



VERACRUZ
GOBIERNO
DEL ESTADO



SEV
Secretaría
de Educación



DET
Dirección de Educación
Tecnológica del Estado
de Veracruz



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE XALAPA

TÍTULO DEL PROYECTO

Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen

Opción de Titulación:
Opción I Tesis Profesional

Que como requisito parcial para la obtención de grado de

Maestro en Sistemas Computacionales

Presenta:
Marlonne Salas Bandala

No. De Control: 207O01798

Director
M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora

Co- Director
Dr. Rubén Posada Gómez

Xalapa-Enríquez, Veracruz Mayo de 2023

a tí, Alma Rosa Bandala Cruz

Agradecimientos

En primer lugar agradezco profundamente a Dios por su amor, guía y bendiciones a lo largo de mi camino durante la realización de esta tesis. Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi querida madre, Alma Rosa Bandala Cruz. Su amor, apoyo y sacrificio incondicionales han sido fundamentales siempre en mi camino.

Mi madre ha sido mi inspiración constante. Su dedicación, perseverancia y trabajo arduo me han enseñado el valor del esfuerzo y la determinación. Ha sido un gran ejemplo vivo de cómo superar los obstáculos y alcanzar los sueños.

No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud por todo lo que mi madre ha hecho por mí. Desde las noches en vela ayudándome a estudiar desde pequeño hasta los momentos en los que me ha levantado cuando he tropezado, su presencia ha sido mi mayor fortaleza.

Te amo, mamá, y este logro también es tuyo. Gracias por ser mi inspiración y mi guía a lo largo de este viaje.

Quiero dedicar un especial agradecimiento a mis adoradas hermanas, Ximena, Angie y Heidi. Su amor incondicional, apoyo constante y aliento inquebrantable han sido un regalo invaluable a lo largo de mi trayectoria académica y en la realización de esta tesis.

Mis hermanas han estado a mi lado en cada paso del camino. Han sido mi fuente de motivación y fuerza cuando las cosas se volvían difíciles. Sus palabras de aliento, su sabiduría y su confianza en mí han sido fundamentales para mantenerme enfocado y perseverar en los momentos de desafío.

A mis queridas hermanas, les agradezco por creer en mí, por celebrar mis logros y por ser mis aliadas inquebrantables. Su amor y apoyo incondicional han sido un regalo invaluable y no podría haber llegado hasta aquí sin ustedes.

Quiero dedicar un sincero agradecimiento a mi pareja Cinthia Rubi. Tu amor, apoyo y comprensión han sido fundamentales en mi vida y en la realización de esta tesis, haz sido mi compañera constante a lo largo de este viaje académico desde la Licenciatura. Tu presencia ha sido mi refugio y mi fuente de inspiración. Tu apoyo incondicional y tu fe en mis capacidades han sido un gran impulso para superar los desafíos y alcanzar mis metas. Te agradezco por tu paciencia y comprensión durante las largas horas de estudio y trabajo dedicadas a esta tesis. Siempre haz estado ahí para escucharme, brindarme palabras de aliento y ofrecerme tu perspectiva única, este logro también es tuyo, te agradezco mucho que estuviste desde el inicio de mi formación profesional y nunca dejaste caerme, te doy gracias por recordar que todo problema tiene un camino por el cual debe de ser resuelto. Te agradezco por que en los momentos en que dudaba de mí mismo, siempre haz creído en mí y me haz recordado mi potencial que tengo.

A Isis Adriana, te agradezco por tu amor incondicional y por creer en mí cuando a veces dudaba de mí mismo. Tus palabras de aliento y tus gestos de apoyo siempre han sido un bálsamo para mi espíritu y me han dado la confianza necesaria para enfrentar los desafíos como siempre me enseñaste.

Tu ausencia ha dejado un vacío en mi corazón, pero también me ha recordado la importancia de valorar cada momento y de aprovechar al máximo las oportunidades como siempre me decías. Me has enseñado que la vida es preciosa y que debemos vivirla con pasión y propósito.

A pesar de tu partida, siento tu presencia y tu amor a mi alrededor. Sé que estás guiándome y protegiéndome desde donde estás. Me consuela saber que siempre llevaré conmigo los recuerdos y el legado que dejaste.

Al Mtro. Manuel Ralero, Dr. Rubén Posada, Mtra. Angélica Cerdán y Dr. Rodrigo Rodriguez les agradezco por compartir su profundo conocimiento y experiencia conmigo. Su compromiso con la excelencia académica y su pasión por la investigación han sido una fuente constante de inspiración.

Agradezco su paciencia y disposición para responder mis preguntas, revisar mis avances y brindarme comentarios constructivos. Su orientación y consejos me han ayudado a mejorar mi enfoque de investigación y a desarrollar una comprensión más sólida del tema.

Además, quiero reconocer la forma en que han fomentado mi crecimiento personal y profesional. Su mentoría va más allá de esta tesis, y sus enseñanzas me acompañarán a lo largo de toda mi carrera. Gracias por impulsarme a superar mis límites y a buscar constantemente la excelencia.

También quiero agradecer a todos mis maestros y profesores a lo largo de mi trayectoria académica. Cada uno de ustedes ha dejado una marca en mi vida y ha contribuido a mi crecimiento intelectual. A través de sus enseñanzas y dedicación, me han guiado en el camino hacia el conocimiento y me han motivado a alcanzar mis metas.

Resumen

Actualmente existen enfermedades crónicas que afectan la calidad de vida de las personas que las padecen. Muchas de estas enfermedades requieren terapias de rehabilitación para mejorar la calidad de vida del afectado. Esto implica que los pacientes algunas veces deben hacer un esfuerzo para asistir a su rehabilitación. Derivado de esto, han surgido aplicaciones de tipo “mHealth” que hacen la rehabilitación más accesible y atractiva, aplicando las tecnologías de la información a los tratamientos médicos. Una de las ventajas de la mHealth es la “Rehabilitación a distancia” la cual ayuda a las personas que padecen alguna enfermedad crónica tener mayor accesibilidad a la hora de poder realizar sus terapias de rehabilitación. Mediante la utilización de dispositivos móviles inteligentes se realiza la tele-rehabilitación. Esto incluye diferentes técnicas y tecnologías para el procesamiento de imagen que actualmente impactan en el área médica. Aunado lo anterior, en este trabajo de investigación, se propuso la implementación de una aplicación móvil que en conjunto con el procesamiento de imagen proporcionado por el kit de desarrollo *Google ML Kit* es posible implementar ejercicios fisioterapéuticos que por medio de la aplicación móvil es posible detectar si el paciente afectado lo hizo de manera correcta o no. El sistema inteligente se puso a prueba en un grupo de 10 personas de diferentes edades y diferentes formas corporales para detectar con exactitud la precisión de la detección. El modelo inteligente fue evaluado mediante la matriz de confusión proveniente de las métricas del aprendizaje automático donde denotamos la fórmula de precisión la cual nos ayudó a obtener favorables resultados con un mínimo de 80 % a excepción de dos ejercicios fisioterapéuticos, donde se identificaron trabajos futuro.

Abstract

Currently, there are chronic diseases that affect the quality of life of the people who suffer from them. Many of these diseases require rehabilitation therapies to improve the quality of life of the affected person. This means that patients sometimes have to make an effort to attend their rehabilitation. As a result, mHealth applications have emerged that make rehabilitation more accessible and attractive, applying information technologies to medical treatments. One of the advantages of mHealth is "remote rehabilitation", which helps people suffering from chronic illnesses to have greater accessibility when it comes to carrying out their rehabilitation therapies. Through the use of smart mobile devices, tele-rehabilitation is performed. This includes different techniques and technologies for image processing that are currently impacting the medical area. In addition to the above, in this research work, it was proposed the implementation of a mobile application that together with the image processing provided by the development kit Google ML Kit, it is possible to implement physiotherapeutic exercises that through the mobile application is possible to detect if the affected patient did it correctly or not. The intelligent system was tested on a group of 10 people of different ages and different body shapes to accurately detect the accuracy of detection. The intelligent model was evaluated using the confusion matrix from the machine learning metrics where we denoted the accuracy formula which helped us to obtain favorable results with a minimum of 80% except for two physiotherapeutic exercises, where future work was identified.

Índice

Agradecimientos	V
Resumen	IX
Abstract	XI
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	4
1.4. Alcances y Limitaciones	5
1.5. Pregunta de investigación	6
1.5.1. Preguntas de investigación	6
1.6. Hipótesis	6
1.7. Objetivos	6
1.7.1. Objetivo General	6
1.7.2. Objetivos Específicos	7
1.8. Metodología	7
1.9. Estructura del documento	9

2. Tendencia tecnológica mHealth y sus aplicaciones en el campo médico	11
2.1. eHealth	11
2.2. Aplicaciones móviles	13
2.3. mHealth	14
2.4. tSalud	15
2.5. Inteligencia artificial	15
2.5.1. Sistemas Expertos	15
2.5.2. Representación del conocimiento	17
2.5.3. Aprendizaje Automático	17
2.6. Métricas del aprendizaje automático	18
2.6.1. Matriz de confusión	18
2.7. Técnicas de procesamiento de imagen	19
2.7.1. OpenCV	20
2.7.2. TensorFlow Lite	21
2.7.3. Librería de procesamiento de imagen Jon's Java (JJIL)	21
2.7.4. Algoritmos de procesamiento de imágenes	21
2.7.5. Algoritmo de detección de bordes	23
2.7.6. Algoritmo de visión aumentada	25
2.8. Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica	26
2.8.1. Rehabilitación Pulmonar en pacientes con EPOC	28
2.9. Estado del arte	30
2.9.1. Revisión Sistemática de la Literatura	30
2.9.2. Preguntas de investigación	30
2.9.3. Recuperación de la información	31
2.9.4. Criterios de inclusión	33
2.9.5. Criterios de exclusión	33

2.10. Análisis de resultados	34
2.10.1. Enfermedades tratadas mediante el uso de plataformas tecnológicas y tipo de información recolectada	35
2.10.2. Aplicaciones mHealth en el área de rehabilitación	38
2.10.3. Procesamiento de imagen aplicadas en la detección de movimiento	39
2.11. Conclusión	41
3. Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliaria de personas con enfermedades pulmonares crónicas	43
3.1. Aplicación móvil	44
3.1.1. Hardware móvil	44
3.1.2. Kit de desarrollo de software Google ML	45
3.1.3. Arquitectura de sistema	50
3.2. Fisioterapia Pulmonar	52
3.2.1. Observación y análisis de los ejercicios realizados en fisioterapia de rehabilitación pulmonar	52
3.2.2. Interacción entre paciente y fisioterapeuta	54
3.2.3. Ejercicios respiratorios y físicos	58
3.2.4. Elaboración y validación de videos de los ejercicios muestra utilizados como base para la implementación de los ejercicios implementados en la aplicación móvil	59
3.2.5. Propuesta de la implementación de la aplicación incluyendo la interfaz de usuario	63
3.2.6. Implementación de tecnología web basada en arquitectura en la nube	68
4. Evaluación de la Propuesta	75
4.1. Materiales y método	76

4.2. Método de experimentación	76
4.2.1. Aplicación móvil	77
4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación	78
4.3.1. Cuestionario de Usabilidad	100
4.3.2. Conclusión	103
5. Conclusiones y trabajo futuro	107
5.0.1. Resumen	107
5.1. Aportaciones	109
5.2. Trabajo Futuro	110
A. Guías clínicas de rehabilitación pulmonar	113
B. Requerimientos técnicos para plataforma en la nube	119
C. Consentimiento Informado	121
Bibliografía	133

Índice de figuras

2.1. Tecnologías que impactan en eHealth	12
2.2. Tipos de aprendizaje automático. Tomado de (Rouhiainen, 2018)	18
2.3. Matriz de confusión de dos etiquetas de clase. Tomado de (Chauhan, 2020)	19
2.4. Ejemplo de detección de puntos clave en una imagen. Tomado de (Jovaní, 2014a).	22
2.5. Comparación entre puntos clave de dos imágenes. Tomado de (Jovaní, 2014a).	23
2.6. Estructura método EDGE (Sanz., 2013))	23
2.7. Edge Canny (Sanz., 2013)	25
2.8. Algoritmo visión Aumentada (Delrieux y cols., 2012)	26
2.9. tomado de: (Núñez y cols., 2008)	29
3.1. Android Studio Artic Fox 2020.3.1	44
3.2. Puntos del cuerpo humano que detecta " <i>Pose detection</i> ". Tomada de ML (2022)	46
3.3. Formato csv de coordenadas de poses fisioterapéuticas	47
3.4. Detección de puntos en tiempo real en aplicación móvil	50
3.5. Arquitectura del sistema móvil mHealth	51
3.6. Sesión de fisioterapia de rehabilitación pulmonar (I)	53
3.7. Sesión de fisioterapia de rehabilitación pulmonar (II)	53

3.8. Sesión de fisioterapia de rehabilitación pulmonar (III)	54
3.9. Diagrama de caso de uso del proceso de una sesión de fisioterapia	55
3.10. Arquitectura de Base de conocimiento	60
3.11. Ejercicio Sentadilla	61
3.12. Clasificación de fotogramas	62
3.13. Servicios disponibles en plataforma Amazon AWS	69
3.14. Características de instancia RDS	70
3.15. Características de conexión de Base de datos	70
3.16. Conexión a SGBD	71
3.17. Instancia EC2	71
3.18. Servidor GlasFish	72
3.19. Netbeans	72
3.20. Persistencia de los Datos en formato JSON	73
4.1. Formula de precisión	78
4.2. Resultado de ejercicio Respiración Diafragmática (Sentado)	80
4.3. Ejecución de ejercicio Respiración Diafragmática (Sentado)	81
4.4. Resultado de ejercicio Respiración Diafragmática	83
4.5. Ejecución de ejercicio Respiración Diafragmática	84
4.6. Resultado de ejercicio Abducción de brazos	85
4.7. Ejecución de ejercicio abducción de brazos	86
4.8. Resultado de ejercicio Flexión de brazos	88
4.9. Ejecución de ejercicio flexión de brazos	89
4.10. Resultado de ejercicio Sentadilla	91
4.11. Ejecución de ejercicio sentadilla	92
4.12. Resultado de ejercicio Cuádriceps en una silla	93
4.13. Ejecución de ejercicio cuádriceps en una silla	94

