



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



Instituto Tecnológico de Orizaba
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Maestría en Sistemas Computacionales

TESIS

TÍTULO DEL PROYECTO: Desarrollo de un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson mediante técnicas de Inteligencia Artificial (Aprendizaje Automático).

PRESENTADO POR:

Francisco Javier García Dimas M21011173

PARA OBTENER EL GRADO DE:

Maestro en Sistemas Computacionales

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TESIS:

Dr. Giner Alor Hernández

CODIRECTOR DEL PROYECTO DE TESIS:

MSC. Nancy Aracely Cruz Ramos

Junio 2023

Orizaba, Veracruz, **21/noviembre/2023**
Dependencia: **División de Estudios de Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. FRANCISCO JAVIER GARCÍA DIMAS
CANDIDATO A GRADO DE MAESTRO EN:
SISTEMAS COMPUTACIONALES
P R E S E N T E.-


De acuerdo con el Reglamento de Titulación vigente de los Centros de Enseñanza Técnica Superior, dependiente de la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

" Desarrollo de un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson mediante técnicas de Inteligencia Artificial (Aprendizaje Automático)"

comunico a Usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®


DR. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



OG-13-F06





Orizaba, Veracruz, **21/septiembre/2023**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. CUAUHTÉMOC SÁNCHEZ RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.

FRANCISCO JAVIER GARCÍA DIMAS

La cual lleva el título de:

Desarrollo de un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson mediante técnicas de Inteligencia Artificial (Aprendizaje Automático)

Y concluyen que se acepta.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: DR. GINER ALOR HERNÁNDEZ

FIRMA

SECRETARIO: M.C.E BEATRIZ ALEJANDRA OLIVARES ZEPAHUA

FIRMA

VOCAL: M.S.C. LUIS ÁNGEL REYES HERNÁNDEZ

FIRMA

VOCAL SUP.: M.S.C. NANCY ARACELY CRUZ RAMOS

FIRMA

TA-09-18



Índice

Resumen.....	ix
Introducción.....	x
Capítulo 1. Antecedentes	1
1.1 Marco Teórico	1
1.1.1 Enfermedades neurodegenerativas	1
1.1.2 Enfermedad de Parkinson.....	2
1.1.3 Inteligencia artificial	3
1.1.4 Sistemas de recomendación	6
1.1.5 Sistemas de notificaciones.....	7
1.1.6 Notificaciones <i>Push</i>	7
1.1.7 Sistema de Alertas	8
1.2 Situación tecnológica, económica y operativa de la empresa.	9
1.3 Planteamiento del Problema	9
1.4 Objetivo General y Objetivos Específicos.....	10
1.4.1 Objetivo general.....	10
1.4.2 Objetivos específicos.....	10
1.5 Justificación	11
Capítulo 2. Estado de la práctica	13
2.1 Trabajos relacionados	13
2.2 Análisis Comparativo.....	22
2.3 Solución propuesta	25
2.3.1 Lenguajes de Programación	26
2.3.2 Marcos de trabajo.....	28
2.3.3 Editor de código fuente	29
2.3.4 Sistemas Gestores de Bases de Datos	29
2.3.5 Modelo de Aprendizaje Automático	30
2.3.6 Justificación de la solución.....	30
Capítulo 3. Aplicación de la metodología	32
3.1 Análisis	32

3.1.1	Requerimientos funcionales del sistema.....	32
3.1.2	Diagramas de caso de uso	35
3.1.3	Identificación de variables para realizar la asignación de las recomendaciones, notificaciones y alertas relacionadas con la voz.....	41
3.1.4	Identificación de variables para realizar la asignación de las recomendaciones, notificaciones y alertas mediante trazos	43
3.2	Diseño	44
3.2.1	Modelo de persistencia.....	44
3.2.2	Diagrama Entidad Relación	44
3.2.3	Modelo relacional	45
3.2.4	Diccionario de datos.....	46
3.2.5	Diseño de las interfaces	49
3.2.6	Diseño arquitectónico	66
3.2.7	Mapa de navegabilidad de la aplicación	68
3.3	Desarrollo	73
3.3.1	Interfaces desarrolladas.....	73
3.3.2	Biblioteca de recomendaciones, notificaciones y alertas.....	91
3.3.3	Reglas de asignación relacionadas con la voz	97
3.3.4	Reglas de asignación relacionadas con los trazos.....	111
Capítulo 4.	Resultados.....	119
4.1	Caso de estudio mediante voz: asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas a pacientes con enfermedad de Parkinson.....	119
4.1.1	Datos iniciales.....	121
4.1.2	Análisis de datos	122
4.1.3	Clasificación automática de datos.....	122
4.1.4	Resultados	124
4.1.5	Envío de recomendaciones, notificaciones y alertas al cuidador	127
4.2	Caso de estudio mediante trazos: asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas a pacientes con enfermedad de Parkinson.....	133
4.2.1	Datos iniciales.....	135
4.2.2	Clasificación automática de datos.....	136
4.2.3	Resultados	137
4.2.3	Envío de recomendaciones, notificaciones y alertas al cuidador	140

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones	144
5.1 Conclusiones	144
5.2 Recomendaciones	145
Productos académicos	147
Bibliografía	149

Índice de Tablas

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados.	23
Tabla 3.1 Usuarios del sistema	38
Tabla 3.2 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles.....	39
Tabla 3.3 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección recomendaciones.....	39
Tabla 3.4 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección notificaciones	40
Tabla 3.5 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección alertas.....	40
Tabla 3.6 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección mensajes	41
Tabla 3.7 Descripción de Oxford Parkinson's Disease Detection Dataset	41
Tabla 3.8 Descripción de variables.....	42
Tabla 3.9 Selección de variables de mayor relevancia	43
Tabla 3.10 Descripción de variables.....	44
Tabla 3.11 Diccionario de datos de la entidad BUZON.TIPOS.CATEGORIA.....	47
Tabla 3.12 Diccionario de datos de la entidad BUZON.TIPOS.PRIORIDADES	47
Tabla 3.13 Diccionario de datos de la entidad BUZON.TIPOS.PRIORIDADES	48
Tabla 3.14 Diccionario de datos de la entidad BUZON.CAT.MENSAJES	48
Tabla 3.15 Diccionario de datos de la entidad USUARIOS.REL.PACIENTES_CUIDADORES.....	48
Tabla 3.16 Diccionario de datos de la entidad USUARIOS.REL.PACIENTES_MEDICOS	49
Tabla 3.17 Diccionario de datos de la entidad BUZON.PROC.MENSAJES.....	49
Tabla 3.18 Recomendaciones, notificaciones y alertas - Fuente: elaboración propia	92
Tabla 3.19 Descripción de variables seleccionadas	98
Tabla 3.20 Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas relacionadas con voz 101	
Tabla 3.21 Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas relacionadas con trazos	111
Tabla 4.1 Registros de caso de estudio de voz	121
Tabla 4.2 Reglas aplicadas a los registros de voz.....	122
Tabla 4.3 Registros de caso de estudio de trazos	135
Tabla 4.4 Reglas aplicadas a los registros de trazos	136

Índice de Figuras

Figura 3.1 Usuarios del módulo	33
Figura 3.2 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección del cuidador	36
Figura 3.3 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección recomendaciones	36
Figura 3.4 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección notificaciones	37
Figura 3.5 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección alertas	37
Figura 3.6 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección mensajes	38
Figura 3.7 Modelo entidad relación.....	45
Figura 3.8 Diagrama de estructura física de la base de datos	46
Figura 3.9 Inicio de sesión.....	50
Figura 3.10 Menú principal	51
Figura 3.11 Perfil del cuidador - Datos generales	51
Figura 3.12 Perfil del cuidador - Datos personales	52
Figura 3.13 Perfil del cuidador - Seguridad.....	52
Figura 3.14 Ajustes de la aplicación	53
Figura 3.15 Pantalla de inicio o principal	54
Figura 3.16 Sección de recomendaciones – Buzón.....	55
Figura 3.17 Sección de recomendaciones – Buzón con filtros.....	55
Figura 3.18 Sección de recomendaciones - Informe.....	56
Figura 3.19 Sección de recomendaciones - Informe con gráfica	56
Figura 3.20 Sección de recomendaciones - Informe con filtros	57
Figura 3.21 Sección de notificaciones – Buzón	58
Figura 3.22 Sección de notificaciones – Buzón con filtros	58
Figura 3.23 Sección de notificaciones – Informe	59
Figura 3.24 Sección de notificaciones – Informe con gráfica desplegada	60
Figura 3.25 Sección de notificaciones – Informe con filtros	60
Figura 3.26 Sección de alertas – Buzón.....	61
Figura 3.27 Sección de alertas – Buzón con filtros	62
Figura 3.28 Sección de alertas – Informe.....	62
Figura 3.29 Sección de alertas – Informe con gráfica desplegada.....	63
Figura 3.30 Sección de alertas – Informe con filtros	63

Figura 3.31 Sección de mensajes – Buzón	64
Figura 3.32 Sección de mensajes – Buzón con filtros	65
Figura 3.33 Ventana modal con información del paciente seleccionado	65
Figura 3.34 Arquitectura preliminar de la aplicación.....	67
Figura 3.35 Mapa de navegabilidad	68
Figura 3.36 Inicio de sesión.....	74
Figura 3.37 Menú principal	74
Figura 3.38 Sección del perfil - Subsección de datos generales	75
Figura 3.39 Sección del perfil - Subsección de datos personales.....	76
Figura 3.40 Sección del perfil - Subsección de seguridad	76
Figura 3.41 Sección de ajustes	77
Figura 3.42 Interfaz de inicio – Pacientes activos	78
Figura 3.43 Sección de recomendaciones - Subsección de buzón.....	79
Figura 3.44 Sección de recomendaciones - Subsección de buzón con ventana modal de filtros	79
Figura 3.45 Sección de recomendaciones - Subsección de buzón - Detalle de recomendación seleccionada.....	80
Figura 3.46 Sección de recomendaciones - Subsección de informe.....	81
Figura 3.47 Sección de recomendaciones - Subsección de informe con los filtros de personalización	81
Figura 3.48 Sección de notificaciones - Subsección de buzón	82
Figura 3.49 Sección de notificaciones - Subsección de buzón con ventana modal de filtros.....	83
Figura 3.50 Sección de notificaciones - Subsección de buzón - Detalle de notificación seleccionada	83
Figura 3.51 Sección de notificaciones - Subsección de informe	84
Figura 3.52 Sección de recomendaciones - Subsección de informe con filtros para personalizar...85	85
Figura 3.53 Sección de alertas - Subsección de buzón	86
Figura 3.54 Sección de alertas - Subsección de buzón con ventana modal de filtros	86
Figura 3.55 Sección de alertas - Subsección de buzón - Detalle de notificación seleccionada	87
Figura 3.56 Sección de alertas - Subsección de informe.....	88
Figura 3.57 Sección de alertas - Subsección de informe con filtros para personalizar	88
Figura 3.58 Sección de mensajes recibidos.....	89
Figura 3.59 Sección de mensajes con ventana modal de filtros	90

Figura 3.60	Ventana modal con los datos del paciente seleccionado	91
Figura 3.61	Código fuente de Árbol de decisión	99
Figura 3.62	Árbol de decisión	100
Figura 3.63	Panel de pruebas de voz – Ejecución de evaluación recomendación.....	108
Figura 3.64	Panel de pruebas de voz – Ejecución de evaluación notificación.....	109
Figura 3.65	Panel de pruebas de voz – Ejecución de evaluación alerta	110
Figura 3.66	Panel de pruebas de trazos – Ejecución de evaluación recomendación	117
Figura 3.67	Panel de pruebas de trazos – Ejecución de evaluación notificación	117
Figura 3.68	Panel de pruebas de trazos – Ejecución de evaluación alerta	118
Figura 4.1	Escenario de asignación de mensajes mediante el módulo – Voz.....	120
Figura 4.2	Recomendación asignada al registro 1	128
Figura 4.3	Notificaciones asignadas a los registros 2 y 3	129
Figura 4.4	Notificaciones asignadas a los registros 4 y 5	130
Figura 4.5	Alertas asignadas a los registros 6 y 7.....	131
Figura 4.6	Alertas asignadas a los registros 8 y 9.....	132
Figura 4.7	Escenario de asignación de mensajes mediante el módulo – Trazos	134
Figura 4.8	Notificaciones asignadas.....	141
Figura 4.9	Notificaciones y alerta asignadas.....	142
Figura 4.10	Alertas asignadas	143
Figura 5.1	Constancia de participación.....	147

Resumen

La enfermedad de Parkinson (EP) es una afección neurodegenerativa progresiva que afecta al sistema nervioso central y se caracteriza por la pérdida de células nerviosas productoras de dopamina en el cerebro. Esto provoca síntomas motores como temblores, rigidez muscular y dificultad para caminar, así como síntomas no motores como depresión y trastornos del sueño. La incidencia de Parkinson está en aumento debido al envejecimiento de la población, y se estima que más de 10 millones de personas en todo el mundo viven con esta enfermedad. En México, se estima una prevalencia de 50 casos nuevos por cada 100,000 habitantes al año. Actualmente, no existe cura para el Parkinson y los medicamentos disponibles solo alivian parcialmente los síntomas.

Existen diversas soluciones tecnológicas que pueden brindar apoyo a médicos y pacientes, y se han encontrado casos exitosos que sirvieron como base para el desarrollo de este proyecto. En esta tesis se desarrolló un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson utilizando técnicas de Inteligencia Artificial. El objetivo es proporcionar un servicio personalizado para cada paciente, ofreciendo recomendaciones adecuadas a sus necesidades y estado de salud. El módulo se integra en una aplicación para dispositivos móviles y utiliza algoritmos de aprendizaje automático para asignar las recomendaciones, notificaciones y alertas.

El desarrollo de este módulo mostro resultados prometedores en el control de los síntomas de los pacientes con Parkinson. La entrega de mensajes personalizados y oportunos demostró ser una estrategia efectiva para el manejo adecuado de las afecciones causadas por los síntomas. Esta solución marca una diferencia significativa en comparación con las aplicaciones tradicionales, ya que proporciona mensajes precisos y adaptados a cada paciente, mejorando su calidad de vida. Se espera seguir mejorando y ampliando el módulo en el futuro para brindar un apoyo más completo y efectivo a los pacientes en su lucha contra la enfermedad de Parkinson.

Introducción

En la actualidad el Parkinson es la segunda enfermedad neurodegenerativa más común y su incidencia está aumentando rápidamente debido al envejecimiento de la población. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, es una enfermedad neurodegenerativa que afecta todo el sistema nervioso de los pacientes que la padecen y lo más destacado es que lamentablemente no tiene cura ni se dispone de algún medicamento para retardar la enfermedad, solo se tienen estrategias y medicamentos que ayudan a aliviar y tratar los síntomas.

Por otro lado, existe una vasta cantidad de soluciones tecnológicas que se utilizan para desarrollar herramientas que sirvan y brinden apoyo a los médicos y pacientes que traten y padezcan la EP, se revisó una amplia literatura de la cual surgieron casos de éxito que declaran resultados interesantes e innovadores que sirvieron de mucha ayuda y se utilizaron de base para sustentar el propósito de este proyecto. Por lo tanto, en esta tesis se propone el desarrollo de un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson mediante técnicas de Inteligencia Artificial, el cual pretende brindar un servicio personalizado para cada paciente que utilice la solución tecnológica propuesta.

Este documento está conformado de cinco capítulos: el primer capítulo presenta el marco teórico, situación tecnológica, planteamiento del problema, objetivos generales y los específicos, así como, la justificación; en el segundo se presentan los trabajos relacionados y la evaluación comparativa de investigaciones, artículos y publicaciones relacionadas con el tema, además, se encuentra la descripción de la solución propuesta; en el tercero se describe el análisis de los requerimientos, el diseño del modelo de persistencia, las interfaces gráficas y el mapa de navegación. El cuarto capítulo de este proyecto incluye los casos de estudio en los que se evaluó el rendimiento y funcionamiento tanto de la aplicación para dispositivos móviles como del módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson; finalmente, en el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Capítulo 1. Antecedentes

En este capítulo se abordan varios conceptos de gran importancia para el desarrollo de esta tesis. Además, se realiza una descripción detallada de la problemática que se busca resolver, se establecen el objetivo general y objetivos específicos, y se proporciona una justificación sólida para el estudio.

1.1 Marco Teórico

A continuación, se proporciona una explicación detallada de los conceptos que están directamente relacionados con el tema de investigación.

1.1.1 Enfermedades neurodegenerativas

Las enfermedades neurodegenerativas o también conocidas como enfermedades degenerativas del sistema nervioso, se refieren a aquellas provocadas por un proceso de la muerte celular ya que esto causa una degeneración en el tejido nervioso. Las enfermedades neurodegenerativas principalmente provocan un deterioro neurológico que es progresivo, en consecuencia, ocurre una disminución de las funcionalidades en varias actividades del cuerpo como el equilibrio, movimiento, habla, respiración, entre otras, además de causar dependencia personal.

Lamentablemente aún se desconocen los factores que desarrollan la enfermedad de Parkinson (EP), el único factor que es más común como causa es la edad, puesto que la mayor cantidad de los casos se presentan en edad avanzada, por lo que se espera una prevalencia de esta enfermedad. Los síntomas que se producen dependen del córtex cerebral, por lo tanto, los problemas más notables que se manifiestan son de tipo cognitivo-conductual.

En la actualidad aún no existe cura para las enfermedades neurodegenerativas y no existe algún tratamiento etiológico, los tratamientos existentes son básicamente sintomáticos y paliativos, es decir, que se centran en hacer sentir de mejor forma a los pacientes, los tratamientos se utilizan para disminuir los síntomas o potenciar las

Capítulo 1. Antecedentes

actividades de las neuronas restantes con el objetivo de disminuir las consecuencias del proceso degenerativo [1].

1.1.2 Enfermedad de Parkinson

La enfermedad de Parkinson (EP) ocupa el segundo lugar en términos de prevalencia entre las enfermedades neurodegenerativas a nivel global, siendo superado únicamente por el Alzheimer. Esto implica que la EP afecta a un gran número de personas en todo el mundo y es una condición médica de gran relevancia en términos de salud pública. Es un proceso neurodegenerativo de gran complejidad, Martínez *et al.* definieron las bases morfológicas de la enfermedad como “la pérdida progresiva de neuronas dopaminérgicas de la sustancia nigra pars compacta (SNpc) del mesencéfalo, así como la presencia de inclusiones intracelulares llamadas cuerpos de Lewy” [2]. Por lo general, esta condición suele manifestarse durante la etapa adulta de la vida de una persona. Aunque todavía no se sabe con certeza qué la provoca, se cree que las causas subyacentes están relacionadas con una combinación de factores genéticos y ambientales. A pesar de los avances en la investigación, todavía se desconoce la causa exacta de esta condición, pero se sospecha que existe una interacción compleja entre la predisposición genética de un individuo y los factores ambientales a los que ha estado expuesto a lo largo de su vida. Estos factores ambientales incluyen la exposición a sustancias tóxicas, experiencias traumáticas, estrés crónico y otros elementos del entorno que se consideran desencadenantes o contribuyen al desarrollo de la condición. Sin embargo, se requiere de más investigación para comprender completamente las causas y los mecanismos involucrados en esta enfermedad.

La EP es una enfermedad neurológica crónica, por lo tanto, se mantiene toda la vida del paciente y es progresiva, es decir que cada vez afecta más el estado de salud. Los síntomas que se presentan regularmente son temblores que aparecen durante el reposo, rigidez, problemas del equilibrio y lentitud de movimientos, la EP usualmente se clasifica como un trastorno motor, pero últimamente se reconocieron afecciones no

Capítulo 1. Antecedentes

motoras como síntomas neuropsiquiátricos, ataques de pánico, trastornos del sueño, síntomas sensitivos, fatiga, entre otros.

Existe una gran dificultad para realizar un análisis preciso de la EP, el diagnóstico de sospecha solo se realiza de forma clínica y no se dispone de marcadores biológicos. En cuanto a los tratamientos curativos no existe alguno, en cambio se dispone de una gran cantidad de medicamentos para controlar los síntomas, existe uno para las distintas fases de la EP.

1.1.3 Inteligencia artificial

La inteligencia artificial (IA) en términos simples se refiere a sistemas, máquinas o algoritmos que tratan de imitar la inteligencia humana para realizar tareas y mejoran constantemente a partir de la experiencia que así mismo generan o a partir de información con la que practican para la toma de decisiones. La IA tiene como objetivo principal realizar tareas tal cual como las realizaría un humano, es decir, razonar en cierto nivel de comprensión para realizar acciones de acuerdo con cada situación. La IA es una estructura con múltiples capacidades para procesar información, de este modo, implementa diversas técnicas para resolver múltiples tareas. Cabe destacar que la IA tiene la capacidad de analizar grandes cantidades de información a la vez y proporciona una cantidad de errores mínima.

Existen dos objetivos de la IA. El primero es usar las computadoras para hacer tareas útiles. El segundo es científico: este objetivo enfoca los modelos y métodos de IA para que ayuden a resolver cuestionamientos relacionados con seres humanos. Generalmente los expertos en IA se centran en un solo objetivo, aunque algunos implementan los dos [3].

Algunas aplicaciones importantes de la IA son el reconocimiento de imágenes, clasificación y etiquetado; desarrollo de algoritmos; procesamiento de datos; predicción de información; entre muchas otras más tareas y enfoques.

Capítulo 1. Antecedentes

1.1.3.1 Aprendizaje automático

El aprendizaje automático, también conocido como *Machine Learning* en inglés, es una de las principales ramas o especializaciones de la IA, se enfoca en el proceso de que las computadoras realicen tareas o procesos sin estar programados para realizar específicamente estas tareas, un ejemplo es cuando se realizan sugerencias o una predicción acerca de un problema específico.

El aprendizaje automático utiliza algoritmos para aprender de ellos analizando y reconociendo patrones de conjuntos de datos, al identificar estos patrones obtiene la capacidad de predecir qué acciones realizar o qué información mostrar, este tipo de implementaciones se realizan en las sugerencias de contenido multimedia como lo realizan las redes sociales como Facebook® o YouTube® [3].

1.1.3.2 Aprendizaje supervisado

El aprendizaje supervisado es una rama específica dentro del campo de la inteligencia artificial (IA) que se centra en la creación de sistemas capaces de aprender y mejorar su desempeño utilizando conjuntos de datos. En este enfoque, los algoritmos de aprendizaje supervisado se entrenan utilizando datos de entrada, también conocidos como ejemplos de entrenamiento, que contienen tanto características como la correspondiente salida deseada. A medida que el sistema procesa estos datos, busca patrones y relaciones entre las características de entrada y las salidas esperadas, con el objetivo final de ser capaz de hacer predicciones o tomar decisiones sobre nuevos datos sin etiquetar. En esencia, el aprendizaje supervisado busca enseñar a las máquinas a generalizar y realizar tareas basadas en la información proporcionada en los ejemplos de entrenamiento. Los algoritmos utilizan conjuntos de datos que se organizaron y clasificaron anteriormente para que después estos algoritmos categoricen nueva información, cabe mencionar que este método requiere de la intervención de una persona con el objetivo de retroalimentar los resultados obtenidos. Cabe destacar que este tipo de IA busca siempre mejorar en los resultados para obtener decisiones más acertadas y precisas. Dentro de las técnicas de algoritmos de aprendizaje automático supervisado, se encuentran diferentes enfoques que permiten

Capítulo 1. Antecedentes

analizar y comprender conjuntos de datos de manera precisa y eficiente. Estas técnicas incluyen métodos como la regresión lineal y la regresión logística, los cuales se utilizan para predecir valores numéricos y realizar clasificaciones binarias, respectivamente. Además, se cuenta con la clasificación multiclase, que permite categorizar datos en más de dos categorías, lo que resulta útil cuando se requiere clasificar una muestra en múltiples clases o etiquetas. Otro método utilizado es el de los árboles de decisión, que consiste en una estructura jerárquica de reglas de decisión, donde cada nodo representa una característica y cada rama corresponde a un posible valor o resultado. Por último, las máquinas de vectores de soporte (SVM, por sus siglas en inglés) son una técnica que busca encontrar el hiperplano óptimo para separar datos en dos clases distintas mediante la búsqueda de un margen máximo entre ellas. Estas técnicas de aprendizaje automático supervisado brindan herramientas poderosas y versátiles para el análisis y la clasificación de datos en diferentes contextos y aplicaciones [3].

1.1.3.3 Aprendizaje no supervisado

El aprendizaje no supervisado es una rama del campo del aprendizaje automático en la cual se enfoca en analizar y extraer conocimiento de conjuntos de datos que carecen de etiquetas o resultados predefinidos. Estos algoritmos tienen la capacidad de descubrir patrones o estructuras ocultas en los datos sin requerir la intervención humana, basándose en criterios de similitud o diferencia entre los elementos del conjunto. Mediante el aprendizaje no supervisado se llevan a cabo diversas tareas, como el agrupamiento de elementos similares, la asociación de elementos relacionados o la reducción de dimensionalidad, lo cual permite explorar y categorizar los datos en diferentes contextos y aplicaciones. Además, el aprendizaje no supervisado representa una forma de inteligencia artificial que mejora su capacidad de aprendizaje con el tiempo sin necesitar la supervisión humana. Algunos ejemplos de estos algoritmos son el agrupamiento de k-means, el análisis de componentes principales e independientes y las leyes de asociación por mencionar algunos [3].

Capítulo 1. Antecedentes

1.1.3.4 Aprendizaje por refuerzo

El aprendizaje por refuerzo es un enfoque en el campo de la inteligencia artificial que se basa en algoritmos capaces de aprender a través de la experiencia. En este tipo de aprendizaje, se asigna un refuerzo positivo a los algoritmos cuando realizan tareas correctamente o logran resultados acertados. Esto se asemeja a un sistema de recompensas, donde se aprueban los resultados correctos y se rechazan los incorrectos para fomentar el aprendizaje del algoritmo. Además de la asignación de refuerzos, el aprendizaje por refuerzo implica el uso de una técnica llamada "exploración" que permite al algoritmo probar diferentes acciones y evaluar sus consecuencias para aprender de ellas. A medida que el algoritmo recibe más refuerzos positivos y adquiere conocimientos sobre las acciones que conducen a resultados favorables, mejora su desempeño y toma decisiones más acertadas en situaciones similares en el futuro. Este enfoque se utiliza en diversos campos, como robótica, juegos, automatización industrial y optimización de procesos. Por ejemplo, en la robótica, los algoritmos de aprendizaje por refuerzo son utilizados para enseñar a un robot a realizar tareas complejas, como caminar o manipular objetos, mediante la experimentación y la retroalimentación positiva o negativa [3].

1.1.4 Sistemas de recomendación

Un sistema o motor de recomendación es una herramienta inteligente que establece una serie de valoraciones y métricas a los datos de los usuarios para proveer un conjunto de recomendaciones de un tema o ámbito específico y que estas sean de interés para el usuario. Estos sistemas estudian los datos que le proporciona el usuario de una forma directa o indirecta, posteriormente los procesa para extraer un conjunto de información de valor para la recomendación [4].

Actualmente estos sistemas tienen un alto nivel de exactitud porque asocian los datos de los perfiles de los usuarios, el comportamiento dentro de las aplicaciones, el contenido revisado e incluso el horario de uso entre otras métricas, con el objetivo de ofrecer recomendaciones más acertadas y precisas. Esto permite sugerir a usuarios de determinada aplicación, acciones y/o contenido para ofrecer una mejor experiencia.

Capítulo 1. Antecedentes

Existen actualmente diversos tipos de sistemas de recomendación estos se identifican de acuerdo con su funcionamiento; a continuación, se muestran los principales.

El primero es el sistema de popularidad, implementado en ventas de artículos o sugerencias concretas, principalmente se guía por el éxito del producto, características especiales u ofertas, entre otras.

El segundo es el sistema de contenido, usa como base la información de los usuarios para predecir búsquedas y recomendar elementos similares.

El tercero es el sistema colaborativo, este analiza datos, identifica perfiles, los contrasta y agrupa perfiles similares para aprender de la información que recibe y generar recomendaciones individuales [5].

1.1.5 Sistemas de notificaciones

Los sistemas de notificaciones y alertas son una herramienta fundamental de las aplicaciones que requieren brindar información relevante a los usuarios puesto que estas se encargan de mostrar mensajes o avisos que se generan por la creación de un evento relevante y se muestran por medio de servicios, programas o sistemas informáticos, por otro lado, las alertas se crean por la constante lectura y revisión de variables sobre valores definidos. Algunos ejemplos son los sistemas de correo electrónico y agendas. Estos generan una gran cantidad de notificaciones y alertas [6].

Esta tecnología se define como interfaces empleadas principalmente en procesos de atención de multitarea, ya que proporcionan información actualizada y de valor a los usuarios de manera práctica. Su propósito es mostrar un mensaje de modo que optimice la atención del usuario para que éste distinga los elementos que ocurren dentro de entorno y le sepa el nivel de prioridad.

1.1.6 Notificaciones *Push*

Notificación *Push* es un mensaje corto que surge de un sitio web o aplicación para dispositivos móviles a través de un *browser* de internet. *Push* es una tecnología multiplataforma. La notificación aparece sobre todas las ventanas abiertas y permanece en la pantalla del dispositivo durante algún tiempo. Después de mostrarse

Capítulo 1. Antecedentes

en la pantalla cae al centro de notificaciones del sistema donde se esté ejecutando. El usuario encuentra este mensaje allí más tarde [6]. Una función importante de este tipo de notificaciones es que no es necesario tener ejecutando las aplicaciones para que funcione, de esta forma cada vez que el dispositivo reciba información nueva o requiera mostrar algún mensaje, ejecuta las notificaciones con la información correspondiente.

El funcionamiento de las notificaciones *push* es el siguiente: los mensajes e información se envían desde un servidor remoto hasta los dispositivos que tienen instalada la aplicación o también tengan abierta en un navegador en caso de ser una página o aplicación web. Estas son inmediatas, es por ello que el usuario recibe continuamente información y no es necesario que actualice información para recibir las novedades [7].

Las utilidades son muy amplias y dependen principalmente de los objetivos y las necesidades de implementarlas. Algunos ejemplos más utilizados son para avisar sobre mensajes nuevos, como lo utilizan las aplicaciones de mensajería como WhatsApp; otro ejemplo son las noticias de última hora, como periódicos digitales; también las aplicaciones del tiempo climático; o incluso sobre aplicaciones de redes sociales para notificar las acciones importantes, noticias más relevantes y tendencias.

1.1.7 Sistema de Alertas

El término alerta, se refiere a un estado de atención o guardia. Es prácticamente un aviso para tomar precauciones o incrementar el cuidado dependiendo el contexto o entorno. Las alertas en los sistemas informáticos son mensajes mostrados a usuarios específicos, a los que se les informa sobre eventos que están por ocurrir o que están en ejecución y de los cuales requieren enterarse. La información se revisa instantáneamente con el objetivo de mejorar situaciones de advertencia. Además, estas alertas permanecen en el sistema hasta que se toma la acción necesaria para resolver el problema, ya sea por parte del usuario o hasta que se asegure de que se ha comprendido el riesgo y se ha aceptado la advertencia. Hay diversas implementaciones de estos sistemas algunos de ellos son los siguientes: redes

Capítulo 1. Antecedentes

sociales, aplicaciones de monitorización de un sistema, servicios de noticias entre otras. Por otra parte, también hay sistemas más completos como: los que incorporan los vehículos para proporcionar información de los sus componentes, también se encuentran los de monitorización que indican valores fuera de rango, entre otros [8].

1.2 Situación tecnológica, económica y operativa de la empresa.

El Instituto Tecnológico de Orizaba se encuentra situado en la dirección Oriente 9, en la Colonia Emiliano Zapata, en la ciudad de Orizaba, Veracruz. Es una entidad pública que está bajo la dependencia de la Secretaría de Educación Pública SEP y forma parte del Tecnológico Nacional de México. Dicho centro educativo brinda programas académicos en diferentes niveles como licenciatura, maestría y doctorado. En el ámbito de las maestrías, se cursan estudios en áreas como Ingeniería Electrónica, Ingeniería Industrial, Ciencias en Ingeniería Química, Ingeniería Administrativa y Sistemas Computacionales. Asimismo, existe la posibilidad de realizar un Doctorado en Ciencias de la Ingeniería.

