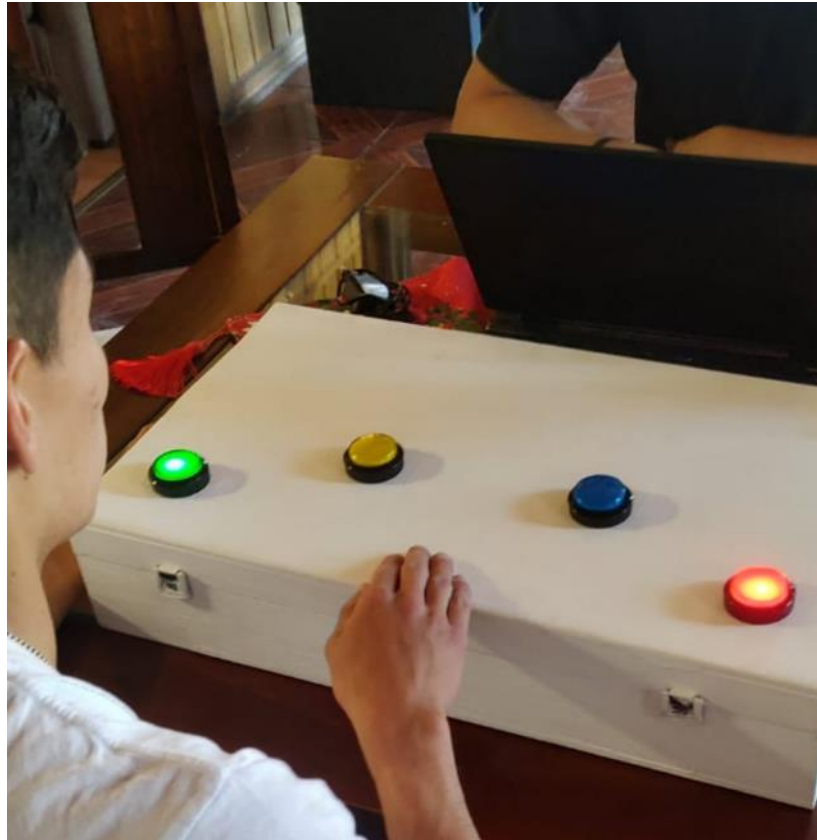
















## CAPITULO XIII

### BIBLIOGRAFÍA

Ardila, R., Silva, F., & Acosta, M. (2013). Perfil neuropsicológico en pacientes con ACV isquémico de la arteria cerebral media izquierda. *Acta Neurológica Colombiana*, 29(1), 36–43.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-87482013000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-87482013000100005&script=sci_arttext)

Benjamin, E. J., Muntner, P., Alonso, A., Bittencourt, M. S., Callaway, C. W., Carson, A. P., Chamberlain, A. M., Chang, A. R., Cheng, S., Das, S. R., Delling, F. N., Djousse, L., Elkind, M. S. V., Ferguson, J. F., Fornage, M., Chaffin, J. L., Khan, S. S., Kissela, B. M., Knutson, K. L., ... Virani, S. S. (2019). Heart disease and stroke statistics—2019 update: A report from the American Heart Association. *Circulation*, 139(10), e56–e528.

<https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000659>

Campellone, J. (2023). Accidente cerebrovascular. MedlinePlus.

<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000726.htm>

Castillo Obando, K. P., & Leytón Sánchez, A. D. (2019). Sistema “FlextHand” para mejorar la motricidad de las manos en pacientes con accidente cerebrovascular del Hospital Belén de Trujillo [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47337/Castillo\\_OKP-Leyt%C3%B3n\\_SAD-SD.pdf](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47337/Castillo_OKP-Leyt%C3%B3n_SAD-SD.pdf)

Esquivel, D. H., Martínez, J. P., Miloqui, M., Sartorio, A., & López, P. (2019a). Dispositivo indicador de carga de peso y actividad muscular para pacientes en recuperación post ACV. *Brazilian Journal of Development*, 5(4), 3198–3211.

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/1464>

Esquivel, D. H., Martínez, J. P., Miloqui, M., Sartorio, A., & López, P. (2019b). Dispositivo indicador de carga de peso y actividad muscular para pacientes en recuperación post ACV [Documento técnico].

<https://dspaceapi.uai.edu.ar/server/api/core/bitstreams/a3e84da6-f076-4e61-8b81-29df1ba4f2d0/content>

Espressif Systems. (2025). ESP32-C5 ESP-Dev-Kits documentation.

<https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32c5/esp-dev-kits-en-master-esp32c5.pdf>

Jambi, L., Hamad, A., Salah, H., & Sulieman, A. (2024). Stroke and disability: Incidence, risk factors, management, and impact. *Journal of Disability Research*, 3(7).

<https://doi.org/10.57197/jdr-2024-0094>

Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., Chapman, M., & Crotty, M. (2025). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 6(6), CD008349.

<https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub5>

Mertens, R. (2014). ACV: A más edad, más riesgo. Red de Salud UC CHRISTUS.

Moyano, Á. V. (2010). El accidente cerebrovascular desde la mirada del rehabilitador. Red Clínica UC.

[https://redhcuch.redclinica.cl/Portals/0/Users/014/14/14/Publicaciones/Revista/accidente\\_cerebrovascular\\_desde\\_mirada\\_rehabilitador.pdf](https://redhcuch.redclinica.cl/Portals/0/Users/014/14/14/Publicaciones/Revista/accidente_cerebrovascular_desde_mirada_rehabilitador.pdf)

Ojeda Alarcón, J. C., González Navarrete, Á., Hernández Valverde, D. J., & Ramírez Vargas, D. P. (2024). Soport v.1.0: Tecnología robótica aplicada a la terapia física. *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, 8(1), 202–208.

<https://doi.org/10.61530/redtis.vol8.n1.2024.217>

Rodríguez, A., Pedrozo, D., Hanna, F., Reta, N., Tello, E., Celani, N. L., & Pérez, M. (2019). Design and development of serious games for rehabilitation of post-stroke patients. *Revista Argentina de Bioingeniería*, 23(1), 49–54.

[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/150611/CONICET\\_Digital\\_Nro.80991f89-630f-465d-8002-0ede1bd91bf3\\_A.pdf](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/150611/CONICET_Digital_Nro.80991f89-630f-465d-8002-0ede1bd91bf3_A.pdf)