4.14. Resultado de ejercicio isquiotibiales	96
4.15. Ejecución de ejercicio isquiotibiales	97
4.16. Resultado de ejercicio Deltoides Medio	98
4.17. Ejecución de ejercicio Deltoides medio	99
4.18. Resultado de enunciados de Usabilidad	101
4.19. Escala de usabilidad. “Grade rankings of SUS scores from “Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale,” by A. Bangor, P.T. Kortum, and J.T. Miller, 2009, Journal of Usability Studies, 4(3), 114-123. Reprinted with permission.” (Brooke, 2013) . . .	102
A.1. Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Instituto Mexicano de Seguro Social	113
A.2. Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Colegio Mexicano en Terapia Respiratoria	114
A.3. Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Instituto Nacional de Geriatría	115
A.4. Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Gobierno de México para la rehabilitación de personas por Covid-19	116
A.5. Ejercicios de rehabilitación seleccionados	117
A.6. Clasificación de ejercicios seleccionados	118

Índice de Tablas

2.1. Sinónimos de conceptos	32
2.2. Cadenas de búsqueda	32
2.3. Bases de datos bibliográficas	34
2.4. Artículos recopilados	34
2.5. Clasificación de presión arterial	37
3.1. Características de dispositivo móvil	45
3.2. Requerimientos funcionales de aplicación móvil	57
3.3. Ejercicios Seleccionados	59
3.4. Fotogramas Recolectados	63
3.5. Inicio de sesión	64
3.6. Menú lateral	65
3.7. Opciones de menú lateral	66
3.8. Fisioterapia Respiratoria	67
3.9. Ejecución de fisioterapia	68
4.1. Matriz de confusión	78
4.2. Resultados de ejecución de Ejercicio Respiración Diafragmática (Sentado)	79
4.3. Promedio de confianza de detección del ejercicio Respiración Costal (Sentado)	80

4.4. Resultados de ejecución de Ejercicio Respiración Costal	82
4.5. Promedio de confianza de detección del ejercicio Respiración Costal .	83
4.6. Resultados de ejecución de Ejercicio Abducción de brazos	85
4.7. Promedio de confianza de detección del ejercicio Abducción de brazos	86
4.8. Resultados de ejecución de Ejercicio Flexión de brazos	87
4.9. Promedio de confianza en ejercicio fisioterapéutico Flexión de brazos .	88
4.10. Resultados de ejecución de Ejercicio Respiración Sentadilla	90
4.11. Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Sentadilla	91
4.12. Resultados de ejecución de Ejercicio Cuádriceps en una silla	93
4.13. Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Cuádriceps en una Silla	94
4.14. Resultados de ejecución de Ejercicio Isquiotibiales	95
4.15. Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Isquiotibiales . . .	96
4.16. Resultados de ejecución de ejercicio Deltoides Medio	98
4.17. Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Deltoides Medio .	99
4.18. Preguntas de evaluación de usabilidad	100
4.19. Resultados de encuestas de usabilidad	103
4.20. Resultados de precisión de ejercicios fisioterapéuticos	104
B.1. Requerimientos técnicos para plataforma en la nube	119

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es una enfermedad pulmonar progresiva y potencialmente mortal, que por sus efectos puede causar disnea la cual predispone a padecer exacerbaciones provocando un empeoramiento de los síntomas llegando a ser mortales.

Se caracteriza principalmente por una reducción persistente del flujo de aire provocando falta de aire, dado que los síntomas empeoran gradualmente cada vez es más difícil realizar las actividades diarias. La disnea es persistente y en un inicio se asocia a la realización de algún esfuerzo físico, aumentando con el tiempo hasta aparecer aun estando en reposo. Es una enfermedad que no siempre se diagnostica en una etapa temprana, por lo que puede ser mortal. El EPOC es una enfermedad que no tiene cura, sin embargo, si se detecta y es tratada a tiempo puede detener el agravamiento de los síntomas. (OMS, 2022).

La rehabilitación pulmonar respiratoria en el paciente con EPOC ha comprobado que es eficiente en la mejoría en la disnea, de esfuerzo de la capacidad de ejercicio y de la calidad de vida de los enfermos que padecen esta enfermedad crónica (Sobradillo, 2001) . Los programas de rehabilitación respiratoria más complejos son bastante más completos incluyen diversos profesionales y diferentes técnicas las cuales van desde el abandono del tabaquismo hasta la terapia ocupacional, este tipo de terapias son costosas y se realizan en centros de rehabilitación (Sobradillo, 2001).

Gracias a los avances tecnológicos que se han tenido en los últimos años, las tecnologías de la información han permitido el desarrollo de aplicaciones en el área de la salud (eHealth), dentro de las ventajas que se tienen en el desarrollo de las aplicaciones de eHealth es que el paciente está más informado y mantiene una comunicación más estrecha con su médico (Sainz de Abajo y cols., 2011). Con el uso creciente a nivel mundial de los dispositivos móviles y teléfonos inteligentes se deriva una rama de la eHealth y esta es la llamada mhealth, la cual se centra en el uso de estos dispositivos que poseen. Se sabe que la mayoría de la población mundial tiene acceso a un dispositivo móvil frente al 26 % de la población que no dispone de acceso a internet a través del computador, es lógico apostar por esta tecnología y verla como el futuro de la telemedicina. Así que para los países en vías de desarrollo mHealth ofrece la mejor oportunidad en el cuidado de la salud (Sainz de Abajo y cols., 2011).

En los últimos años, se han desarrollado diferentes implementaciones de tecnologías de tipo mHealth, estas tienen como principal objetivo la rehabilitación pulmonar de personas con EPOC, los autores (Pereira y cols., 2016) realizaron una implementación en conjunto con la Escuela de Ciencias de la salud de la Universidad de Aveiro, donde el afectado por esta enfermedad crónica pulmonar, puede observar sus niveles de frecuencia cardiaca y saturación del oxígeno gracias a una conexión por Bluetooth entre el smartphone y un oxímetro de pulso, con esta implementación los pacientes pueden realizar, monitorear, geolocalizar y evaluar diferentes ejercicios respiratorios, así como algunas actividades físicas diarias comunes.

1.2. Planteamiento del problema

La EPOC se caracteriza principalmente por la limitación de flujo de aire en las vías respiratorias provocando la falta de aire, teniendo efectos principalmente en el desarrollo físico, emocional y sobre todo afecta la calidad de vida de las personas que padecen este tipo de enfermedad crónica. Es importante mencionar que esta enfermedad crónica es tratada por especialistas en el área mediante ejercicios de rehabilitación para mejorar así la función de los pulmones y la calidad de vida del paciente afectado. Derivado a esto, en la actualidad han surgido nuevos tipos de soluciones de tipo mHealth asociadas a las tecnologías de la información, facilitando la realización de la rehabilitación pulmonar y haciéndola mucho más atractiva. Una de las principales ventajas que existen de la

1.2. Planteamiento del problema

Rehabilitación a distancia es que ayudan a las personas que padecen esta enfermedad crónica cuando tienen limitantes de movilidad o bien cuando no se tiene un especialista en rehabilitación en el área donde habita. Así, mediante el uso de dispositivos móviles inteligentes se tiene un nuevo enfoque innovador para la rehabilitación a distancia y este es el concepto de tele-rehabilitación.

Considerando la situación anterior, en este trabajo de investigación se propone implementar un terapeuta virtual basado en el tipo de solución mHealth. El sistema móvil podrá tener una monitorización en tiempo real de los ejercicios de rehabilitación mediante el procesamiento de imágenes y el censado de los signos vitales del paciente haciendo uso de dispositivos de monitorización de variables biomédicas, como es la saturación de oxígeno mediante un oxímetro de pulso. Con este terapeuta virtual se tendrá la monitorización en tiempo real y el registro de las estas variables en una base de datos clínicos obtenidos durante el proceso de la rehabilitación pulmonar de pacientes con EPOC, integrando las tecnologías de información.

Por consiguiente, esta pretende ser una alternativa aplicada para dos tipos de usuario: el paciente y el médico. Por parte del paciente, la creación de un sistema que lo ayude a realizar la rehabilitación pulmonar desde casa, permitirá que este adopte su tratamiento, evitando un menor abandono de estos, además de facilitar el acceso a estas terapias. Por lo tanto, si existen menos abandonos de tratamientos y una mejor realización y finalización de la rehabilitación, el paciente mejorará drásticamente su calidad de vida, mejorando así las estadísticas que se muestran a continuación:

- En el año 2022, hubo un total de 210 millones de personas que vivieron con EPOC en el mundo (Inhelgeim, 2022).
- La 6ta causa de muerte en México entre los derechohabientes del Instituto Mexicano del Seguro Social es provocada por la EPOC (Inhelgeim, 2022).
- Anualmente en México mueren 18,000 pacientes a causa de esta enfermedad (Inhelgeim, 2022). Por otro lado, se pretende que de igual forma este sistema móvil ayude a agilizar los tiempos del personal de salud especializado, ya que de este modo, estos podrán monitorizar al paciente en tiempo real de manera remota, sin la necesidad de asistir a la consulta, ya que el principal síntoma de esta enfermedad crónica es el desgaste físico, el uso de esta tendencia tecnológica

reduce considerablemente los gastos hospitalarios, siendo un beneficio directo tanto para los pacientes que padecen esta enfermedad como para el personal de salud especializado.

1.3. Justificación

La EPOC es una enfermedad inflamatoria, progresiva, prevenible y tratable, caracterizada principalmente por la obstrucción persistente del flujo aéreo respiratorio. Es considerada una condición de gran relevancia con alto impacto socioeconómico en el mundo, y una morbilidad en incremento sostenido que la convierten en un problema prioritario de salud pública (Gonzalez y cols., 2016). En México, su prevalencia es de 7.8% y se tiene un subdiagnóstico del casi 90%. En el Instituto de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (INER), la EPOC ocupó el tercer lugar en visitas a urgencias y el segundo lugar en la consulta externa en 2011. En 2016 fue la tercera causa de muerte en el mundo, además cabe mencionar que esta enfermedad genera un costo muy grande para su atención y recuperación (Gonzalez y cols., 2016). Para mejorar la calidad de vida de las personas que padecen esta enfermedad obstructiva crónica se necesita de rehabilitación especial, por tal motivo un programa completo para la rehabilitación pulmonar incluye diversas técnicas, donde los principales puntos a tratar son los siguientes: fisioterapia respiratoria: técnicas de permeabilización de la vía aérea, técnicas de reeducación respiratoria; Entrenamiento muscular: Extremidades inferiores, extremidades superiores, músculos respiratorios (Centro Nacional de Rehabilitación "Julio Díaz"). mHealth es un término que en el mundo de la medicina es revolucionario y está teniendo mucha aceptación, mediante el cual se pretende contribuir a dar solución a la problemática planteada en este trabajo de investigación. Existen muchos beneficios en el uso de aplicaciones de mHealth para las personas que padecen EPOC, entre las principales que se pueden resaltar las siguientes:

- Accesibilidad: En este punto, los pacientes que padecen enfermedades crónicas pulmonares pueden realizar su rehabilitación y monitorización desde cualquier lugar (Devices, 2020).

1.4. Alcances y Limitaciones

- Rapidez: El paciente puede monitorear sus signos vitales en cualquier momento para conocer su estado de salud sin la necesidad de salir de la comodidad de su casa y asistir a un hospital para poder tomar medidas biomédicas (Devices, 2020).
- Reducción de gastos hospitalarios: El uso de esta tecnología reduce considerablemente los ingresos hospitalarios (Devices, 2020).

En este trabajo de investigación, se pretende facilitarles a los pacientes el acceso a la terapia de rehabilitación respiratoria especialmente cuando (por diferentes circunstancias) no le sea posible trasladarse a un centro de rehabilitación y con esta facilidad de realizar su terapia contribuir a mejorar la calidad de vida de las personas que padecen estas enfermedades pulmonares crónicas todo esto integrando las tecnologías de información.

1.4. Alcances y Limitaciones

En relación a los alcances y limitaciones que se establecen en el desarrollo de este trabajo de investigación son los siguientes:

1. Se diseñará el sistema de software y hardware que implemente un terapeuta virtual
2. Se diseñará el modelo de análisis de datos y procesamiento de señales, para generar la retroalimentación de asistencia al paciente con EPOC en un conjunto finito de ejercicios de rehabilitación pulmonar
3. Se diseñarán micro-servicios en arquitectura Rest para tener una conectividad ligera en el prototipo.
4. Se implementará una conexión con la plataforma Amazon AWS para la implementación de servicios en la nube que soporten al prototipo desarrollado
5. Se implementará un prototipo de laboratorio para validar el concepto por medio de un juicio de valor de expertos en terapia pulmonar.

1.5. Pregunta de investigación

¿La combinación de señales biomédicas y detección de patrones de movimiento en tiempo real, permite la rehabilitación domiciliaria de personas que padecen enfermedades pulmonares obstructivas crónicas?

1.5.1. Preguntas de investigación

- ¿La implementación de ejercicios de rehabilitación pulmonar en tecnología móvil conlleva a una mejora en personas que padecen enfermedades pulmonares crónicas?
- ¿Qué técnicas de procesamiento de imagen se emplearán en la aplicación móvil para la rehabilitación de personas con enfermedades pulmonares crónicas?
- ¿Qué señales biomédicas se incluirán para llevar un correcto monitoreo domiciliario de personas que padecen enfermedades pulmonares crónicas?

1.6. Hipótesis

La combinación de la detección de patrones de movimiento y el análisis de señales biomédicas aplicados a un sistema para la asistencia terapéutica remota en la rehabilitación pulmonar, permitirá la disminución de la supervisión presencial especializada e incrementará la capacidad de autogestión, mediante una retroalimentación en tiempo real al paciente.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema para terapia de rehabilitación pulmonar, con monitoreo y asistencia autónoma por técnicas de procesamiento de imagen y análisis de señales

biomédicas, en la atención domiciliaria a pacientes con EPOC asistiendo al paciente de manera autónoma.

1.7.2. Objetivos Específicos

- Revisar la literatura existente sobre las aplicaciones mHealth para la retroalimentación del trabajo de investigación.
- Analizar la información existente sobre las terapias de rehabilitación para pacientes con enfermedades pulmonares crónicas para la futura implementación de la investigación.
- Analizar las diferentes técnicas y métodos de procesamiento de imágenes y determinar el tipo de tecnología que se empleará en el desarrollo del proyecto para cumplir con el objetivo de la investigación.
- Desarrollar con los ejercicios previamente seleccionados un sistema móvil de tipo “mHealth” que permita la tele-rehabilitación domiciliaria en pacientes con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas.
- Diseño y evaluación experimental del sistema móvil desarrollado con usuarios finales (pacientes con enfermedades pulmonares obstructivas crónicas y/o cuidadores).