1.3 Planteamiento del Problema

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la enfermedad de Parkinson (EP) es una condición neurodegenerativa que impacta el sistema nervioso, y se caracteriza por ser una enfermedad crónica y progresiva. Principalmente se manifiesta en edad adulta, además de ser la segunda enfermedad neurodegenerativa con mayor frecuencia tan solo después de la demencia tipo Alzheimer. Se desconocen el origen de las causas de esta enfermedad y solo se tienen causas subyacentes de factores ambientales y genéticos. La EP principalmente se caracteriza por la presencia de síntomas motores como la lentitud en los movimientos, pérdida del equilibrio, rigidez, temblor que es el más destacado, entre otros. Pero en las últimas décadas se registraron síntomas no motores como neuropsiquiátricos, ataques de pánico, trastornos del sueño, fatiga, entre otras más. Cabe destacar que la EP no dispone de una cura o de algún fármaco que enlentece el avance de la enfermedad. Teniendo en cuenta lo antes mencionado solo se dispone de medicamento para controlar los síntomas a lo largo de la progresión de EP.

Capítulo 1. Antecedentes

En [9] los autores afirman que los teléfonos inteligentes son potencialmente capaces para utilizarse en la gestión de pacientes de EP. El objetivo del estudio que realizaron consistió en llevar a cabo una revisión sistemática sobre el uso de aplicaciones móviles para gestionar acciones o tareas relacionadas con la EP. En este se encontraron 125 aplicaciones; 56 se clasificaron como potenciales para la EP; 69 con un diseño específico para la EP; 23 como aplicaciones de información; 29 de valoración; 13 para el tratamiento; y por último 4 para valoración y tratamiento.

Tomando en cuenta los contextos anteriores, se determinó el desarrollo de un sistema que brinde recomendaciones a los pacientes con EP, para que estos atiendan de manera más eficiente sus síntomas y de esta forma sentirse más aliviados. Ya que en la literatura revisada no se encontraron registros de aplicaciones, sistemas o software en general con las características y funciones que se proponen en esta tesis.

La propuesta consiste en desarrollar un módulo de recomendaciones, con un sistema de notificaciones y alertas para pacientes de Parkinson, usando inteligencia artificial y aprendizaje automático.

1.4 Objetivo General y Objetivos Específicos

A continuación, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos que se formularon para el desarrollo del trabajo de tesis.

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson mediante técnicas de Inteligencia Artificial (Aprendizaje Automático).

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar la literatura relacionada con proyectos de investigación que aborden el tema de la enfermedad de Parkinson y la implementación de aplicaciones de salud.
- Analizar las tecnologías de inteligencia artificial y de información para la implementación de un servicio de notificaciones, alertas y recomendaciones.

Capítulo 1. Antecedentes

- Diseñar una arquitectura de software para el servicio de recomendaciones, alertas y notificaciones de la enfermedad de Parkinson.
- Diseñar las interfaces gráficas del módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas considerando un diseño responsivo.
- Desarrollar el módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson mediante técnicas de Inteligencia Artificial.
- Evaluar las recomendaciones generadas por la inteligencia artificial mediante pruebas con médicos expertos y pacientes de EP para la aprobación de los resultados.

1.5 Justificación

Según Marras et al. en [10], más de 10 millones de personas en todo el mundo viven con esta enfermedad. La incidencia de la enfermedad de Parkinson (EP) aumenta con la edad, pero se estima que el cuatro por ciento de las personas con EP las diagnostican antes de los 50 años. Los hombres tienen 1,5 veces más probabilidades de desarrollar la enfermedad de Parkinson que las mujeres. En el año 2040, el Parkinson será la enfermedad grave más común. Según los últimos estudios, en menos de 20 años la enfermedad pasará de 7 millones a 12 millones de personas afectadas. Además, el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía estima una prevalencia de 50 casos nuevos de pacientes con Parkinson por cada 100 mil habitantes al año en México.

El uso de tecnología para asistencia médica es cada vez mayor, a medida que los dispositivos móviles se hacen más inteligentes, las funcionalidades de éstos son mayores y crece el potencial de trabajo y utilidad. La E-salud o mejor conocida como *E-Health* en inglés, es la rama de aplicaciones que se especializan en la cibermedicina, es decir que se especializan en el ámbito médico y de salud. Este trabajo se centra en este tipo de aplicaciones, ya que proporciona un sistema inteligente de notificaciones y alertas donde asigna a los pacientes de EP, recomendaciones apropiadas a las necesidades y estado de salud de cada uno de los pacientes.

Capítulo 1. Antecedentes

De acuerdo con los resultados de [11], en el que se realizó un estudio a 204 pacientes con EP, se obtuvo que el 82,84% de los participantes tienden a preferir el uso de aplicaciones de salud móvil (*mHealth*), por los beneficios que estas generan. Este proyecto toma como base esta aprobación de los usuarios para plantear la idea de desarrollar un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para que los pacientes con EP atiendan de manera más óptima sus síntomas, mediante recomendaciones personalizadas para cada paciente, ya que propone utilizar técnicas de inteligencia artificial (aprendizaje automático).

Capítulo 2. Estado de la práctica

En la actualidad el desarrollo de tecnologías de la información y comunicación en el entorno sanitario (eSalud), tiene un gran impacto positivo en la sociedad ya que son soluciones tecnológicas para la prevención, tratamiento, seguimiento, así como en la gestión de la salud. Existe una gran cantidad de propuestas de solución, herramientas y proyectos que ofrecen ayuda a los pacientes con EP. En este capítulo se presentan los trabajos relacionados, lo que permite tener una perspectiva amplia y conocer las soluciones existentes. Además, se realizó un análisis comparativo de los trabajos más relevantes, y se profundizó en la problemática, la contribución, la tecnología y los resultados obtenidos. Este análisis permitió identificar las fortalezas y debilidades de las soluciones existentes y así proponer una solución innovadora que aporta valor y beneficia a los pacientes con Parkinson.

2.1 Trabajos relacionados

Los autores en [12], desarrollaron y evaluaron una aplicación para dispositivos móviles a la cual nombraron STOP, en esta se integró un juego para dar seguimiento a los síntomas de la EP (enfermedad de Parkinson), además también se incluyó un diario para registrar la ingesta de medicamentos. Para las evaluaciones llevaron a cabo un despliegue en un mes con pacientes de EP de dos países, con este despliegue descubrieron que el seguimiento a la medicación que realizó la aplicación proporcionó información no sesgada, y que los usuarios fueron receptivos para compartir sus datos con su propio personal médico y asistencial. Las conclusiones fueron las siguientes, se obtuvo una visión significativa del trabajo futuro de STOP; los participantes estaban motivados para medir y cuantificar su condición con sus respectivos síntomas de EP y reportaron “una sensación de control”; los autores afirman que la posibilidad de compartir los datos fue una motivación adicional para utilizar STOP.

En el artículo [13], se mencionó que actualmente no se cuenta con una cura para los pacientes de EP y que la mayoría de los medicamentos sirven para el tratamiento de los síntomas, el cual depende de la cuantificación de estos síntomas, como el temblor de las manos. A causa de esto, se propuso un sistema para aplicaciones móviles, con

Capítulo 2. Estado de la práctica

base en la medición de la aceleración de la mano del paciente con EP con el uso de un acelerómetro de teléfono móvil. El funcionamiento del sistema consistió en analizar la información que obtuvieron con el siguiente procedimiento: colocaron en el brazo de los pacientes un teléfono inteligente para transmitir los datos del acelerómetro al software Matlab, este procedimiento se realizó en varias situaciones como caminar, saludar y en reposo. Los datos recopilados se clasificaron por redes neuronales. Los resultados mostraron una precisión del 95% y un coeficiente Kappa del 90%. Estos resultados demostraron que el acelerómetro del teléfono móvil detecta y registra con precisión el temblor en pacientes con EP.

En [14], los autores afirmaron que las aplicaciones móviles facilitan las evaluaciones clínicas pero que la mayoría de estas no ofrecen acceso a los datos en bruto, es decir que no comparten toda la información que recopilan, por lo tanto, limitan el desarrollo de algoritmos. En este trabajo desarrollaron una aplicación para dispositivos móviles, de código abierto para la cuantificación del temblor, la cual llamaron TREMOR12, con ella obtuvieron muestras de la aceleración, la rotación, la velocidad de rotación y la gravedad, cada una de ellas en 3 ejes y con marcas de tiempo en una frecuencia de hasta 100 Hz. Los datos de medición sin procesar se exportaron como un archivo de valores separados por comas para su posterior análisis. Se realizaron pruebas y evaluaron a 3 pacientes de EP. Los resultados demostraron que la aplicación TREMOR12 fue capaz de detectar y registrar las características del temblor. Cabe destacar que la aplicación móvil es compatible con la supervisión reglamentaria de la Unión Europea y con las directrices de la Administración de Alimentos y Medicamentos sobre aplicaciones móviles.

Los autores en [15], mencionaron que las medidas de la EP son subjetivas, dependientes de los calificadores de las clínicas. Además, afirmaron que los teléfonos inteligentes tienen la capacidad de medir las características de la EP, sin embargo, no existía una puntuación derivada del teléfono inteligente para evaluar el nivel de gravedad de los síntomas motores. Por consiguiente, desarrollaron una medida objetiva de la gravedad de la EP y probaron la validez del constructo, ya que evaluaron

Capítulo 2. Estado de la práctica

la capacidad de la medida para capturar las fluctuaciones de los síntomas. En este estudio observacional evaluaron a individuos con EP, los cuales completaron 5 tareas (voz, golpeteo de dedos, marcha, equilibrio y tiempo de reacción), en la aplicación del teléfono inteligente. Se utilizó un enfoque basado en el aprendizaje automático, este generó una puntuación de la enfermedad de Parkinson móvil (*mobile Parkinson disease score*, mPDS, por sus siglas en inglés), que calificó objetivamente las características derivadas de cada actividad del teléfono inteligente. Al finalizar obtuvieron un novedoso enfoque de aprendizaje automático, crearon y demostraron la validez de construcción de una puntuación objetiva del nivel de gravedad de la EP, derivada de las evaluaciones de los teléfonos inteligentes.

En el artículo [11], los autores realizaron un estudio de aceptación y viabilidad sobre la autogestión para pacientes con Parkinson en el país de China. Con el objetivo de descubrir la practicidad para que los pacientes se vean beneficiados de los servicios de salud móvil (*mHealth*) y con ello monitorizar y gestionar acciones relacionadas con su enfermedad. El estudio se aplicó a 204 participantes con EP de entre 52 y 87 años, mediante cuestionarios se encuestaron sus actitudes sobre el uso de aplicaciones para teléfonos inteligentes. El resultado fue el siguiente: el 82,84% tiene una preferencia para el uso de estas aplicaciones, este grupo tendía a ser de los más jóvenes del rango, usuarios más frecuentes en la web, con mayor educación y más aplicados para la medicación, además cabe destacar que tendían a tener más tiempo con la enfermedad de EP y en peores condiciones. Otro dato destacado es que la disposición a usar aplicaciones para la autogestión de la EP se relaciona positivamente con la educación y negativamente con la edad. Como conclusión del estudio se afirma que en China los pacientes con EP tienen generalmente una actitud positiva hacia la autogestión a través de aplicaciones móviles.

En [16], los autores mencionaron que los productos de salud móvil (*mHealth*), tienen una capacidad de seguimiento y gestión de la salud para pacientes con enfermedades crónicas. Destacaron que la tecnología de *mHealth* no aporta beneficios si los usuarios no la adoptan y utilizan. Es por ello que realizaron un estudio para identificar los

Capítulo 2. Estado de la práctica

factores clave que afectan al uso de estas aplicaciones. Se utilizaron datos de usuarios de la aplicación *mPower*, la cual desarrollaron para pacientes con EP, en este estudio se investigó los efectos del diagnóstico, la progresión de la enfermedad y el nivel de dificultad para el uso de la aplicación mientras se controla la información del usuario. El uso se mide por cinco diferentes conteos. Los resultados de las cinco medidas varían ligeramente. El diagnóstico profesional previo y las puntuaciones altas de rendimiento del usuario fomentan su participación, mientras que la progresión de la enfermedad dificulta el uso de la aplicación. Cabe destacar que los métodos obtenidos en este estudio son una referencia como trabajo pionero para el diseño y la promoción de las tecnologías de *mHealth*.

En [17], afirmaron que en los últimos años se desarrollaron diversas aplicaciones para personas con enfermedad de Parkinson y que en consecuencia a la diversidad de los síntomas se encuentran muchas aplicaciones para gestionar diferentes aspectos. El propósito de la investigación fue ejecutar una revisión sistemática y precisa sobre las aplicaciones que se encuentran disponibles para IOS y Android, para evaluar sus funciones, características y usabilidad. Como resultado encontraron aplicaciones para controlar sus síntomas y realizar ejercicios (físicos y mentales), con herramientas para gestionar su medicación. Otro grupo encontrado fueron las aplicaciones informáticas que asesoran a los profesionales sobre detalles de la enfermedad, por último, aplicaciones para evaluar escalas de EP o recoger datos para ensayos clínicos. Cabe mencionar que todos los síntomas de la EP se tratan por lo menos con una aplicación, pero no existe ninguna que gestione todos los síntomas, por lo tanto, los pacientes de EP eligen una aplicación que se adecue a sus necesidades.

En [9], los autores afirmaron que la EP es la segunda enfermedad neurodegenerativa más frecuente, además de mencionar que su diagnóstico, valoración y tratamiento son complejos y que necesita de cuidados constantes. El propósito del estudio fue realizar una inspección sistemática sobre el uso de aplicaciones móviles para gestionar acciones o tareas relacionadas con la enfermedad de Parkinson. Para realizar este proceso se llevó a cabo una búsqueda en artículos del año 2011 a 2016. Como

Capítulo 2. Estado de la práctica

resultados se encontraron 125 aplicaciones, en la que 56 se clasificaron como potenciales para la EP, 69 con un diseño específico para la EP, 23 como aplicaciones de información, 29 de valoración, 13 para el tratamiento y 4 para valoración y tratamiento.

En el artículo [18] los autores presentaron un diseño centrado en el usuario de una interfaz para pacientes con EP, con el objetivo de ayudarles a gestionar de una manera óptima sus síntomas. El sistema de interfaz que propone consiste en visualizar la información de los síntomas y la medicación, la cual se recoge por un sistema de internet de las cosas (IoT), este consiste en un teléfono inteligente, un dispositivo de dosificación electrónica, un sensor de muñeca y un sensor de cama. El funcionamiento se centró en la medición de información relacionada con la calidad de vida, como la función motora, el sueño, la medicación apropiada, alimentación y ejercicio físico. Para realizar dicho diseño se desarrolló una maqueta de la interfaz con la colaboración de pacientes con EP y este se evaluó por 11 pacientes y 3 expertos de usabilidad. Los resultados fueron positivos, los pacientes consideraron que las visualizaciones fueron claras, fáciles de entender y realizaron las tareas con éxito. Finalmente, los resultados indicaron que el sistema propuesto se considera una herramienta óptima para ayudar a los pacientes a gestionar mejor su enfermedad.

En [19], los autores describieron cómo se desarrolló un sistema de televigilancia con el paradigma de internet de las cosas para aplicaciones biomédicas. La problemática que se abordó fue la atención remota que se incorporó para pacientes con enfermedades como Parkinson, las cardiopatías y la diabetes, entre otras. El sistema utilizó un sensor integrado al calzado y a un cinturón de cintura, mediante estos se medían puntos vitales. Los datos se transmitieron mediante tecnología de internet de las cosas y se almacenan en la nube para ser analizados en un futuro por investigadores médicos. Además, el sistema incluyó el seguimiento de actividades y ubicación y también la detección de caídas. Para visualizar la información se desarrolló una aplicación Android.

Capítulo 2. Estado de la práctica

En [20], los autores mencionaron que la enfermedad de Parkinson es una condición neurológica degenerativa que causa múltiples problemas motores y no motores y que por lo tanto tienen un impacto grave en la calidad de vida de los pacientes. También menciona que la gestión de la enfermedad presenta una grave problemática puesto que los síntomas y padecimientos tienden a ser variables y fluctuantes. La plataforma que desarrollaron se llama *PD_Manager* y tiene como objetivo proporcionar una monitorización continua de la información de los síntomas para mejorar el análisis clínico de cualquier paciente individual y de esta manera planificar la atención médica. Los objetivos que se llevaron a cabo fueron dos, el primero fue evaluar la aplicación por parte de los pacientes y sus familiares, sobre la comodidad y facilidad de uso, el segundo fue evaluar las opiniones de los médicos, sobre la utilidad de la información generada por la aplicación para las decisiones clínicas.

En [21], los autores señalaron que la enfermedad de Parkinson es progresiva y neurodegenerativa además de afectar a aproximadamente a 6 millones de personas en el mundo. A causa de esto presentaron “Apkinson”, una aplicación para dispositivos móviles para la evaluación y monitorización motriz de los pacientes con EP. Esta tuvo como base métodos anteriormente reportados, entre los cuales se encuentran la postura; la articulación y pronunciación en el habla; la regularidad y congelación de la marcha en el caminar; por último, la precisión del tocado en el movimiento de las manos. Los resultados preliminares que se obtuvieron fueron los siguientes: la mayoría de las métricas son adecuadas para discriminar o identificar pacientes. Estas se evaluaron mediante pruebas estadísticas, por otro lado, aunque los resultados reportados corresponden a una serie de pruebas, la aplicación “Apkinson”, ayuda a realizar un seguimiento más preciso de la progresión de la EP.

De acuerdo con [22], la disminución de la actividad física ocurre comúnmente en personas con la enfermedad de Parkinson (EP) y contribuye a la reducción de la capacidad funcional y a la calidad de vida. Es por ello que los autores realizaron un estudio piloto aleatorio y controlado con el apoyo de salud móvil (*mHealth*). Con el propósito de explorar la efectividad, la seguridad y aceptabilidad de un programa de

Capítulo 2. Estado de la práctica

ejercicios de *mHealth* que lo diseñaron para promover la actividad física en personas con EP. Para realizar estas evaluaciones, se dividieron en 2 grupos de personas para aplicar una rutina diferente, por la frecuencia de tiempo e intensidad de ejercicios, además que periódicamente aumentaba la intensidad para ambos grupos. Los resultados para ambos grupos mostraron diferencias estadísticas significativas. Los que fueron clínicamente significativos, mejoraron su puntuación de movilidad de un cuestionario de la EP, peculiarmente afectó positivamente a los pacientes menos activos. La aplicación de *mHealth* benefició de forma notable a los participantes más sedentarios.

Señalaron los autores de [23], que la identificación de la enfermedad de Parkinson (EP) recibió mucha atención en los últimos años. También mencionaron que todavía no hay una forma estandarizada y apropiada para identificarla, ya que la mayoría de los investigadores solo se centran en promover la precisión de la identificación. Además, el estudio propuso una aplicación para dispositivos móviles que logre identificar la EP y que con una pequeña cantidad de información proporcione resultados confiables. Con este objetivo desarrollaron *DeepVoice*, que funciona recogiendo un corto periodo de voz monosilábica, el cual analiza con un algoritmo que mide un conjunto de tiempo y frecuencia para mejorar las características de la huella de voz en el dominio del espectrograma. También desarrollaron una red neuronal convolucional para completar la identificación final. Los resultados muestran que *DeepVoice* logra una precisión del $90.45 \pm 1.71\%$ con un segmento de audio de tan solo 10 segundos.

El objetivo de [24] fue evaluar la viabilidad y utilidad clínica de los datos capturados por dispositivos móviles y portátiles que tienen el potencial de informar sobre el cuidado de la EP, en este estudio los pacientes usaron un reloj inteligente y utilizaron una aplicación para dispositivos móviles para transmitir datos de movimiento y reportar la gravedad de los síntomas además de la toma de medicamentos, durante 6 meses. Los médicos revisaron los datos en un panel de control en visitas periódicas, con esto proporcionaron comentarios que condujeron a mejoras del panel. En cuanto a los

Capítulo 2. Estado de la práctica

pacientes evaluados fueron 51, de estos el 39% completaron el estudio de 6 meses, entre todos compartieron 83,432 horas de datos desde sus relojes inteligentes. La notificación de los síntomas y la medicación fue inferior de lo esperado en un 40% a 60%, pero esto no difirió en función a las características iniciales. La demás información como datos de movimiento, síntomas e ingesta de medicación se transmitieron de forma adecuada.

El estudio realizado en [25], los autores exploraron la viabilidad de utilizar una plataforma de *mHealth*, para la monitorización remota de la EP, basada en tecnología que utiliza un teléfono, un reloj y un par de plantillas inteligentes, que en conjunto se nombró sistema *PD_manager*, dicho sistema recoge datos clínicos significativos. Además, también se exploraron los factores relacionados con la enfermedad que son determinantes para establecer la viabilidad. También cabe mencionar que se validó un método de evaluación de temblor con datos recolectados mientras los pacientes realizaban sus actividades diarias. El método de estudio fue aleatorio en grupos paralelos. La evaluación fue un análisis estadístico, se exploró la correlación de las puntuaciones del algoritmo para la evaluación del temblor y las respectivas estimaciones de la escala de la EP. De los 75 participantes 65 (87%) completaron el protocolo y utilizaron el sistema en una media de 11.57 días. El algoritmo proporcionó datos clínicamente significativos para la detección y evaluación del temblor.

En [26], los autores mencionaron que el cuidado de los pacientes con la enfermedad de Parkinson (EP) cambiaría drásticamente en los próximos años y que la tecnología de salud móvil será la base para implementar sistemas de monitoreo domiciliario y gestores para controlar los historiales clínicos de forma electrónica. Especularon que para la próxima década habrá un empoderamiento de los pacientes para gestionar el seguimiento de sus propias manifestaciones motoras y no motoras de la EP. A causa de esto previeron el desarrollo de sistemas complejos que utilicen sensores, integrados en la ropa y también por implantaciones, con el objetivo de recopilar datos de forma pasiva y transformarla en información útil. Posteriormente mencionaron que el análisis se procesa por inteligencia artificial y la presentación de la información es intuitiva.

Capítulo 2. Estado de la práctica

Estos escenarios son tanto para pacientes como también para los médicos, ya que esto permitirá una mejor atención y más personalizada, beneficiando directamente a los pacientes de EP.

En [27], los autores realizaron una revisión sistemática con el objetivo de analizar las capacidades, los desafíos y el impacto que tienen las aplicaciones de investigación de salud móvil (*mHealth*) y se basaron en la plataforma *ResearchKit*. El método utilizado fue una revisión metódica en concordancia a la declaración de los Elementos de Información Preferidos para Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis (PRISMA). Se analizaron dos elementos, el primero fueron las aplicaciones móviles, que utilizaban el contexto de la recopilación de datos para la investigación biomédica, el segundo fueron todas las actividades con relación en la participación de investigaciones y métodos de recopilación de datos. Los resultados fueron que se identificaron 36 aplicaciones de *ResearchKit*, la mayoría se utilizó para llevar a cabo estudios sobre ciudadanos en general, cabe destacar que casi la mitad de las aplicaciones se centran en enfermedades crónicas en adultos. Las *mHealth* tienen el posicionamiento para mejorar el desarrollo y la validación de nuevos biomarcadores digitales, así como generar nuevos conocimientos biomédicos.

En [28], los autores mencionaron que los métodos tradicionales de monitorización de la EP, carecen de detecciones fluctuantes diarias y en diversos periodos del día. Afirman que los diarios electrónicos (*eDiaries*) tienen un potencial para recoger información útil por medio de experiencias subjetivas sobre la gravedad y los síntomas motores y no motores de la vida diaria de los pacientes. El propósito fue desarrollar un diario electrónico (*eDiary*) específico para tratar y explorar la EP, basándose en evaluaciones ecológicas momentáneas (EMA). Se aplicó en un grupo de 20 pacientes de EP, utilizando el *eDiary* por 14 días consecutivos, sin ajustar sus rutinas de vida libre. El *eDiary* les presentó cuestionarios idénticos para evaluarlos. Se encontraron correlaciones entre las respuestas dadas que apoyan la validez interna del *eDiary*, además destaca el potencial de la implementación de EMA ya que ofrece una experiencia práctica para diseñar y realizar estudios.

Capítulo 2. Estado de la práctica

En [29] los autores desarrollaron una aplicación para dispositivos móviles con técnicas de aprendizaje automático a partir de datos de sensores inerciales para el monitoreo e identificación de ocurrencias del temblor de Parkinson. Mencionan el desarrollo de una aplicación para dispositivos móviles híbrida con base en el framework Ionic usando técnicas de regresión lineal y sensores inerciales para el tratamiento, monitoreo y diagnóstico de los datos generados producto del temblor generado por la EP. Esta aplicación tiene la función del registro de los pacientes para su monitorización, así mismo cuenta con un historial; sección en la que se muestran los resultados de las pruebas aplicadas con fecha y hora. La interfaz que realiza la prueba de temblor cuenta con un botón de inicio del análisis; una vez iniciado, el sensor monitorea 3 ejes y los resultados se transforman a frecuencia y procesados mediante la técnica de Transformación de Fourier Discreta Inversa.

2.2 Análisis Comparativo

Se realizó un análisis comparativo con el objetivo de diferenciar las características e identificar las similitudes entre los trabajos relacionados con la enfermedad de Parkinson, en la tabla 2.1 se aprecia la información recopilada.

Tabla 2.1 Análisis comparativo de los artículos relacionados.

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Elina Kuosmanen et al. [12]	Falta de una aplicación para dispositivos móviles para seguir el régimen de medicación y detección de los síntomas de EP.	Una aplicación para dispositivos móviles para la detección de los síntomas de la EP y la toma de la medicación.	Teléfono inteligente con: acelerómetro, acelerómetro lineal, giroscopio y rotación.	Participantes motivados para medir y cuantificar su condición con sus respectivos síntomas de EP y reportaron “una sensación de control”.	Terminado.
Luay Fraiwan et al. [13]	Falta de un Sistema para la cuantificación de síntomas de EP, en este caso el temblor de las manos.	Sistema para aplicaciones para dispositivos móviles, con base en la medición de la aceleración de la mano del paciente con EP con el uso de un acelerómetro de teléfono móvil.	Acelerómetro de teléfono inteligente, software Matlab y redes neuronales.	Resultados con una precisión del 95% y un coeficiente Kappa del 90%.	Terminado.
Pieter L. Kubben et al. [14]	Falta de aplicaciones móviles que ofrezcan acceso a los datos que recopilan acerca de EP, para el desarrollo de algoritmos.	Una aplicación para dispositivos móviles de código abierto para la cuantificación del temblor.	Lenguaje de programación Swif, CMDeviceMotion y sensores del teléfono inteligente iPhone6.	Detección y registro de las características del temblor de manos en pacientes con EP.	Terminado.
Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Andong Zhan et al. [15]	Falta de una medida objetiva y estandarizada de la una puntuación derivada del teléfono inteligente para evaluar el nivel de gravedad de los síntomas motores.	Medida objetiva y estandarizada de la gravedad de la EP y una aplicación que analizó voz, golpeteo de dedos, marcha, equilibrio y tiempo de reacción.	Aprendizaje automático, teléfono inteligente.	Obtuvieron un novedoso enfoque de aprendizaje automático, crearon y demostraron la validez de constructo de una puntuación objetiva del nivel	Terminado.

Capítulo 2. Estado de la práctica

Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Mevludin Memedi et al. [17]	Falta de una herramienta centrada en el usuario para mejorar la atención de la EP.	Herramienta digital con un diseño centrado en el usuario (DCU) de una interfaz para pacientes con la enfermedad de Parkinson (EP) para ayudarles a gestionar mejor sus síntomas.	Teléfonos inteligentes, sensor de muñeca, sensor de cama y dispositivo electrónico de dosificación.	de gravedad de la EP. una herramienta para ayudar a los pacientes a gestionar mejor la enfermedad, ofreciéndoles información sobre sus propios síntomas y medicamentos.	Terminado.
A.H.T.E. De Silva et al. [18]	Falta de un sistema para atención remota para pacientes con enfermedades como el Parkinson, las cardiopatías y la diabetes, entre otras.	Un sistema integral con sensores que recopila datos para posteriormente enviarlos y analizarlos.	Internet de las cosas, sensor integrado a un zapato y un cinturón, ambos con conexión a la nube.	Un sistema de seguimiento de la actividad y la ubicación y un sistema de detección de caídas.	Terminado.
Angelo Antonini [19]	Falta de plataformas para la monitorización constante de la EP, por síntomas y padecimientos variables y fluctuantes.	Una plataforma que proporciona una monitorización continua de la información de los síntomas para mejorar el análisis clínico de cualquier paciente individual.	Salud móvil (<i>mHealth</i>).	Un estudio piloto controlado aleatorio, paralelo, de dos grupos y no cegado.	Propuesta.
Juan Rafael Orozco-Arroyave et al. [20]	Falta de aplicaciones móviles con evaluación de la articulación y la pronunciación en el habla y la precisión de la pulsación en el movimiento de la mano.	Una aplicación para dispositivos móviles para la evaluación y monitorización de los pacientes con EP.	Telemonitorización.	La mayoría de las métricas son adecuadas para discriminar e identificar pacientes.	Terminado.
Hanbin Zhang et al. [22]	Falta de una aplicación apropiada para	La aplicación <i>DeepVoice</i> la cual graba un corto	Algoritmos de clasificación de espectrogramas,	La precisión de resultados con un 90.45±1.71%	Terminado.

Capítulo 2. Estado de la práctica

	identificar la EP de forma estandarizada.	periodo de voz monosilábica, la cual procesa mediante un algoritmo que mide un conjunto de tiempo y frecuencia para mejorar las características de la huella de voz en el dominio del espectrograma.	red neuronal convolucional.	utilizando un segmento de audio de tan solo 10 segundos.	
Artículo	Problema	Contribución	Tecnología	Resultados	Estado
Hanbin Zhang et al. [27]	Falta de métodos de monitorización de la EP, con detecciones fluctuantes diarias y en diversos periodos del día.	Un diario electrónico (eDiary) específico para tratar y explorar la EP, basándose en evaluaciones ecológicas momentáneas (EMA).	Teléfonos inteligentes y algoritmos de clasificación.	Correlaciones entre las respuestas dadas que apoyan la validez interna del eDiary, además de destacar el potencial de la implementación de EMA.	Terminado.

2.3 Solución propuesta

Como solución identificada de acuerdo con las características del proyecto se propuso desarrollar una aplicación híbrida para dispositivos móviles, debido a la practicidad que esta presenta en los usuarios actuales ya que la gran mayoría tiene acceso a un teléfono inteligente. Además, al ser híbrida, el desarrollo es relativamente rápido ya que el código fuente se utiliza para construir aplicaciones para los dos sistemas operativos para dispositivos móviles más utilizados del mercado. La alternativa seleccionada se basa en el análisis de la combinación de las tecnologías de acuerdo con la información del proyecto planteado.

A continuación, se muestran las diferentes tecnologías utilizadas para el desarrollo de la aplicación para dispositivos móviles.

2.3.1 Lenguajes de Programación

HTML

HTML (del inglés HyperText Markup Language), es un lenguaje de marcado de hipertexto, es el componente que se implementa en toda la web para definir las estructuras y/o contenido de sus sitios o páginas, esta tecnología usualmente se utiliza con la combinación de otras más como por ejemplo las hojas de estilo (CSS, Cascading Style Sheets, en inglés), para definir los estilos de la apariencia y comportamientos visuales que hacen más agradable a la vista el contenido.

HTML5 es la última versión estable de HTML, “HTML5 convierte a HTML de un simple formato de marcado para estructurar documentos en una plataforma completa de desarrollo de aplicaciones. Entre otras características, HTML5 incluye nuevos elementos y API de JavaScript para mejorar el almacenamiento, la multimedia y el acceso al hardware” [29].

Las características que componen a HTML que por sus siglas en inglés es “HyperText Markup Language”, donde, “HyperText” que en español significa hipertexto, que en otras palabras significa que es un texto que enlaza con otros contenidos, en este caso otro texto similar u otro tipo de archivos. De esta manera funciona la web tal y como se conoce en la actualidad, la cual contiene múltiples páginas y recursos en su mayoría de multimedia y recursos interconectados; por otro lado “Markup”, significa marca o etiqueta, la gran mayoría de las páginas web son desarrolladas con etiquetas; “Language”, ya que HTML es un lenguaje, esto significa que sigue reglas, restricciones y sintaxis, también utiliza una estructura y un conjunto de convenciones que se utilizan para definir estructuras y contenido de una página web [30].

Typescript

TypeScript es un lenguaje de programación de código abierto y gratuito desarrollado por Microsoft. Es un superset de JavaScript, lo que significa que añade funcionalidades adicionales a las que ya ofrece JavaScript, como la capacidad de definir tipos de datos y llevar a cabo comprobaciones de tipo estático durante el desarrollo. Permite a los programadores escribir código más robusto y fácil de mantener al proporcionar una

Capítulo 2. Estado de la práctica

sintaxis más clara y precisa, así como herramientas para detectar errores comunes durante el desarrollo. También es compatible con todos los *frameworks* y bibliotecas de JavaScript existentes. En conclusión, es una herramienta que ayuda a los programadores a escribir código JavaScript más seguro y escalable [31].

Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel, interpretado y multiparadigma. Fue creado por Guido van Rossum y lanzado por primera vez en 1991. Se caracteriza por su enfoque en la legibilidad del código y su sintaxis clara y concisa, lo que lo convierte en un lenguaje ideal para principiantes, así como para programadores experimentados. Una de las principales características de Python es su filosofía del "bello código" (The Zen of Python), que promueve un estilo de programación legible y organizado. Esta filosofía se refleja en la preferencia por el uso de espacios en blanco significativos en lugar de llaves o palabras clave especiales para delimitar bloques de código. Además, Python cuenta con una amplia biblioteca estándar que abarca una amplia gama de funciones y módulos, lo que facilita el desarrollo rápido de aplicaciones. Python es un lenguaje multiparadigma, lo que significa que admite diversos estilos de programación, como la programación orientada a objetos, la programación imperativa y la programación funcional. Esto permite a los desarrolladores utilizar el enfoque más adecuado para cada problema específico.

El ecosistema de Python es extremadamente robusto y diverso, con una gran cantidad de bibliotecas y *frameworks* disponibles. Por ejemplo, se destaca NumPy para computación científica, Pandas para análisis de datos, Django para desarrollo web y TensorFlow para aprendizaje automático. Estas bibliotecas y *frameworks* amplían la funcionalidad de Python y lo convierten en una herramienta poderosa en una amplia variedad de dominios y aplicaciones. Además, Python es conocido por su portabilidad, lo que significa que los programas escritos en Python se ejecutan en diferentes plataformas sin necesidad de realizar grandes modificaciones. Esto se debe en parte a que Python cuenta con una implementación de referencia llamada CPython, que está disponible en la mayoría de los sistemas operativos [39].

2.3.2 Marcos de trabajo

1.4.1.1 Ionic

Ionic es un SDK (kit de desarrollo de software), contiene una serie de herramientas de código abierto para desarrollar aplicaciones web progresivas, nativas y multiplataforma modernas, rápidas y de alto desempeño partiendo de una base única base de código fuente con JavaScript y la web. Lo desarrollaron en el año 2013 por el equipo de Drifty Co., compuesto por Ben Sperry, Max Lynch y Adam Bradley. Su primera versión se lanzó ese mismo año, utilizando como base Apache Cordova y AngularJS. La última versión se basa en componentes web, esto permite mejoras significativas en el rendimiento, la usabilidad y las funciones junto con la compatibilidad con marcos web populares como Angular, React y Vue, además en su última versión Stencil. Por otro lado, también permite el uso de componentes sin marco de interfaz de usuario utilizando JavaScript. A partir de Ionic 4 se implementaron las herramientas oficiales de los marcos de trabajo para construir, agrupar y enrutar, con el objetivo de aprovechar al máximo los ecosistemas de los marcos, esto quiere decir que se implementan por ejemplo en el caso de Angular su propia interfaz de línea de comandos (CLI) y así respectivamente para Vue.js y los otros marcos [32].

Ionic es gratis y de código abierto, brinda una biblioteca de componentes web que utiliza los elementos personalizados y las API Shadow DOM disponibles en todos los navegadores, también ofrece gestos, y servicios de interfaz de usuario con el propósito de crear aplicaciones progresivas para dispositivos móviles, escritorio y web, se emplean tecnologías y enfoques contemporáneos de desarrollo web. Se utilizan recursos como HTML5, CSS y Sass. Es común desarrollar aplicaciones para dispositivos móviles utilizando estas tecnologías para posteriormente publicarlas en tiendas de aplicaciones nativas e instalarlas, implementando Cordova o Capacitor [33].

2.3.3 Editor de código fuente

Visual Studio Code

Visual Studio Code es una herramienta gratuita multiplataforma para editar código fuente liviano, la desarrolló Microsoft y se basa en el *framework* Electron. Visual Studio Code tiene soporte para TypeScript, Node.js y JavaScript, además cuenta con complementos que brindan soporte para lenguajes adicionales como C#, Java, Python, PHP, entre muchos otros [34]. Otra característica es la flexibilidad para que los usuarios personalicen su entorno de trabajo, y también el ajuste de los atajos del teclado y preferencias. Algunas de estas configuraciones se acceden o se ajustan por medio de archivos json. Es un editor de código abierto y gratuito, además es posible crear extensiones y publicarlas para toda la comunidad [35].

2.3.4 Sistemas Gestores de Bases de Datos

MYSQL

MySQL es uno de los sistemas de administración de bases de datos SQL de código abierto, se distribuye, desarrolla y respalda por Oracle. Originalmente se creó por MySQL AB, y posteriormente lo adquirió Sun Microsystems en 2008 y posteriormente lo compró Oracle Corporation en 2010 [36].

MySQL tiene ventajas que lo hacen muy popular, accesible y útil. Destaca la característica de trabajar con bases de datos relacionales, porque utiliza múltiples tablas que interconectan entre ellas para almacenar la información y la organiza correctamente, optimiza el espacio de almacenamiento y crea modelos muy complejos, seguros y escalables. Es de código abierto, esto significa que cualquiera tiene la libertad de usar y modificar el software y obtenerlo sin pagar nada ya que es gratuito. Los desarrolladores son libres para estudiar el código fuente y modificarlo para sus necesidades. El servidor de base de datos MySQL es rápido, confiable, escalable y fácil de usar, se ejecuta en distintos equipos de cómputo desde laptops hasta servidores y su rendimiento es óptimo. MySQL se desarrolló para manejar grandes bases de datos, se utilizó con éxito en entornos de producción exigentes

Capítulo 2. Estado de la práctica

durante años. Es un sistema cliente/servidor y consiste en un servidor SQL de subprocesos múltiples [37].

2.3.5 Modelo de Aprendizaje Automático

Los modelos de aprendizaje automático tienen la capacidad para aprender sin ser programados explícitamente para estas tareas, en este caso para implementar inteligencia artificial fue necesario utilizar el siguiente modelo predictivo.

Árboles de decisión

Es un método de modelado predictivo utilizado en el análisis de datos, para identificar relaciones y patrones en los datos para la toma de decisiones. Se construye dividiendo los datos en grupos más pequeños y homogéneos en función de diferentes características y preguntas, utilizando un algoritmo para determinar las preguntas que deben hacerse en cada nivel del árbol y cómo se deben dividir los datos en cada rama del árbol. Es una estructura de datos que se utiliza para representar y visualizar las decisiones y acciones que se deben tomar en un proceso de toma de decisiones [38].

2.3.6 Justificación de la solución

La propuesta de solución se centró en las ventajas y desventajas de las tecnologías disponibles y su adecuación para cada componente del módulo que se desarrolló.

Se optó por utilizar TypeScript como el lenguaje de programación principal para la capa de presentación y la capa de integración, ya que ofrece un enfoque orientado a objetos y un sistema de tipado estático que se compila a JavaScript, lo que garantiza un rendimiento y una estabilidad superiores en el código. Además, se eligió implementar los *frameworks* Ionic y Angular. Estas tecnologías son reconocidas por su alto rendimiento y escalabilidad, ya que proporcionan las herramientas necesarias para desarrollar aplicaciones web amigables y de fácil interacción para los usuarios finales. Además, también se optó por utilizar los servicios de Twilio, para el envío de mensajes por la plataforma de WhatsApp, por su facilidad de integración con el módulo.

Capítulo 2. Estado de la práctica

En la capa de servicios, se optó por utilizar Python como lenguaje de programación principal, debido a su amplia adopción y popularidad en el ámbito de la IA. Para la implementación de esta capa, se seleccionó Flask, una herramienta altamente versátil y fácil de usar que permite la integración con diversas herramientas, lo que la hace ideal para procesar grandes cantidades de datos y consultas como servicio RestAPI.

En última instancia, se eligió MySQL como el sistema gestor de base de datos principal debido a sus características de alta escalabilidad, fiabilidad y rendimiento en la gestión de grandes volúmenes de datos. Además, su capacidad de gestión de recursos optimizada asegura un uso eficiente de los recursos del sistema. Estas cualidades hacen de MySQL una elección ideal para garantizar la integración fluida y la disponibilidad de la información en el proyecto.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Este capítulo contiene el desarrollo de todo el módulo, es decir de todas las partes de software que integran el módulo. El capítulo se encuentra estructurado en cuatro etapas.

A continuación, se detalla el contenido de las etapas:

1. **Análisis:** Contiene los requerimientos funcionales del sistema, el diagrama de casos de uso y la identificación de variables para realizar la asignación de las recomendaciones, notificaciones y alertas.
2. **Diseño:** Contiene los diagramas para la construcción de la base de datos: son el modelo entidad relación, diagrama relacional, el diccionario de datos. Además del diseño de las interfaces; y el diseño arquitectónico.
3. **Desarrollo:** Contiene la descripción de las interfaces desarrolladas, el modelo de despliegue y las reglas establecidas para la asignación de las recomendaciones, notificaciones y alertas.
4. **Pruebas:** Contiene casos de estudio donde se muestran los resultados de las pruebas de usabilidad y de las reglas de asignación.

3.1 Análisis

3.1.1 Requerimientos funcionales del sistema

Los requerimientos se establecieron de acuerdo a la información obtenida de los módulos con los que se comparte la información de los usuarios. Es decir que se analizaron los requerimientos que se implementaron en los otros módulos, y la estructura de su base de datos, ya que contaban con roles establecidos para su funcionamiento. Como se visualiza en la figura 3.1, el médico tiene asignados cuidadores, estos son familiares o especialistas como quiroprácticos o enfermeros que están a cargo de los cuidados del paciente con EP. A cada médico se le asignan a uno o más cuidadores; de igual forma, a cada cuidador se le asigna a uno o más pacientes.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

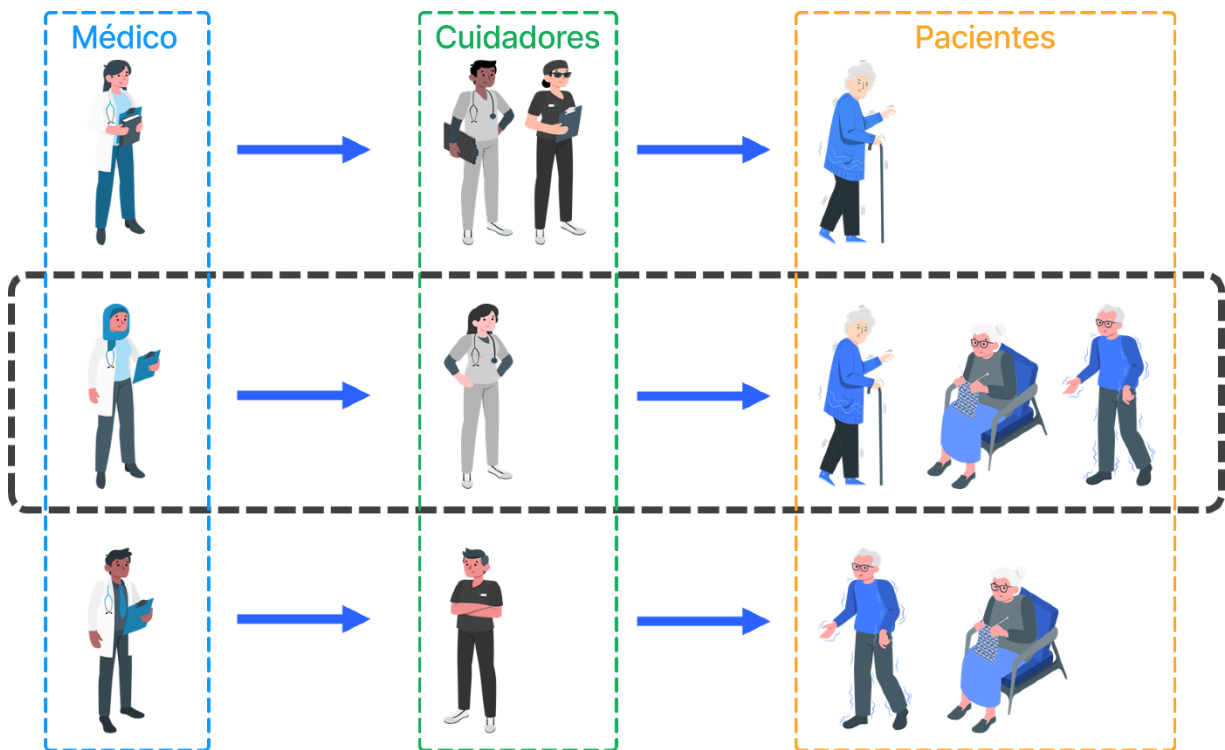


Figura 3.1 Usuarios del módulo

Se determinó que el módulo consiste en una aplicación diseñada específicamente para dispositivos móviles, enfocada en el cuidador, a pesar de que en el estado del arte se encuentran antecedentes de que las aplicaciones son directamente utilizadas para los pacientes, es este caso se determinó que los cuidadores son los encargados en apoyar a los pacientes a llevar el control de sus enfermedades, ya que los pacientes no tienen las capacidades motrices para utilizar este tipo de aplicaciones. A continuación, se establecen los requerimientos funcionales de la aplicación para dispositivos móviles.

- Ingresar a la aplicación por medio de un usuario y contraseña.
- Recuperar contraseña.
- Visualizar y filtrar pacientes por género y/o estado (activo o inactivo).
- Gestionar la información del perfil del cuidador.
- Cambiar el idioma para visualizar la información entre inglés o español.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- Gestionar las recomendaciones, notificaciones, alertas y mensajes de cada uno de sus pacientes:
 - Gestionar recomendaciones
 - Visualizar las recomendaciones por medio de un buzón donde se enlistan y filtran de acuerdo con la categoría, estado y orden de fecha.
 - Visualizar los detalles de cada recomendación para aplicar las acciones necesarias a su paciente.
 - Cambiar de estado a la recomendación atendida.
 - Generar un reporte estadístico de las recomendaciones que lleguen en un determinado tiempo.
 - Gestionar notificaciones
 - Visualizar las notificaciones por medio de un buzón donde se enlistan y filtran de acuerdo con la categoría, estado y orden de fecha.
 - Visualizar los detalles de cada notificación para aplicar las acciones necesarias a su paciente.
 - Cambiar de estado a la notificación atendida.
 - Generar un reporte estadístico de las notificaciones que lleguen en un determinado tiempo.
 - Gestionar alertas
 - Visualizar las alertas por medio de un buzón donde se enlistan y filtran de acuerdo con la categoría, estado y orden de fecha.
 - Visualizar los detalles de cada alerta para aplicar las acciones necesarias a su paciente.
 - Cambiar de estado a la alerta atendida.
 - Generar un reporte estadístico de las alertas que lleguen en un determinado tiempo.
 - Gestionar mensajes

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- Visualizar los mensajes por medio de un buzón donde se enlistan y filtran de acuerdo con la categoría, estado y orden de fecha.
 - Visualizar los detalles de cada mensaje para aplicar las acciones necesarias a su paciente.
 - Cambiar de estado al mensaje atendido.
- Visualizar la información de sus pacientes.
 - Cerrar sesión.

3.1.2 Diagramas de caso de uso

Para lograr definir un panorama general del sistema se requirió desarrollar casos de uso, ya que resultan muy útiles para entender el funcionamiento que este tiene. Los casos de uso se diseñaron a partir del análisis de los requerimientos del sistema, se logró establecer varias secciones dentro de la aplicación y de esa forma separar los casos de uso, estos se aprecian en las figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6. Cabe mencionar que en todo el proceso del funcionamiento del sistema se ven involucrados 3 actores con diferentes roles, pero dentro de las funciones establecidas para este módulo el único actor que se ve involucrado para realizar acciones directas con la aplicación para dispositivos móviles es que tiene rol de cuidador, el cual más adelante se describe a detalle.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

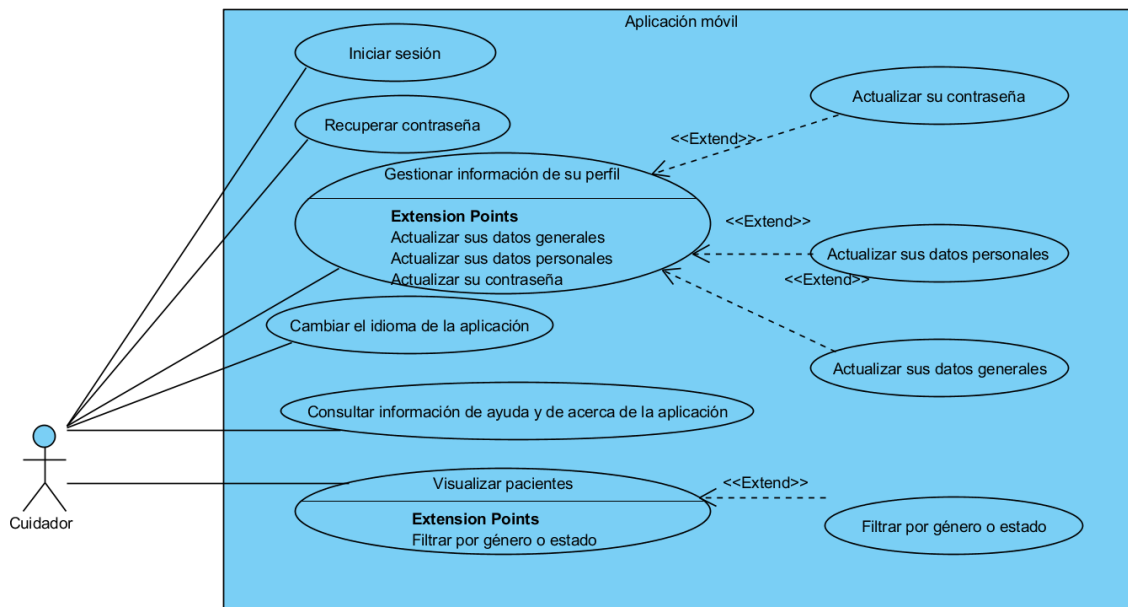


Figura 3.2 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección del cuidador

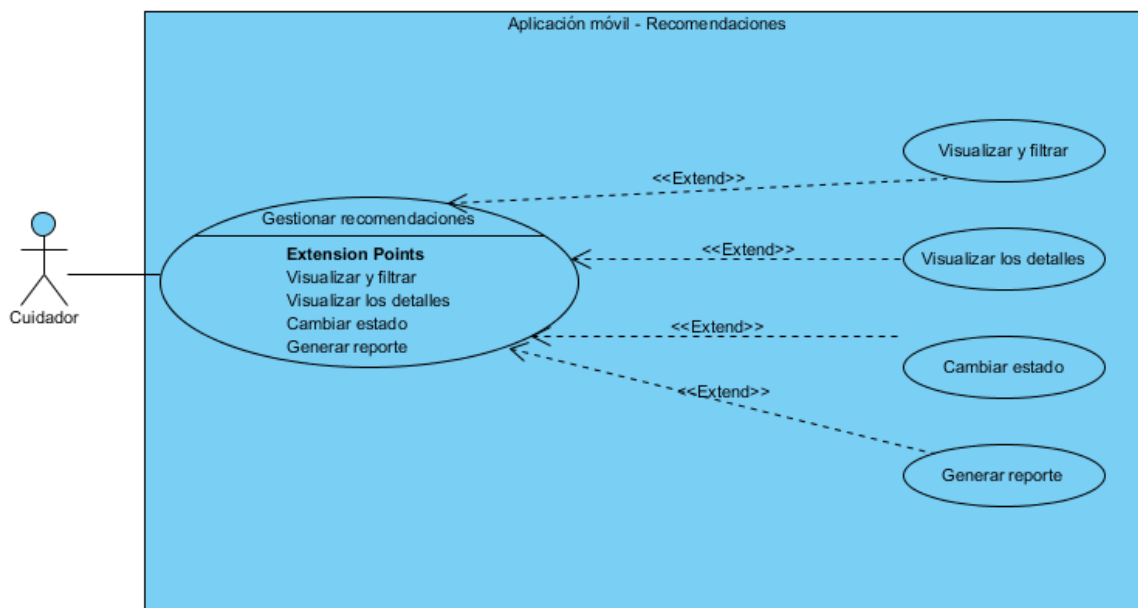


Figura 3.3 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección recomendaciones

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

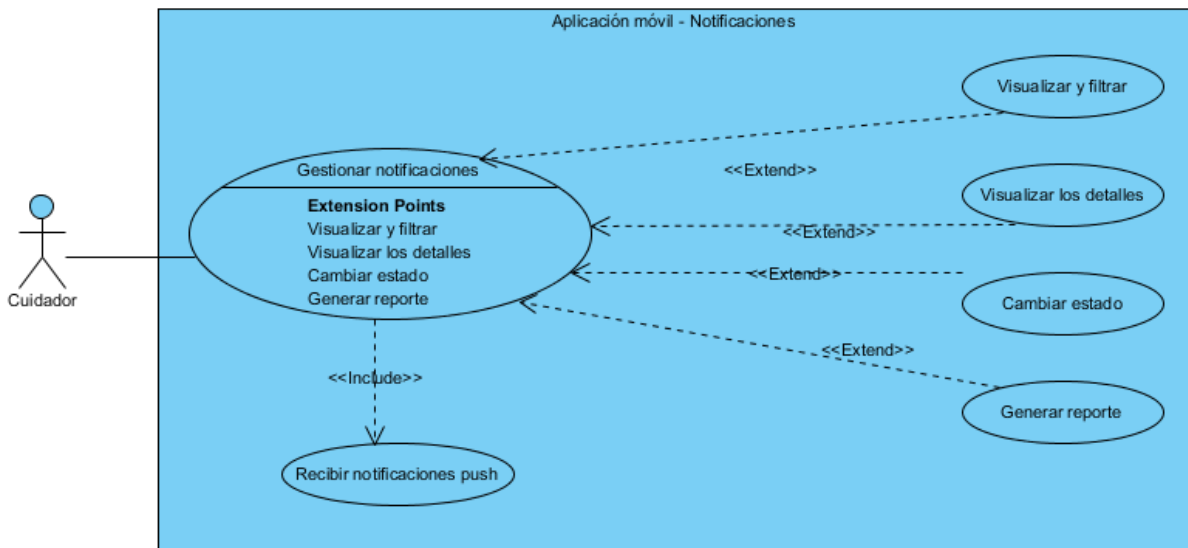


Figura 3.4 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección notificaciones

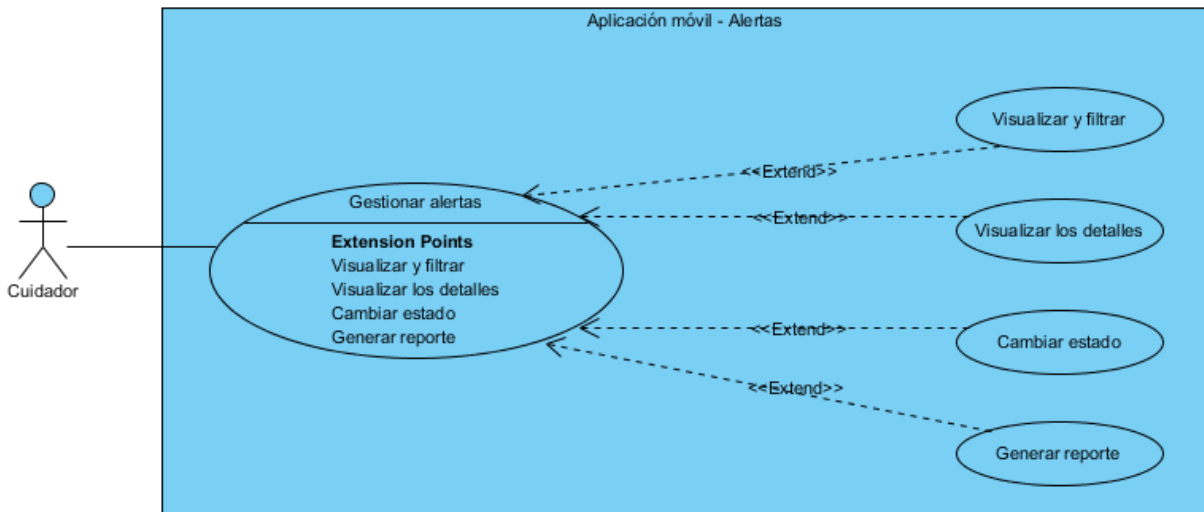


Figura 3.5 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección alertas

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

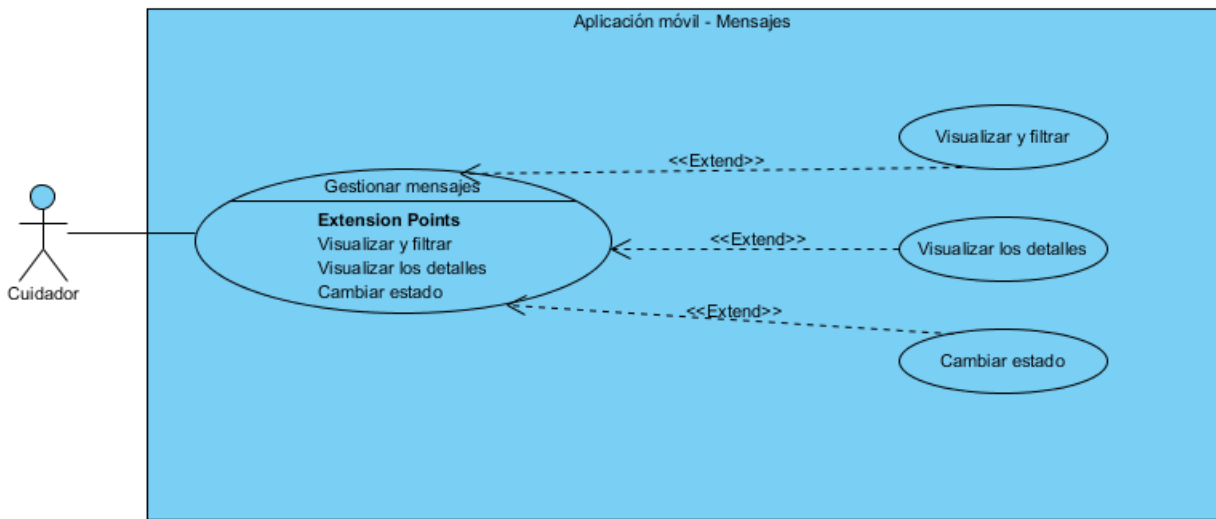


Figura 3.6 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles - Sección mensajes

En la tabla 3.1 se enlistan los actores identificados para la interacción en el proceso del módulo.

Tabla 3.1 Usuarios del sistema

Actores del módulo	Descripción
Médico	Es un actor secundario para el cuidador con el rol de médico.
Cuidador	Es el actor principal del módulo, se designó con el rol de cuidador.

En la tabla 3.2 se encuentra la descripción de los casos de uso establecidos para la aplicación para dispositivos móviles en la sección de inicio y acciones generales.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Tabla 3.2 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles

Caso de uso	Descripción
Iniciar sesión	Validar sus credenciales de usuario otorgado para ingresar a la aplicación.
Recuperar contraseñas	Recuperar la contraseña por medio de un método por correo.
Gestionar información de su perfil	Gestionar información de su perfil, incluye el ingreso, edición o eliminación de sus datos.
Actualizar contraseña	Actualizar su contraseña dentro de la aplicación con el usuario ya validado.
Cambiar el idioma de la aplicación	Cambiar el idioma de la aplicación entre el español o el inglés.
Visualizar pacientes	Visualizar los pacientes asignados al cuidador que inicio sesión.
Filtrar por género o estado	Filtrar la lista de pacientes de manera opcional por un género en específico o uno de los dos estados (activo o inactivo).

En la tabla 3.3 se describen los casos de uso establecidos para la aplicación para dispositivos móviles en la sección de recomendaciones.

Tabla 3.3 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección recomendaciones

Caso de uso	Descripción
Visualizar y filtrar	Visualizar las recomendaciones y filtrar por medio de categorías, estado y ordenar de manera ascendente o descendente por fecha.
Visualizar los detalles	Ver toda la información relacionada a la recomendación asignada, es decir el título, la fecha, hora, la descripción y categoría y el estado.
Caso de uso	Descripción
Cambiar estado	Marcar una recomendación en específico para que pase a estado archivado y deje de ser visible en el buzón de las recientes.
Generar reporte	Generar un reporte de la cantidad de recomendaciones recibidas por medio de gráficas interactivas, donde seleccione el tipo de gráfica, el rango de tiempo y el intervalo de tiempo (días o meses).

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

En la tabla 3.4 se describen los casos de uso establecidos para la aplicación para dispositivos móviles en la sección de notificaciones.

Tabla 3.4 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección notificaciones

Caso de uso	Descripción
Visualizar y filtrar	Visualizar las notificaciones y filtrar por medio de categorías, estado y ordenar de manera ascendente o descendente por fecha.
Visualizar los detalles	Ver toda la información relacionada a la notificación asignada, es decir el título, la fecha, hora, la descripción y categoría y el estado.
Cambiar estado	Marcar una notificación en específico para que pase a estado archivado y deje de ser visible en el buzón de las recientes.
Generar reporte	Generar un reporte de la cantidad de notificaciones recibidas por medio de gráficas interactivas, donde seleccione el tipo de gráfica, el rango de tiempo y el intervalo de tiempo (días o meses).
Recibir notificaciones push	Recibir notificaciones <i>push</i> al instante de ser asignada.

En la tabla 3.5 se describen los casos de uso establecidos para la aplicación para dispositivos móviles en la sección de alertas.

Tabla 3.5 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección alertas

Caso de uso	Descripción
Visualizar y filtrar	Visualizar las alertas y filtrar por medio de categorías, estado y ordenar de manera ascendente o descendente por fecha.
Visualizar los detalles	Ver toda la información relacionada a la alerta asignada, es decir el título, la fecha, hora, la descripción y categoría y el estado.
Cambiar estado	Marcar una alerta en específico para que pase a estado archivado y deje de ser visible en el buzón de las recientes.
Generar reporte	Generar un reporte de la cantidad de alertas recibidas por medio de gráficas interactivas, donde seleccione el tipo de gráfica, el rango de tiempo y el intervalo de tiempo (días o meses).

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

En la tabla 3.6 se describen los casos de uso establecidos para la aplicación para dispositivos móviles en la sección de mensajes.

Tabla 3.6 Casos de uso de la aplicación para dispositivos móviles – Sección mensajes

Caso de uso	Descripción
Visualizar y filtrar	Visualizar los mensajes y filtrar por medio de categorías, estado y ordenar de manera ascendente o descendente por fecha.
Visualizar los detalles	Ver toda la información relacionada del mensaje recibido, es decir el título, la fecha, hora, la descripción y categoría y el estado.
Cambiar estado	Marcar un mensaje en específico para que pase a estado archivado y deje de ser visible en el buzón de las recientes.

3.1.3 Identificación de variables para realizar la asignación de las recomendaciones, notificaciones y alertas relacionadas con la voz

Se identificaron las variables a través del análisis del conjunto de datos “Oxford Parkinson's Disease Detection Dataset”, lo creó Max Little de la Universidad de Oxford, en colaboración con el Centro Nacional de Voz y Habla de Denver, Colorado. Este se compone de mediciones biomédicas de la voz de un total de 31 individuos, de los cuales 23 padecen la enfermedad de Parkinson (EP). El conjunto cuenta con varias columnas que contienen medidas particulares de la voz que en este caso se usaron como variables para determinar el avance de la enfermedad de Parkinson en los pacientes.

A continuación, la información del conjunto de datos se presenta en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Descripción de Oxford Parkinson's Disease Detection Dataset

Nombre del conjunto de datos	Oxford Parkinson's Disease Detection Dataset
Cantidad de Atributos	23
Registros	195 grabaciones de voz de 31 personas y de las cuales 23 son de personas con EP.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Este conjunto de datos contiene una gran cantidad de atributos, en la siguiente tabla 3.8 se describen todos los atributos que la componen.