1.8. Metodología

Para la presente investigación, se aplicó la siguiente metodología para cumplir con el objetivo del trabajo de investigación:

1. **Revisión sistemática de literatura:** En esta etapa del trabajo de investigación, el objetivo es realizar una búsqueda de literatura donde se observaron las técnicas y tecnologías del procesamiento de imagen que impactan en eHealth en el área de la rehabilitación.

2. **Estudio de literatura médica sobre ejercicios de rehabilitación pulmonar:** En esta fase del proyecto de investigación se analiza el dominio general del problema planteado, entrando en detalle en la literatura médica sobre la fisioterapia pulmonar para su próxima implementación.
3. **Análisis de tecnología para el reconocimiento de movimientos físicos:** El objetivo de este punto del proyecto de investigación, es realizar una búsqueda y prueba de toda la tecnología móvil existente para la detección y procesamiento de movimientos físicos; específicamente de las extremidades del cuerpo humano para su pronta adaptación en los diferentes ejercicios de rehabilitación pulmonar anteriormente analizados.
4. **Desarrollo de un sistema móvil que permita la tele-rehabilitación domiciliaria de pacientes con EPOC:** El objetivo principal de esta fase en el proyecto de investigación es cumplir con el plan de trabajo que se realizó en la fase anterior, además se debe de alcanzar toda la capacidad operacional de la implementación de forma incremental, todo esto a través de las repetidas iteraciones. Durante esta fase todos los componentes, características y requisitos deben de ser implementados y probados en su totalidad, teniendo una versión final del producto, teniendo en cuenta que esta implementación debe de cubrir con el objetivo principal del trabajo de investigación, de igual manera durante esta fase se obtendrán versiones funcionales (beta) que ayudarán a tener un resultado más completo y tan rápido como sea práctico. Se realizarán los cambios de acuerdo con las evaluaciones realizadas por los usuarios finales y se realizarán las mejoras para el proyecto de investigación.
5. **Validación del sistema móvil desarrollado con usuarios finales (pacientes con enfermedades pulmonares crónicas y/o cuidadores):** El objetivo principal de la esta fase del proyecto es poner a disposición de los usuarios finales y expertos en terapia de rehabilitación la implementación del prototipo. Por lo que se obtendrá una versión final preliminar con las nuevas versiones actualizadas del proyecto, se completará la documentación del proyecto de investigación, se entrenará a los pacientes con enfermedades crónicas para el manejo de la aplicación, se conseguirá que el usuario final pueda ocupar la implementación de manera autónoma, se realizarán las pruebas de rendimiento correspondientes a la

implementación, se ajustarán los errores y defectos encontrados en las pruebas de aceptación, y se brindará soporte necesario.

6. **Análisis de resultados, evaluación del sistema y propuesta de mejora:** De acuerdo a la fase anterior, el objetivo principal de este punto es realizar un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos de la validación experimental, observar las retroalimentaciones obtenidas por el experto en el área y realizar una propuesta de mejora para tener una mayor adaptabilidad ante los usuarios finales.

1.9. Estructura del documento

El documento está estructurado de la siguiente manera:

1. Capítulo 1 Introducción, se plantean los objetivos, hipótesis, justificación y metodología del trabajo.
2. Capítulo 2 Marco teórico, se abordan los conceptos subyacentes de la investigación, así como la literatura relacionada.
3. Capítulo 3 Desarrollo, se abordan los elementos para el desarrollo de las aplicaciones de software con las cuales se pretende probar la hipótesis.
4. Capítulo 4 Evaluación, se describe el proceso de prueba y sus resultados.
5. Capítulo 5 Conclusiones, se plantean las conclusiones y los trabajos a futuro.

Capítulo 2

Tendencia tecnológica mHealth y sus aplicaciones en el campo médico

2.1. eHealth

Es un concepto revolucionario que aproxima al paciente al ámbito de la salud, mediante el cual se pueden solicitar citas a través del uso de la red mediante un correo electrónico. Mediante esta tendencia, una de las características principales es que el paciente está informado en todo momento y más cerca de su médico desde un punto de vista perceptual y no físico.(Sainz de Abajo y cols., 2011). Esta tendencia tecnológica es aplicable a todos los campos médicos donde destacan:

- Cirugía
- Tele radiología
- Tele consultas
- Tele sonografía
- Diagnóstico Remoto por imagenología digital térmica
- Prevención
- Pronóstico de enfermedades

De acuerdo con la OMS, eSalud es “El uso de las tecnologías de la información y comunicaciones en el sector de la salud, donde la información digital es transmitida, almacenada u obtenida electrónicamente para el apoyo en el cuidado de la salud tanto a nivel local como de forma remota. (Organization, 2020) El acceso a la información relevante sobre la salud constituye una búsqueda recurrente en internet, que está disponible para toda persona que disponga de acceso a Internet. A través de la teleconsulta es posible realizar el seguimiento del paciente o incluso la posibilidad de realizar diagnósticos alternativos con médicos especializados, con gran reconocimiento internacional. Los especialistas en el área tienen el beneficio de poder consultar información que comparten con otros especialistas en el área a través de diferentes redes de colaboración y sistemas de información. Otra ventaja es la posibilidad de realizar una prescripción electrónica asistida para pacientes que se encuentren en otros lugares y que no les resulta fácil o no pueden asistir a una consulta médica (Sainz de Abajo y cols., 2011). El fundamento principal de la medicina es el diagnóstico, sin el cual no es posible establecer el tratamiento adecuado, y es en el diagnóstico donde resulta más eficiente aplicar las tecnologías de la información, ya que permite decidir sobre el tratamiento a seguir. eHealth es un nuevo concepto en la prestación del servicio de salud gracias al gran potencial que ofrecen las TIC's en la mejora del acceso a estos servicios, la reducción de los tiempos de respuesta, la efectividad y contraste de los diagnósticos, y sobre todo la mejora del servicio al paciente (Sainz de Abajo y cols., 2011). En la figura 2.1 se pueden observar las principales tecnologías que impactan de manera directa en el desarrollo de la tendencia tecnológica eHealth, se puede observar que la principal tecnología que impacta a tHealth es la televisión interactiva, y para mHealth la principal tecnología que impacta son los teléfonos móviles inteligentes.

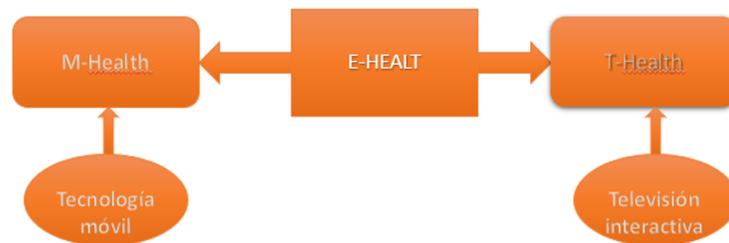


Figura 2.1: Tecnologías que impactan en eHealth

2.2. Aplicaciones móviles

La tecnología móvil y su desarrollo tecnológico están dando una apertura para una nueva generación de aplicaciones, a estas se les conoce como aplicaciones móviles. Una aplicación móvil se considera a aquel software desarrollado para dispositivos móviles (Smartphone, Tablet, etc.). (Enriquez y Casas, 2014). Móvil se refiere a la posibilidad de acceder desde un dispositivo en cualquier lugar y momento a los datos, y aplicaciones. Las aplicaciones móviles se desarrollan teniendo en cuenta las limitaciones y características de los propios dispositivos a las cuales están destinados, por ejemplo: CPU de bajo procesamiento, escasa capacidad de almacenamiento, ancho de banda limitado, etc. Los dispositivos móviles tienen las siguientes características: son ligeros y pequeños como para ser transportados fácilmente por las personas, disponen de una batería propia para funcionar de manera autónoma, están clasificados por diferentes plataformas tecnológicas que incluyen diferentes sistemas operativos disponibles actualmente en el mercado tecnológico, cada uno tiene diferentes particularidades en cuanto al manejo por parte del usuario, como también al momento de desarrollar una aplicación, los sistemas operativos móviles son mucho más sencillos que los de una computadora y estos están destinados para la conectividad inalámbrica. (Enriquez y Casas, 2014). Actualmente existen dos categorías en las que se pueden clasificar las aplicaciones móviles:

- **Aplicaciones nativas:** Estas aplicaciones están diseñadas específicamente para un tipo de dispositivo y su sistema operativo. Se basan en la instalación de código ejecutable en el dispositivo del usuario y tienen la capacidad de acceder a funciones como almacenamiento, GPS (Posicionamiento Global), SMS (servicio de mensajes), correo electrónico, entre otras. Existen repositorios desde los cuales se pueden descargar e instalar este tipo de aplicaciones, dependiendo del sistema operativo correspondiente. El principal problema que se puede observar en este tipo de aplicaciones es que se deben desarrollar para cada plataforma y por lo tanto incrementa el tiempo de desarrollo, costo y esfuerzo.
- **Aplicaciones Web:** La principal característica de este tipo de aplicaciones es que se encuentran ejecutándose en servidores, estas incluyen páginas web optimizadas comúnmente conocidas como responsivas para que puedan ser

visualizadas en pantallas de los dispositivos móviles, se pueden desarrollar en HTML, Javascript, CSS, etc. Se definen como las aplicaciones que son accedidas utilizando algún navegador web, una ventaja que se puede observar desarrollando aplicaciones móviles web es que son fáciles de implementar y de integrar con otras aplicaciones existentes, además de necesitar menos requerimientos del hardware de los dispositivos móviles, una desventaja es que no pueden acceder a las funcionalidades propias del dispositivo, por ejemplo, una aplicación de este tipo no puede utilizar la cámara, en el caso que la tuviera para capturar imágenes que la aplicación así lo requiera. Los dispositivos móviles junto con las aplicaciones son utilizados en un determinado contexto, donde las características de este cambian continuamente. Al utilizar las aplicaciones móviles, los usuarios finales van a tener ciertas particularidades, tendrán diferentes objetivos, van a realizar diferentes tareas y de igual manera se manipularán en diferentes entornos físicos y sociales, estos factores y otros, relacionados al contexto móvil, influyen en la forma de uso de una aplicación.

2.3. mHealth

La OMS define la mSalud como “la práctica de la medicina y salud pública soportada por dispositivos móviles como smartphones y wearables para el seguimiento de los pacientes, la práctica médica y la salud pública”. mSalud es una derivación de eSalud, la diferencia se basa en que la mSalud integra específicamente el uso de dispositivos móviles, como bien pueden ser PDA’s o dispositivos inalámbricos en general, para la atención y seguimiento de los pacientes. El uso de dispositivos móviles permite un mayor rendimiento, una monitorización en tiempo real, recordatorios etc. mejorando la atención brindada al paciente (Sainz de Abajo y cols., 2011). Cabe recalcar que, si bien el aspecto principal de la mSalud es el uso de dispositivos móviles, la mSalud también tiene como principal objetivo el seguimiento en tiempo real, que incluye monitorización, recolección de datos y envío de datos, etc. que efectivamente se logran con el uso de dispositivos móviles (Sainz de Abajo y cols., 2011). Este tipo de áreas emergentes tienen un impacto en diferentes categorías, en el caso global de la eSalud, impactan en la educación, comportamiento, control y manejo, adopción y vigilancia de la salud, sin embargo, existen dos categorías de nuestro mayor interés en el campo de la mSalud,

la primera es la adopción de la tecnología que viene acompañada del empoderamiento de las TIC'S en el área de la medicina, y es que gracias a la mSalud el usuario puede participar activamente en el proceso de control, cuidado de su salud y prevención de enfermedades. La segunda, más allá del proceso y educación de la salud, se refiere a los costos sanitarios, pues al emplear estas tecnologías se tiene una repercusión en el aumento en la eficiencia del personal de salud, disminuyendo los costos hospitalarios dando así un ahorro económico (Sainz de Abajo y cols., 2011). (Sainz de Abajo y cols., 2011).

2.4. tSalud

La tSalud al igual que la mSalud es una derivación de la eSalud, este es uno de los términos más recientes y hace referencia a todo servicio sanitario al que se puede acceder a través de la televisión interactiva. Esta área permite una mejor accesibilidad a los usuarios, ya que la televisión digital facilita la interactividad y el acceso del día a día (Sainz de Abajo y cols., 2011).

2.5. Inteligencia artificial

Se puede afirmar que un sistema informático con inteligencia artificial tiene la capacidad de realizar predicciones o llevar a cabo acciones basándose en los patrones de los datos disponibles, y además, puede aprender de sus errores. La inteligencia artificial avanzada procesa la información nueva con mayor rapidez y precisión, lo que la hace muy útil en escenarios complejos como los automóviles autónomos, los programas de reconocimiento de imágenes y los asistentes virtuales.

2.5.1. Sistemas Expertos

Un Sistema Experto (SE), es un sistema informático que tiene el objetivo de resolver un problema, se caracteriza principalmente por tener conocimiento acerca de un dominio en particular, como comprender y resolver diversos problemas del dominio y métodos de razonamiento para manipular este conocimiento de la misma forma en que lo haría

un experto humano (Negrete y cols., 1996). Las principales características de un SE difieren directamente de los sistemas computacionales convencionales:

1. Los Sistemas Expertos utilizan gran conocimiento del dominio y algunos métodos heurísticos (Algoritmos y tablas).
2. Utilizan representaciones simbólicas del conocimiento (reglas de inferencia, redes semánticas, marcos, guiones, objetos) estos los ejecutan a través de símbolos computacionales (excepto las redes neuronales).
3. Tienen métodos para explicar como se alcanzó una solución a un problema particular.
4. Los sistemas expertos pueden utilizar conocimientos acerca de ellos mismos (metaconocimiento).
5. Los sistemas expertos aprenden de su propia experiencia acumulada.

Los temas de Pericia artificial o sistemas expertos, comprenden un área que es poco explorado en la inteligencia artificial (IA), ya que estos comprenden los principios y procedimientos básicos que caracterizan a la gran mayoría de las restantes áreas de la IA (Negrete y cols., 1996). Los sistemas expertos fueron desarrollados durante los años setenta, tuvieron éxito al de traspasar la frontera de los laboratorios y experimentación en pocos años para demostrar su efectividad en un gran número de dominios posibles. Cabe destacar que cualquier dominio de aplicación que requiera de la pericia humana para la solución de algún dominio se convierte en un escenario posible para la aplicación experimental de los Sistemas expertos. Los dominios de aplicación actualmente donde se han probado los sistemas expertos son los siguientes:

- Medicina
- Biología
- Química
- Geología
- Geofísica
- Meteorología

2.5.2. Representación del conocimiento

Los sistemas inteligentes deben de tener una alta capacidad de ejecución en la solución de problemas del mundo real todo esto debido a su contenido en sus bases del conocimiento, en términos generales, son los métodos de razonamiento que se utilizan para llevar a cabo la solución de los problemas de un dominio en particular, el termino conocimiento consiste en hechos, conceptos, procedimientos, ideas, abstracciones, reglas y asociaciones que unidos permiten modelar diferentes aspectos del mundo real (Negrete y cols., 1996). El conocimiento se puede representar mediante escenas, imágenes, palabras escritas o habladas en algún lenguaje, imágenes gráficas y otras formas en las cuales el ser humano pueda expresar, el conocimiento desde el punto de vista de la inteligencia artificial se puede interpretar como la combinación de esquemas o estructuras de datos y de procedimientos interpretativos, mediante el cual, pueden ser utilizados correctamente por un programa informático, la cual le otorga a este un comportamiento inteligente (Negrete y cols., 1996).

2.5.3. Aprendizaje Automático

El aprendizaje automático es una rama importante en la inteligencia artificial, es una característica de la informática donde en el que la computadora tiene la capacidad de aprender sin la necesidad de una programación determinada, el aprendizaje automático se basa en algoritmos que aprenden de determinado conjunto de datos (Rouhiainen, 2018). En la figura 2.2 se pueden destacar los tres principales tipos de aprendizaje automático, donde se observan los siguientes tipos:

- **Aprendizaje supervisado:** En este tipo, los algoritmos utilizados manejan datos que ya con anterioridad han sido organizados para indicar como tendría que ser organizada la información nueva, en este tipo se requiere de la intervención personal para proporcionar una próxima retroalimentación a la maquina (Rouhiainen, 2018).
- **Aprendizaje no supervisado:** En este punto, es todo lo contrario al punto anterior, este tipo de algoritmos no requieren de algún etiquetado u organizado de los datos para poder indicar como seria la nueva información entrante.

- **Aprendizaje de refuerzo:** Este tipo de aprendizaje es diferente a los anteriores, este tipo de algoritmo utilizado aprende en base a la experiencia dada.

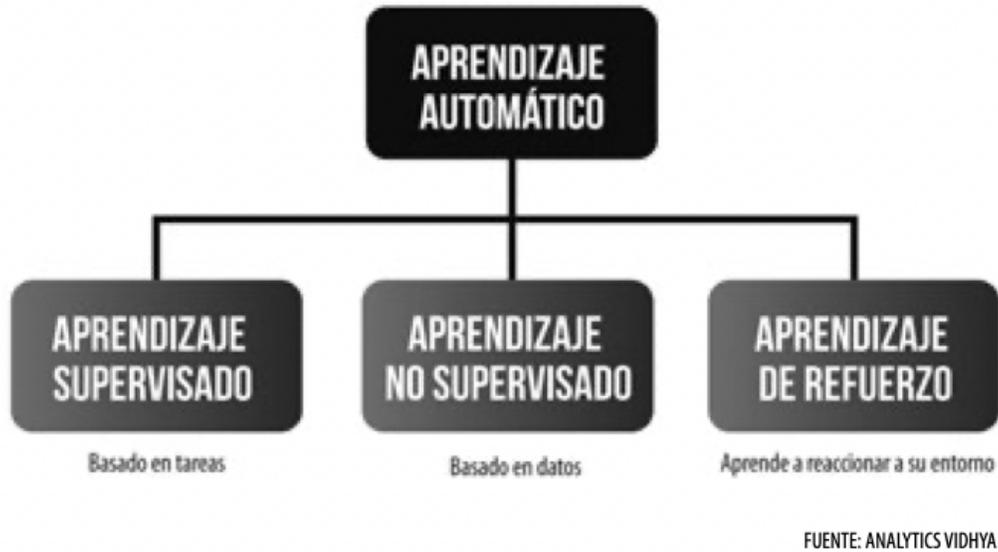


Figura 2.2: Tipos de aprendizaje automático. Tomado de (Rouhiainen, 2018)

2.6. Métricas del aprendizaje automático

Un modelo de Inteligencia Artificial siempre debe de ser evaluado para poder determinar si tiene una buena precisión en el trabajo de predicción para nuevos y futuros datos de destino. Para poder evaluar el rendimiento de clasificación de diferentes modelos de sistemas expertos, se pueden utilizar las métricas de precisión, recall, F1, accuracy y la matriz de confusión.

2.6.1. Matriz de confusión

Esta métrica del aprendizaje automático se basa en una representación matricial de las predicciones binarias de cualquier modelo de clasificación que se utiliza comúnmente para medir su rendimiento y así sacar una propuesta de mejora, en la figura 2.3 se puede ver un ejemplo de matriz de confusión con dos etiquetas de clase (Chauhan, 2020).

		Predicted Values	
		Negative	Positive
Actual Values	Negative	TN True Negative	FP False positive
	Positive	FN False Negative	TP True Positive

Figura 2.3: Matriz de confusión de dos etiquetas de clase. Tomado de (Chauhan, 2020)

Cada predicción, puede tener cuatro resultados diferentes:

- Verdadero Positivo (TP): Predicción verdadera y realmente es verdadero.
- Verdadero Negativo (TN): Predicción falsa y realmente falsa.
- Falso Positivo (FP): Predicción verdadera y realmente falso.
- Falso Negativo (FN): Predicción falsa y realmente verdadero

2.7. Técnicas de procesamiento de imagen

Una imagen digital se compone de un número finito de componentes y valores determinados. A estos componentes se les conoce como puntos elementales de la imagen o píxeles, siendo este el término comúnmente utilizado para denotar la unidad mínima de medida de una imagen digital (Nicolas Aguirre, 2015). La resolución es uno de los parámetros de mayor importancia en una imagen digital, es la cantidad de píxeles que contiene una imagen, se utiliza también para clasificar casi todos los dispositivos relacionados con las imágenes digitales, comúnmente se pueden observar en pantallas de computadora o televisión, impresoras, escáneres, cámaras digitales, etc. La calidad que proviene de una imagen proviene directamente de su resolución, comúnmente se

expresa la resolución de una imagen en dos valores numéricos, donde el primero es la cantidad de columnas de píxeles (píxeles por ancho) y el segundo la cantidad de filas de píxeles (cuantos píxeles se pueden encontrar por alto)(Nicolas Aguirre, 2015). Para el área de procesamiento de imágenes y vídeos en dispositivos móviles, la técnica de detección de bordes es una técnica fundamental para la segmentación de imágenes, la extracción de entidades y el seguimiento de objetos, es una herramienta fundamental utilizada en muchas aplicaciones de procesamiento de imágenes y vídeos para identificar objetos de imagen, se pueden localizar discontinuidades nítidas en una imagen y detectar el contorno de objetos y límites entre objetos y fondo de toda la imagen, algunos filtros de detección de bordes se utilizan principalmente para mejorar la apariencia de las imágenes borrosas y distorsionadas (Wang y cols., 2015). Esta técnica se divide principalmente en dos categorías:

- **Método de detección de bordes:** Basado en degradados detecta los bordes calculando el máximo y el mínimo a partir de la primera derivada de una imagen.
- **Método Laplacian:** Detecta bordes con cruce cero desde el derivado de segundo orden de una imagen, es sensible a los ruidos dentro de la imagen.

2.7.1. OpenCV

Es una biblioteca libre que su principal objetivo es proveer visión artificial, fue desarrollada por Intel, su primera versión alfa apareció en el año 1999. Se ha utilizado en diferentes aplicaciones, desde sistemas de seguridad con detección de movimiento, hasta aplicativos de control de procesos donde se requiere reconocimiento de objetos, su popularidad de uso se debe a que su publicación se basa en la Licencia BSD, que permite que sea usada para propósitos comerciales y de investigación con las condiciones que la licencia expresa. Es multiplataforma existiendo versiones en el entorno GNU/Linux, Mac OSX, Windows y Android, contiene aproximadamente quinientas funciones que abarcan una gran gama de áreas en el proceso de visión por computadora, como reconocimiento de objetos, reconocimiento facial, calibración de cámaras, visión estéreo y visión robótica (Aramayo Salgueiro y cols., 2014).

2.7.2. TensorFlow Lite

TensorFlow Lite es una librería que tiene herramientas de configuración que ayuda a los desarrolladores a administrar, a ejecutar modelos de TensorFlow en dispositivos móviles o de IoT. Esto brinda la inferencia de aprendizaje automático en dispositivos con baja latencia y un bajo contenido binario; es un potente sistema programable que se centra en el aprendizaje automático. Esta librería de aprendizaje automático tiene dos componentes principales:

- **Intérprete:** Este componente tiene la capacidad de ejecutar modelos especialmente optimizados en varios tipos de dispositivos diferentes; donde los principales destacan los teléfonos celulares.
- **Convertor:** Este componente convierte todos los modelos de la librería en un formato donde sea tan eficiente para que los dispositivos que lo utilicen puedan implementar optimizaciones para mejorar el tamaño y el rendimiento de los objetos binarios.

2.7.3. Librería de procesamiento de imagen Jon's Java (JJIL)

Es una biblioteca destinada para el procesamiento de imágenes bajo el entorno JAVA, incluye una arquitectura de procesamiento de imágenes y más de 60 rutinas para diversos ejercicios de procesamiento de imágenes. Dirigida especialmente para aplicaciones móviles, es eficiente tanto espacio como en tiempo sobre teléfonos móviles. Incluye interfaces para que las imágenes se puedan convertir hacia y desde formatos nativos para J2ME, Android, y J2SE, esta biblioteca está disponible como software libre bajo licencia GPL (Aramayo Salgueiro y cols., 2014).

2.7.4. Algoritmos de procesamiento de imágenes

Los algoritmos de procesamiento de imágenes se estructuran en dos partes, primero se debe tener a disposición los datos que nos permita comparar entre dos imágenes. Sin embargo, existe una gran variedad de razones que nos lo impiden, por ejemplo al utilizar la comparación de pixel a pixel, hay que tener en cuenta que no todas las imágenes

tienen el mismo tamaño, y también que la fotografía no contiene únicamente la imagen a reconocer, si no que puede incluir elementos visuales que contenga la imagen, para obtener un reconocimiento de una imagen dentro de otra se utiliza un algoritmo dividido en dos partes (Jovaní, 2014b). Esta primera parte consiste en obtener de una imagen, los puntos clave, características o descriptores, los procedimientos que se encargan de obtener estos Key Points se denominan detectores y descriptores. Computacionalmente hablando consiste en obtener una abstracción de la imagen, encontrando los puntos en los que se encuentra alguna característica de la imagen, este tipo de información se almacena dentro de un array, con el objetivo de obtener los descriptores de estas y para poder comparar qué descriptores se repiten en ambas imágenes, de modo que podemos reconocer que tan parecidas son entre sí (Jovaní, 2014b). En la figura 2.4 se puede ver un ejemplo sobre la detección de puntos clave en una imagen.

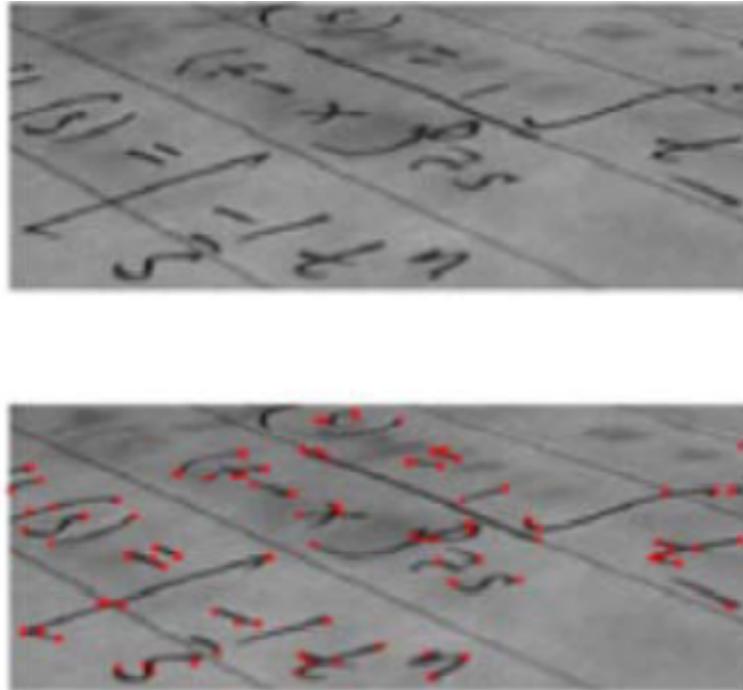


Figura 2.4: Ejemplo de detección de puntos clave en una imagen. Tomado de (Jovaní, 2014a).)

La segunda parte del algoritmo es la que tiene como principal objetivo encontrar coincidencias entre los descriptores de dos imágenes como se puede observar en la figura

2.5. Los procesos que se encargan de realizar dicha tarea reciben el nombre de matcher o disparadores, sus búsquedas son de muchos a muchos, en los que comprueban si cada descriptor de la imagen que contiene la imagen a reconocer coincide con alguno de los descriptores de la imagen que se requiere encontrar.

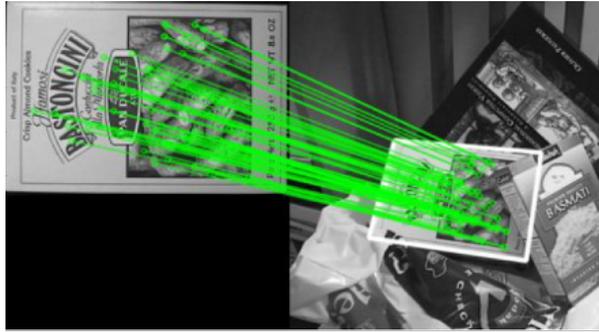


Figura 2.5: Comparación entre puntos clave de dos imágenes. Tomado de (Jovaní, 2014a).