Tabla 3.8 Descripción de variables

Atributo	Descripción
name	Nombre del sujeto en código ASCII y número de grabación
MDVP:Fo(Hz)	Frecuencia fundamental vocal promedio
MDVP:Fhi(Hz)	Frecuencia fundamental vocal máxima
MDVP:Flo(Hz)	Frecuencia fundamental vocal mínima
MDVP:Jitter(%)	Varias medidas de variación en la frecuencia fundamental de la voz.
MDVP:Jitter(Abs)	
MDVP:RAP	
MDVP:PPQ	
Jitter:DDP	
MDVP:Shimmer	Varias medidas de variación en amplitud de la voz.
MDVP:Shimmer(dB)	
Shimmer:APQ3	
Shimmer:APQ5	
MDVP:APQ	
Shimmer:DDA	
NHR	Dos medidas de la relación entre ruido y componentes tonales en la voz.
HNR	
status	El estado de salud del sujeto (uno) - Parkinson, (cero) - saludable
RPDE	Dos medidas de complejidad dinámica no lineal.
D2	
DFA	Exponente de escala fractal de señal
spread1	Tres medidas no lineales de variación de frecuencia fundamental.
spread2	
PPE	

Principales atributos de la voz para el Parkinson

Debido a que el conjunto de datos contiene una gran cantidad de atributos, fue necesario realizar un análisis para determinar los más importante o dicho de otra forma

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

los que tienen mayor peso para la predicción de un resultado es decir si a los pacientes se les detectó Parkinson, estos valores se muestran en el conjunto de datos, específicamente en el atributo de "status". Se utilizaron dos métodos el primero de ellos fue el "Weight by Information Gain Ratio" este se refiere a la asignación de peso a los atributos en un árbol de decisión, este método utiliza el concepto de "ganancia de información" para medir la importancia de cada atributo; el segundo fue "Weight by Gini Index" este es un método similar para asignar pesos a los atributos en un árbol de decisión, pero utiliza el índice de Gini en lugar de la ganancia de información para medir la importancia de cada atributo.

Los resultados de estos análisis fueron relativamente similares a continuación en la tabla 3.9 se muestra los resultados obtenidos de los primeros 4 lugares de importancia.

Tabla 3.9 Selección de variables de mayor relevancia

Ponderación por relación de ganancia de información		Ponderación por relación de ganancia de información	
Atributo	Peso	Atributo	Peso
PPE	0.447	PPE	0.150
MDVP:Fo(Hz)	0.436	Spread1	0.144
Spread1	0.436	MDVP:Flo(Hz)	0.106
MDVP:Flo(Hz)	0.401	MDVP:Fo(Hz)	0.102

3.1.4 Identificación de variables para realizar la asignación de las recomendaciones, notificaciones y alertas mediante trazos

Se identificaron las variables a través del análisis de un módulo externo que se encarga de detectar la enfermedad de Parkinson mediante técnicas de dibujo, utilizando trazos de espiral y ondas. El objetivo del módulo es obtener un porcentaje que tiene un valor en un rango del 1 al 100. Donde se establecen rangos para decidir si una persona representa afecciones de la enfermedad de Parkinson en manos y dedos. Es por ello que se estableció leer los resultados de las evaluaciones de los trazos de espiral y

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

ondas para obtener un valor cuantitativo y de esa forma asignar los mensajes correspondientes. Como resultado se obtuvo que las variables involucradas para la monitorización mediante trazos son los que se muestran en la tabla 3.10:

Tabla 3.10 Descripción de variables

Atributo	Descripción
res_eval_ondas	Resultado de la evaluación de trazos de ondas
res_eval_esp	Resultado de la evaluación de trazos de espirales
prom_res_eval	Promedio de los resultados de las evaluaciones de trazos de ondas y espirales

3.2 Diseño

3.2.1 Modelo de persistencia

Para establecer el esquema de la base de datos, se llevó a cabo el análisis del sistema al que incorpora este módulo, entonces, se retomó un diseño ya establecido de la base de datos, que contiene las tablas donde se almacenan los datos de los usuarios, y se agregaron las demás entidades necesarias para asegurar el adecuado funcionamiento del nuevo módulo.

3.2.2 Diagrama Entidad Relación

En la figura 3.7 se muestran las entidades que se integraron a la base de datos, con las correspondientes relaciones y atributos. En esta se encuentran dos secciones, en la sección en color verde se encuentran las entidades que ya pertenecían al sistema anterior, y en la sección de color azul contiene las nuevas entidades y sus respectivas propiedades.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

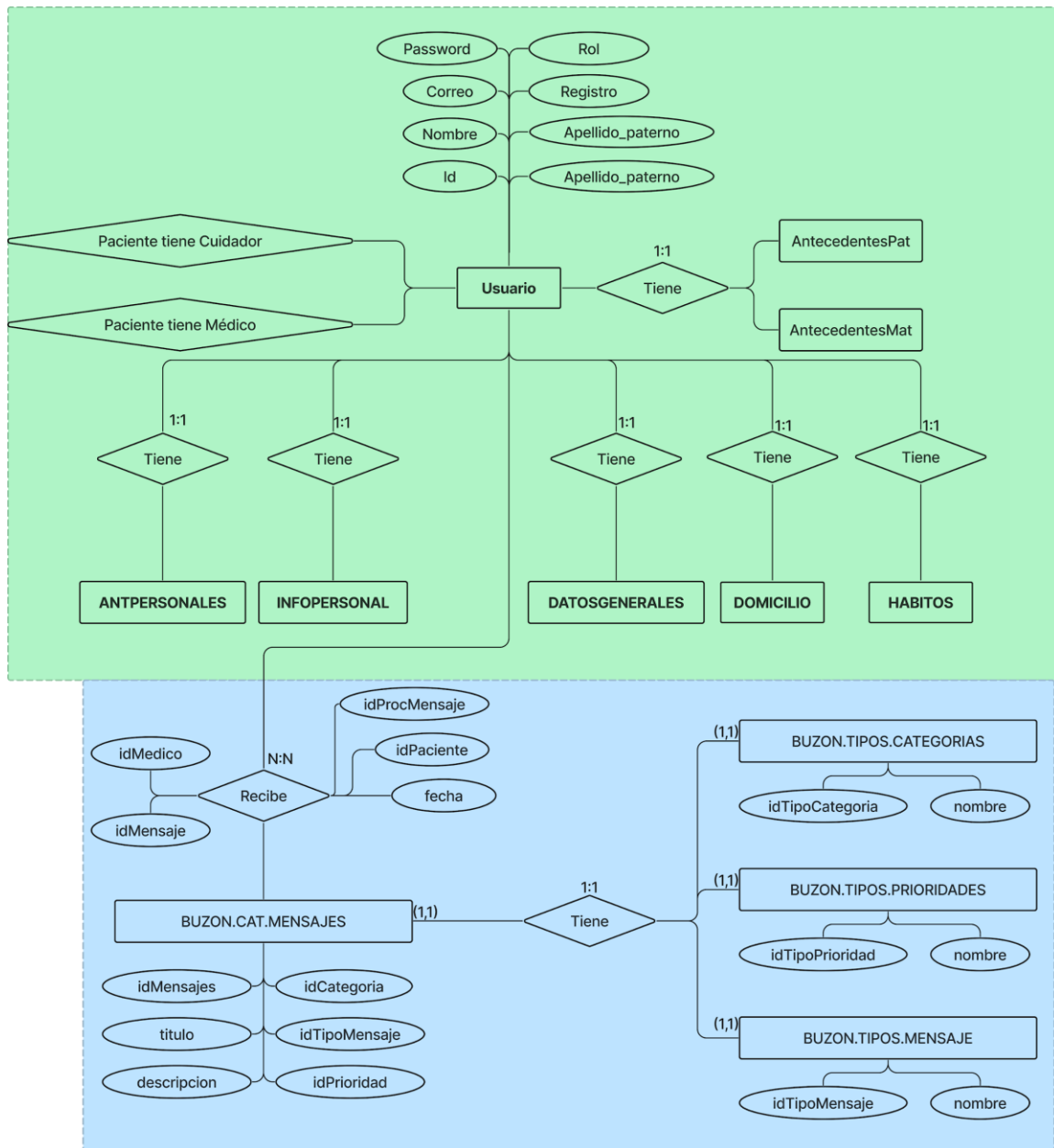


Figura 3.7 Modelo entidad relación

3.2.3 Modelo relacional

Para complementar más el diseño de la base de datos se creó el diagrama relacional que se muestra en la imagen 3.8. Aquí se encuentran 3 contextos diferentes, el primero de color verde tiene las entidades que contienen toda la información referente a un usuario, cabe destacar que estas entidades ya se encuentran integradas en el sistema

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

al que se agregó este módulo. Debido a esto no se modificó la estructura de las tablas, y solo se retomó el diseño ya establecido, para almacenar la información de los usuarios.

El segundo contexto, que se muestra en color amarillo, se agregó como necesidad de contar con la relación y asignación de usuarios con el rol de pacientes hacia cuidadores y médicos.

El tercer y último contexto, se encuentra de color azul, este integra las entidades más importantes para hacer la asignación de las recomendaciones, notificaciones y alertas.

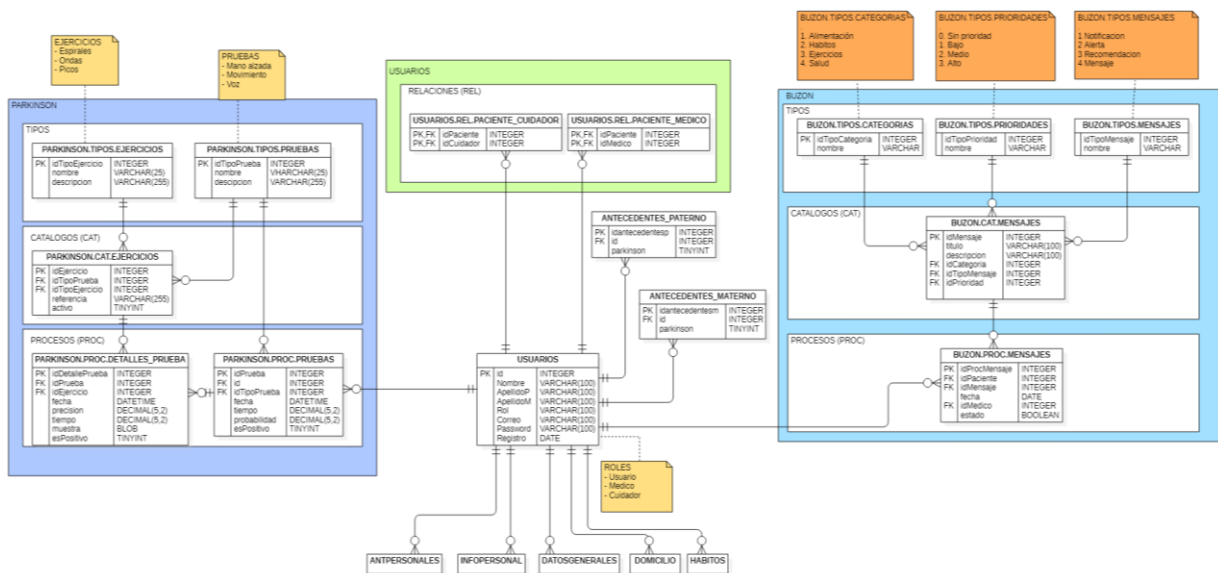


Figura 3.8 Diagrama de estructura física de la base de datos

3.2.4 Diccionario de datos

Con el objetivo de complementar y robustecer el modelo de persistencia, se elaboró el diccionario de datos del módulo. Este integra las características de cada una de las entidades y sus respectivos campos, además del tipo de dato, longitud, llaves primarias y foráneas, valor nulo si corresponde y la restricción de unicidad.

A continuación, se presentan los diccionarios de datos de las entidades: USUARIOS.REL.PACIENTES_CUIDADORES,

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

USUARIOS.REL.PACIENTES_MEDICOS, BUZON.PROC.MENSAJES,
BUZON.CAT.MENSAJES, BUZON.TIPOS.CATEGORIAS,
BUZON.TIPOS.PRIORIDADES, BUZON.TIPOS.MENSAJE, cada entidad se encuentra en las tablas 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 y 3.17 respectivamente.

Tabla 3.11 Diccionario de datos de la entidad BUZON.TIPOS.CATEGORIA

Nombre de la entidad		BUZON.TIPOS.CATEGORIA			
Descripción		Es la tabla donde se almacenan las categorías que se le asignan a cada mensaje, por ejemplo: alimentación, hábitos, ejercicios, salud, entre otros.			
Nombre del dato	Descripción	Tipo de dato	Longitud	Llave primaria	Valor
idTipoCategoria	Identificador del registro	INTEGER	default	PRIMARIA	-
nombre	Nombre del tipo de la categoría	VARCHAR	50	-	-

Tabla 3.12 Diccionario de datos de la entidad BUZON.TIPOS.PRIORIDADES

Nombre de la entidad		BUZON.TIPOS. PRIORIDADES			
Descripción		Es la tabla donde se almacenan los tipos de prioridades de cada mensaje, por ejemplo: sin prioridad, prioridad baja, media o alta.			
Nombre del dato	Descripción	Tipo de dato	Longitud	Llave primaria	Valor
idTipoPrioridades	Identificador del registro	INTEGER	default	PRIMARIA	-
nombre	Nombre del tipo de prioridad	VARCHAR	50	-	-

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Tabla 3.13 Diccionario de datos de la entidad BUZON.TIPOS.PRIORIDADES

Nombre de la entidad		BUZON.TIPOS. MENSAJE			
Descripción		Es la tabla donde se almacenan los tipos de mensaje, por ejemplo: recomendación, notificación, alerta y mensaje			
Nombre del dato	Descripción	Tipo de dato	Longitud	Llave primaria	Valor
idTipoMensaje	Identificador del registro	INTEGER	default	PRIMARIA	-
nombre	Nombre del tipo de mensaje	VARCHAR	50	-	-

Tabla 3.14 Diccionario de datos de la entidad BUZON.CAT.MENSAJES

Nombre de la entidad		BUZON.CAT.MENSAJES			
Descripción		Almacena el catálogo de mensajes esta contiene prácticamente todos los mensajes que se asignan a cada paciente.			
Nombre del dato	Descripción	Tipo de dato	Longitud	Llave primaria	Valor
idMensaje	Identificador del registro	INTEGER	default	PRIMARIA	-
titulo	Título del mensaje	VARCHAR	50	-	-
descripcion	Descripción del mensaje	VARCHAR	255	-	-
idCategoria	Referencia del tipo de categoría	INTEGER	default	FORÁNEA	-
idTipoMensaje	Referencia del tipo de mensaje	INTEGER	default	FORÁNEA	-
idPrioridad	Referencia del tipo de prioridad	INTEGER	default	FORÁNEA	-

Tabla 3.15 Diccionario de datos de la entidad USUARIOS.REL.PACIENTES_CUIDADORES

Nombre de la entidad		USUARIOS.REL.PACIENTES_CUIDADORES			
Descripción		Almacena la relación entre los pacientes y su cuidador asignado			
Nombre del dato	Descripción	Tipo	Longitud	Llave primaria	Valor
idPaciente	Referencia al identificador del usuario con rol de "paciente"	INTEGER	default	PRIMARIA, FORÁNEA	-
idCuidador	Referencia al identificador del usuario con rol de "cuidador"	INTEGER	default	FORÁNEA	-

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Tabla 3.16 Diccionario de datos de la entidad *USUARIOS.REL.PACIENTES_MEDICOS*

Nombre de la entidad		USUARIOS.REL.PACIENTES_MEDICOS			
Descripción		Es la tabla que almacena la relación entre los pacientes y su médico asignado			
Nombre del dato	Descripción	Tipo de dato	Longitud	Llave primaria	Valor
idPaciente	Referencia al identificador del usuario con rol de "paciente"	INTEGER	default	PRIMARIA, FORÁNEA	-
idMedico	Referencia al identificador del usuario con rol de "médico"	INTEGER	default	FORÁNEA	-

Tabla 3.17 Diccionario de datos de la entidad *BUZON.PROC.MENSAJES*

Nombre de la entidad		BUZON.PROC.MENSAJES			
Descripción		Es la tabla que almacena la asignación de las recomendaciones, notificaciones, alertas y mensajes a cada paciente.			
Nombre del dato	Descripción	Tipo de dato	Longitud	Llave primaria	Valor
idProcMensaje	Identificador del registro	INTEGER	default	PRIMARIA	-
fecha	Fecha y hora en que se realizó la asignación del mensaje.	DATETIME	default	-	-
idMensaje	Referencia al identificador del catálogo de mensajes	INTEGER	default	FORÁNEA	-
idPaciente	Referencia al identificador del usuario con rol de "paciente"	INTEGER	default	FORÁNEA	-
idMedico	Referencia al identificador del usuario con rol de "médico"	INTEGER	default	FORÁNEA	-

3.2.5 Diseño de las interfaces

Como el módulo está orientado a una aplicación móvil, se diseñaron interfaces que exhiben la disposición de los diferentes elementos diseñados para las diversas

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

secciones que integran a la aplicación para dispositivos móviles. A continuación, se muestran los mockups de las interfaces antes mencionadas.

Mockups de la aplicación para dispositivos móviles

Inicio de sesión

En la figura 3.9 se muestra la pantalla de inicio de sesión diseñada para que el cuidador ingrese sus datos de usuario y contraseña. Además, se estableció una opción para recuperar la contraseña.



El mockup muestra una pantalla de inicio de sesión con el título "Iniciar sesión" en el centro. Debajo del título, hay un campo de entrada etiquetado "Usuario", un campo de entrada etiquetado "Contraseña", un botón negro con el texto "Iniciar sesión" y un enlace azul que dice "Olvide mi contraseña".

Figura 3.9 Inicio de sesión

Menú principal

La figura 3.10 contiene el diseño del menú principal para acceder a las secciones de inicio, el perfil del cuidador, los ajustes generales de la aplicación y la opción para cerrar sesión.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.10 Menú principal

Perfil

En las figuras 3.11, 3.12 y 3.13 se presenta el bosquejo de las pantallas para editar la información del perfil del cuidador. En la imagen 3.11, se muestra la sección de los datos generales, en la figura 3.12, se encuentran los datos personales y en la figura 3.13 está la opción de cambiar la contraseña.

Figura 3.11 Perfil del cuidador - Datos generales

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

The screenshot shows a mobile application interface for a caregiver profile. At the top, there is a navigation bar with a back arrow, the title 'Perfil', and a profile picture. Below the navigation bar, there are three tabs: 'Datos Generales', 'Datos Personales' (which is selected and highlighted in black), and 'Seguridad'. The 'Datos Personales' section contains several input fields: 'Celular', 'Ciudad de nacimiento', 'Fecha de nacimiento', 'Género', 'Escolaridad', and 'Ocupación o profesión'. At the bottom of the form is a black button labeled 'Actualizar datos'.

Figura 3.12 Perfil del cuidador - Datos personales

The screenshot shows the 'Seguridad' section of the caregiver profile. The navigation bar at the top is the same as in the previous figure, but the 'Seguridad' tab is now selected and highlighted in black. The section is titled 'Actualizar contraseña' and contains three input fields: 'Contraseña actual', 'Nueva contraseña', and 'Repertir nueva contraseña'. At the bottom of the form is a black button labeled 'Actualizar contraseña'.

Figura 3.13 Perfil del cuidador - Seguridad

Ajustes

En la figura 3.14 se muestra el diseño de los ajustes en cual contiene los accesos para la sección de ayuda, información acerca de la aplicación. Además, se agregó la opción para seleccionar el idioma de la aplicación.

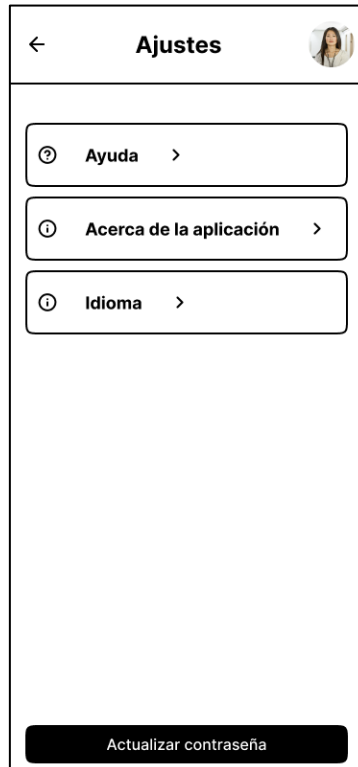


Figura 3.14 Ajustes de la aplicación

Inicio – Listado de pacientes

En la figura 3.15 se muestra la sección de inicio, esta se diseñó para listar a los pacientes que tenga el cuidador asignado. Cuenta con los siguientes elementos: acceso al menú principal, el nombre del cuidador activo, una sección de filtros y la lista de los pacientes, con información relativa de cada uno de ellos, como su nombre completo, foto de perfil, número de recomendaciones, notificaciones, alertas y mensajes.

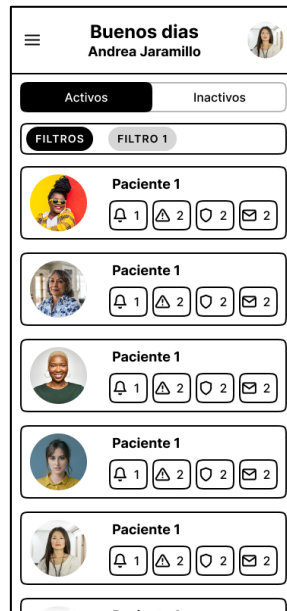


Figura 3.15 Pantalla de inicio o principal

Recomendaciones de un paciente seleccionado

A continuación, se describen las subsecciones de la sección de recomendaciones.

- **Subsección de Buzón**

La figura 3.16 contiene el diseño para el buzón de recomendaciones, aquí se encuentran en forma de lista unas tarjetas con información de cada una de las recomendaciones que se le asignaron al paciente. Posteriormente en la imagen 3.17 se muestra una ventana modal que contiene filtros para personalizar la lista que se muestra.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.16 Sección de recomendaciones – Buzón



Figura 3.17 Sección de recomendaciones – Buzón con filtros

- **Subsección de informe**

En la figura 3.18 se diseñó la subsección de informe de las recomendaciones y en la figura 3.19 se muestra el diseño de la subsección de informe con la gráfica generada a partir de filtros que se muestran en la figura 3.20.



Figura 3.18 Sección de recomendaciones - Informe

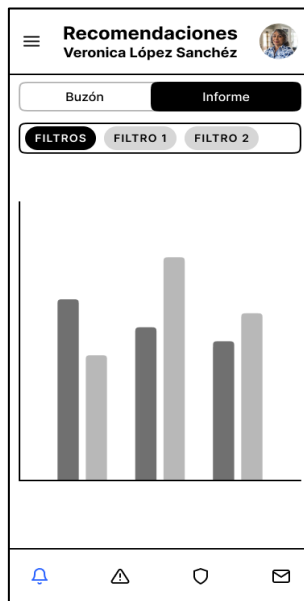


Figura 3.19 Sección de recomendaciones - Informe con gráfica



Figura 3.20 Sección de recomendaciones - Informe con filtros

Notificaciones de un paciente seleccionado

A continuación, se describen las subsecciones de la sección de notificaciones.

- **Subsección de Buzón**

La figura 3.21 contiene el diseño para el buzón de notificaciones, esta tiene una lista de tarjetas con información a detalle de cada una de las notificaciones que se le asignó al paciente. Posteriormente en la imagen 3.22 se muestran una ventana modal que contiene filtros para personalizar la lista.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.21 Sección de notificaciones – Buzón



Figura 3.22 Sección de notificaciones – Buzón con filtros

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- **Subsección de informe**

En la figura 3.23 se diseñó la subsección de informe de las notificaciones y en la figura 3.24 se diseñó el aspecto de la gráfica generada a partir de filtros que se encuentran en interfaz de la figura 3.25.

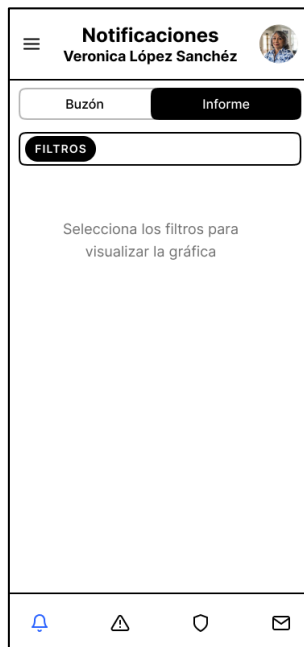


Figura 3.23 Sección de notificaciones – Informe

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

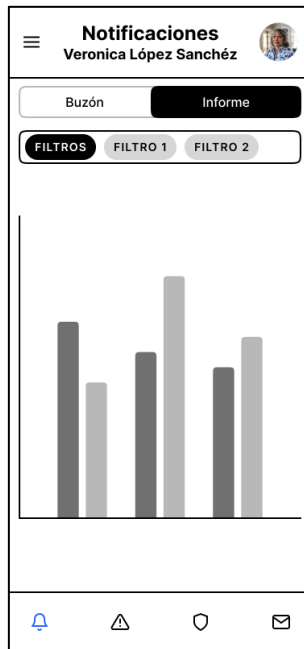


Figura 3.24 Sección de notificaciones – Informe con gráfica desplegada



Figura 3.25 Sección de notificaciones – Informe con filtros

Alertas de un paciente seleccionado

A continuación, se describen las subsecciones de la sección de alertas

- **Subsección de Buzón**

La figura 3.26 contiene el diseño para el buzón de las alertas, se diseñó una lista de tarjetas con información a detalle de cada una de las notificaciones que se le asignó al paciente seleccionado. Posteriormente en la imagen 3.27 se muestran una ventana modal que contiene filtros para personalizar esta lista.



Figura 3.26 Sección de alertas – Buzón



Figura 3.27 Sección de alertas – Buzón con filtros

- **Subsección de informe**

En la figura 3.28 se diseñó la subsección de informe de las alertas y en la figura 3.29 se aprecia el aspecto de la gráfica generada a partir de los filtros que se encuentran en interfaz de la figura 3.30.

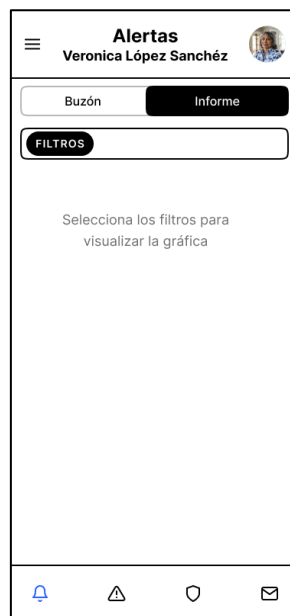


Figura 3.28 Sección de alertas – Informe

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

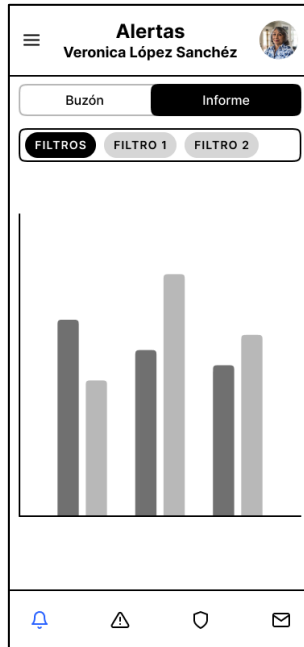


Figura 3.29 Sección de alertas – Informe con gráfica desplegada



Figura 3.30 Sección de alertas – Informe con filtros

Mensajes de un paciente seleccionado

Para la sección de mensajes se diseñó el mismo aspecto de la lista de tarjetas con información, como se encuentra en interfaz de la figura 3.31, para mostrar los mensajes enviados al paciente y en la figura 3.32 se encuentran sus respectivos filtros para personalizar la lista de los mensajes.



Figura 3.31 Sección de mensajes – Buzón

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.32 Sección de mensajes – Buzón con filtros

Datos generales de un paciente seleccionado

Por último, en la figura 3.33 se encuentra el diseño de la ventana modal que contiene la información general del paciente seleccionado.



Figura 3.33 Ventana modal con información del paciente seleccionado

3.2.6 Diseño arquitectónico

La arquitectura de la aplicación se fundamenta en un enfoque de capas para lograr una organización eficiente y modular. En primer lugar, se inicia con la consulta de los datos de los pacientes, con la información de sus evaluaciones se obtienen las variables que miden características de la voz y trazos. Esta información se analiza por el sistema de recomendaciones con el algoritmo de aprendizaje automático, posteriormente se le asigna un tipo de mensaje (recomendación, notificación o alerta) dependiendo de sus resultados, éste se envía mediante la API de Twilio a la aplicación de WhatsApp del cuidador y también se visualiza mediante la aplicación móvil.

La arquitectura de todo el módulo se muestra en la figura 3.34, esta se divide en cuatro capas y a continuación se detallan en qué consiste cada una.

Capa de integración: Esta se encarga de integrar la aplicación con los servicios internos y externos necesarios, como la API de Twilio para enviar mensajes de WhatsApp y mostrar los resultados del algoritmo de inteligencia artificial. Aquí se implementan los controladores o adaptadores que permiten la comunicación entre la capa de servicios y la capa de presentación.

Capa de servicios: Esta se encarga de proporcionar los servicios necesarios para la aplicación, como la lectura de los datos de voz, trazos, la biblioteca de las recomendaciones y la información de los pacientes, almacenados en la base de datos mediante un API para acceder a las demás capas. Además, también se encuentra el procesamiento de estos datos mediante el algoritmo de inteligencia artificial. Aquí se implementan los servicios que realizan las operaciones necesarias para la aplicación.

Capa de acceso a datos: Esta capa se encarga de interactuar con la base de datos donde se almacenan los datos de las pruebas de voz y trazos de los pacientes, así como las recomendaciones que se enviaron y la biblioteca de los mensajes (recomendaciones, notificaciones y alertas). Aquí se implementan los repositorios que permiten la lectura y escritura en la base de datos.

Capa de persistencia: Es responsable de almacenar todos los datos utilizados por las capas superiores de la aplicación, tanto estructurados como no estructurados.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Además, esta capa tiene la capacidad de agregar nuevas fuentes de datos al sistema para su posterior uso.

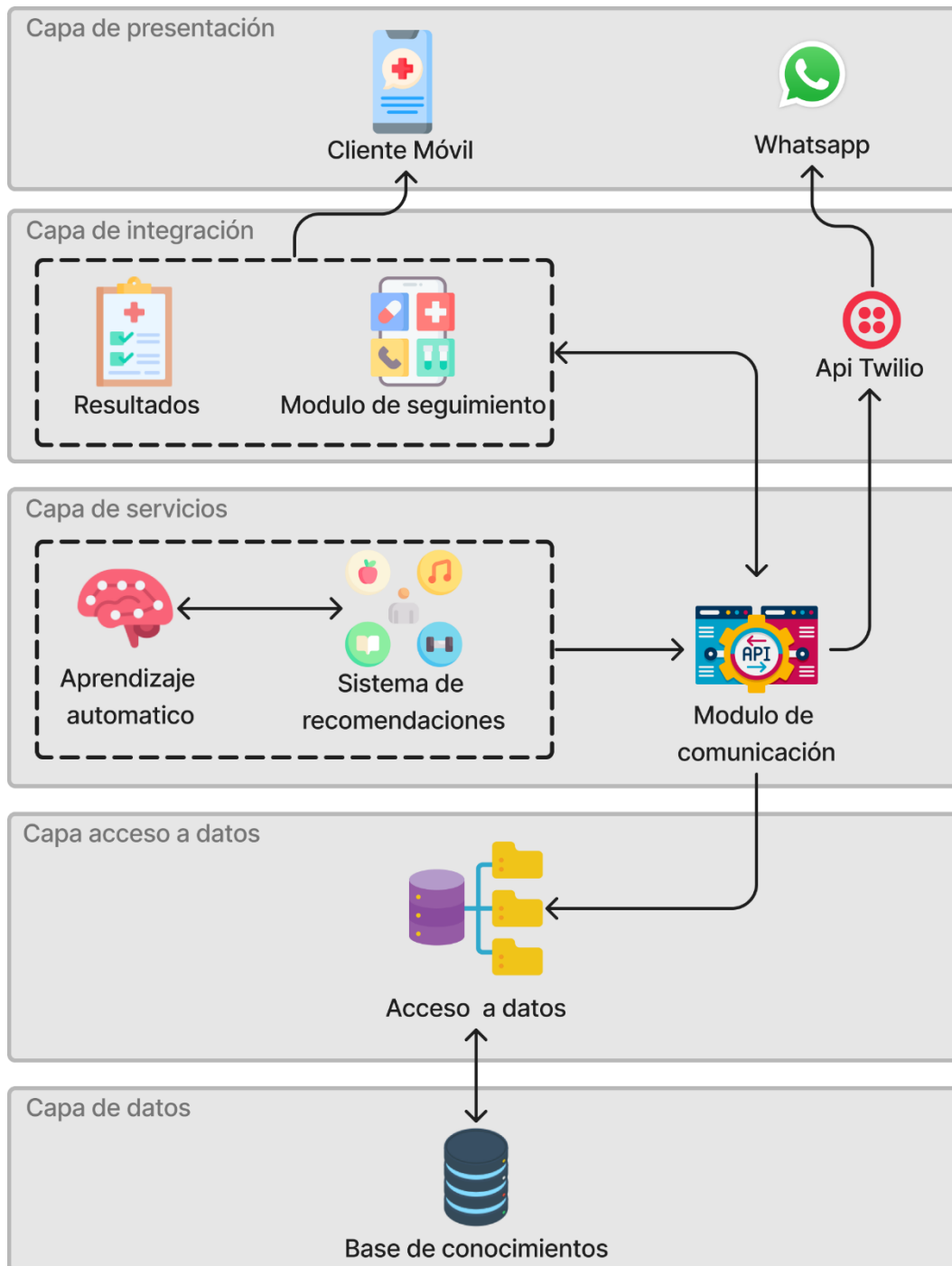


Figura 3.34 Arquitectura preliminar de la aplicación.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

En esta arquitectura, cada capa se diseñó para tener una responsabilidad clara y definida, lo que permite una mejor organización y mantenimiento del código. Además, al seguir una arquitectura en capas, es fácil escalar cada capa de manera independiente en caso de ser necesario, por consecuencia hace que la aplicación sea más flexible y escalable.