2.7.5. Algoritmo de detección de bordes

La técnica de detección de bordes es la forma más sencilla para encontrar discontinuidades en valores de intensidad, en términos más sencillos, esto permite delimitar su tamaño y su región. Por ejemplo, Matlab contiene un toolbox (IPT, Image Processing Toolbox) de la que contiene la función Edge 2.6, con la cual se pueden detectar los bordes de una imagen utilizando métodos ya establecidos (Sanz., 2013), que se mencionan a continuación.

```
img_contorno = edge(im_res)
```

Figura 2.6: Estructura método EDGE (Sanz., 2013))

El método Edge puede recibir como entrada una imagen binaria y o en escala de grises (“img_res”) y regresa una imagen de tipo binaria (“img_contorno”) del mismo tamaño que la imagen en escala de grises con 1’s donde la función Edge haya encontrado bordes y 0’s en el resto, Edge dispone de varios métodos para detectar bordes donde la

mayoría detecta bordes débiles y no se ven afectados por el ruido que pueda aparecer en la imagen, los métodos son los siguientes:

- Sobel: detecta los bordes utilizando la aproximación, el operador que lleva por nombre “Sobel” calcula el gradiente de la intensidad de una imagen en cada píxel, para cada punto, este operador da la magnitud del mayor cambio posible, la dirección de este y el sentido desde oscuro a claro. El resultado de este método muestra que tan abrupta o suavemente cambia una imagen en cada punto que se analizó y como consecuencia que tan probable es que este represente un borde de la imagen y de igual manera la orientación a la que tiende este borde (Sanz., 2013).
- Prewit: detecta los bordes usando la aproximación que lleva su nombre, los resultados son similares a los del método anteriormente mencionado.
- Laplaciano Gaussiano: Este método conocido como “Log”, detecta los bordes buscando en la imagen cortes con cero después de filtrar “img_contorno” con un filtro Laplaciano Gaussiano, este método obtiene mejores resultados que el método Sobel, pero es mas complicado de utilizar y se debe de modificar los parámetros que vienen por defecto (Sanz., 2013).
- Canny: utiliza un filtro que se basa en la primera derivada gaussiana, este método es susceptible al ruido presente en datos de imagen sin procesar, la imagen se transforma con un filtro gaussiano (Sanz., 2013).

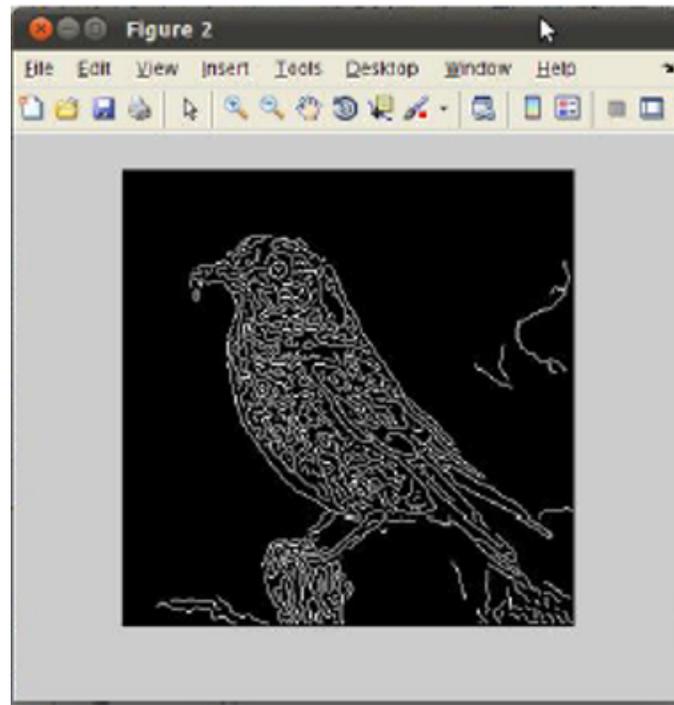


Figura 2.7: Edge Canny (Sanz., 2013)

2.7.6. Algoritmo de visión aumentada

En el área médica, este algoritmo proporciona a los pacientes información necesaria acerca de objetos ubicados en su periferia (fuera del campo visual del paciente) el cual puede variar según el estado de la enfermedad, permitiendo mejorar la movilidad y la salud de los mismos, para conformar las imágenes visualizadas en las pantallas portátiles, los cuadros adquiridos se la señal de video es filtrada utilizando un detector de bordes (Delrieux y cols., 2012). En un mismo frame se presenta la imagen ampliada con zoom y los bordes de los objetos (en color blanco con posibilidad de cambiar de color según el gusto del usuario final) de la escena original que se presenta al momento de presentar por primera vez la imagen. El objetivo principal de esta herramienta computacional es brindarle información al paciente enfermo sobre los objetos dentro de un campo visual amplio y a su vez, seguir disfrutando de la alta resolución de su visión central residual(Delrieux y cols., 2012).

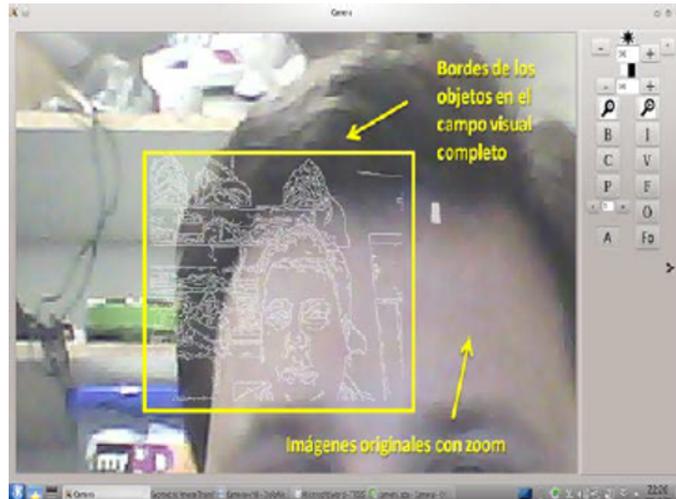


Figura 2.8: Algoritmo visión Aumentada (Delrieux y cols., 2012)

2.8. Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica

La EPOC, es un grupo de enfermedades pulmonares que tienen la principal característica que dificultan la respiración y empeoran con el tiempo (Medline, s.f.). La EPOC tiene dos tipos:

- Enfisema: Este tipo afecta principalmente a los alvéolos pulmonares, así como las paredes entre ellos.
- Bronquitis crónica: El revestimiento de las vías respiratorias se irrita e inflama constantemente lo que produce inflamación y mucosidad.

La principal causa de la EPOC suele ser una larga exposición a irritantes que dañan principalmente los pulmones y las vías respiratorias. Si bien el humo del tabaco es la causa principal, el cigarro y otros tipos de humo de tabaco también pueden provocar esta enfermedad, especialmente si se inhala de manera frecuente.(Medline, s.f.). Los principales factores de riesgo del EPOC son:

- Fumar

2.8. Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica

- Exposición a irritantes pulmonares
- Edad
- Genética

Los principales síntomas del EPOC al principio no se presentan graves, sin embargo a medida que la enfermedad empeora, sus síntomas generalmente se vuelven más fuertes, entre los síntomas destacan:

- Tos
- Sibilancias
- Silbido cuando respira
- Falta de aliento
- Sensación de presión en pecho.

No hay cura para este tipo de enfermedad crónica , sin embargo un tratamiento correcto que pueda combatir los síntomas, ayuda a tener una mejor calidad de vida de la persona afectada y de igual manera existen tratamientos para prevenir o tratar las complicaciones de la enfermedad, entre los que destacan:

- Cambios en el estilo de vida
- Medicamentos
- Terapia de Oxígeno
- Rehabilitación pulmonar
- Cirugía

2.8.1. Rehabilitación Pulmonar en pacientes con EPOC

La rehabilitación respiratoria en pacientes que padecen EPOC ha demostrado: eficacia en la mejoría de la disnea, reducción del esfuerzo que hacen al realizar alguna actividad, mejora en la capacidad de realizar ejercicio y de la calidad de vida de estos enfermos. Los programas más complejos de rehabilitación respiratoria incluyen numerosos profesionales y técnicas muy diversas, que primordialmente se enfocan en la eliminación del tabaquismo hasta la terapia que incluyen diversos ejercicios especializados para la mejoría de la vida pulmonar, estos requieren un costo económico muy elevado y además la desventaja que se puede observar es que solo pueden realizarse a nivel hospitalario. La principal característica para la rehabilitación pulmonar es el entrenamiento de los músculos de extremidades inferiores, superiores y respiratorios, este entrenamiento puede realizarse de forma ambulatoria y han demostrado el progreso en la rehabilitación de personas que padecen EPOC (Núñez y cols., 2008).

La rehabilitación respiratoria pulmonar comenzó a tener practica de manera profesional a finales del siglo pasado, se tiene información que en primera instancia se trataba a pacientes que padecían tuberculosis. Su desarrollo ha tenido lugar en los últimos 30 años, se puede ver ahora como la rehabilitación es ampliamente aceptada en todas las áreas de la medicina, como lo son las enfermedades neuromusculares y esqueléticas agudas o crónicas (Núñez y cols., 2008).

Es conveniente mencionar, que el objetivo del tratamiento en un paciente que padece enfermedades pulmonares crónicas obstructivas no es únicamente tener una mejoría en la función respiratoria o frenar la evolución de la enfermedad, sino alcanzar una situación en la que el afectado establezca de nuevo su grado de bienestar y pueda realizar una vida plena. Como se puede observar en la figura 2.9, los programas de rehabilitación respiratoria incluyen un amplio inventario de componentes que abarcan la mayoría de las posibilidades de tratamiento en el paciente afectado y su aplicación completa debe de realizarse en el hospital.

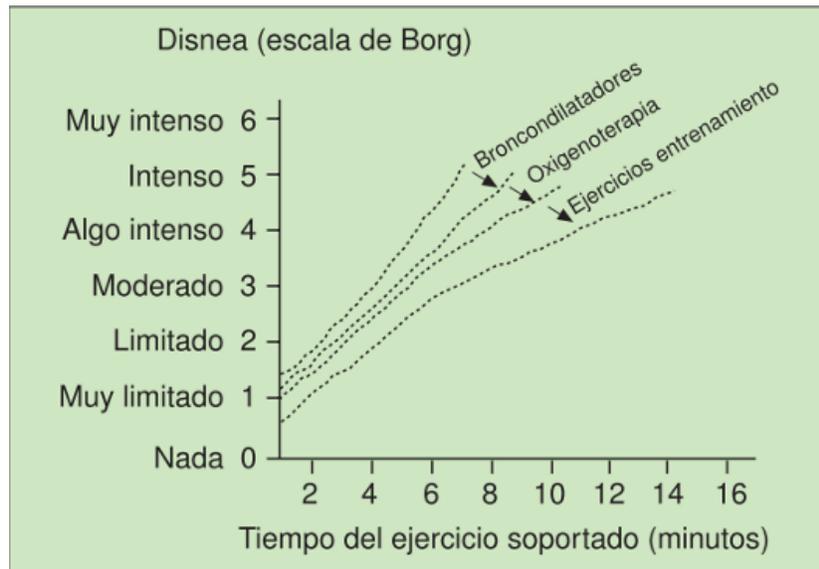


Figura 2.9: tomado de: (Núñez y cols., 2008)

Está demostrado que la rehabilitación respiratoria ha conseguido disminuir la disnea de los pacientes afectados con EPOC, mejorando su capacidad de realizar ejercicio y mejorar su calidad de vida, estos objetivos principalmente se consiguen por medio de la mejoría del funcionamiento muscular, en el entrenamiento muscular, debemos distinguir el de las extremidades inferiores, el de las extremidades superiores y el de los músculos respiratorios (Núñez y cols., 2008). Una de las características fisiológicas principales del entrenamiento muscular es que su acción es específica sobre el músculo a fortalecer, de ahí el entrenamiento de los músculos inspiratorios y el de los músculos de las extremidades superiores se consigue una notable mejoría de estos, sin embargo, no se ve reflejado en una mejor capacidad física general. El entrenamiento de las extremidades inferiores se puede realizar de manera controlada y en alta intensidad, todo por encima del umbral de anaerobiosis, este entrenamiento puede realizarse por medio de ejercicios de marcha o subiendo escaleras (Núñez y cols., 2008).

La rehabilitación respiratoria está indicada para cualquier paciente con enfermedad respiratoria crónica que, a pesar de realizar un correcto tratamiento farmacológico convencional, aun presenta sintomatología, es importante considerar que ni la edad, ni el grado de deterioro funcional pueden considerarse una limitación para realizar la rehabilitación (Núñez y cols., 2008).

2.9. Estado del arte

2.9.1. Revisión Sistemática de la Literatura

El estudio de la revisión sistemática de la literatura (RSL) se realizó en base en la metodología propuesta por los autores (Kitchenham y Charters, 2007) en su artículo "Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering", siguiendo esa misma línea y con rigor a lo largo de la metodología se consiguieron resultados a través de todas las etapas que proponen los autores, de los cuales se obtuvo información de calidad referente al tema de investigación, lo que permitió obtener una revisión de calidad, los pasos se documentan a continuación.

2.9.2. Preguntas de investigación

La primer etapa fue abordar el desarrollo de las preguntas de investigación que dieron paso a establecer las interrogantes de lo que busca el objetivo de la investigación, la realización de estas preguntas pudieron encaminar a los siguientes pasos de la revisión sistemática hasta la etapa de análisis de resultados, las preguntas de investigación se plantean a continuación:

- **P1:** ¿Hacia que enfermedad está enfocada la plataforma tecnológica y que información recolecta del usuario para su seguimiento/monitoreo de la enfermedad?
- **P2:** ¿Qué implementaciones y bajo que plataformas tecnológicas se han realizado para aplicaciones de mHealth en el área médica aplicando el procesamiento de imagen?
- **P3:** ¿Cuáles son las principales técnicas de procesamiento de imagen utilizadas para la detección de movimiento?
- **P4:** ¿Que implementaciones basadas en el procesamiento de imagen se han aplicado en mHealth en el área de rehabilitación?