3.2.7 Mapa de navegabilidad de la aplicación

Para establecer una perspectiva clara, precisa y a la vez simple, se diseñó el mapa de navegabilidad, este tiene una representación abstracta del flujo a través de las interfaces y diferentes secciones que integran a la aplicación para dispositivos móviles. A continuación, en la figura 3.35 se presenta el flujo navegacional de la aplicación para dispositivos móviles.

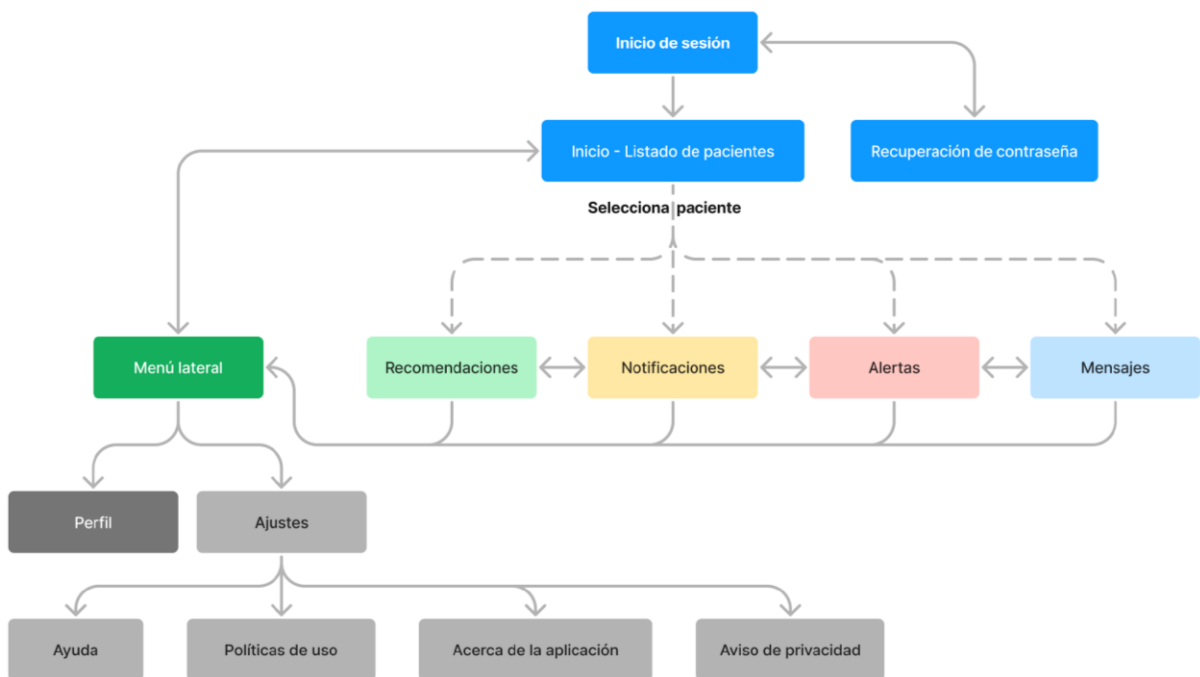


Figura 3.35 Mapa de navegabilidad

Inicio de sesión

Es la primera sección que se muestra al ingresar a la aplicación para dispositivos móviles. Solo es posible acceder a la sección de recuperación de contraseña, para ingresar a las demás secciones ingresar los datos de usuario y contraseña correctos.

- Esta sección proporciona acceso a:

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- Inicio – Listado de pacientes
- Se accede a esta sección desde:
 - Apertura de la aplicación
 - Cerrar Sesión

Recuperación de contraseña

Es la sección para recuperar la contraseña.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Inicio de sesión
- Se accede a esta sección desde:
 - Inicio de sesión

Inicio – Listado de pacientes

Es la primera sección que se muestra al iniciar sesión, aquí se listan los pacientes asignados, agrupados en filtros de estado y género.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Perfil
 - Ajustes
- Seleccionando un paciente se accede a:
 - Recomendaciones
 - Notificaciones
 - Alertas
 - Mensajes
- Se accede a esta sección desde:
 - Inicio de sesión
 - Menú lateral
 - Perfil (regresar)
 - Ajustes (regresar)

Menú lateral

Es una lista de opciones para acceder a varias secciones.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Inicio – Listado de pacientes

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- Perfil del cuidador
- Ajustes
- Cerrar sesión
- Se accede a esta sección desde:
 - Inicio – Listado de pacientes
 - Recomendaciones
 - Notificaciones
 - Alertas
 - Mensajes
 - Perfil del cuidador
 - Ajustes

Perfil

Es una sección para gestionar los datos del cuidador, que incluyen datos personales, generales y la actualización de la contraseña.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Menú lateral
- Se accede a esta sección desde:
 - Menú

Ajustes

Es una sección para acceder a las configuraciones e información de la aplicación.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Notificaciones (permisos de la aplicación para recibir notificaciones)
 - Ayuda
 - Políticas de uso
 - Acerca de la aplicación
 - Aviso de privacidad
- Se accede a esta sección desde:
 - Menú
 - Notificaciones (permisos de la aplicación para recibir notificaciones)
 - Ayuda

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- Políticas de uso
- Acerca de la aplicación
- Aviso de privacidad

Ayuda

Es una sección para ofrecer ayuda e información al usuario cuidador, sobre el uso de la aplicación para dispositivos móviles.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Ajustes (regresando)
- Se accede a esta sección desde:
 - Ajustes

Acerca de la aplicación

Es una sección para ofrecer información al usuario cuidador, sobre la aplicación.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Ajustes (regresando)
- Se accede a esta sección desde:
 - Ajustes

Aviso de privacidad

Es una sección para ofrecer información al usuario cuidador, sobre el aviso de privacidad.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Ajustes (regresando)
- Se accede a esta sección desde:
 - Ajustes

Recomendaciones

Es una sección que muestra las recomendaciones de un paciente seleccionado.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Menú lateral
 - Notificaciones
 - Alertas
 - Mensajes

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- Se accede a esta sección desde:
 - Inicio – Listado de pacientes
 - Notificaciones
 - Alertas
 - Mensajes

Notificaciones

Es una sección que muestra las notificaciones de un paciente seleccionado.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Menú lateral
 - Recomendaciones
 - Alertas
 - Mensajes
- Se accede a esta sección desde:
 - Inicio – Listado de pacientes
 - Recomendaciones
 - Alertas
 - Mensajes

Alertas

Es una sección que muestra las alertas de un paciente seleccionado.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Menú lateral
 - Recomendaciones
 - Notificaciones
 - Mensajes
- Se accede a esta sección desde:
 - Inicio – Listado de pacientes
 - Recomendaciones
 - Notificaciones
 - Mensajes

Mensajes

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Es una sección que muestra los mensajes de un paciente seleccionado.

- Esta sección proporciona acceso a:
 - Menú lateral
 - Recomendaciones
 - Notificaciones
 - Alertas
- Se accede a esta sección desde:
 - Inicio – Listado de pacientes
 - Recomendaciones
 - Notificaciones
 - Alertas

3.3 Desarrollo

3.3.1 Interfaces desarrolladas

Inicio de sesión

Para el control de acceso, se implementó una interfaz de inicio de sesión, en la parte superior se aprecia el logo de la aplicación, debajo se encuentran los campos de acceso; correo y contraseña del cuidador, ambos campos son de tipo alfanumérico. Después de llenar los espacios con información correcta, se activa el botón para ingresar. En el caso de extraviar su contraseña, inmediatamente abajo del botón de ingresar, se encuentra el enlace de “¿Olvido su contraseña?”. La figura 3.36 muestra la representación visual de esta interfaz gráfica.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

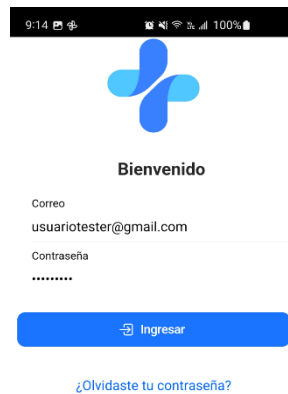


Figura 3.36 Inicio de sesión

Menú principal

El menú está estructurado del lado derecho por; información del usuario cuidador, foto, nombre, ocupación en la parte superior, le siguen los botones para navegar a la interfaz de inicio, perfil, ajustes y para salir de la sesión, la figura 3.37 muestra la representación visual de esta interfaz gráfica.

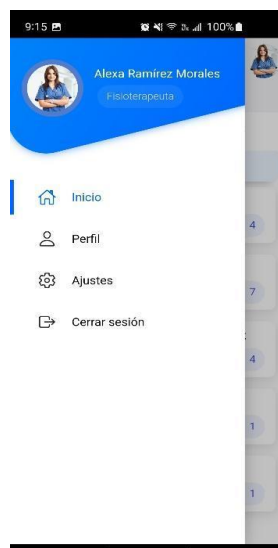


Figura 3.37 Menú principal

Perfil

En la interfaz del perfil se muestran tres subsecciones, datos generales, datos personales y de seguridad. En los datos generales se encuentra información de; nombre, apellido, foto y el botón para actualizar los datos en caso de requerirlo. En los datos personales se visualiza: ciudad, estado y fecha de nacimiento, número de teléfono, género, escolaridad y ocupación. En la subsección de seguridad se muestran los campos para actualizar la contraseña. La interfaz gráfica de esta sección se muestra en la figura 3.38, 3.39 y 3.40 respectivamente.

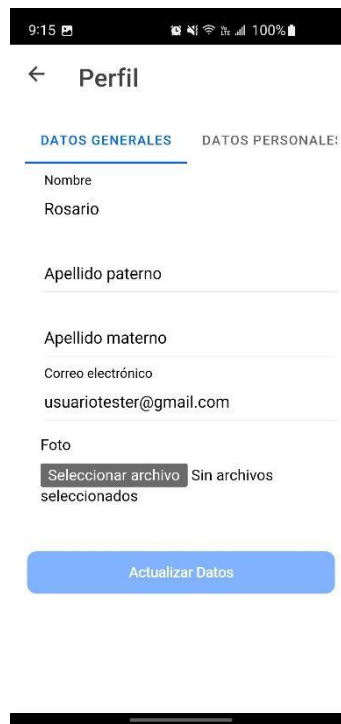
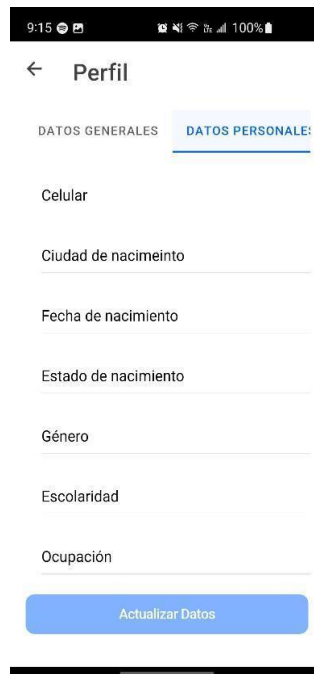


Figura 3.38 Sección del perfil - Subsección de datos generales

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



9:15 9:15 100%

← Perfil

DATOS GENERALES **DATOS PERSONALES**

Celular

Ciudad de nacimiento

Fecha de nacimiento

Estado de nacimiento

Género

Escolaridad

Ocupación

Actualizar Datos

Figura 3.39 Sección del perfil - Subsección de datos personales



9:15 9:15 100%

← Perfil

ES **DATOS PERSONALES** **SEGURIDAD**

Actualizar contraseña

Contraseña actual

Rosario

Nueva contraseña

Repetir nueva contraseña

Actualizar contraseña

Figura 3.40 Sección del perfil - Subsección de seguridad

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Ajustes

La interfaz de ajustes que se muestra en la figura 3.41, cuenta con 4 subsecciones: ayuda, acerca de la aplicación, políticas de uso, aviso de privacidad. Además, contiene el acceso para los permisos de notificación push y la opción de seleccionar el idioma en que se muestra la información de las interfaces.

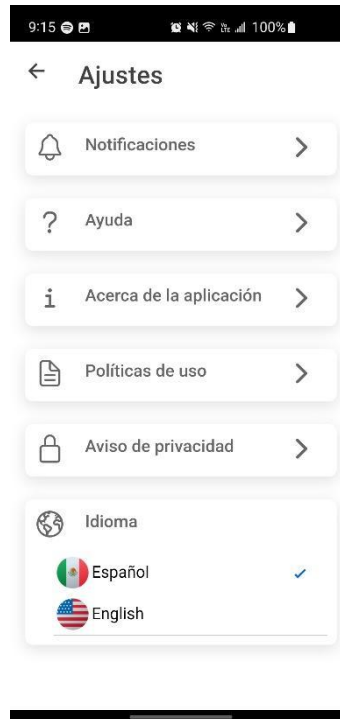


Figura 3.41 Sección de ajustes

Inicio – Listado de pacientes

En esta interfaz que se muestra en la figura 3.42, se visualiza un mensaje de bienvenida personalizado con el nombre del usuario que inició sesión, en la parte superior izquierda la foto de perfil, además de una etiqueta con su ocupación debajo del mensaje de bienvenida.

Cuenta con dos subsecciones en las que se filtran los pacientes que tiene a su cuidado por activos e inactivos en la aplicación. Además de contar con filtrado por género.

Las filas de información del paciente cuentan con una fotografía en el lado derecho, nombre completo y cuatro iconos con el número de eventos registrados.

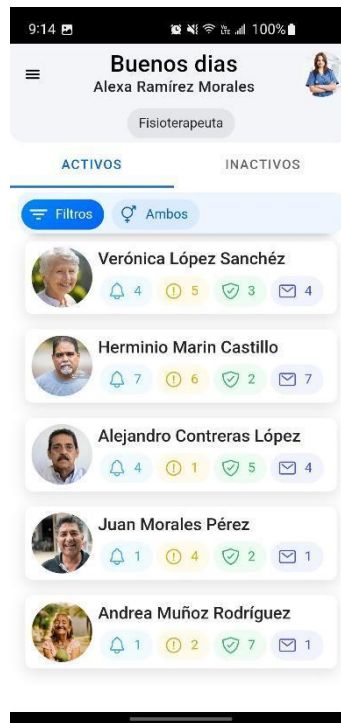


Figura 3.42 Interfaz de inicio – Pacientes activos

Recomendaciones de un paciente seleccionado

- **Subsección de Buzón**

La figura 3.43 contiene el diseño para el buzón de recomendaciones, aquí se encuentran en forma de lista unas tarjetas con información de cada una de las recomendaciones que se asignaron al paciente. Posteriormente en la imagen 3.44 se muestra una ventana modal que contiene filtros para personalizar la lista que se muestra. En la imagen 3.45 se muestra un modal con el título de la recomendación, seguido de la fecha y hora en la que se asignó, su descripción, la etiqueta del tipo de recomendación, el botón para cerrar el modal y un botón para confirmar que lo han visto.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.43 Sección de recomendaciones - Subsección de buzón



Figura 3.44 Sección de recomendaciones - Subsección de buzón con ventana modal de filtros

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.45 Sección de recomendaciones - Subsección de buzón - Detalle de recomendación seleccionada

- **Subsección de informe**

En la imagen 3.46 se aprecia un informe más detallado con diversos filtros que se aplican a la gráfica que contiene la sección.

Para aplicar los filtros se despliega la vista de la imagen 3.47 en la que se dividen los filtros por intervalos de tiempo, tipo de gráfica, y fechas de inicio y fin.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.46 Sección de recomendaciones - Subsección de informe



Figura 3.47 Sección de recomendaciones - Subsección de informe con los filtros de personalización

Notificaciones de un paciente seleccionado

- **Subsección de Buzón**

En esta imagen 3.48 se estructura por el título en la parte superior, seguido de un apartado de filtros que se aplican a la lista del buzón, seguido de las tarjetas informativas, estas cuentan con un título, descripción y etiqueta del tipo de notificación.

Para aplicar los filtros se despliega la vista de la imagen 3.49 en la que se dividen los filtros por categoría, estado y para ordenar la información por orden alfabético.

En la imagen 3.50 se muestra un modal con el título de la notificación, seguido de la fecha y hora de creación, la descripción, etiqueta del tipo de notificación, el botón para cerrar el modal y uno para confirmar que el cuidador vio la información.



Figura 3.48 Sección de notificaciones - Subsección de buzón

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.49 Sección de notificaciones - Subsección de buzón con ventana modal de filtros



Figura 3.50 Sección de notificaciones - Subsección de buzón - Detalle de notificación seleccionada

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

- **Subsección de informe**

En la figura 3.51 se desarrolló la subsección de informe de las recomendaciones, en la figura 3.52 se aprecian los filtros para generar la gráfica.



Figura 3.51 Sección de notificaciones - Subsección de informe



Figura 3.52 Sección de recomendaciones - Subsección de informe con filtros para personalizar

Alertas de un paciente seleccionado

- **Subsección de Buzón**

En la figura 3.53 se encuentra la captura de pantalla de la interfaz desarrollada para la gestión de las alertas asignadas a un paciente, esta cuenta con los mismos elementos para mantener el diseño, la cabecera se encuentra el botón para acceder al menú, el título de la sección y el nombre del paciente seleccionado con su imagen de perfil.

En la figura 3.53 se aprecia específicamente la subsección del buzón y en la figura 3.54 se encuentran los filtros para personalizar la lista de las alertas del buzón, y en la figura 3.55 está la interfaz que muestra el detalle de una alerta seleccionada.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.53 Sección de alertas - Subsección de buzón



Figura 3.54 Sección de alertas - Subsección de buzón con ventana modal de filtros

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.55 Sección de alertas - Subsección de buzón - Detalle de notificación seleccionada

- **Subsección de informe**

En la figura 3.56 se encuentra la subsección del informe de las alertas, la interfaz desarrollada cuenta con sus respectivos filtros y se aprecia la gráfica generada a partir de los filtros seleccionados que se encuentran en la figura 3.57.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología



Figura 3.56 Sección de alertas - Subsección de informe

The screenshot shows the 'Filtros' configuration screen in the 'Alertas' app. It includes the following settings:

- Intervalo de tiempo por:** Días (selected) / Meses
- Tipo de gráfica:** Gráfica de barra (selected) / Gráfica de línea
- Fecha inicial:** 20/08/2022
- Fecha final:** 26/08/2022

A blue button labeled 'Aplicar filtros' is at the bottom.

Figura 3.57 Sección de alertas - Subsección de informe con filtros para personalizar

Mensajes de un paciente seleccionado

En la figura 3.58 se muestra la interfaz desarrollada para gestionar los mensajes recibidos de un paciente determinado, esta cuenta con los mismos elementos de las secciones anteriores para la parte de la cabecera, contiene un botón para acceder al menú principal, el título de la sección con el nombre del paciente seleccionado y la imagen del paciente para acceder a su información.

Para esta sección se desarrolló el mismo aspecto de la lista de tarjetas con información, en la figura 3.59 se muestra la ventana modal que contiene más información de un mensaje seleccionado.

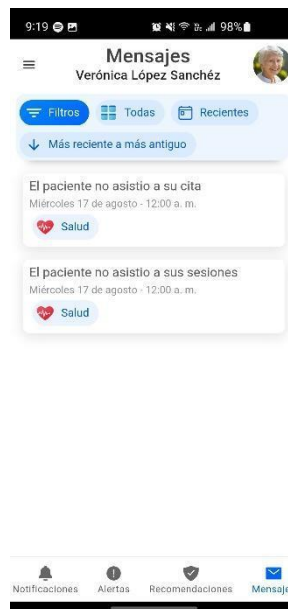


Figura 3.58 Sección de mensajes recibidos



Figura 3.59 Sección de mensajes con ventana modal de filtros

Datos generales de un paciente seleccionado

En la figura 3.60 se encuentra el diseño de una ventana modal con información general del paciente seleccionado para que el cuidador acceda a sus datos de forma práctica. Para acceder a esta ventana se necesita presionar sobre la imagen de perfil del paciente seleccionado. Entonces queda accesible desde las secciones de recomendaciones, notificaciones, alertas y recomendaciones.



Figura 3.60 Ventana modal con los datos del paciente seleccionado

3.3.2 Biblioteca de recomendaciones, notificaciones y alertas

Como parte fundamental del módulo de asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas a pacientes con enfermedad de Parkinson, se realizó una extensa y ardua investigación en múltiples trabajos, artículos, centros especializados, entre otras fuentes, para recopilar mensajes que se asignan a los Pacientes mediante el algoritmo de inteligencia artificial. Se creó una biblioteca de aproximadamente 40 mensajes de los cuales se clasificaron en recomendaciones, notificaciones y alertas. Las recomendaciones se asignan a los pacientes que cuentan con valores en sus variables que no representan riesgo en su estado de salud, las notificaciones cuando representen un valor de riesgo medio y las alertas cuando tengan valores críticos. Además, también se asignó una categoría entre ellas se encuentran: logopedia (mensajes relacionados con terapia del habla), manos y dedos, marcha, entorno (mensajes relacionados con el lugar donde el paciente habita), terapia ocupacional y malos hábitos. La biblioteca de mensajes se muestra en la siguiente tabla 3.18.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Tabla 3.18 Recomendaciones, notificaciones y alertas - Fuente: elaboración propia

Categoría	Título	Tipo	Descripción
Logopedia	Vocalizaciones	Recomendación	Una buena recomendación es hacer ejercicios para mejorar tu pronunciación y vocalización, para mantener una buena comunicación con los demás.
Logopedia	Bocados pequeños	Recomendación	Una recomendación útil es que, al comer, tomes pequeños bocados y mastiques bien antes de tragarlos, hazlo con calma esto te ayuda a disminuir el riesgo de atragantamiento.
Logopedia	Respiración controlada	Recomendación	Una idea útil es realizar ejercicios de respiración controlada para mantener tu capacidad de retener el aire al hablar, ya que la variación en tu frecuencia de voz es normal.
Logopedia	Hidratación	Recomendación	¡Tip importante!, recuerda siempre mantener una buena hidratación para ayudar a prevenir el estreñimiento y otros problemas de salud.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Categoría	Título	Tipo	Descripción
Logopedia	Praxias bucofaciales	Notificación	Le sugerimos seguir practicando los ejercicios de movimiento de los músculos faciales para mantener una buena coordinación al hablar, ya que su frecuencia de voz es normal.
Logopedia	Ejercicios de lectura	Notificación	Te sugerimos practicar la lectura en voz alta para mejorar la claridad de su pronunciación, ya que tiene una leve alteración en la variación de su frecuencia de voz.
Logopedia	Articulación al hablar	Notificación	Tienes un pequeño cambio en tu voz, una recomendación útil es realizar ejercicios para mejorar la movilidad de la boca y tener un mejor control al hablar.
Logopedia	Gimnasia orofacial	Notificación	Te sugerimos hacer ejercicios de gimnasia para la boca, para mejorar la claridad de tus palabras.
Logopedia	Movimiento de boca	Alerta	Te sugerimos hacer más ejercicios que involucren tus labios y lengua para mejorar la claridad de tu voz al hablar.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Categoría	Título	Tipo	Descripción
Logopedia	Respiración controlada nivel 2	Alerta	Para mejorar su forma de hablar, sería bueno que realice más ejercicios para controlar su respiración al hablar.
Logopedia	Movimientos linguales	Alerta	La variación de su frecuencia de voz está un poco alterada, se sugiere aumentar los ejercicios de movimientos linguales.
Logopedia	Dificultad para beber agua	Alerta	Un consejo importante es que, si llegas a presentar temblores en manos o boca y tienes dificultad para llevarte el vaso a la boca, utilices un popote flexible.
Manos y dedos	Coordinación de manos	Recomendación	Te sugerimos seguir practicando ejercicios para mejorar la coordinación de tus manos, ya que tus trazos son claros y legibles.
Manos y dedos	Postura al comer	Recomendación	Un punto a tener en cuenta es que cuando estés comiendo, te asegures de sentarte correctamente con la espalda recta y los pies apoyados en el suelo.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Categoría	Título	Tipo	Descripción
Manos y dedos	Ejercicio de tacto	Recomendación	Sigue haciendo ejercicios para mejorar la sensibilidad y el tacto en tus manos.
Manos y dedos	Estiramiento con banda de resistencia	Recomendación	Tu escritura se ve bien, ¡eso es genial! Para mantener la fuerza y destreza en tus manos, te recomiendo seguir haciendo ejercicios de agarre y fuerza en tus dedos y manos.
Manos y dedos	Motricidad fina con clips	Notificación	Aumenta los ejercicios de motricidad fina, ya que se detectó ligeros niveles de temblor en manos.
Manos y dedos	Clasificación de objetos	Notificación	Aumenta los ejercicios de coordinación mano-ojo ya que sus trazos presentan ligeras irregularidades.
Manos y dedos	Recorte con tijeras	Notificación	Aumenta los ejercicios de habilidad manual ya que sus trazos tienen ligeras irregularidades.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Categoría	Título	Tipo	Descripción
Manos y dedos	Ejercicio de escritura	Notificación	Aumenta tu escritura a mano ya que sus trazos tienen ligeras irregularidades.
Manos y dedos	Cubiertos adaptados	Notificación	Un consejo práctico es que para comer uses cubiertos ligeros y de tamaño adecuado para facilitar el manejo de los mismos.
Manos y dedos	Tip para cepillarse los dientes	Notificación	Si te cuesta cepillarte los dientes debido al temblor, una buena idea es utilizar un cepillo con el mango cubierto de goma espuma.
Manos y dedos	Coordinación Piernas y brazos	-Alerta	Te recomendamos seguir haciendo ejercicios que involucren coordinar tus piernas y brazos. Para mejorar tu coordinación y mantener tu cuerpo en forma. ¡Sigue trabajando en ello!
Manos y dedos	Balancear el cuerpo	Alerta	Si alguna vez te cuesta dar un paso y sientes sensaciones de bloqueo, una buena idea es balancear tu cuerpo para ayudarte a dar el siguiente paso.

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

Categoría	Título	Tipo	Descripción
Manos y dedos	Estímulos visuales	Alerta	Mirar cosas a tu alrededor te ayuda si te quedas atrapado al moverte y tienes dificultades para seguir adelante. ¡Mantén tus ojos abiertos!
Manos y dedos	Estímulos auditivos	Alerta	Escuchar sonidos a tu alrededor te ayuda si te quedas atrapado al moverte y tienes dificultades para seguir adelante. ¡Presta atención a los sonidos que te rodean!
Manos y dedos	Cuenta mental	Alerta	Contar tus pasos en voz alta y a un ritmo constante te ayuda si te quedas atrapado al moverte y tienes dificultades para avanzar.

3.3.3 Reglas de asignación relacionadas con la voz

Se establecieron reglas de asignación como un elemento esencial en el módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con enfermedad de Parkinson, con el objetivo de garantizar su correcto funcionamiento. Es por ello que se utilizaron las variables que anteriormente se seleccionaron y se realizó un análisis el cual se aprecia en la tabla 3.19 se encuentra una tabla que describe lo siguiente:

count: número de elementos no nulos

mean: media de los elementos

std: desviación estándar de los elementos

min: valor mínimo

25%: percentil 25%

50%: percentil 50% (mediana)

75%: percentil 75%

max: valor máximo

Tabla 3.19 Descripción de variables seleccionadas

	MDVP:Fo(Hz)	MDVP:Flo(Hz)	PPE	SPREAD1
Count	195	195	195	195
Mean	154.228641	116.324631	0.206552	-5.684397
Std	41.390065	43.521413	0.090119	1.090208
Min	88.333000	65.476000	0.044539	-7.964984
25%	117.572000	84.291000	0.137451	-6.450096
50%	148.790000	104.315000	0.194052	-5.720868
75%	182.769000	140.018500	0.252980	-5.046192
Max	260.105000	239.170000	0.527367	-2.434031

Árbol de decisión

Para establecer las reglas de asignación se realizó una limpieza al conjunto de datos para el entrenamiento del algoritmo y solo se trabajó con las 4 variables que tienen mayor peso para la predicción de la variable de clase.

El algoritmo que se utilizó es un árbol de decisión, este es una colección similar a un árbol de nodos destinados a crear una decisión sobre la afiliación de valores a una clase o una estimación de un valor objetivo numérico. Cada nodo representa una regla de división para un atributo específico. Para la clasificación esta regla separa valores pertenecientes a diferentes clases, para la regresión los separa con el fin de reducir el error de forma óptima para el criterio del parámetro seleccionado.

Para la creación del árbol de decisión se eligió el lenguaje de programación Python, por la versatilidad que ofrece, ya que es muy utilizado en el campo de la ciencia de datos y el aprendizaje automático debido a su sintaxis intuitiva, además cuenta con una amplia biblioteca y herramientas, asimismo cuenta con una capacidad para trabajar con grandes conjuntos de datos.

En el código que se muestra en la figura 3.61, se cargó un archivo CSV de entrenamiento utilizando la biblioteca Pandas. Posterior a eso, se prepararon los datos de entrenamiento dividiendo la variable objetivo del resto de características. Se estableció un nombre de archivo para el modelo y se comprobó si existía. Si no existía, se entrenó un árbol de decisión utilizando la biblioteca scikit-learn con un máximo de

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

profundidad de 6 y un número mínimo de hojas de 1. Luego, se guardó el modelo en el archivo especificado. Si el archivo ya existía, el modelo se cargó desde el archivo. Y en penúltima instancia, se cargó un archivo CSV de prueba, se prepararon los datos de prueba y se utilizaron para hacer predicciones utilizando el modelo entrenado anteriormente. Finalmente, se evaluó el modelo utilizando la métrica de exactitud y se generó una representación de texto del árbol de decisión generado.

```
1 # Leer el archivo CSV de entrenamiento
2 data = pd.read_csv("training-2.csv")
3
4 # preparar los datos
5 X = data.drop('status', axis=1)
6 y = data['status']
7
8 # nombre del archivo donde se guardará el modelo
9 filename = 'tree-2.joblib'
10
11 # si el archivo no existe, entrenar el árbol de decisión y guardarlo
12 if not os.path.isfile(filename):
13     dtc = DecisionTreeClassifier(max_depth=6, min_samples_leaf=1)
14     dtc.fit(X, y)
15     dump(dtc, filename)
16
17 # cargar el árbol de decisión desde el archivo
18 dtc = load('tree.joblib')
19
20
21 # Leer el archivo CSV de prueba
22 test_data = pd.read_csv("test-2.csv")
23
24 # preparar los datos de prueba
25 X_test = test_data.drop('status', axis=1)
26 y_test = test_data['status']
27
28 # predecir los valores de la prueba
29 y_pred = dtc.predict(X_test)
30
31 # evaluar el modelo
32 print("Exactitud:", metrics.accuracy_score(y_test, y_pred))
```

Figura 3.61 Código fuente de Árbol de decisión

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

El resultado del árbol generado se muestra en la figura 3.61 de forma gráfica, en esta se aprecia la construcción de los nodos, y a la vez se aprecian las reglas generadas para la toma de decisiones de la variable de clase.