De acuerdo a las preguntas de investigación, se tiene lo siguiente:

1. **P1:** Surge de manera introductoria para poder empezar a describir el estado del arte y posteriormente para tener un amplio criterio sobre que tecnologías se han ocupado en los últimos años para abordar la tendencia tecnológica mHealth en el computo móvil aplicando el procesamiento de imagen.
2. **P2:** Realizamos esta pregunta de investigación para poder conocer las principales técnicas de procesamiento de imagen que existen actualmente y así poder tener un amplio criterio para poder identificar las técnicas que se ocupan principalmente para la detección del movimiento.
3. **P3:** En esta parte, el objetivo principal es conocer como la tecnología del procesamiento de imagen se ha aplicado en el ámbito médico, basándonos en la detección del movimiento, P3 surge de la necesidad de conocer como esta tecnología impacta de manera directa en el campo médico específicamente en el área de la rehabilitación.

2.9.3. Recuperación de la información

2.9.3.1. Cadenas de Búsqueda

Posteriormente del planteamiento de las preguntas de investigación, se procedió a crear ecuaciones de búsqueda, la cual se puede destacar que el objetivo de una ecuación de búsqueda es permitir encontrar fácilmente y de manera automática todos los resultados relacionados al objetivo de la RSL. Por tal motivo para la realización de las ecuaciones de búsqueda, se plantearon los conceptos que se pueden observar en la tabla 2.1 las cuales dan pie a la ejecución de la RSL.

Se realizaron cuatro ecuaciones de búsqueda que nos permitió encontrar con facilidad y de manera automática todos los resultados relevantes del objetivo de la revisión sistemática, en la tabla 2.2 se pueden observar las ecuaciones de búsqueda junto la base de datos bibliográfica donde se ejecutó.

Tabla 2.1: Sinónimos de conceptos

Concepto	Sinónimo
mHealth	tHealth, eHealth
COPD	Chronic disease, Health disease
Therapy	Treatment, Rehabilitation, Monitoring, Healthcare, Exercise
System	Medical System, Mobile, mobile App
Oximeter	Biomedical variables, Diagnosis, Medical diagnosis

Tabla 2.2: Cadenas de búsqueda

Fuente de información	Ecuación
IEEE Xplore	((mHealth OR eHealth OR tHealth OR Telehealth) AND (Chronic obstructive pulmonary disease.°R COPD OR Chronic disease.°R Health OR Disease) AND (Therapy OR Treatment OR Rehabilitation OR Monitoring OR Healthcare OR Exercise) AND (System OR "Medical system.°R "Mobile app") AND (Diagnosis OR "Medical diagnosis"))
Science Direct	(COPD OR Chronic disease.°R Disease) AND (Therapy OR Rehabilitation) AND (System OR "Medical system") AND (image processing.°R "Medical image")
ACM Digital Library	(mHealth OR eHealth OR tHealth OR Telehealth) AND (Chronic obstructive pulmonary disease.°R COPD OR Chronic disease.°R Health OR Disease) AND (Therapy OR Treatment OR Rehabilitation OR Monitoring OR Healthcare OR Exercise) AND (System OR "Medical system.°R "Mobile app") AND ("Biomedical variables.°R Diagnosis OR "Medical diagnosis") AND (image processing.°R "Medical image")
SpringerLink	(mHealth OR Telehealth) AND (Chronic obstructive pulmonary disease.°R COPD OR Disease) AND (Therapy OR Treatment OR Rehabilitation OR Monitoring) AND (System OR "Medical system.°R app OR mobile) AND (Diagnosis OR "Medical diagnosis") AND (image processing.°R "Medical image.°R image)

2.9.4. Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión tienen el objetivo de evaluar los artículos seleccionados, solamente se añadieron los artículos que cumplan con los criterios de inclusión que se describen a continuación. Cabe destacar que estos criterios se elaboraron con el fin de tener un filtro de calidad que nos ayudará a obtener respuestas en publicaciones relevantes sobre las preguntas de investigación anteriormente planteadas:

- Los documentos recuperados deben de cumplir un periodo de publicación entre los años 2014 - 2021, esto con el fin de tener información relevante actualizada.
- Documentos: Tesis, artículos y *proceedings*.
- Palabras clave en título y *abstract*.
- Documentos que incluyan información sobre: Procesamiento de imagen, arquitectura general de los sistemas *mHealth*, rehabilitación de personas ocupando alguna tecnología relacionada al procesamiento de imagen, *mHealth* y asociando las tecnologías de la información (TIC'S)

2.9.5. Criterios de exclusión

Con el fin de obtener únicamente documentos de interés y que cumplan con el objetivo de la RSL, para el desarrollo de la aplicación de esta investigación se excluyeron todos los trabajos que cumplen con el siguiente criterio de exclusión.

- Se excluyen artículos, tesis, *proceedings* anteriores al año 2014.

La búsqueda de información se ejecutó en bases de datos bibliográficas donde la fuente de información es fidedigna y tiene un gran respaldo académico y científico para encontrar información de calidad. En la tabla 2.3 se puede observar las fuentes de información que se ocuparon para la realización de la RSL.

Tabla 2.3: Bases de datos bibliográficas

Nombre	Link
Science Direct	www.sciencedirect.com
IEEE Xplore	www.ieee.org
ACM	www.dl.acm.org
SpringerLink	www.link.springer.com

2.10. Análisis de resultados

Los resultados de la recopilación de los artículos importantes para cumplir con el objetivo de la RSL se puede observar en la tabla 2.4, con posterioridad a los resultados generales de las bases de datos científicas, se procedió a colocar un filtrado en el que únicamente se tomaron en cuenta los artículos de investigación procedentes de revistas(journals) y artículos de investigación provenientes de memorias de congresos, de tal forma que se estableció un periodo de tiempo de 2014 a la actualidad, esto con el fin de emplear resultados de investigación recientes para tener una base de información más actualizada en función del objetivo de la RSL. La exploración de los artículos se realizó de manera minuciosa en cada una de las bases de datos bibliográficas mostradas en la tabla 2.3.

Tabla 2.4: Artículos recopilados

Nombre	No. Artículos
ScienceDirect	7
SpringerLink	40
IEEE Xplore	12
ACM	15

2.10.1. Enfermedades tratadas mediante el uso de plataformas tecnológicas y tipo de información recolectada

En esta sección se puede ver a detalle el desarrollo de la pregunta de investigación que conduce de manera introductoria al contexto de la tendencia tecnológica mHealth. Se encontraron artículos importantes que nos ayudan a resolver la interrogante anteriormente planteada, las cuales podemos observar que existe una gran variedad de implementaciones tecnológicas que abordan un amplio número de enfermedades, donde se destacan las enfermedades crónicas y conectividad para el seguimiento de trastornos como la ansiedad y depresión.

En el año 2014, los autores (Catarina y Macedo, 2014) mencionan que los juegos serios tienen el principal objetivo de educar, ayudar en el proceso de la toma de decisiones y además de permitir que personas enfermas y afectados que así lo requieran tengan una rehabilitación de su enfermedad o discapacidad de manera atractiva, por tal motivo los autores realizaron un juego lúdico mediante el cual abordan el Parkinson para ofrecer una mejor calidad de vida y ayudar a la función física de las personas que la padecen, la principal fuente de información que recolecta el sistema es:

1. Estudio clínico
2. Tiempo de reacción
3. Velocidad, precisión y eficiencia del movimiento
4. Tiempo de ejecución de la tarea
5. Amplitud y frecuencia del temblor
6. Precisión de la tarea
7. Tiempo de fatiga
8. Tiempo de error

Por otra parte, los autores (Pediaditis y cols., 2020), centraron su investigación en un enfoque computacional donde es posible la detección precisa de signos no verbales de depresión y síntomas relacionados a esta, como puede ser la ansiedad y depresión para

tener un impacto considerable en la atención de este tipo de trastornos. Por su parte, la investigación recolecta información demográfica sobre las personas que generalmente padecen ansiedad y depresión.

- Edad
- Rango de edad
- Género
- Nivel educativo
- Puntaje BDI-II: Inventario de Depresión de Beck-II
- Puntaje STAI: Inventario de ansiedad estado-rasgo STAI
- STAI>39: Síntomas leves de ansiedad
- STAI>49: Síntomas de ansiedad moderados/graves
- Calificación de expertos de la gravedad de la depresión

Dado que un porcentaje elevado de la población padece de hipertensión y ya que esta es una enfermedad que puede provocar un ataque al corazón y enfermedades de los vasos sanguíneos por lo que resulta primordial mantener la presión arterial en condiciones normales y así reducir el riesgo de hipertensión y enfermedades del corazón. Los autores (Sandi y cols., 2013) revisaron la referencia desarrollaron una aplicación de monitoreo y consulta para el tratamiento de la hipertensión utilizando el sensor médico que se encuentra integrado en los teléfonos inteligentes. Esta aplicación permite a los pacientes consultar su condición hipertensiva sin necesidad de acudir a un hospital para tomar medidas de la presión arterial. Los datos principales que son recolectados por el sistema son los niveles de presión arterial y estos son comparados con los niveles normales de la presión arterial, los cuales se pueden observar en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Clasificación de presión arterial

Presión Arterial	Sistólica	Diastólica
Normal	<120	<80
Pre-Hipertensión	120-139	80-89
Etapa 1	140-159	90-99

Una enfermedad crónica muy importante que es abordada por las tendencias tecnológicas eHealth y mHealth es el EPOC(Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica), la cual los autores (Pereira y cols., 2016) observan una brecha de oportunidad abordando el seguimiento y el monitoreo de la enfermedad mencionada, ya que los ejercicios respiratorios y las actividades físicas diarias son de gran importancia para la rehabilitación de las personas que padecen esta enfermedad, durante el monitoreo de los ejercicios, el sistema es capaz de recolectar datos como:

- Oxigenación en la sangre (SpO2)
- Presión

En el año 2020, los autores (Martins y cols., 2020) abordaron las enfermedades neurológicas, las cuales afectan principalmente a la funcionalidad del cerebro teniendo repercusiones directas en la movilidad de las personas que las padecen, por tal motivo la investigación se centró en crear un juego lúdico que permite la rehabilitación de personas, los principales datos recopilados por el sistema se refieren a la alineación, la compensación y la velocidad que son analizados por los gráficos de rendimiento y las puntuaciones obtenidas por cada paciente.

- **Alineación:** Las articulaciones deben de estar alineadas en plan a la ejecución del ejercicio propuesto.
- **Compensación:** Se refiere a principalmente a inclinar el cuerpo hacia la derecha o hacia la izquierda, hacia adelante o hacia atrás.
- **Velocidad:** Corresponde a la variación descrito por un segmento del cuerpo por un intervalo de tiempo establecido.

2.10.2. Aplicaciones mHealth en el área de rehabilitación

En este apartado se puede ver a detalle el desarrollo de la segunda pregunta de investigación, se encontró información relevante a investigaciones que abordan enfermedades que requieren algún tipo de rehabilitación, estas investigaciones ofrecen a su población objetivo software innovador y atractivo que los pueda ayudar a tener una recuperación atractiva a través de las diferentes tecnologías involucradas.

Los autores (Catarina y Macedo, 2014) (Catarina y Macedo, 2014) implementaron un juego serio en el cual, a través de actividades lúdicas interactivas y divertidas, las personas que padecen la enfermedad de Parkinson puedan recibir ayuda en el mejoramiento de su estilo de vida retrasando o reduciendo el uso de drogas, haciendo que logren un progreso notable en su tratamiento, esto con la ayuda de un experto. El proyecto de investigación de los autores (Catarina y Macedo, 2014) se realizó bajo el motor de videojuegos Unity con la ayuda del hardware Kinect, en el que los pacientes deben realizar una serie de desafíos mientras son monitoreados por los terapeutas y médicos adaptando los parámetros del juego para cada paciente.

Los autores (Pediaditis y cols., 2020) (Pampouchidou A. Pediaditis, 2020), realizaron una metodología computacional que permita detectar signos no verbales en el rostro para poder evaluar su generalización y las características clínicas para poder detectar con exactitud signos de depresión y ansiedad, la investigación de los autores (Pampouchidou A. Pediaditis, 2020) (Pediaditis y cols., 2020) se centró en las descripciones dinámicas de las expresiones faciales mediante imágenes de historial de movimiento combinados con algoritmos de extracción de características basadas en apariencias.

Los autores (Sandi y cols., 2013) abordaron la enfermedad de la hipertensión, esta investigación se centró en realizar un sistema médico de monitoreo y consulta para poder tratar la hipertensión empleándose en software móvil donde se destacan los dispositivos con sistema operativo Android, ya que se puede sacar un mayor provecho con los dispositivos que están integrados con un dispositivo sensor médico.

Los autores (Pereira y cols., 2016) observan una brecha de oportunidad abordando el seguimiento y el monitoreo del EPOC, la directriz de este trabajo de investigación se basa en una aplicación móvil llamada ExercitArt móvil, la cual esta permite la monitorización en tiempo real, mediante el uso de un oxímetro de pulso con conectividad

Bluetooth la cual permite recolectar información de la frecuencia cardiaca y los niveles de saturación de oxígeno en pacientes con EPOC, con esta función, las personas pueden realizar, monitorear, geocalizar y evaluar diferentes ejercicios respiratorios y así como algunas actividades físicas.

Se sabe que las enfermedades neurológicas pueden ser ocasionadas por factores genéticos, congénitos o adquiridos y pueden ser causante de lesiones neuronales produciendo la muerte de las neuronas, comprometiendo de esta forma la transmisión de la información. Cuando el daño neuronal se produce en el sistema nervioso que controla los movimientos, las neuronas pierden su capacidad de enviar los estímulos nerviosos (señales eléctricas) a los músculos causando así una atrofia muscular y limitando la movilidad de las personas que padecen esta enfermedad. Los autores (Martins y cols., 2020) utilizando juegos serios como una herramienta atractiva, desarrollaron un juego serio basado en técnicas de procesamiento de imágenes, que permite monitorear la ejecución de fisioterapia de pacientes con movilidad reducida como consecuencia de enfermedad neurológica. Adaptaron ejercicios específicos de fisioterapia a situaciones lúdicas de juego electrónico.