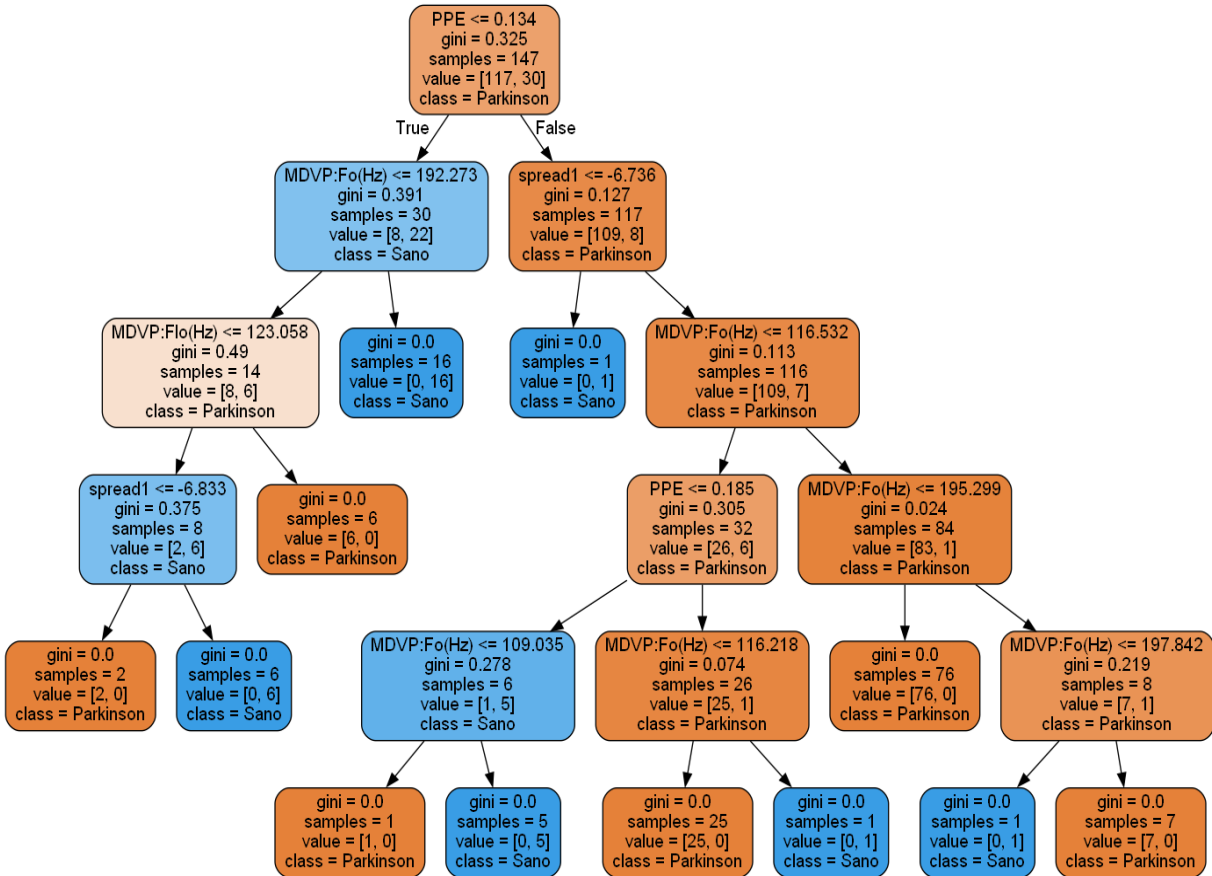


Figura 3.62 Árbol de decisión

Posterior a la generación del árbol de decisión se realizó un análisis para determinar las reglas que se asignarían a cada tipo de mensaje, en la tabla 3.20 se encuentran las reglas asignadas para cada mensaje que se determinó en la biblioteca de la categoría de logopedia.

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas

Tabla 3.20 Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas relacionadas con voz

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Reglas para recomendaciones		
Regla R1	Condición	"prom_res_eval >= 1 and prom_res_eval <= 8"
	Tipo de mensaje	Recomendación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: " ● Coordinación de manos"</p> <p>Descripción: " ● Te sugerimos seguir practicando ejercicios para mejorar la coordinación de tus manos, ya que tus trazos son claros y legibles."</p>
Regla R2	Condición	"PPE > 0.133993498980999", "spread1 <= -6.736269950866699"
	Tipo de mensaje	Recomendación
	Parámetros	<p>ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental</p> <p>mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima</p>
	Mensaje asignado	<p>Título: " ● Bocados pequeños"</p> <p>Descripción: " ● Una recomendación útil es que, al comer, tomes pequeños bocados y mastiques bien antes de tragarlos, hazlo con calma esto te ayuda a disminuir el riesgo de atragantamiento."</p>

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R3	Condición	"PPE <= 0.133993498980999", "MDVP:Fo(Hz) <= 192.2729949951172", "MDVP:Flo(Hz) <= 123.05800247192383", "spread1 > -6.832795143127441"
	Tipo de mensaje	Recomendación
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:flo = Frecuencia fundamental vocal promedio
	Mensaje asignado	Título: " ● Respiración controlada" Descripción: " ● Una idea útil es realizar ejercicios de respiración controlada para mantener tu capacidad de retener el aire al hablar, ya que la variación en tu frecuencia de voz es normal."
Regla R4	Condición	PPE > 0.133993498980999", "spread1 > -6.736269950866699", "MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133", "PPE <= 0.1845259964466095", "MDVP:Fo(Hz) > 109.0354995727539"
	Tipo de mensaje	Recomendación
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:flo = Frecuencia fundamental vocal promedio
	Mensaje asignado	Título: " ● Vocalizaciones" Descripción: " ● Una buena recomendación es hacer ejercicios para mejorar tu pronunciación y

		vocalización, para mantener una buena comunicación con los demás.”
Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Reglas para notificaciones		
Regla R5	Condición	"PPE > 0.133993498980999", "spread1 > -6.736269950866699", "MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133", "PPE > 0.1845259964466095", "MDVP:Fo(Hz) > 116.21800231933594"
	Tipo de mensaje	Notificación
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal promedio
	Mensaje asignado	Título: “ ● Praxias bucofaciales” Descripción: “ ● Le sugerimos seguir practicando los ejercicios de movimiento de los músculos faciales para mantener una buena coordinación al hablar, ya que su frecuencia de voz es normal.”
Regla R6	Condición	"PPE > 0.133993498980999", "spread1 > -6.736269950866699", "MDVP:Fo(Hz) > 116.53200149536133", "MDVP:Fo(Hz) > 195.29949951171875", "MDVP:Fo(Hz) <= 197.84249877929688"
	Tipo de mensaje	Notificación
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal promedio

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

	Mensaje asignado	<p>Título: “ 🟡 Gimnasia orofacial”</p> <p>Descripción: “ 🟡 Te sugerimos hacer ejercicios de gimnasia para la boca, para a mejorar la claridad de tus palabras.”</p>
Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R7	Condición	<p>"PPE > 0.133993498980999",</p> <p>"spread1 > -6.736269950866699",</p> <p>"MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133",</p> <p>"PPE > 0.1845259964466095",</p> <p>"MDVP:Fo(Hz) <= 116.21800231933594"</p>
	Tipo de mensaje	Notificación
	Parámetros	<p>ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental</p> <p>mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima</p> <p>mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal promedio</p> <p>spread1= Medida lineal de variación de frecuencia fundamental</p>
	Mensaje asignado	<p>Título: “ 🟡 Articulación al hablar”</p> <p>Descripción: “ 🟡 Tiene un pequeño cambio en tu voz, una recomendación útil es realizar ejercicios para mejorar la movilidad de la boca y tener un mejor control al hablar.”</p>

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R8	Condición	"PPE > 0.133993498980999", "spread1" > -6.736269950866699", "MDVP:Fo(Hz) > 116.53200149536133", "MDVP:Fo(Hz) > 195.29949951171875", "MDVP:Fo(Hz) > 197.84249877929688"
	Tipo de mensaje	Notificación
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:flo = Frecuencia fundamental vocal promedio spread1 = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental
	Mensaje asignado	Título: " ● Ejercicios de lectura" Descripción: " ● Le sugerimos practicar la lectura en voz alta para mejorar la claridad de su pronunciación, ya que tiene una leve alteración en la variación de su frecuencia de voz."
Reglas para alertas		
Regla R9	Condición	"PPE <= 0.133993498980999", "MDVP:Fo(Hz) <= 192.2729949951172", "MDVP:Flo(Hz) > 123.05800247192383"
	Tipo de mensaje	Alerta
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima
	Mensaje asignado	Título: " ● Movimientos linguales"

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

		Descripción: “ ● La variación de su frecuencia de voz está un poco alterada, se sugiere aumentar los ejercicios de movimientos linguales.”
Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R10	Condición	"PPE <= 0.133993498980999", "MDVP:Fo(Hz) <= 192.2729949951172", "MDVP:Flo(Hz) <= 123.05800247192383", "spread1 <= -6.832795143127441"
	Tipo de mensaje	Alerta
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:flo = Frecuencia fundamental vocal promedio
	Mensaje asignado	Título: “ ● Movimiento de boca” Descripción: “ ● Te sugerimos hacer más ejercicios que involucren tus labios y lengua para mejorar la claridad de tu voz al hablar.”
Regla R11	Condición	"PPE > 0.133993498980999", "spread1 > -6.736269950866699", "MDVP:Fo(Hz) > 116.53200149536133", "MDVP:Fo(Hz) <= 195.29949951171875"
	Tipo de mensaje	Alerta
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:flo = Frecuencia fundamental vocal promedio
	Mensaje asignado	Título: “ ● Respiración controlada nivel 2”

Capítulo 3. Aplicación de la metodología

		Descripción: “● Para mejorar su forma de hablar, sería bueno que realice más ejercicios para controlar su respiración al hablar.”
Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R12	Condición	"PPE > 0.133993498980999", "spread1 > -6.736269950866699", "MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133", "PPE <= 0.1845259964466095", "MDVP:Fo(Hz) <= 109.0354995727539"
	Tipo de mensaje	Alerta
	Parámetros	ppe = Medida lineal de variación de frecuencia fundamental mdvp:fo = Frecuencia fundamental vocal mínima mdvp:flo = Frecuencia fundamental vocal promedio
	Mensaje asignado	Título: “● Dificultad para beber agua” Descripción: “● Un consejo importante es que, si llegas a presentar temblores en manos o boca y tienes dificultad para llevarte el vaso a la boca, utilices un popote flexible.”

Pruebas de asignación de mensajes

Se desarrolló un módulo de pruebas para evaluar las reglas de asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas, consta de un tablero con controles mediante los cuales se asignan valores a las variables para comprobar que los mensajes sean asignados de forma correcta de acuerdo con el árbol de decisión. Algunos de los resultados se aprecian en las imágenes 3.63, 3.64 y 3.65.

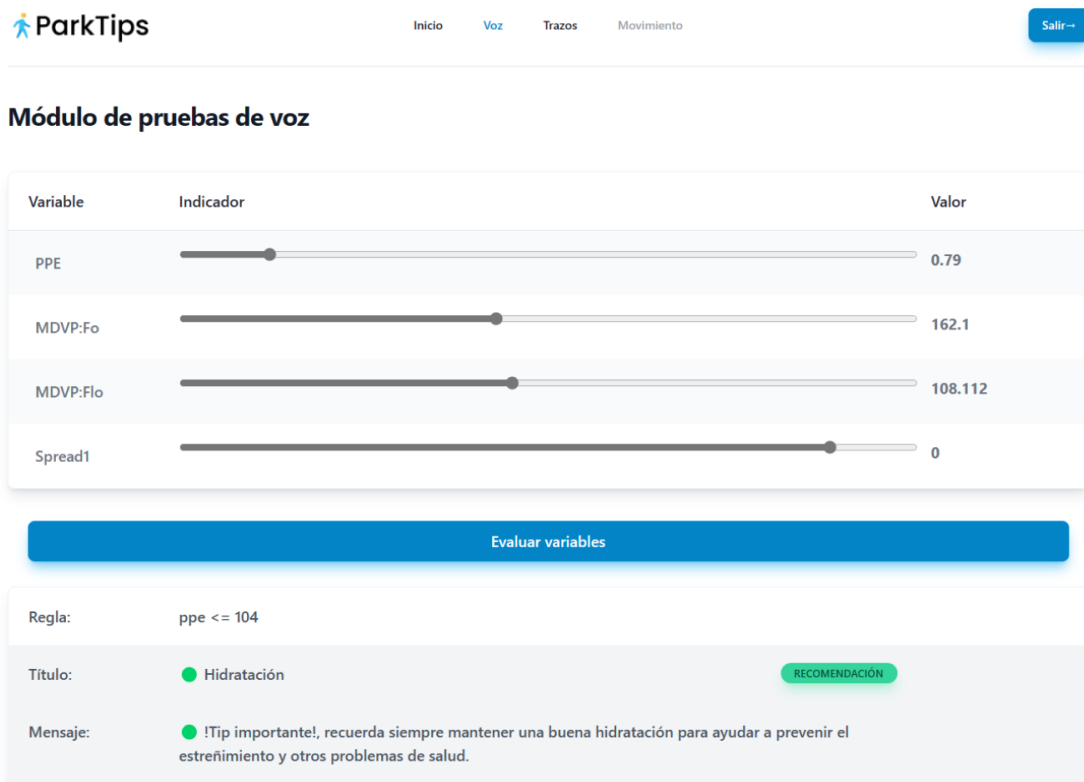


Figura 3.63 Panel de pruebas de voz – Ejecución de evaluación recomendación

ParkTips Inicio Voz Trazos Movimiento Salir

Módulo de pruebas de voz

Variable	Indicador	Valor
PPE		0.113
MDVP:Fo		136.089
MDVP:Flo		115.105
Spread1		0

Evaluar variables

Regla: `ppe > 104 && ppe <= 117 && mdvpFo <= 229.780 && mdvpFlo <= 125.970`

Título: ● Praxias bucofaciales **NOTIFICACIÓN**

Mensaje: ● Le sugerimos seguir practicando los ejercicios de movimiento de los músculos faciales para mantener una buena coordinación al hablar, ya que su frecuencia de voz es normal.

Figura 3.64 Panel de pruebas de voz – Ejecución de evaluación notificación

ParkTips Inicio Voz Trazos Movimiento Salir

Módulo de pruebas de voz

Variable	Indicador	Valor
PPE		0.150
MDVP:Fo		162.1
MDVP:Flo		108.112
Spread1		0

Evaluar variables

Regla: $ppe > 134 \ \&\& \ ppe \leq 216 \ \&\& \ mdvpFo \leq 206.161 \ \&\& \ mdvpFo > 117.548 \ \&\& \ mdvpFlo \leq 124.940$

Título: ● Dificultad para beber agua **ALERTA**

Mensaje: ● Una idea que puede ayudarte es que si llegas a presentar temblores en manos o boca y tienes dificultad para llevarte el vaso a la boca, utilices un popote flexible.

Figura 3.65 Panel de pruebas de voz – Ejecución de evaluación alerta

3.3.4 Reglas de asignación relacionadas con los trazos

Se establecieron reglas de asignación como un elemento esencial en el módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con enfermedad de Parkinson, con el objetivo de garantizar su correcto funcionamiento. Es por ello que se utilizó las variables que anteriormente se seleccionaron y se realizó un análisis donde se estableció que se utilizaría únicamente la variable que promedia el resultado de las dos evaluaciones (ondas y espirales), para reducir la probabilidad sesgos de los resultados. Entonces se establecieron las siguientes reglas sobre la variable “prom_res_eval”.

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas

Las reglas definidas para la asignación de mensajes relacionados con los trazos se encuentran en la tabla 3. 21.

Tabla 3.21 Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas relacionadas con trazos

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Reglas para recomendaciones		
Regla R1	Condición	“prom_res_eval >= 1 and prom_res_eval <= 8”
	Tipo	Recomendación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: “ ● Coordinación de manos”</p> <p>Descripción: “ ● Te sugerimos seguir practicando ejercicios para mejorar la coordinación de tus manos, ya que tus trazos son claros y legibles.”</p>

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R2	Condición	"prom_res_eval >= 9 and prom_res_eval <= 16"
	Tipo	Recomendación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: " ● Postura al comer"</p> <p>Descripción: " ● Un punto a tener en cuenta es que cuando estés comiendo, te asegures de sentarte correctamente con la espalda recta y los pies apoyados en el suelo."</p>
Regla R3	Condición	"prom_res_eval >= 17 and prom_res_eval <= 23"
	Tipo	Recomendación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: " ● Ejercicio de tacto"</p> <p>Descripción: " ● Sigue haciendo ejercicios para mejorar la sensibilidad y el tacto en tus manos."</p>
Regla R4	Condición	" prom_res_eval >= 24 and prom_res_eval <= 32"
	Tipo	Recomendación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: " ● Estiramiento con banda de resistencia"</p> <p>Descripción: " ● Tu escritura se ve bien, ¡eso es genial! Para mantener la fuerza y destreza en tus manos, te recomiendo seguir haciendo ejercicios de agarre y fuerza en tus dedos y manos."</p>

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Reglas para notificaciones		
Regla R5	Condición	"prom_res_eval >= 33 and prom_res_eval <= 39"
	Tipo	Notificación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	Título: " ● Motricidad fina con clips" Descripción: " ● Aumenta los ejercicios de motricidad fina, ya que se detectó ligeros niveles de temblor en manos."
Regla R6	Condición	"prom_res_eval >= 40 and prom_res_eval <= 46"
	Tipo	Notificación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	Título: " ● Clasificación de objetos" Descripción: " ● Aumenta los ejercicios de coordinación mano-ojo ya que sus trazos presentan ligeras irregularidades."
Regla R7	Condición	"prom_res_eval >= 47 and prom_res_eval <= 53"
	Tipo	Notificación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	Título: " ● Recorte con tijeras" Descripción: " ● Aumenta los ejercicios de habilidad manual ya que sus trazos tienen ligeras irregularidades."

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R8	Condición	"prom_res_eval >= 54 and prom_res_eval <= 60"
	Tipo	Notificación
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	Título: "● Ejercicio de escritura" Descripción: "● Aumenta tu escritura a mano ya que sus trazos tienen ligeras irregularidades."
Reglas para alertas		
Regla R9	Condición	"prom_res_eval >= 61 and prom_res_eval <= 67"
	Tipo	Alerta
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	Título: "● Cubiertos adaptados" Descripción: "● Un consejo práctico es que para comer uses cubiertos ligeros y de tamaño adecuado para facilitar el manejo de los mismos."
Regla R10	Condición	"prom_res_eval >= 68 and prom_res_eval <= 74"
	Tipo	Alerta
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	Título: "● Tip para cepillarse los dientes" Descripción: "● Si te cuesta cepillarte los dientes debido al temblor, una buena idea es utilizar un cepillo con el mango cubierto de goma espuma."

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R11	Condición	"prom_res_eval >= 75 and prom_res_eval <= 88"
	Tipo	Alerta
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: “ ● Coordinación - Piernas y brazos”</p> <p>Descripción: “ ● Te recomendamos seguir haciendo ejercicios que involucren coordinar tus piernas y brazos. Para mejorar tu coordinación y mantener tu cuerpo en forma. ¡Sigue trabajando en ello!”</p>
Regla R12	Condición	"prom_res_eval >= 89 and prom_res_eval <= 91"
	Tipo	Alerta
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: “ ● Balancear el cuerpo”</p> <p>Descripción: “ ● Si alguna vez te cuesta dar un paso y sientes sensaciones de bloqueo, una buena idea es balancear tu cuerpo para ayudarte a dar el siguiente paso.”</p>
Regla R13	Condición	"prom_res_eval >= 92 and prom_res_eval <= 94"
	Tipo	Alerta
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: “ ● Estímulos visuales”</p> <p>Descripción: “ ● Mirar cosas a tu alrededor te ayuda si te quedas atrapado al moverte y tienes dificultades para seguir adelante. ¡Mantén tus ojos abiertos!”</p>

Reglas para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas		
Regla R14	Condición	"prom_res_eval >= 95 and prom_res_eval <= 97"
	Tipo	Alerta
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: “ ● Estímulos auditivos”</p> <p>Descripción: “ ● Escuchar sonidos a tu alrededor te ayuda si te quedas atrapado al moverte y tienes dificultades para seguir adelante. ¡Presta atención a los sonidos que te rodean!”</p>
Regla R15	Condición	"prom_res_eval >= 98 and prom_res_eval <= 100"
	Tipo	Alerta
	Parámetros	prom_res_eval = Resultado de la evaluación de trazo
	Mensaje asignado	<p>Título: “ ● Cuenta mental”</p> <p>Descripción: “ ● Contar tus pasos en voz alta y a un ritmo constante te ayuda si te quedas atrapado al moverte y tienes dificultades para avanzar.”</p>

Pruebas de asignación de mensajes

Se desarrolló un módulo de pruebas para evaluar las reglas de asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas, consta de un tablero con controles mediante los cuales se asignan valores a las variables para comprobar que los mensajes se asignaron de forma correcta de acuerdo con las reglas establecidas. En el tablero se establecieron dos controles de las variables que corresponden al resultado de las evaluaciones de trazos de ondas y espirales. El valor de la variable promedio se calcula de forma automática. Algunos de los resultados se aprecian en las figuras 3.66, 3.67 y 3.68.

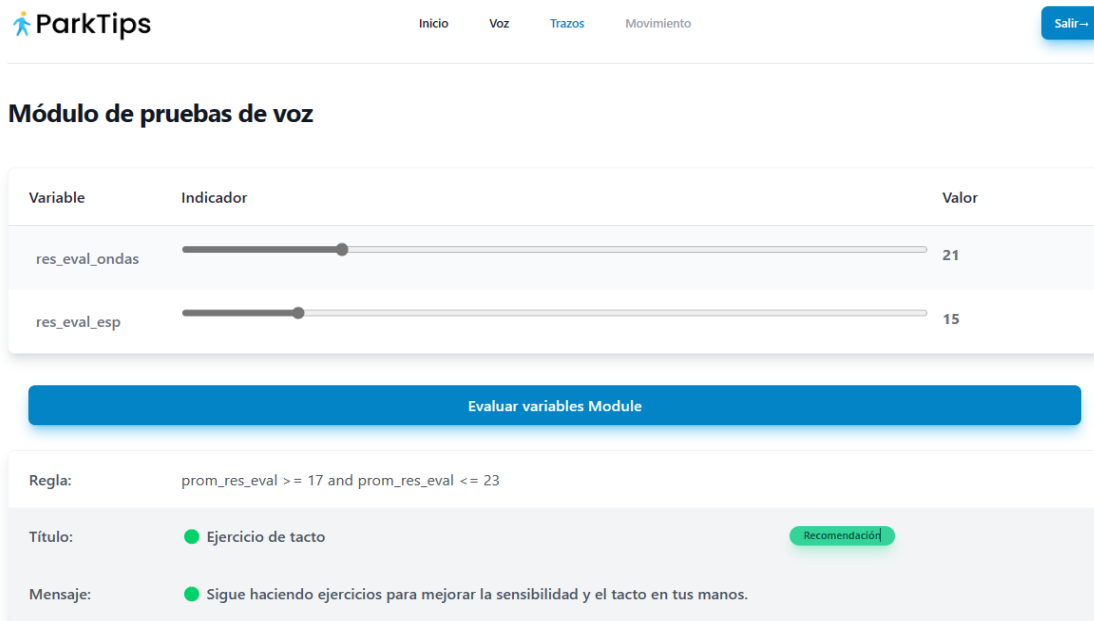


Figura 3.66 Panel de pruebas de trazos – Ejecución de evaluación recomendación

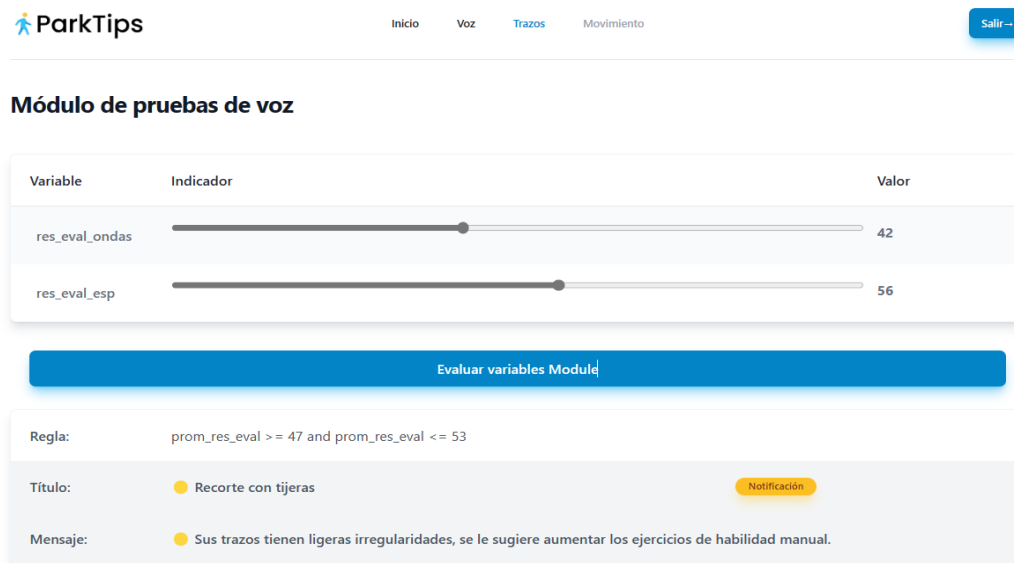


Figura 3.67 Panel de pruebas de trazos – Ejecución de evaluación notificación

The screenshot shows the ParkTips application interface. At the top, there is a navigation bar with the ParkTips logo and menu items: Inicio, Voz, Trazos, and Movimiento. A 'Salir--' button is located in the top right corner. Below the navigation bar, the section is titled 'Módulo de pruebas de voz'. It contains a table with two rows of variables and their values, each with a corresponding progress indicator.

Variable	Indicador	Valor
res_eval_ondas		81
res_eval_esp		87

Below the table is a blue button labeled 'Evaluar variables Módulo'. Underneath this button, there is a section for an alert. It includes a rule: 'prom_res_eval >= 75 and prom_res_eval <= 88'. The title is 'Coordinación - Piernas y brazos' with a red dot icon and a red 'Alerta' label. The message reads: 'Te recomendamos seguir haciendo ejercicios que involucren coordinar tus piernas y brazos. Esto te ayudará a mejorar tu coordinación y mantener tu cuerpo en forma. ¡Sigue trabajando en ello!'.

Figura 3.68 Panel de pruebas de trazos – Ejecución de evaluación alerta

Capítulo 4. Resultados

En el presente capítulo, se detallan los casos de investigación realizados para validar la solución planteada en este proyecto. Estos casos se centraron en la evaluación del rendimiento y funcionamiento del módulo diseñado para proporcionar recomendaciones, notificaciones y alertas a pacientes con Parkinson para ayudarles a controlar las afecciones causadas por los síntomas y mejorar su calidad de vida.

4.1 Caso de estudio mediante voz: asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas a pacientes con enfermedad de Parkinson

En el presente apartado se presenta un caso de estudio para validar el módulo y consolidarlo como una aplicación para dispositivos móviles que ayude a asignar recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson con el fin de controlar los síntomas de sus afecciones. Además, se implementan recomendaciones médicas elaboradas por expertos en el tema, extraídas de múltiples artículos y organizaciones. A continuación, se explica el contexto del caso de estudio:

- El paciente es un hombre de 60 años, el cual cuenta con una lista de notificaciones y alertas que se asignaron a lo largo de un periodo de un mes aproximadamente, los resultados se encuentran disponibles en la aplicación para dispositivos móviles.

La representación gráfica del escenario y la secuencia de acciones realizadas durante el período de un mes para la monitorización del paciente se presenta en la figura 4.1. En esta se aprecia la extracción de información por medio de un módulo que no pertenece a este proyecto, pero al que se integra para trabajar en conjunto, su responsabilidad o tarea es extraer información mediante grabaciones de voz y procesar los datos para ingresar a la base de datos los registros de las pruebas de los pacientes. El módulo desarrollado en este proyecto parte de la consulta de información a la base de datos mediante servicios web, posteriormente los datos son enviados al sistema de recomendaciones para asignar una recomendación, notificación o alerta y

Capítulo 4. Resultados

la información es devuelta al servicio web para que este envíe los resultados a la aplicación para dispositivos móviles y a WhatsApp. Cabe mencionar que las evaluaciones son ejecutadas por los módulos de evaluación ya que se pretende que se ejecute cada vez que se tengan resultados de las evaluaciones de voz, es por ello que se dejó preparado un *EndPoint* para solicitar la asignación de recomendación, notificación o alerta.

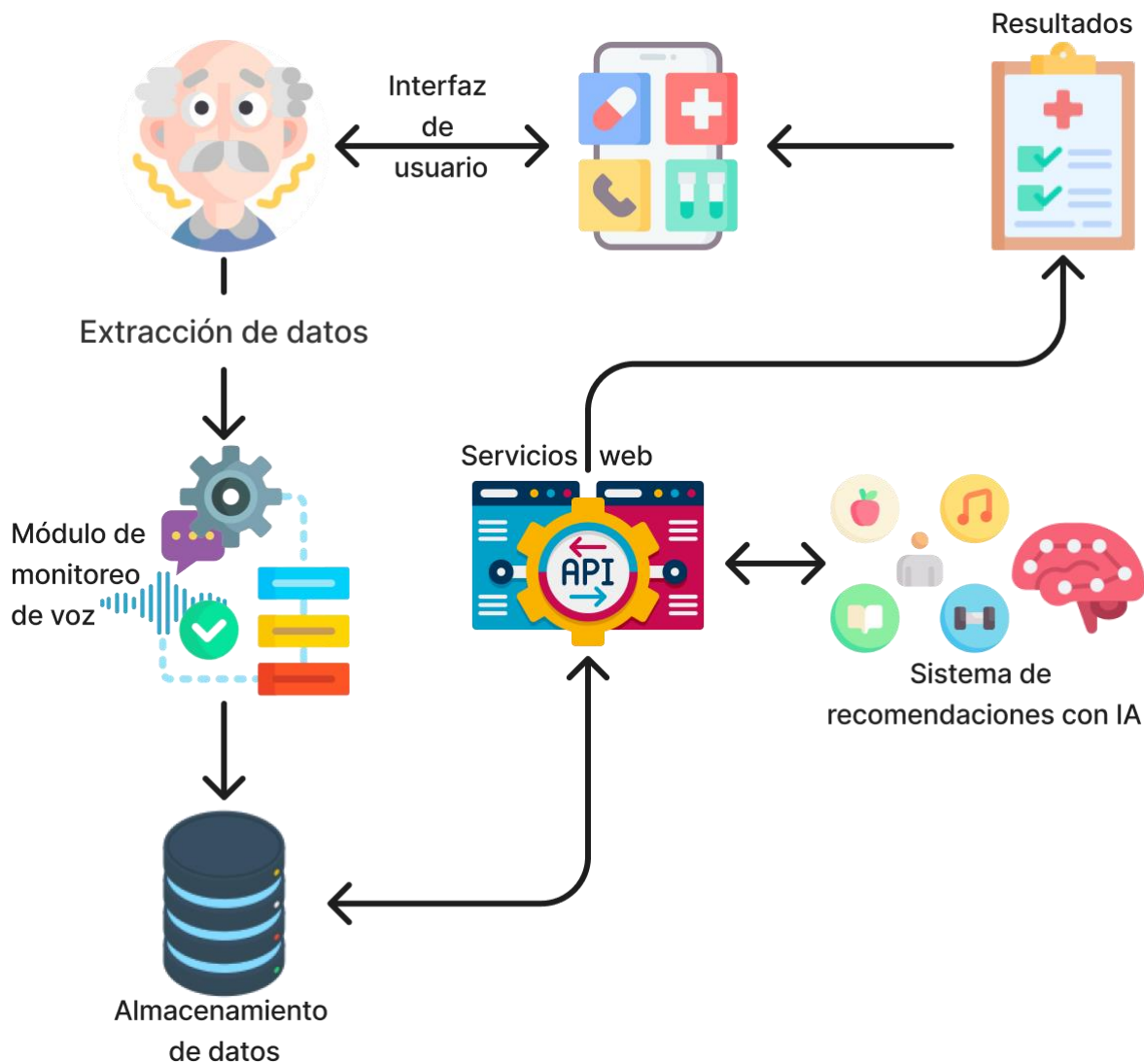


Figura 4.1 Escenario de asignación de mensajes mediante el módulo – Voz

Capítulo 4. Resultados

4.1.1 Datos iniciales

Se requirió al usuario que hiciera pruebas de voz durante un mes (del 07 de febrero al 07 de marzo del 2023), llevando sus registros a través del módulo de monitorización. Durante esta fase, se recopilaron datos precisos relacionados a sus variables biomédicas de la voz y de esta forma cuantificar el avance de su enfermedad.

Las pruebas se realizaban dos veces por semana, al final se obtuvieron 9 registros. El primer registro que se obtuvo mostró valores normales, posteriormente se obtuvieron cuatro registros continuos que dieron como resultado notificaciones que fueron asignadas al paciente. Las dos semanas restantes los registros indicaron que el estado del paciente comenzó a ser grave ya que el valor de las variables contenía valores críticos, por lo tanto, el módulo asignó cuatro alertas al paciente.