2.10.3. Procesamiento de imagen aplicadas en la detección de movimiento

Esta sección es muy importante, puesto que a lo largo de la realización del estado del arte se pudieron conocer diversas investigaciones y tecnologías, que emplean técnicas de procesamiento de imagen aplicada en el ámbito médico las cuales pueden ofrecer una innovación y sobre todo un cambio significativo en diversas áreas médicas, esto con el fin de ayudar a las personas que padecen alguna enfermedad y requieren de una rehabilitación accesible y atractiva, de igual manera se han aplicado técnicas de procesamiento de imagen para el apoyo al diagnóstico médico en imágenes médicas, estas tienen una directriz que sirven para tener con exactitud y de forma autónoma el diagnóstico y las mejora de enfermedades.

El hardware Kinect es un dispositivo utilizado en el área del entretenimiento, implementando juegos donde el principal método de interacción es el cuerpo humano, kinect tiene como principal característica ser una interfaz natural la cual es posible capturar la posición del cuerpo humano para permitir una interacción con algún

programa avanzado de cómputo, por este motivo los autores (Martins y cols., 2020) en su investigación utilizaron este hardware como sensor para la detección del cuerpo humano, y de esta forma ser el control para el juego serio desarrollado en esta investigación. El dispositivo kinect es capaz de medir distancias, leer cuerpos y reconocer gestos, tiene un circuito integrado (chip) que es capaz de procesar datos de profundidad a 30 fotogramas por segundo (Juan Diego Hurtado Chaves, 2015).

Los autores (Ding y cols., 2019) realizaron una aplicación móvil basada en dispositivos con sistema operativo IOS, con enfoque en las tecnologías computarizadas en lectura facial (FRT). Esta investigación realizó un diseño con el apoyo de la aplicación Faced, la cual mediante el Face ID que tienen los dispositivos iPhone, es capaz de poder detectar enfermedades que se pueden diagnosticar mediante el rostro de una persona, la aplicación captura imágenes de la lengua y rostro, estas imágenes tienen una comparación directa en una base de conocimiento que contiene imágenes de casos similares de enfermedades que la aplicación puede detectar, cabe destacar que las

imágenes se pueden tomar en tiempo real o con alguna existente en el almacenamiento del dispositivo.

En la actualidad, el procesamiento de imagen también apoya como herramienta auxiliar para cumplir ciertas tareas médicas que requieren tener interacción con dispositivos sin la necesidad de tocarlos físicamente, por tal motivo, los autores (Dell y cols., 2015) realizaron un algoritmo de reconocimiento de gestos, las cual sus etapas se describen a continuación:

- **Etapa 1:** El algoritmo funciona comparando fotogramas de video en escala de grises provenientes de la cámara que capta los movimientos (gestos), para cada par de fotogramas, los autores calculan el valor absoluto de la diferencia por pixel entre las imágenes, esto da como resultado el número de pixeles a los que se realizó el movimiento entre los fotogramas capturados.
- **Etapa 2:** Existe el momento en el que los pixeles en movimiento supera el umbral ajustado dinámicamente, aquí es donde los autores consideran el evento Gesto capturado, para calcular el umbral, se mantiene una media continua de la cantidad de movimiento entre los pares consecutivos de fotogramas.
- **Etapa 3:** Los gestos que son demasiado cortos o demasiado largos se filtran tratándose como como ruido, después de detectar un gesto, el siguiente paso es

decretar si el gesto es direccional o si el usuario se detuvo sobre la cámara para realizar un gesto de permanencia. Para poder diferenciar entre estos tipos de gestos, se analiza la intensidad media de escala de grises de cada fotograma que compone el gesto, en los gestos bidireccionales, la intensidad de los fotogramas se oscurece a medida que el usuario se mueve hacia la cámara, y luego se vuelven a iluminar a medida que el usuario se aleja.

2.11. Conclusión

A lo largo de este capítulo, se hizo una revisión de literatura donde se abordaron términos que nos servirán de hincapié para poder llevar a cabo el propósito de la investigación. Se pudo observar que la tendencia tecnológica eHealth aborda gran parte de las tecnologías de la información donde su área que abarca la tecnología móvil mHealth tiene un gran impacto en el ámbito médico. Existen investigaciones actuales que desempeñan un papel importante para el seguimiento y la rehabilitación de personas que padecen alguna determinada enfermedad, en la revisión del estado del arte destacó la investigación de los autores (Martins y cols., 2020), ya que ellos implementan un juego lúdico donde su principal objetivo es innovar y hacer atractiva la rehabilitación de personas que padecen enfermedades neurológicas, los resultados de esta investigación fueron positivos, ya que se logró que las personas mejoren su calidad de vida y sobre todo no abandonen sus terapias de rehabilitación.

Sin embargo, el involucrar la tecnología en el ámbito médico es bastante peligroso, ya que una herramienta tecnológica jamás tendrá la pericia de un experto en el área, por lo tanto, estas investigaciones que están teniendo un auge importante en la salud, tienen la principal característica de servir como herramienta auxiliar en sus determinadas áreas. A lo largo de la RSL, se pudo encontrar pocas investigaciones que utilizan directamente el procesamiento de imagen para la rehabilitación de enfermedades, pero se puede observar una brecha de oportunidad donde puede abarcar la investigación propuesta. Actualmente, los autores (Pereira y cols., 2016) abordan las Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas como un proceso de seguimiento en la mejora de las actividades físicas que involucran la rehabilitación de las personas que las padecen, es en este punto donde se puede ver un gran campo de oportunidad para poder abordar el propósito

CAPÍTULO 2. Tendencia tecnológica mHealth y sus aplicaciones en el campo médico

de la investigación, ofreciendo tecnología de procesamiento de imagen móvil que pueda apoyar a reducir los índices de mortalidad a causa de esta enfermedad.

Capítulo 3

Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliaria de personas con enfermedades pulmonares crónicas

El presente capítulo describe el diseño y el desarrollo de una aplicación móvil que se implementó con el propósito de permitir la rehabilitación domiciliaria de una persona que padece enfermedades pulmonares obstructivas crónicas usando un kit de desarrollo basado en aprendizaje automático implementando técnicas de inteligencia artificial, mediante el cual es capaz de servir como vehículo en la detección de los movimientos físicos del cuerpo humano.

Previo al desarrollo de la aplicación, se concibió una base de datos que almacene los ejercicios fisioterapéuticos avalados científicamente por un experto en el área, con el fin de poder hacer la interacción (comparación) directa entre la base de datos con formato csv y las imágenes tomadas del video captado por la cámara del dispositivo móvil en tiempo real. En el caso de la plataforma móvil, se decidió emplear el lenguaje de desarrollo Java - Android, debido principalmente por su accesibilidad en el mercado. Finalmente, la implementación de la base de datos fue bajo el sistema manejador de base de datos Maria DB, la cual tiene un fácil acceso a los servicios en de información

CAPÍTULO 3. Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliar de personas con enfermedades pulmonares crónicas

en la nube, dado se optó por la plataforma de Amazon AWS, como plataforma en la nube.

3.1. Aplicación móvil

La aplicación móvil está desarrollada bajo el entorno de desarrollo integrado (IDE) Android Studio como se puede ver en la figura 3.1, en el IDE se desarrollaron los componentes principales que conforman la aplicación:

- Interfaces gráficas de usuario
- Base de datos de ejercicios fisioterapéuticos
- Conexión a plataforma Amazon AWS
- Procesamiento de imagen

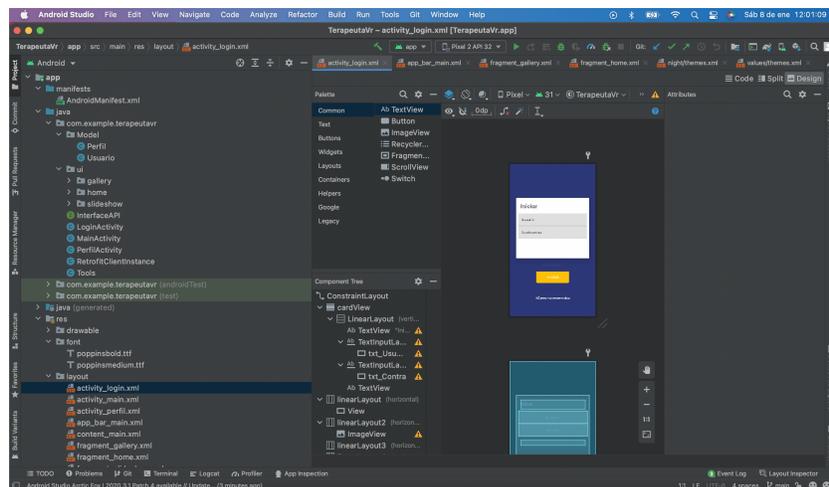


Figura 3.1: Android Studio Artic Fox | 2020.3.1

3.1.1. Hardware móvil

Motorola es una empresa ubicada en estados unidos dedicada a la telefonía móvil, la empresa ofrece distintos dispositivos móviles, la aplicación móvil se empleará bajo

3.1. Aplicación móvil

un smartphone con las características que se pueden observar en la tabla 3.1, en tal sentido se pensó principalmente en el hardware para tener un correcto procesamiento de imagen y asimismo en las cámaras que contiene el dispositivo móvil para la transmisión en tiempo real.

Tabla 3.1: Características de dispositivo móvil

Característica	Motorola e5 Play
Pantalla	5,2" LCD HD
Procesador	Snapdragon 425
RAM	2 GB
Batería	2.800 mAh, cargador micro USB 10W
Almacenamiento	16GB + microSD
Dimensiones y peso	151 x 74 x 8.85 mm 150g
Cámaras	Trasera: 8MP, f/2.0, vídeo 1080p/30fps Frontal: 5MP, flashLED
Software	Android 8.0 Oreo

3.1.2. Kit de desarrollo de software Google ML

Google proporciona un kit de desarrollo (SDK) móvil, que pone en funcionamiento técnicas de aprendizaje automático basadas en inteligencia artificial, todo esto para resolver desafíos estratégicos o implementar nuevas experiencias de usuario. Los módulos que componen Google ML Kit se ejecutan en un mismo dispositivo lo que permite que todo sea en tiempo real a través de la cámara del teléfono móvil. En particular, para cumplir con el objetivo de investigación, se hará uso del módulo "Pose detection" la cual es una solución versátil para detectar las poses en tiempo real que conforman cada uno de los ejercicios fisioterapéuticos a implementar, en la figura 3.2 se puede observar los 32 puntos del cuerpo humano que es posible detectar el SDK propuesto.

CAPÍTULO 3. Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliar de personas con enfermedades pulmonares crónicas

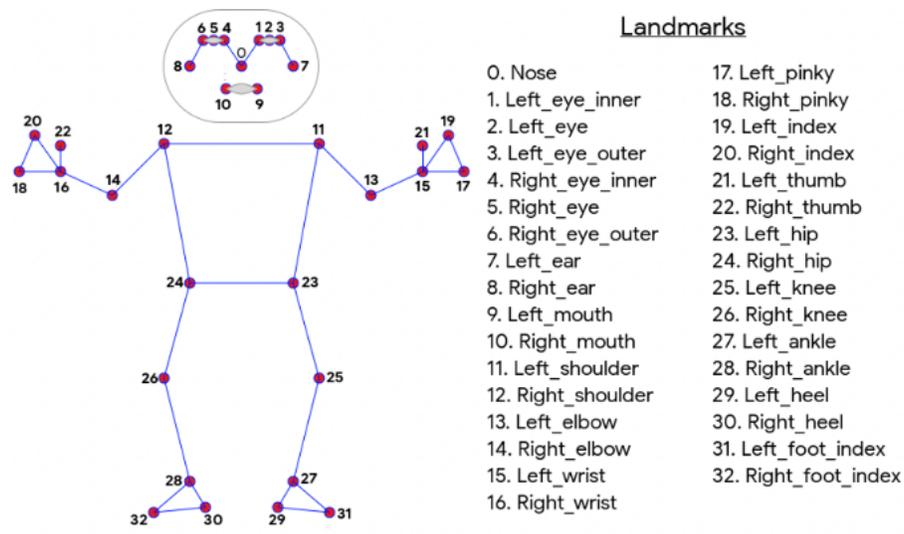


Figura 3.2: Puntos del cuerpo humano que detecta "Pose detection". Tomada de ML (2022)

El SDK es multiplataforma, en el trabajo de investigación se implementó bajo el lenguaje de programación de Java - Android, la cual por su amplia accesibilidad se puede hacer uso de amplias librerías. El kit de desarrollo funciona con una base de datos que es alojada dentro de la genealogía de la aplicación móvil, esta se conforma de coordenadas donde se destacan las variables y,z y x en un formato csv que contiene todas las poses de los ejercicios fisioterapéuticos como se puede observar en la figura 3.3.

3.1. Aplicación móvil

Figura 3.3: Formato csv de coordenadas de poses fisioterapéuticas

Para establecer una conexión entre el archivo csv y el entorno, se realizó el emparejamiento correcto con la base de datos mediante el siguiente método basado en el lenguaje Java - android ML (2022) 3.1.

Listing 3.1: Método para cargar poses fisioterapéuticas

```

public class PoseClassifierProcessor {
    private static final String FILE = "pose/fisioterapia_poses_ .csv";
    private static final String[] POSE_CLASSES = {
        INHALAR_UP, EXHALAR_DOWN, SQUATS_DOWN, SQUATS_UP
    };
    private void loadPoseSamples(Context context) {
        List<PoseSample> poseSamples = new ArrayList<>();
        try {
            BufferedReader reader = new BufferedReader(
                new InputStreamReader(context.getAssets().open(FILE)));
            String csvLine = reader.readLine();
            while (csvLine != null) {

```

```
        PoseSample poseSample = PoseSample.getPoseSample(csvLine, ",");
        if (poseSample != null) {
            poseSamples.add(poseSample);
        }
        csvLine = reader.readLine();
    }
} catch (IOException e) {
    Log.e(TAG, "Error when loading pose samples.\n" + e);
}
poseClassifier = new PoseClassifier(poseSamples);
if (isStreamMode) {
    for (String className : POSE_CLASSES) {
        repCounters.add(new RepetitionCounter(className));
    }
}
}
}
```

El siguiente método que se puede observar en ML (2022) 3.2 carga todos los datos y los clasifica por los estados de inicio y fin de cada uno de los ejercicios presentados en la base de datos, cabe destacar que tiene también la singularidad de contar las repeticiones cuando el usuario final llega a la pose final.