Los registros se muestran en la tabla 4.1 que se muestra a continuación:

Tabla 4.1 Registros de caso de estudio de voz

Id registro	Fecha	Variables biomédicas de la voz			
		ppe	mdvp:fo	mdvp:flo	spread1
1	07/02/23	116.128	109.714	0.184149	-5.814103
2	10/02/23	116.329	96.871	0.213986	-5.596154
3	14/02/23	197.184	174.598	0.45641	-2.826923
4	17/02/23	116.128	110.379	0.412587	-3.737179
5	21/02/23	204.644	89.341	0.231702	-5.275641
6	24/02/23	128.024	122.115	0.119814	-7.057692
7	28/02/23	186.094	177.698	0.131002	-6.647436
8	03/03/23	107.256	104.621	0.163636	-6.160256
9	07/03/23	116.733	111.707	0.334266	-4.480769

Capítulo 4. Resultados

4.1.2 Análisis de datos

Después de obtener los datos mediante la API-REST, se realizó un análisis de las variables biomédicas que están directamente vinculadas a la monitorización de la enfermedad de Parkinson. Se tuvieron en cuenta los principales factores de riesgo que ayudan a predecir esta enfermedad utilizando un algoritmo de Aprendizaje Automático, específicamente el árbol de decisión seleccionado anteriormente para generar recomendaciones, notificaciones y alertas.

4.1.3 Clasificación automática de datos

Según los datos biomédicos del paciente mencionados en la sección 4.1.1 y las reglas establecidas en la sección 3.3.3, se generaron las siguientes recomendaciones, notificaciones y alertas. Como primera instancia, la clasificación de los mensajes se realizó mediante el análisis de las variables y el árbol de decisión, se aplicaron las reglas diseñadas para la detección Parkinson mediante voz descritas en el Capítulo 3 en la sección de 3.1.3.


Tabla 4.2 Reglas aplicadas a los registros de voz

Id	Tipo	Regla	Título de mensaje asignado
1	Recomendación	PPE > 0.133993498980999 spread1 > -6.736269950866699 MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133 PPE <= 0.1845259964466095 MDVP:Fo(Hz) > 109.0354995727539	 Vocalizaciones
2	Notificación	PPE > 0.133993498980999 spread1 > -6.736269950866699 MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133 PPE > 0.1845259964466095 MDVP:Fo(Hz) > 116.21800231933594	 Praxias bucofaciales

Capítulo 4. Resultados

Id	Tipo	Regla	Mensaje asignado
3	Notificación	PPE > 0.133993498980999 spread1 > -6.736269950866699 MDVP:Fo(Hz) > 116.53200149536133 MDVP:Fo(Hz) > 195.29949951171875 MDVP:Fo(Hz) <= 197.84249877929688	● Gimnasia orofacial
4	Notificación	PPE > 0.133993498980999 spread1 > -6.736269950866699 MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133 PPE > 0.1845259964466095 MDVP:Fo(Hz) <= 116.21800231933594	● Articulación al hablar
5	Notificación	PPE > 0.133993498980999 spread1 > -6.736269950866699 MDVP:Fo(Hz) > 116.53200149536133 MDVP:Fo(Hz) > 195.29949951171875 MDVP:Fo(Hz) > 197.84249877929688	● Ejercicios de lectura
6	Alerta	PPE <= 0.133993498980999 MDVP:Fo(Hz) <= 192.2729949951172 MDVP:Flo(Hz) <= 123.05800247192383 spread1 <= -6.832795143127441	● Movimiento de boca
7	Alerta	PPE <= 0.133993498980999 MDVP:Fo(Hz) <= 192.2729949951172 MDVP:Flo(Hz) > 123.05800247192383	● Movimientos linguales
8	Alerta	PPE > 0.133993498980999 spread1 > -6.736269950866699 MDVP:Fo(Hz) <= 116.53200149536133 PPE <= 0.1845259964466095 MDVP:Fo(Hz) <= 109.0354995727539	● Dificultad para beber agua

Capítulo 4. Resultados

Id	Tipo	Regla	Mensaje asignado
9	Alerta	PPE > 0.133993498980999 spread1 > -6.736269950866699 MDVP:Fo(Hz) > 116.53200149536133 MDVP:Fo(Hz) <= 195.29949951171875	 Respiración controlada nivel 2

4.1.4 Resultados

Los registros del paciente se evaluaron de manera secuencial de acuerdo con las fechas. Los resultados del caso de estudio se interpretan de la siguiente manera.

Primera evaluación

El primer registro que se tiene del paciente mostró una salida donde se le asignó una recomendación, lo que demostró que las variables biomédicas relacionadas con la voz mostraron cierta estabilidad, es decir que no se manifestaron afecciones sobre la forma de hablar del paciente.

Este mensaje fue asignado con el objetivo de incentivar a que el paciente a hacer ejercicios de vocalizaciones para mantener sus habilidades de comunicación.

Segunda evaluación

El segundo registro del paciente se refirió a las praxias bucofaciales. Se destaca que la frecuencia de voz del paciente es normal, lo que indica que no se detectaron anomalías en ese aspecto. Por lo tanto, se recomendó al paciente que continuará practicando los ejercicios de movimiento de los músculos faciales para mantener una buena coordinación al hablar.

El mensaje sugiere con el objetivo de preservar y mejorar la capacidad del paciente para articular palabras de manera precisa y fluida, lo que contribuirá a una comunicación efectiva con los demás.

Capítulo 4. Resultados

Tercera evaluación

En el tercer registro se asignó una notificación para incentivar la práctica de la gimnasia orofacial. Esto ya que se detectó un pequeño cambio en la forma de hablar del paciente.

El objetivo de estos ejercicios es mejorar la claridad de las palabras del paciente, lo que contribuye a una comunicación más efectiva. Al fortalecer y coordinar los músculos faciales y orales a través de la gimnasia orofacial, los pacientes superan las dificultades que llegan a experimentar en su forma de hablar y expresarse.

Cuarta evaluación

En la cuarta evaluación se asignó una notificación para incentivar ejercicios de articulación al hablar. Esto ya que se detectó un pequeño cambio en la voz del paciente.

Estos ejercicios tienen como objetivo fortalecer los músculos implicados en la articulación de los sonidos del habla, lo que ayuda a los pacientes a mejorar la claridad y la precisión en su pronunciación. Al trabajar en la movilidad y el control de la boca, el paciente superará las dificultades asociadas al cambio en su voz y lograr una comunicación más efectiva.

Quinta evaluación

En el quinto registro se asignó una notificación que contiene ejercicios de lectura. Se destaca que se detectó una leve alteración en la variación de la frecuencia de voz del paciente. Para abordar esta situación, se recomienda al paciente practicar la lectura en voz alta.

La lectura en voz alta ayuda a mejorar la claridad de la pronunciación, ya que permite trabajar en la articulación de palabras y en la entonación adecuada. Al practicar estos ejercicios, los pacientes fortalecen su capacidad de comunicación verbal, superando las dificultades asociadas a la alteración en la variación de la frecuencia de voz.

Capítulo 4. Resultados

Sexta evaluación

En el sexto registro se asignó una alerta que contiene ejercicios de movimientos de boca. Ya que se detectó una pérdida en las habilidades del habla. Ya que se detectó una leve diferencia en la forma en que el paciente modula su voz.

La alerta sugiere realizar ejercicios específicos para los labios y la lengua, tiene como objetivo mejorar la coordinación y la precisión en la articulación de los sonidos del habla. Al fortalecer y entrenar estos músculos, los pacientes superan las dificultades asociadas a la modulación vocal, lo que resulta en una mejor comunicación.

Séptima evaluación

En el séptimo registro se asignó una alerta y sugirió la necesidad de aumentar los ejercicios de movimientos linguales ya que se detectó a una alteración en la variación de la frecuencia de voz del paciente.

La alerta sugiere realizar ejercicios específicos para los movimientos linguales tiene como objetivo mejorar la coordinación y la agilidad de la lengua en la producción de los sonidos del habla. Al practicar estos ejercicios, los pacientes superan las dificultades asociadas a la alteración en la variación de su frecuencia de voz, lo que resulta en una mejora en la fluidez y la claridad al hablar, favoreciendo una comunicación más efectiva.

Octava evaluación

En el octavo registro se asignó una alerta y se identificó que posiblemente el paciente experimente dificultades al beber agua.

El uso de un popote flexible es beneficioso para el paciente, ya que facilita el proceso de llevar el líquido a la boca, evitando derrames o dificultades adicionales debido a los temblores y/o movimientos por posibles temblores en la boca. Esto garantiza que el paciente se hidrate de manera más cómoda y segura.

Capítulo 4. Resultados

Novena evaluación

En el noveno registro se asignó una alerta y se identificó que posiblemente el paciente experimente dificultades al respirar.

La alerta de realizar más ejercicios de respiración controlada se basa en la necesidad de mejorar la forma de hablar del paciente. Al trabajar en el control respiratorio, los pacientes logran una comunicación más efectiva y una mayor confianza en su capacidad para expresarse verbalmente.

4.1.5 Envío de recomendaciones, notificaciones y alertas al cuidador

Con el objetivo de mantener una buena experiencia de usuario y mantener una comunicación constante y precisa, se incorporaron servicios de mensajería por la aplicación de WhatsApp®. El envío de las recomendaciones, notificaciones y alertas es en tiempo real, ya que al momento de tener los resultados sobre los mensajes asignados a cada paciente estos se envían por este medio de comunicación y de la misma forma son visibles por medio de la aplicación para dispositivos móviles que se desarrolló.

Para mantener una calidad en los servicios implementados se optó por incorporar los servicios de la API de Twilio®, esta permite realizar el envío de mensajes por diversos canales de comunicación de forma fácil, eficiente y rápida. A continuación, se muestran los resultados de esta implementación, los mensajes son los asignados en el caso de estudio.

Envío de recomendaciones

En la figura 4.2 se muestra la recomendación asignada al paciente del caso de estudio, esta se envió a la cuenta de WhatsApp®. del cuidador, ya que los cuidadores son los encargados de llevar a cabo estas actividades con los pacientes.

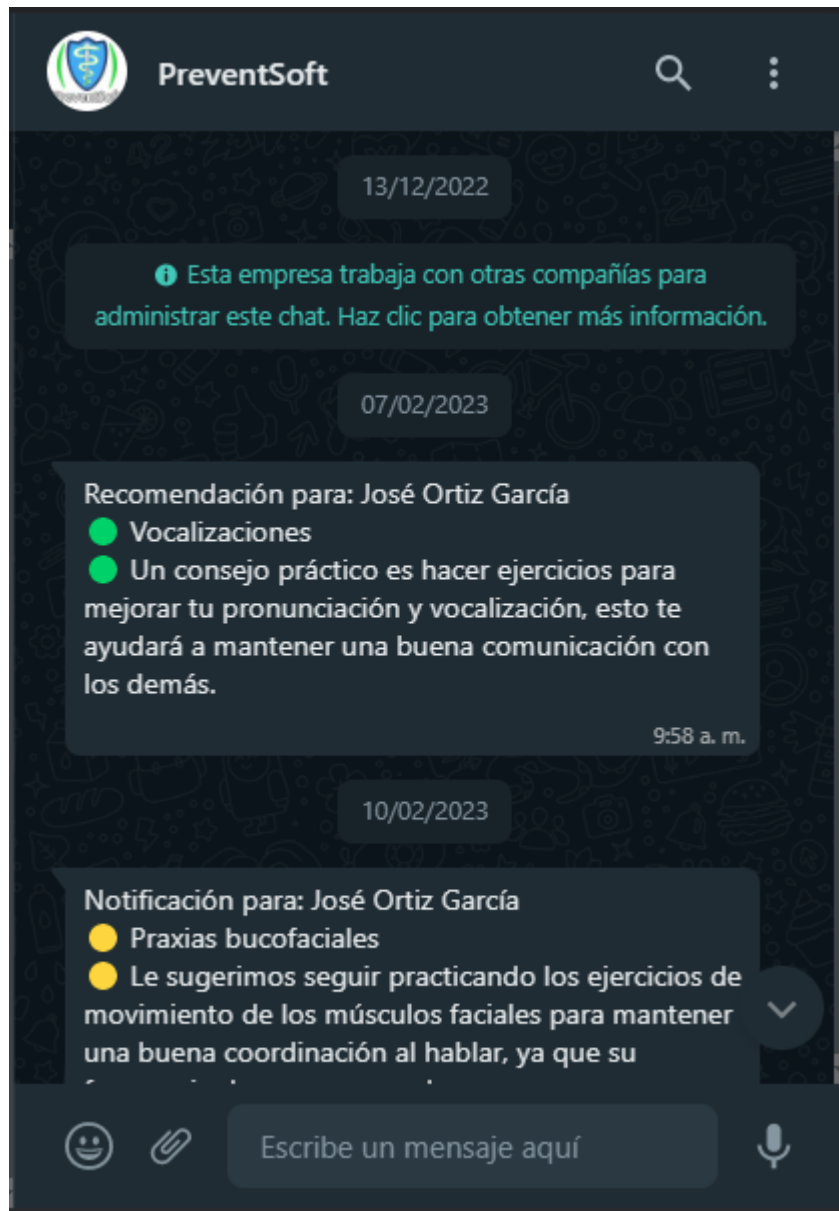


Figura 4.2 Recomendación asignada al registro 1

Envío de notificaciones

En la figura 4.3 se muestran las dos primeras notificaciones asignadas al paciente del caso de estudio, estas corresponden a los registros del 10 y 14 de febrero del 2023.

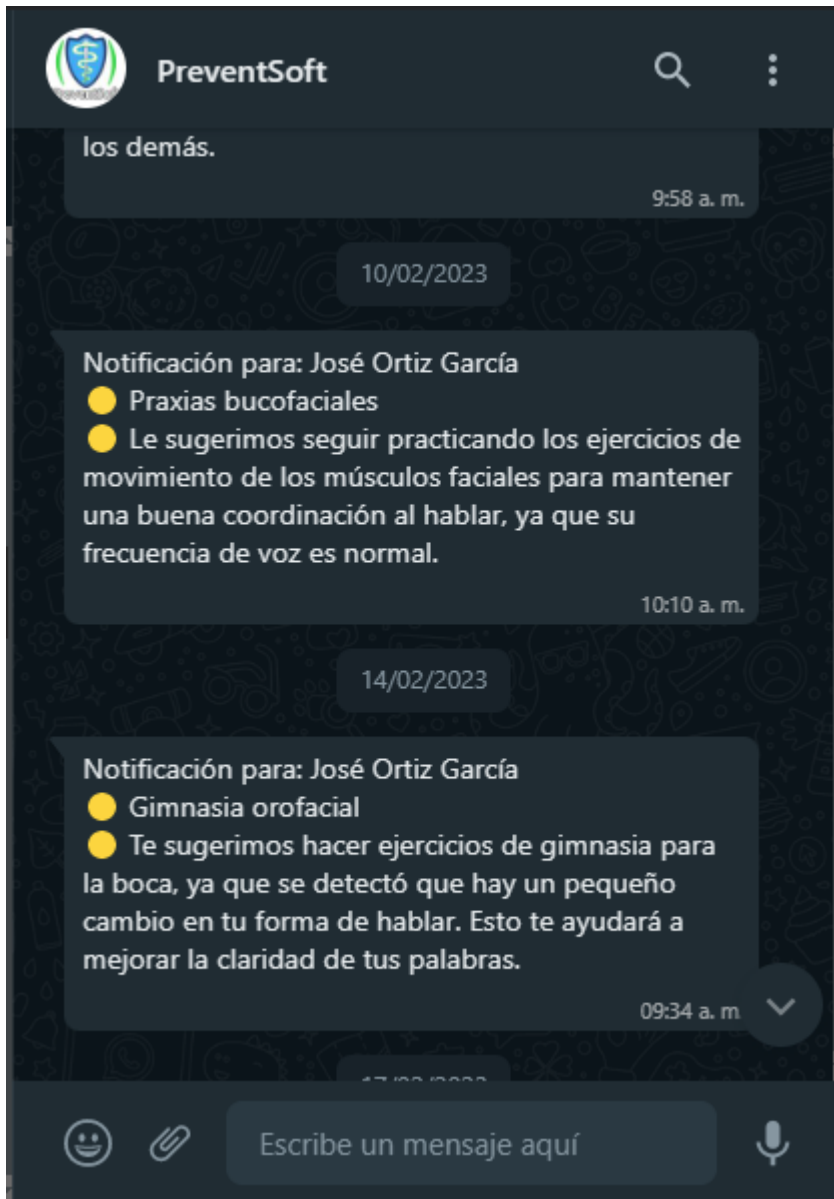


Figura 4.3 Notificaciones asignadas a los registros 2 y 3

Capítulo 4. Resultados

En la figura 4.4 se muestran las notificaciones asignadas al paciente del caso de estudio, estas corresponden a los registros del 17 y 21 de febrero del 2023.

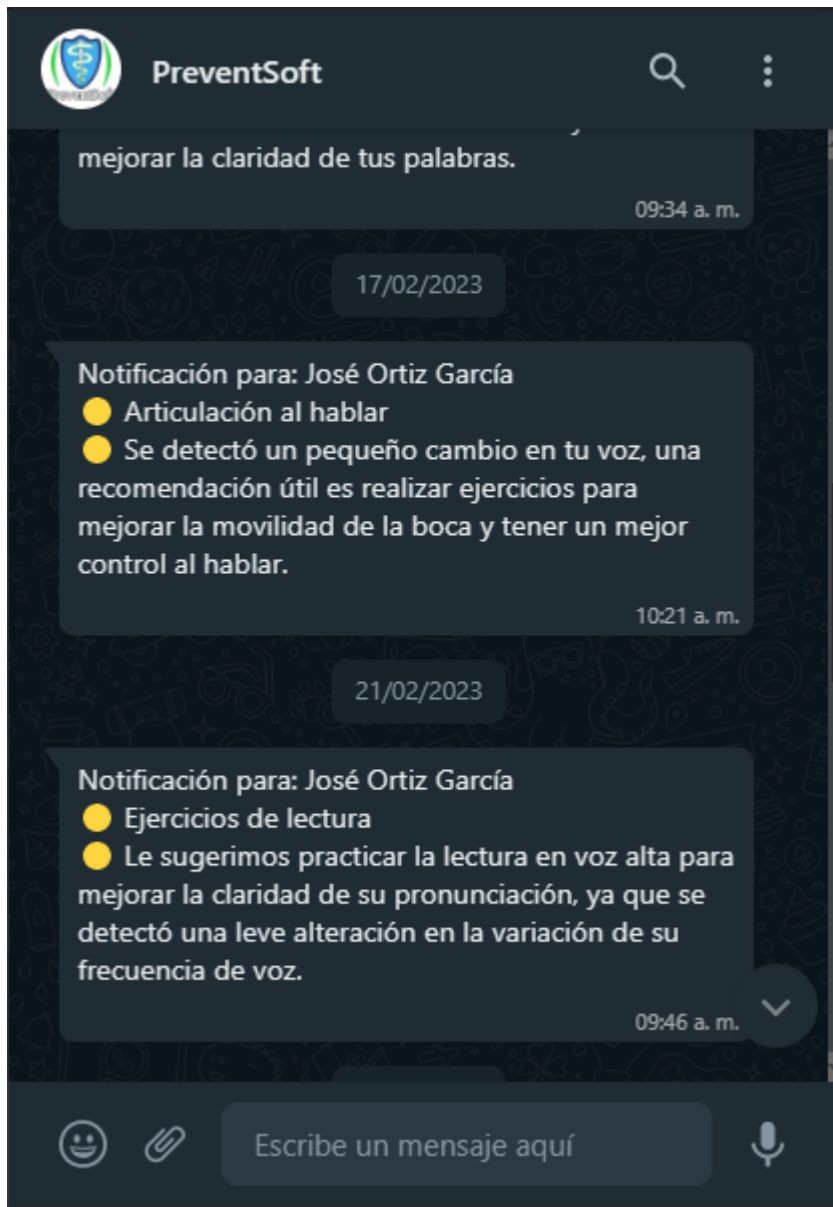


Figura 4.4 Notificaciones asignadas a los registros 4 y 5

Envío de alertas

En la figura 4.5 se muestran las primeras dos alertas asignadas al paciente del caso de estudio, estas corresponden a los registros del 24 y 28 de febrero del 2023.

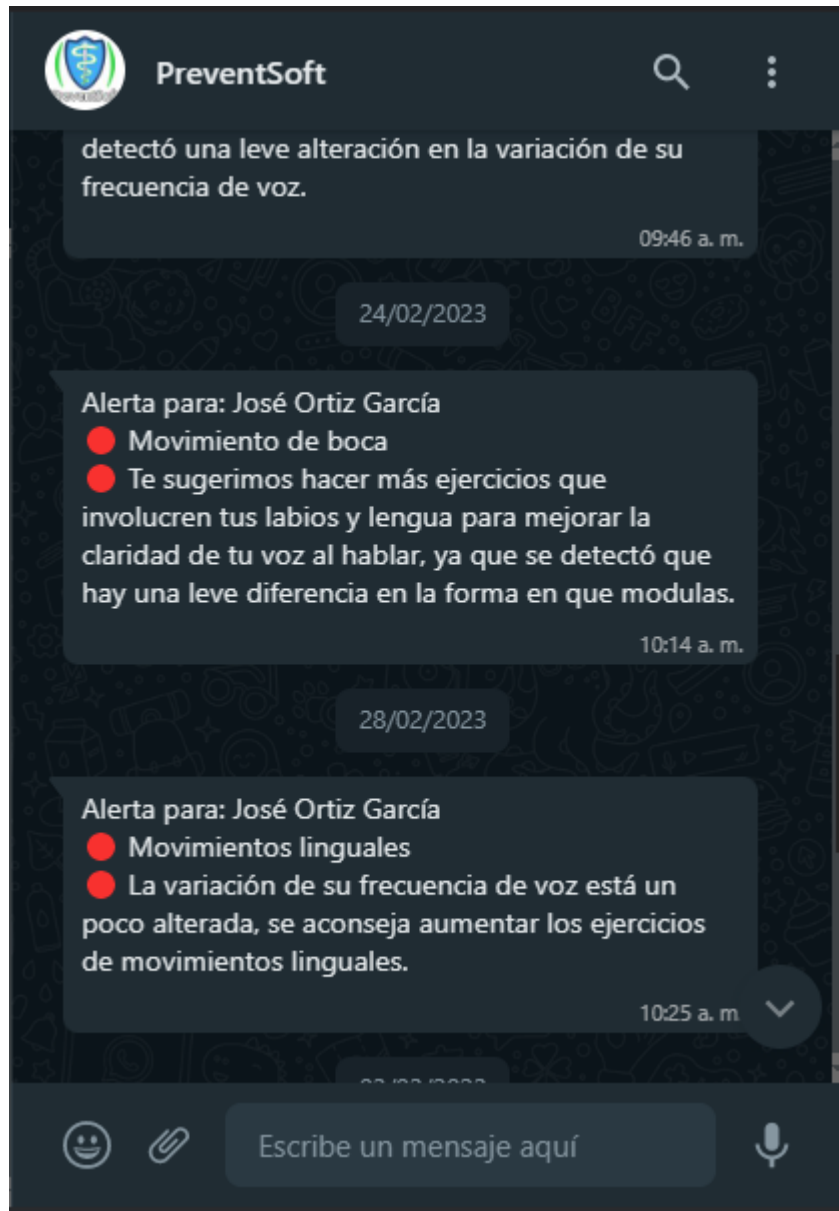


Figura 4.5 Alertas asignadas a los registros 6 y 7

Capítulo 4. Resultados

En la figura 4.6 se muestran las dos últimas alertas asignadas al paciente del caso de estudio, estas corresponden a los registros del 03 y 07 de marzo del 2023.

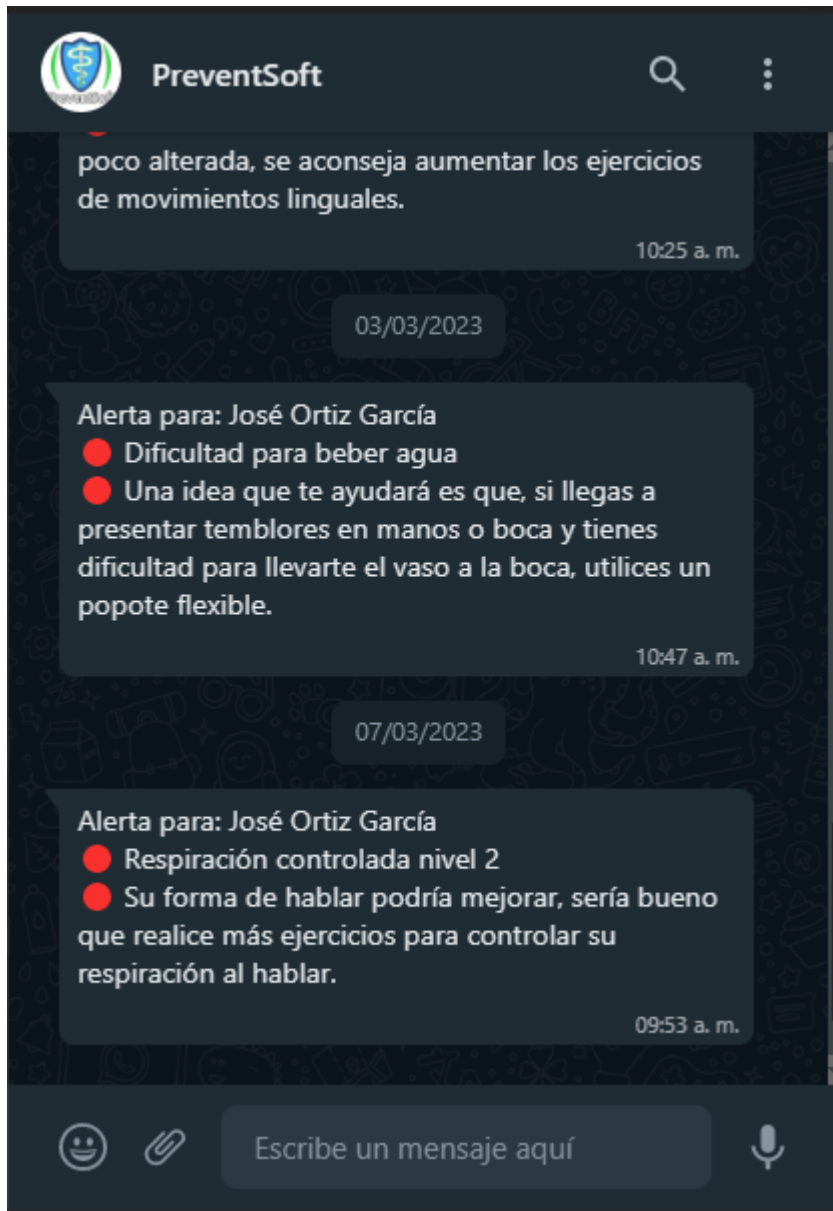


Figura 4.6 Alertas asignadas a los registros 8 y 9

4.2 Caso de estudio mediante trazos: asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas a pacientes con enfermedad de Parkinson

En esta sección se expone un segundo caso de estudio que se relaciona con la evaluación de trazos, este tiene como objetivo comprobar la efectividad del módulo y su integración con la aplicación para dispositivos móviles, para asignar recomendaciones, notificaciones y alertas, de acuerdo a la información de los resultados de las evaluaciones de los trazos, para ayudar a pacientes con Parkinson con el objetivo de controlar sus síntomas. Cabe mencionar que las recomendaciones, notificaciones y alertas médicas se recopilaron de expertos en el tema, ya que se obtuvieron de diversos artículos y organizaciones dedicadas al manejo de la EP. A continuación, se describe el escenario del caso de estudio:

- Se realizó un análisis a pruebas realizadas a un paciente mediante un módulo externo encargado de realizar detección de la enfermedad de Parkinson mediante trazos. El resultado que se obtiene es un porcentaje del 1 al 100 y se interpreta como la probabilidad de que el paciente tenga Parkinson, la dinámica de las evaluaciones es detectar temblor en las manos del paciente. El módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas se encarga de consultar la información generada, es decir los resultados de las pruebas y asignar un mensaje personalizado dependiendo del resultado obtenido.
- El paciente es un hombre de 60 años, cuenta con una lista de notificaciones y alertas que se asignaron a lo largo de un periodo de dos meses.

La figura 4.7 muestra de forma gráfica el escenario y la secuencia de acciones que se llevan a cabo en el proceso de la monitorización del paciente en el periodo aproximado de dos meses. En esta se aprecia la extracción de información por medio de un módulo que no pertenece a este proyecto, pero al que se integra para trabajar en conjunto. El módulo desarrollado en este proyecto parte de la consulta de información a la base de datos mediante servicios web, posteriormente los datos se envían al sistema de recomendaciones para asignar una recomendación, notificación o alerta y la

Capítulo 4. Resultados

información es devuelta al servicio web para que éste envíe los resultados a la aplicación para dispositivos móviles y a WhatsApp mediante el API de Twilio.

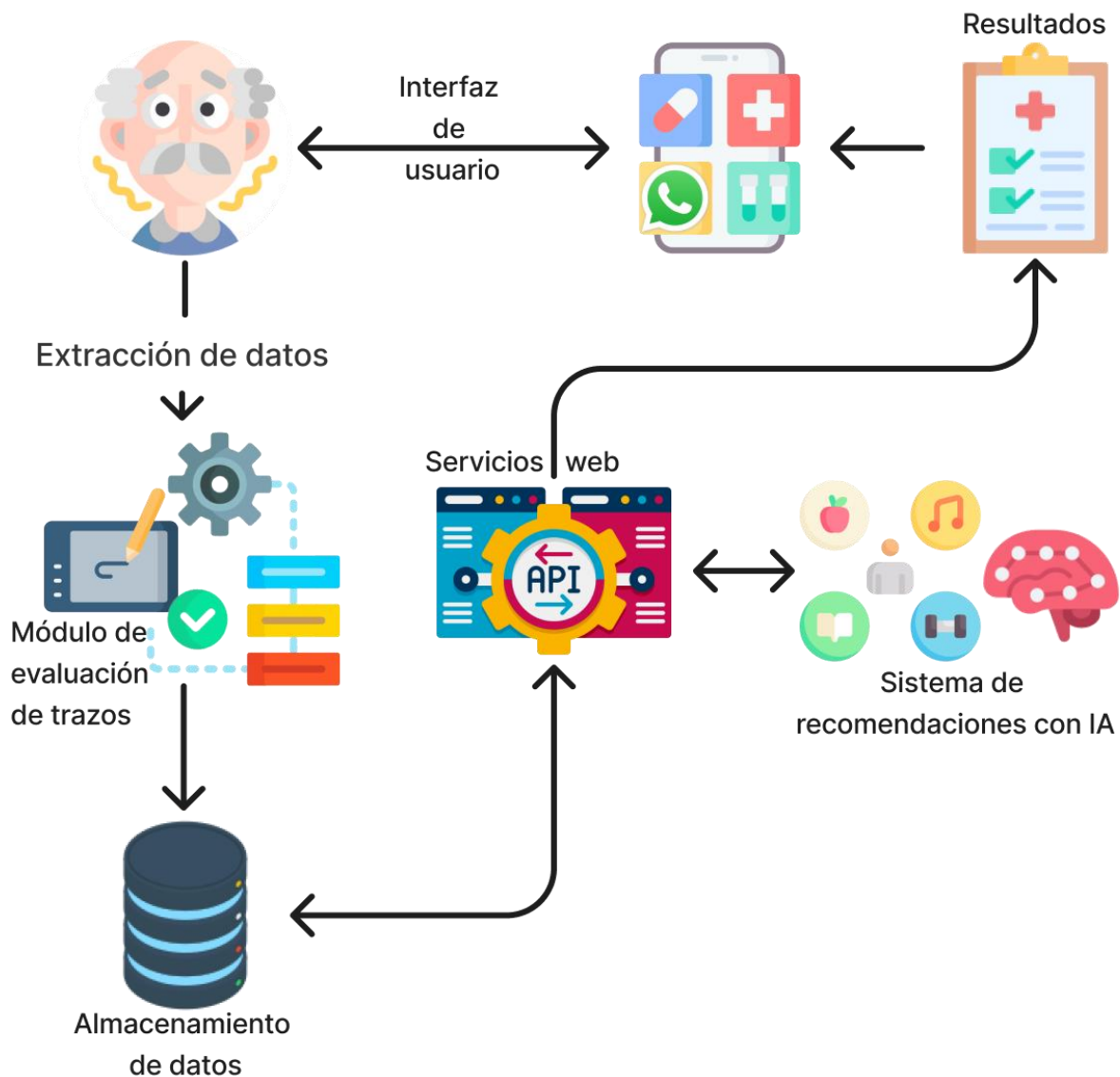


Figura 4.7 Escenario de asignación de mensajes mediante el módulo – Trazos

Capítulo 4. Resultados

4.2.1 Datos iniciales

Se solicitó al usuario que realizara pruebas de trazos a largo de un mes (del 14 de febrero al 14 de marzo del 2023), llevando sus registros a través del módulo de monitorización. Este período se utilizó para obtener sus resultados de las evaluaciones realizadas a sus habilidades de dibujo mediante trazos, con el objetivo de detectar anomalías en sus habilidades de escritura y en general afecciones en el movimiento de manos y dedos. Y de esta forma cuantificar el progreso de sus síntomas de la enfermedad. El módulo de asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas, consultó los resultados de las evaluaciones y analizó los valores para asignar un mensaje de la biblioteca recopilada.

Las pruebas se realizaron dos veces por semana, al final se obtuvieron 9 registros. En las primeras dos semanas los registros mostraban resultados no graves y el sistema asignó notificaciones al paciente, en el quinto registro se obtuvieron resultados un poco altos dando como resultado una alerta y el sexto registro nuevamente bajó el porcentaje y asignó una alerta. Los 3 registros restantes indicaron que el estado del paciente comenzó a ser grave ya que el valor del resultado contenía valores críticos, por lo tanto, el módulo asignó alertas al paciente. Los registros se muestran en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Registros de caso de estudio de trazos

Id registro	Fecha de evaluación	Porcentaje de evaluación de trazos
1	14/02/23	46
2	17/02/23	54
3	21/02/23	53
4	24/02/23	67
5	28/02/23	75
6	03/03/23	74
7	07/03/23	89

Capítulo 4. Resultados

Id registro	Fecha de evaluación	Porcentaje de evaluación de trazos
8	10/03/23	92
9	14/03/23	96

4.2.2 Clasificación automática de datos

Según las reglas establecidas en la sección 3.3.4, se generaron las siguientes recomendaciones, notificaciones y alertas. Como primera instancia, la clasificación de los mensajes se realizó mediante los resultados de las evaluaciones de los trazos del paciente, se aplicaron las reglas establecidas para la detección Parkinson mediante trazos descritas en el Capítulo 3 en la sección de 3.1.4.

Tabla 4.4 Reglas aplicadas a los registros de trazos

Id	Tipo	Regla	Título del mensaje asignado
1	Notificación	prom_res_eval >= 40 and prom_res_eval <= 46	● Clasificación de objetos
2	Notificación	prom_res_eval >= 54 and prom_res_eval <= 60	● Ejercicio de escritura
3	Notificación	prom_res_eval >= 47 and prom_res_eval <= 53	● Recorte con tijeras
4	Notificación	prom_res_eval >= 61 and prom_res_eval <= 67	● Cubiertos adaptados
5	Alerta	prom_res_eval >= 75 and prom_res_eval <= 88	● Coordinación - Piernas y brazos
6	Notificación	prom_res_eval >= 68 and prom_res_eval <= 74	● Tip para cepillarse los dientes

Capítulo 4. Resultados

Id	Tipo	Regla	Título del mensaje asignado
7	Alerta	prom_res_eval >= 89 and prom_res_eval <= 91	● Balancear el cuerpo
8	Alerta	prom_res_eval >= 92 and prom_res_eval <= 94	● Estímulos visuales
9	Alerta	prom_res_eval >= 95 and prom_res_eval <= 97	● Estímulos auditivos

4.2.3 Resultados

Los registros del paciente se evaluaron por el módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas de manera secuencial, es decir de acuerdo con las fechas en que se realizaron en la evaluación de valoración del módulo externo. Los resultados del caso de estudio se muestran a continuación.

Primera evaluación

En el primer registro del paciente sugirió la clasificación de objetos y se destaca que los trazos del paciente presentan ligeras irregularidades. Con base en esta observación, se recomienda aumentar los ejercicios de coordinación mano-ojo.

Esta notificación se basa en la necesidad de mejorar las habilidades motoras y visuales del paciente para realizar de manera más efectiva las tareas cotidianas y contribuir a su independencia.

Segunda evaluación

En el segundo registro del paciente sugirió realizar un ejercicio de escritura debido a ligeras irregularidades presentes en los trazos del paciente. Se recomienda aumentar la práctica de la escritura a mano.

Capítulo 4. Resultados

El objetivo de este ejercicio es mejorar la precisión y la fluidez en los trazos del paciente. Al aumentar la frecuencia de la escritura a mano, el paciente tiene más oportunidades de desarrollar y refinar sus habilidades motoras finas, lo que ayuda a mejorar sus habilidades manuales.

Tercera evaluación

En el tercer registro del paciente se recomendó aumentar los ejercicios de habilidad manual, debido a ligeras irregularidades presentes en los trazos.

El objetivo de este ejercicio es mejorar la destreza y la precisión en los movimientos de las manos y los dedos del paciente. Al practicar el recorte con tijeras, el paciente fortalece los músculos de la mano y mejora la coordinación mano-ojo.

Cuarta evaluación

Para el cuarto registro del paciente se sugirió el uso de cubiertos adaptados como consejo práctico.

La notificación de cubiertos adaptados se basa en la necesidad de brindar al paciente una mayor comodidad y autonomía durante las comidas. El uso de cubiertos ligeros y de tamaño adecuado reduce la carga y la dificultad en el manejo, lo que permite al paciente disfrutar de sus comidas de manera más independiente y sin esfuerzos innecesarios.

Quinta evaluación

Para el quinto registro del paciente se hizo referencia a la coordinación entre las piernas y los brazos, y se recomienda al paciente seguir realizando ejercicios que involucren esta coordinación.

La alerta de realizar ejercicios que involucren la coordinación entre las piernas y los brazos se basa en la importancia de mantener un buen nivel de coordinación y equilibrio en las actividades diarias. Al trabajar en esta habilidad, el paciente mejora la sincronización de los movimientos de las piernas y los brazos, lo que se traducirá en

Capítulo 4. Resultados

una mayor eficiencia y fluidez en las tareas que requieran esta coordinación, como caminar y realizar sus tareas cotidianas.

Sexta evaluación

Para el sexto registro del paciente se brindó un consejo práctico relacionado con el cepillado de dientes. Se sugiere que, si el paciente experimenta dificultades debido al temblor, utilice un cepillo con el mango recubierto de goma espuma.

Esta notificación se basa en la necesidad de adaptar una solución práctica para superar las dificultades específicas mencionadas. El uso de un cepillo con el mango recubierto de goma espuma proporciona un agarre más seguro y cómodo, lo que facilita el cepillado de los dientes incluso en presencia de temblores.

Séptima evaluación

Para el séptimo registro del paciente se brindó un consejo relacionado con el balanceo del cuerpo para ayudar en situaciones en las que el paciente experimente dificultades para dar un paso y sienta sensaciones de parálisis.

La alerta de balancear el cuerpo tiene como objetivo estimular la movilidad y superar las sensaciones de parálisis. Al balancear el cuerpo de manera suave y controlada, el paciente activa y coordina los músculos necesarios para dar el siguiente paso, facilitando así la marcha y superando las dificultades momentáneas.

Octava evaluación

Para el octavo registro del paciente se sugirió el uso de estímulos visuales para ayudar al paciente en situaciones en las que experimenta dificultades para avanzar y siente que queda atrapado en el movimiento. Se sugiere que el paciente mantenga sus ojos abiertos y mire cosas a su alrededor.

La alerta de utilizar estímulos visuales se basa en la idea de que la información visual es un apoyo importante para superar obstáculos y mantener el flujo del movimiento.

Novena evaluación

Para el noveno registro del paciente se sugirió el uso de estímulos auditivos para ayudar al paciente en situaciones en las que experimenta dificultades para avanzar y siente que queda atrapado en el movimiento. Se sugiere que el paciente preste atención a los sonidos que le rodean y los utilice como apoyo.

La alerta de utilizar estímulos auditivos se basa en la idea de que la información sonora es un recurso útil para mantener el flujo del movimiento y superar obstáculos. Al prestar atención a los sonidos ambientales, el paciente se mantiene consciente de su entorno y utilizarlos como indicadores para seguir adelante.

4.2.3 Envío de recomendaciones, notificaciones y alertas al cuidador

Como se mencionó anteriormente en el otro caso de estudio se implementaron servicios de mensajería a través de WhatsApp® con el propósito de garantizar una óptima experiencia de usuario y mantener una comunicación precisa y constante. La entrega de recomendaciones, notificaciones y alertas se realizó en tiempo real. Además, estos mensajes también son fácilmente accesibles a través de la aplicación para dispositivos móviles que se creó específicamente para este módulo.

Envío de notificaciones

En la figura 4.8 y 4.9 se muestran las notificaciones otorgadas al paciente del caso de estudio, las cuales se enviaron a la cuenta de WhatsApp® del cuidador. Ya que los cuidadores son los responsables de llevar a cabo dichas actividades junto a los pacientes.

Capítulo 4. Resultados

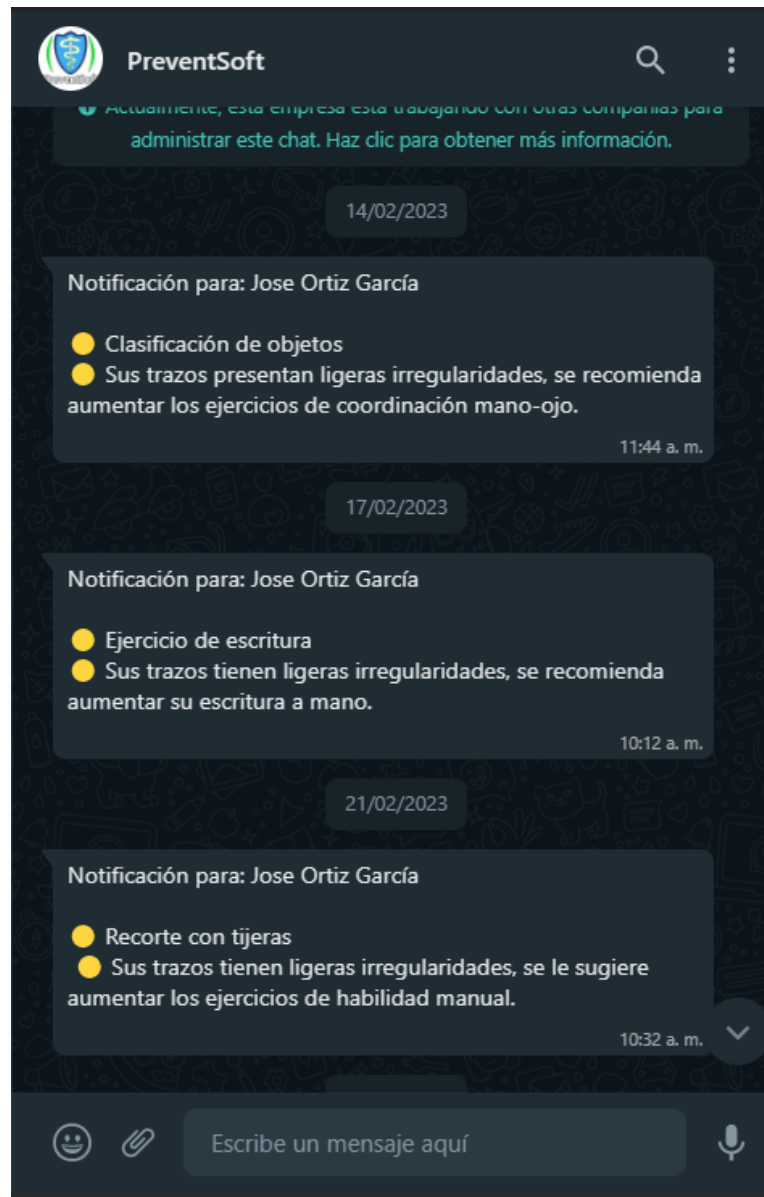


Figura 4.8 Notificaciones asignadas

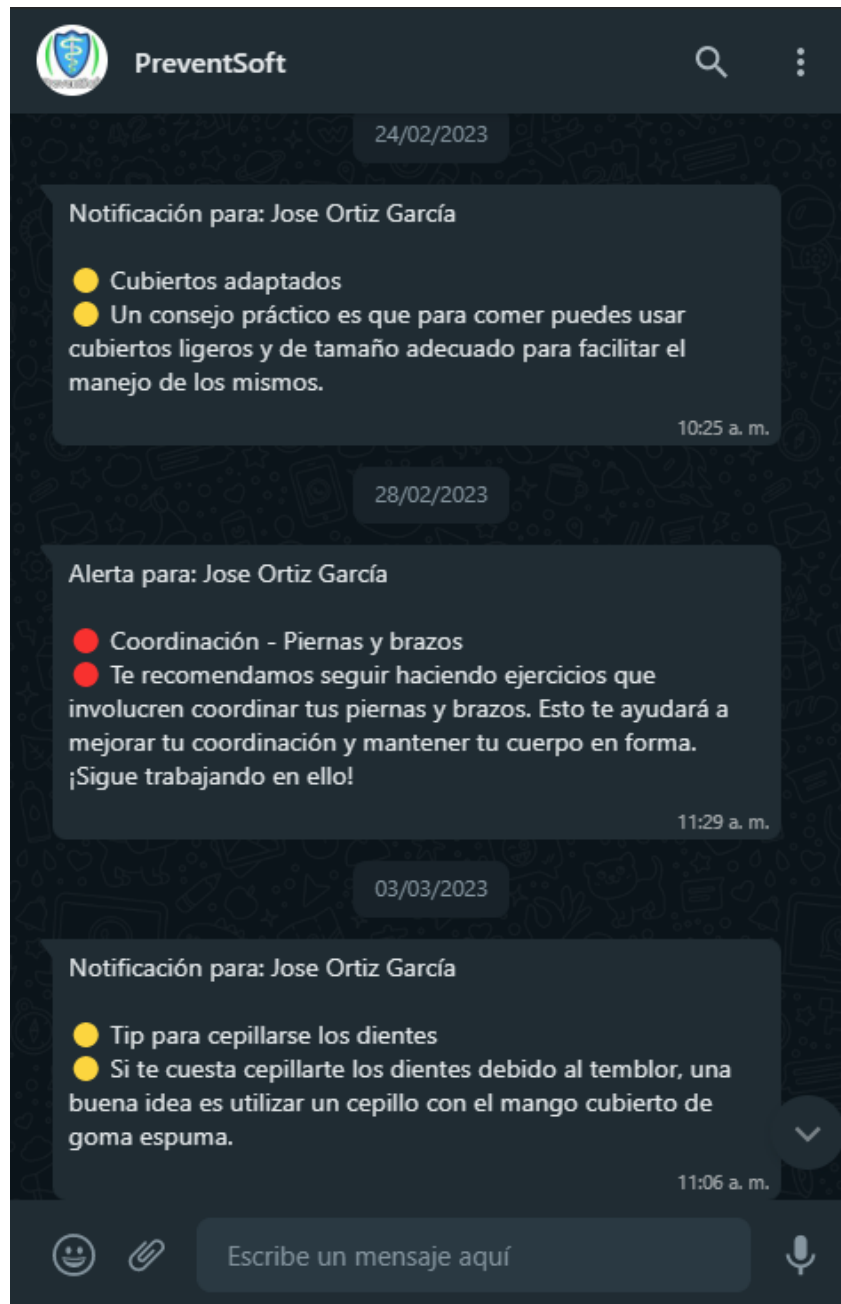


Figura 4.9 Notificaciones y alerta asignadas

Capítulo 4. Resultados

Envío de alertas

En la figura 4.9 se muestra la primera alerta asignada al paciente del caso de estudio, esta corresponde al registro del 28 de febrero del 2023, en la figura 4.10 se muestran las últimas tres alertas asignadas correspondientes a las evaluaciones del 7, 10 y 14 de febrero.

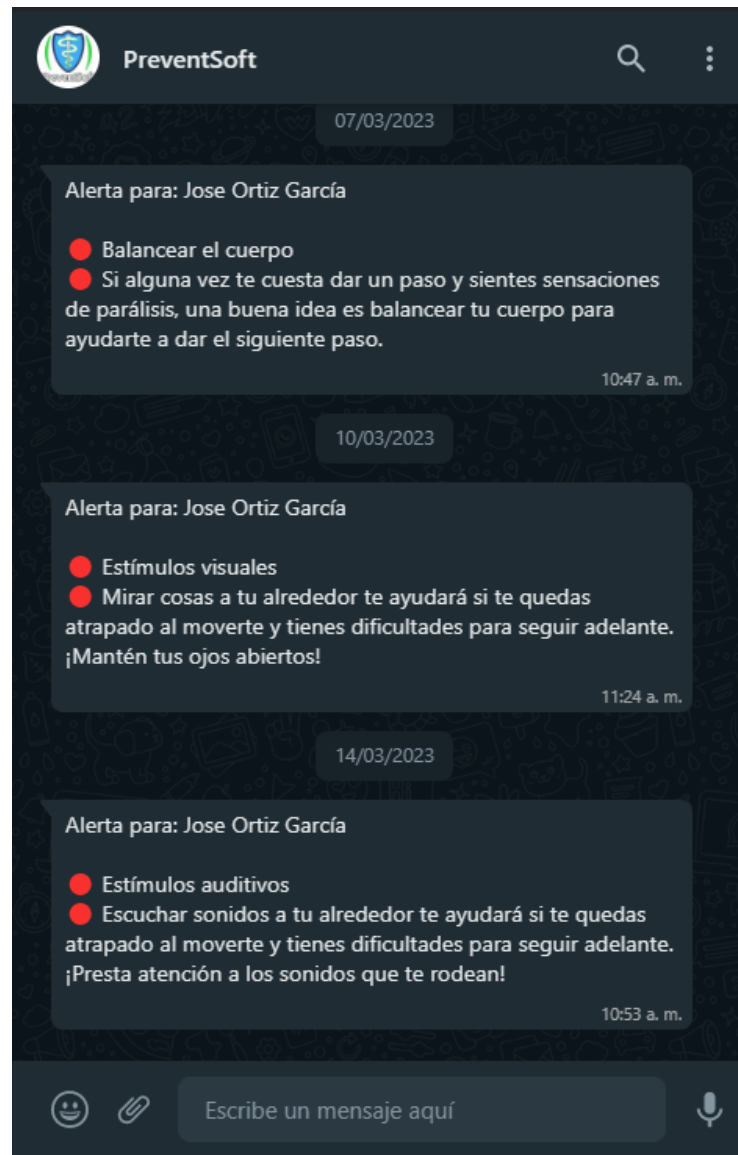


Figura 4.10 Alertas asignadas

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

El incremento en la esperanza de vida y la disminución de la tasa de natalidad causa que haya más adultos mayores que antes, por lo tanto, se pronostica un aumento en la cantidad de personas diagnosticadas con la enfermedad de Parkinson (EP), una enfermedad que lamentablemente no cuenta con una cura y es progresiva, es decir que cada vez afecta más el estado de salud de los pacientes. Por lo tanto, es primordial abordar de manera efectiva los síntomas asociados con esta enfermedad y desarrollar estrategias que mejoren la calidad de vida de los pacientes. En esta tesis, se planteó el objetivo de desarrollar un módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson utilizando técnicas de Inteligencia Artificial.

El módulo desarrollado consiste en una solución completa que integra una aplicación para dispositivos móviles, un algoritmo para la asignación de recomendaciones, notificaciones y alertas, y la integración de servicios de mensajería a través de WhatsApp para brindar una experiencia de usuario más completa y de calidad. Cabe destacar que este módulo consume la información generada por otros módulos relacionados con la enfermedad de Parkinson.

Los resultados obtenidos han contribuido significativamente al control de los síntomas de los pacientes con Parkinson. La entrega de mensajes personalizados y oportunos ha demostrado ser una estrategia efectiva para el manejo adecuado de los síntomas. Esta aproximación se diferencia notablemente de las aplicaciones tradicionales, ya que brinda mensajes precisos dependiendo al estado de salud individual de cada paciente.

Como trabajo futuro, se pretende implementar módulos encargados de la monitorización de los pacientes, lo que permitirá obtener una cobertura más precisa y enriquecida de información. Además, se planea enriquecer la biblioteca de mensajes con más categorías, como la postura, la marcha, tratamientos médicos, entre otras, para proporcionar un tratamiento más completo y personalizado.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

En resumen, el desarrollo de este módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas basado en Inteligencia Artificial mostró resultados prometedores en el control de los síntomas de los pacientes con Parkinson. Su enfoque personalizado y oportuno marca una diferencia significativa en comparación con las aplicaciones tradicionales. Este trabajo sienta las bases para futuras mejoras y ampliaciones, con el objetivo de brindar un apoyo más completo y efectivo a los pacientes en su lucha contra la enfermedad de Parkinson.

5.2 Recomendaciones

A pesar de que los objetivos planteados en este trabajo de investigación se cumplieron con éxito, hay margen para mejorar y enriquecer aún más el módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson. A continuación, se presentan algunas recomendaciones que podrían integrarse en un futuro para ampliar la funcionalidad y mejorar la experiencia de los usuarios:

Integrar el uso de dispositivos como smartwatches para la monitorización en tiempo real, permitiendo obtener una cobertura más precisa y enriquecida de información sobre el estado de salud de los pacientes. Esto proporcionará datos adicionales para la generación de recomendaciones y mensajes más precisos y personalizados.

Además, se sugiere la expansión de la biblioteca de mensajes con más categorías relevantes, como la postura, la marcha, alimentación, los tratamientos médicos y otros aspectos clave relacionados con la enfermedad de Parkinson. Esto permitirá proporcionar una estrategia más completa y personalizada, abordando diversas áreas de impacto en la calidad de vida de los pacientes.

Asimismo, es recomendable considerar la integración de otras plataformas de mensajería populares, como Telegram, Messenger o mensajes de texto (SMS), para brindar opciones adicionales a los usuarios y adaptarse a sus preferencias de comunicación.

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

Integrar estas recomendaciones en un futuro permitirá llevar el proyecto a un nivel más completo y efectivo, brindando un apoyo aún más personalizado y significativo a los pacientes en su lucha contra la enfermedad de Parkinson. Estas mejoras y ampliaciones sentarán las bases para continuar mejorando la calidad de vida de los pacientes y ofrecer una solución integral basada en Inteligencia Artificial.

Productos académicos

Artículo académico

Como parte fundamental del trabajo de esta tesis, se llevó a cabo una tarea significativa que consistió en redactar y publicar un artículo académico. A continuación, se muestra información de dicho artículo, y el reconocimiento de participación se muestra en la figura 5.1.

Nombre del artículo: Una revisión exploratoria de aplicaciones para dispositivos móviles para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson.



Figura 5.1 Constancia de participación

Autores: Francisco Javier García Dimas, Giner Alor Hernández, Nancy Aracely Cruz Ramos, Beatriz Alejandra Olivares Zepahua, Luis Ángel Reyes Hernández

Palabras clave: Enfermedades neurodegenerativas, Inteligencia Artificial, Parkinson.

Presentado en: V Congreso Estudiantil de Inteligencia Artificial Aplicada a la Ingeniería y Tecnología (CEIAAIT) 2022.

Derechos de Autor

Registro de Derechos de Autor ante INDAUTOR.



- Módulo de recomendaciones, notificaciones y alertas para pacientes con Parkinson mediante técnicas de inteligencia artificial

En proceso

Bibliografía

- [1] A. CARRERES, T. FALGUERA y G. FIGUERA, «Enfermedades neurodegenerativas,» *Rehabilitación*, pp. 318-324, 2004.
- [2] R. MARTÍNEZ FERNÁNDEZ, C. GASCA SALAS, Á. SÁNCHEZ FERRO y J. Á. OBESO, «ACTUALIZACIÓN EN LA ENFERMEDAD DE PARKINSON,» *Revista Martínez-Fernández, R., Gasca-Salas C., C., Sánchez-Ferro, Á., & Ángel Obeso, J. (2016). ACTUALIZACIÓN Revista Médica Clínica Las Condes*, pp. 363-379, 2016.
- [3] L. P. Rouhiainen, INTELIGENCIA ARTIFICIAL 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro, Barcelona: Planeta, S.A, 2018.
- [4] J. Oliva Rodríguez, «Motor de Recomendación e Integración con Ad server,» 2016.
- [5] Graph Everywhere, «Graph Everywhere Sistemas de recomendación | Qué son, tipos y ejemplos,» [En línea]. Available: <https://www.grapheverywhere.com/sistemas-de-recomendacion-que-son-tipos-y-ejemplos/>.
- [6] D. Díaz Amaya, «Uso de las tecnologías de notificaciones y alertas en la web / Use of notifications and alerts technologies on the web,» *TiNo*, vol. 52, 2016.
- [7] Gravitec , «Gravitec - Qué son las notificaciones push: cómo funcionan y cómo se ven,» Gravitec , 29 08 2019. [En línea].
- [8] EcuRed , «EcuRed - Sistemas de notificaciones y alertas,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Sistemas_de_notificaciones_y_alertas.
- [9] M. Linares-del Rey, L. Vela-Desojo y R. Cano-de la Cuerda, «Aplicaciones móviles en la enfermedad de Parkinson:», *NEUROLOGÍA*, 2017.
- [10] C. Marras, J. C. Beck, J. H. Bower, E. Roberts, B. Ritz, G. W. Ross, R. D. Abbott, R. Savica, S. . K. Van Den Eeden, A. W. Willis y C. Tanner, «Prevalence of Parkinson's disease across North America,» *npj Parkinson's Disease*, 2018.
- [11] J. Hu, D. Z. Yuan, Q. Y. Zhao, X. F. Wang, X. T. Zhang, Q. H. Jiang, H. R. Luo, J. Li, J. H. Ran y J. F. Li, «Acceptability and practicability of self management for patients with Parkinson's disease based on smartphone applications in China,» *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 2020.
- [12] E. Kuosmanen, V. Kan, A. Visuri, J. Vega, Y. Nishiyama, A. K. Dey, H. Harper y D. Ferreira, «Mobile-based Monitoring of Parkinson's,» *MUM '18, Cairo, Egypt*, 2018.
- [13] L. Fraiwan, R. Khnouf y A. R. Mashagbeh, «Parkinson's disease hand tremor detection system for mobile application,» *Journal of Medical Engineering & Technology*, 2016.
- [14] P. L. Kubben, M. L. Kuijf, L. P. Ackermans, A. F. Leentjes y Y. Temel, «TREMOR12: An Open-Source Mobile App for Tremor Quantification,» *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, pp. 182-186, 2016.
- [15] M. Andong Zhan, S. Mohan, M. Christopher Tarolli, M. Ruth B. Schneider y M. Jamie L. Adams, «Using Smartphones and Machine Learning to Quantify Parkinson Disease Severity The Mobile Parkinson Disease Score,» *JAMA Neurology*, 2018.
- [16] J. Li y X. Chang, «Improving mobile health apps usage: a quantitative study on mPower data of Parkinson's disease,» *Esmerald*, 2020.
- [17] S. Estévez Martín, "Mobile Applications for People with Parkinson's Disease: A Systematic Search in App Stores and Content Review," *Journal of Universal Computer Science*, vol. 25, no. 7, 2019.

- [18] M. Memedi, G. Tshering, M. Fogelberg, I. Jusuf, E. Kolkowska y G. Klein, «An Interface for IoT: Feeding Back Health-Related Data to Parkinson's Disease Patients,» *Sensor and Actuator Networks*, 2018.
- [19] A. De Silva, W. Sampath, N. Sameera, Y. Amarasinghe y A. Mitani, «Development of a Wearable Tele-monitoring System with IoT for Bio-medical Applications,» *5th Global Conference on Consumer Electronics*, 2016.
- [20] A. Antonini, G. Gentile, M. Giglio, A. Marcante, H. Gage, M. M. L. Touray, D. I. Fotiadis, D. Gatsios, S. Konitsiotis, L. Timotijevic, B. Egan, C. Hodgkins, R. Biundo y C. Pellicano, «Acceptability to patients, carers and clinicians of an mHealth platform for the management of Parkinson's disease (PD_Manager): study protocol for a pilot randomised controlled trial,» 2018.
- [21] J. R. Orozco-Arroyave, J. C. Vasquez-Correa, P. Klumpp, P. A. Perez-Toro, D. Escobar Grisales, N. Roth, C. D. Ríos-Urrego, M. Strauss, H. A. Carvajal-Castaño, S. Bayerl, C.-O. Luis Reinel, T. Arias Vergara, A. Kunderle, F. O. Lopez-Pabón, L. F. Parra-Gallego, B. Eskofier, L. F. Gomez-Gomez, M. Schuster y E. Noth, «Apkinson: the smartphone application for telemonitoring Parkinson's patients through speech, gait and hands movement,» *Neurodegener Disease Management*, 2020.
- [22] T. D. Ellis, J. T. Cavanaugh, T. DeAngelis, K. Hendron, C. A. Thomas, M. Saint Hilaire, K. Pencina y N. K. Latham, «Comparative Effectiveness of mHealth-Supported Exercise Compared With Exercise Alone for People With Parkinson Disease: Randomized Controlled Pilot Study,» *American Physical Therapy Association*, vol. 99, pp. 203-219, 2018.
- [23] H. Zhang, A. Wang, D. Li y W. Xu, «DeepVoice: A Voiceprint-based Mobile Health Framework for Parkinson's Disease Identification,» *EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics*, pp. 2014-2017, 2018.
- [24] J. J. Elm, M. Daeschler, L. Bataille, R. Schneider, A. Amara, A. J. Espay, M. Afek, C. Admati, A. Teklehaimanot y T. Simuni, «Feasibility and utility of a clinician dashboard from wearable and mobile application Parkinson's disease data,» *npj Digital Medicine*, 2019.
- [25] D. Gatsios, A. Antonini, G. Gentile, A. Marcante, C. Pellicano, L. Macchiusi, F. Assogna, G. Spalletta, H. Gage, M. Touray, L. Timotijevic, C. Hodgkins, M. Chondrogiorgi, G. Rigas, D. I. Fotiadis y S. Konitsiotis, «Feasibility and Utility of mHealth for the Remote Monitoring of Parkinson Disease: Ancillary Study of the PD_manager Randomized Controlled Trial,» *JMIR MHEALTH AND UHEALTH*, vol. 8, 2020.
- [26] C. Hansen, A. Sanchez Ferro y W. Maetzler, «How Mobile Health Technology and Electronic Health Records Will Change Care of Patients with Parkinson's Disease,» *Journal of Parkinson's Disease*, vol. 8, pp. 41-45, 2018.
- [27] H. Schmitz, C. L. Howe, D. G. Armstrong y V. Subbian, «Leveraging mobile health applications for biomedical research and citizen science: a scoping review,» *Journal of the American Medical Informatics Association*, 2018.
- [28] J. Habets, M. Heijmans, C. Herff, C. Simons, A. F. Leentjens, Y. Temel, M. Kuijf y P. Kubben, «Mobile Health Daily Life Monitoring for Parkinson Disease: Development and Validation of Ecological Momentary Assessments,» *JMIR MHEALTH AND UHEALTH*, vol. 8, 2020.
- [29] Mozilla Foundation., «HTML: Lenguaje de etiquetas de hipertexto,» mozilla.org, 2022. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTML>.
- [30] J. D. Pérez Jiménez, «Qué es HTML5,» openwebinars, 20 01 2019. [En línea]. Available: <https://openwebinars.net/blog/que-es-html5/>.

- [31] Microsoft, «typescript,» Microsoft, 2022. [En línea]. Available: <https://www.typescriptlang.org/>. [Último acceso: 14 Mayo 2022].
- [32] M. Lynch, «Introducing Ionic 4: Ionic for Everyone,» Ionic, 23 01 2019. [En línea]. Available: <https://blog.ionicframework.com/introducing-ionic-4-ionic-for-everyone/>.
- [33] Ionic, «github.com/ionic-team/ionic-framework,» Ionic, 2022. [En línea]. Available: <https://github.com/ionic-team/ionic-framework>.
- [34] Microsoft, «Visual Studio Code,» Microsoft, 2022. [En línea]. Available: <https://code.visualstudio.com/>.
- [35] Microsoft, «Visual Studio Code - Open Source,» Microsoft, 2022. [En línea]. Available: <https://github.com/microsoft/vscode>.
- [36] ORACLE, «oracle.com/mysql,» ORACLE, 2022. [En línea]. Available: <https://www.oracle.com/mysql/>.
- [37] ORACLE, «What is MySQL?,» ORACLE, 2022. [En línea]. Available: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/what-is-mysql.html>.
- [38] IBM, «¿Qué es un árbol de decisión?,» IBM, 2022. [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/decision-trees>. [Último acceso: 12 Septiembre 2022].
- [39] Oracle, «¿Qué es Python?,» Oracle, 31 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://developer.oracle.com/es/learn/technical-articles/what-is-python>. [Último acceso: 24 Septiembre 2022].
- [40] Mozilla Foundation, «JavaScript,» mozilla.org, 2022. [En línea]. Available: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript>.
- [41] Mozilla Foundation, «Acerca de JavaScript,» mozilla.org, 2022. [En línea]. Available: https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/JavaScript/About_JavaScript.