Listing 3.2: Método para clasificar y contar repeticiones de las poses fisioterapéuticas

```
@WorkerThread
public List<String> getPoseResult(Pose pose) {
    Preconditions.checkNotNull(Looper.myLooper() !=
    Looper.getMainLooper());
    List<String> result = new ArrayList<>();
    ClassificationResult classification =
    poseClassifier.classify(pose);
    if (isStreamMode) {
        classification = emaSmoothing.getSmoothedResult(classification);
        if (pose.getAllPoseLandmarks().isEmpty()) {
            result.add(lastRepResult);
        }
    }
}
```

```
        return result;
    }
    for (RepetitionCounter repCounter : repCounters) {
        int repsBefore = repCounter.getNumRepeats();
        int repsAfter =
            repCounter.addClassificationResult(classification);

        if (repsAfter > repsBefore) {
            SimpleDateFormat
            simpleDateFormat =
                new SimpleDateFormat("dd-MM-yyyy HH:mm:ss");
            String currentDateandTime =
                simpleDateFormat.format(new Date());
            System.out.println("TIEMPO: "+ " "+currentDateandTime);

            ToneGenerator tg = new ToneGenerator
                (AudioManager.STREAM_NOTIFICATION, 100);
            tg.startTone(ToneGenerator.TONE_PROP_BEEP);
            lastRepResult = String.format(
                Locale.US, "%s : %d reps",
                repCounter.getClassName(), repsAfter);
            break;
        }

    }
    result.add(lastRepResult);
}
if (!pose.getAllPoseLandmarks().isEmpty()) {
    String maxConfidenceClass =
        classification.getMaxConfidenceClass();
    String maxConfidenceClassResult = String.format(
        Locale.US,
        "%s : %.2f confidence",
        maxConfidenceClass,
        classification.getClassConfidence(maxConfidenceClass)
        / poseClassifier.confidenceRange());
}
```

```
    result.add(maxConfidenceClassResult);  
  }  
  return result;  
}
```

Los fotogramas por segundo son transmitidos mediante la cámara del dispositivo móvil, que a su vez es capaz de detectar los 32 puntos del cuerpo humano, el SDK genera articulaciones donde a su vez muestra las coordenadas en formato vectorial para una mayor referencia, en la figura 3.4.



Figura 3.4: Detección de puntos en tiempo real en aplicación móvil

3.1.3. Arquitectura de sistema

La arquitectura del sistema móvil propuesto consta de tres módulos principales 3.5:

3.1. Aplicación móvil

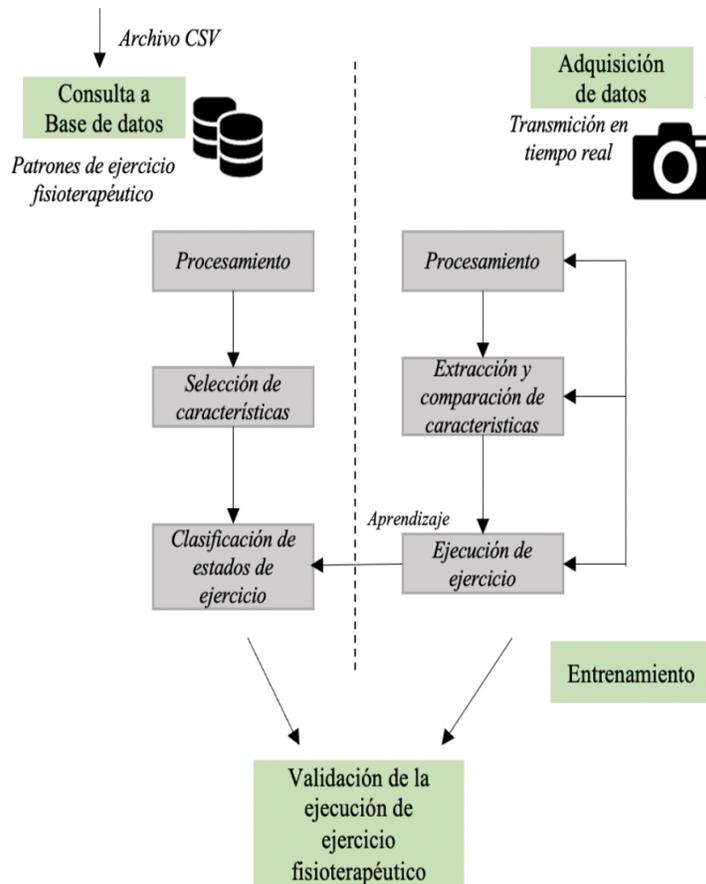


Figura 3.5: Arquitectura del sistema móvil mHealth

- **Consulta a Base de datos:** Este módulo está constituido por un banco de información que contiene imágenes de los ejercicios fisioterapéuticos en su estado inicio y fin de cada uno, posteriormente estas imágenes pasan a una conversión en formato vectorial mediante una herramienta basada en el lenguaje de programación Python proporcionada por el SDK propuesto, todos los patrones convertidos en formato vectorial son alojados en un archivo csv que se encuentra en la genealogía de la aplicación móvil.
- **Adquisición de datos:** Esta parte de la arquitectura móvil se enfoca principalmente en la transmisión de los fotogramas en tiempo real por parte del usuario final, en la figura 3.4 se puede observar la detección y la transición de los datos en tiempo real.

- **Entrenamiento:** Este módulo es el más importante ya que en el se realiza todo el procesamiento, las coordenadas que son transmitidas en tiempo real y las que se encuentran ubicadas en la base de datos realizan una clasificación y comparación de características directamente entre estas, dando como resultado la ejecución de la pose fisioterapéutica.

3.2. Fisioterapia Pulmonar

3.2.1. Observación y análisis de los ejercicios realizados en fisioterapia de rehabilitación pulmonar

Para poder entender el proceso que conlleva la praxis de la rehabilitación pulmonar, que incluyen los ejercicios de fisioterapia y la interacción paciente – fisioterapeuta y el seguimiento que se hace durante la sesión y el programa de terapia, se pudo participar como observador en sesiones de fisioterapia aplicadas y conducidas por una experta fisioterapeuta, esta participación fue con la autorización del paciente y de la experta. En estas sesiones se logró observar cuál es la forma en la que se llevan a cabo los ejercicios y los puntos de control que aplica el fisioterapeuta en seguimiento al ejercicio y a mantener al paciente estable en cuanto a sus signos biomédicos importantes

Cabe destacar que debido a la pandemia que se vive actualmente ocasionada por el virus SARS-COV 2 y gracias a la accesibilidad de las TIC's las sesiones, se realizaron a distancia utilizando la plataforma Zoom, la cual es una plataforma unificada de comunicación y colaboración que combina chat y reuniones de video, para poder observar la ejecución de principio a fin, y de igual forma interactuar y preguntar si era necesario.

A continuación se muestran algunas imágenes obtenidas de las sesiones en las que se autorizó participar como observador, en estas imágenes se puede observar la ejecución del calentamiento del paciente previo a su inicialización (figura 3.6). De igual forma se observa la ejecución de ejercicios para el fortalecimiento del pulmón (figura 3.7), y en la figura 3.8 se observa al paciente ejecutando ejercicios de acondicionamiento físico.

3.2. Fisioterapia Pulmonar

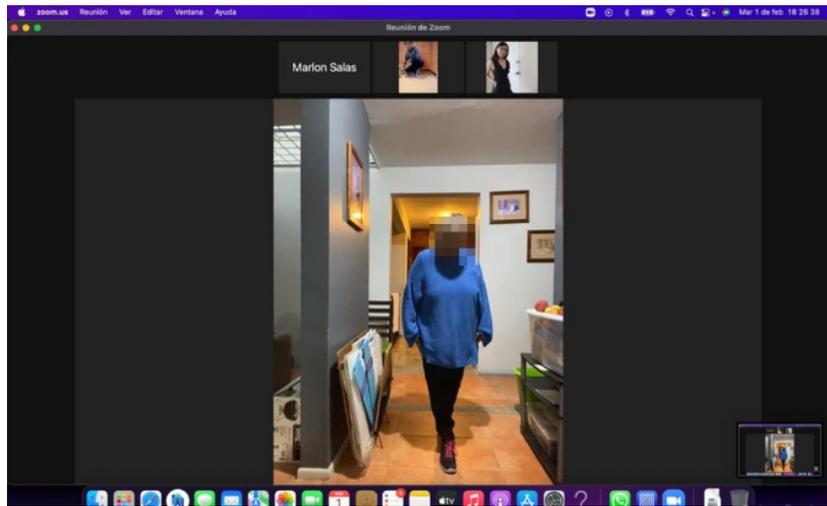


Figura 3.6: Sesión de fisioterapia de rehabilitación pulmonar (I)

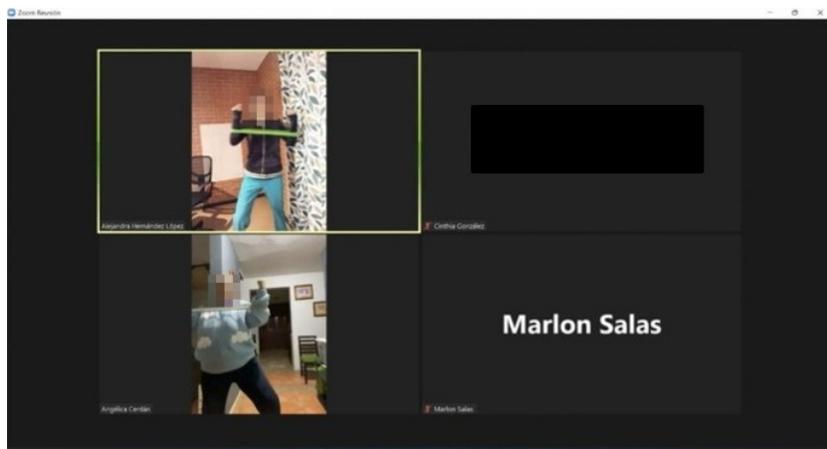


Figura 3.7: Sesión de fisioterapia de rehabilitación pulmonar (II)

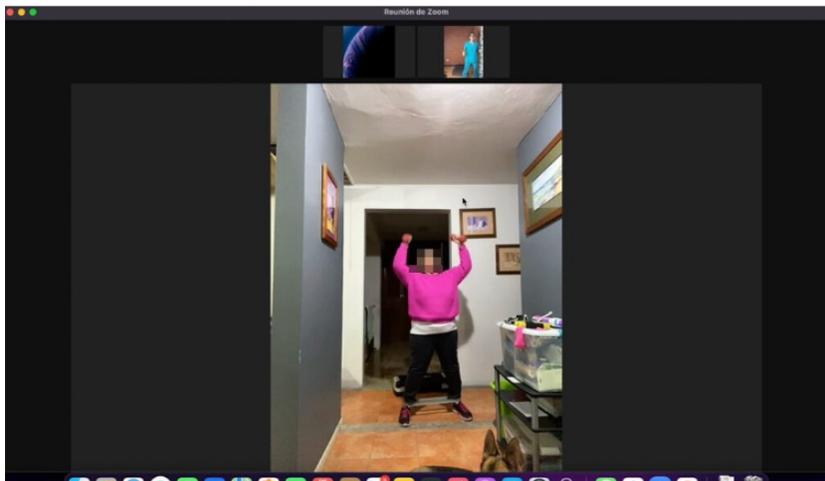


Figura 3.8: Sesión de fisioterapia de rehabilitación pulmonar (III)

Gracias a esta participación se logró entender el proceso y la ejecución de los ejercicios que forman parte de la fisioterapia pulmonar. El siguiente paso fue identificar cada una de las etapas que se realizan en la rutina, incluyendo la interacción especialista-paciente, lo cual se verá en los siguientes apartados.

3.2.2. Interacción entre paciente y fisioterapeuta

A lo largo de la fisioterapia, se pudo observar la interacción que tiene el especialista con los pacientes que llevan a cabo una terapia de rehabilitación completa, desde el inicio hasta finalizar la rutina de la fisioterapia.

3.2. Fisioterapia Pulmonar

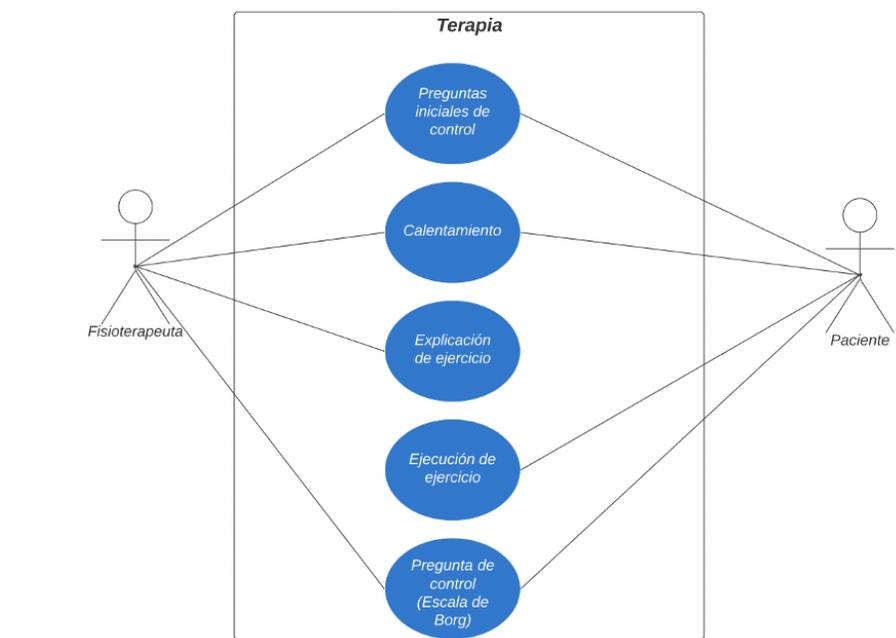


Figura 3.9: Diagrama de caso de uso del proceso de una sesión de fisioterapia

En el diagrama de la Figura 3.9 se puede ver la interacción que tiene el fisioterapeuta y el paciente con cada uno de los puntos identificados, los cuales se describen a continuación:

- **Preguntas iniciales de control:** En este punto, el fisioterapeuta plática con el afectado sobre los avances o cuestiones relevantes de acuerdo con su rehabilitación y toma signos de variables biomédicas iniciales como: Pulso cardiaco, Oxigenación en la sangre y Presión arterial.
- **Calentamiento:** Este punto es muy importante para el inicio de la fisioterapia, ya que ayudará a prevenir lesiones como desgarres musculares, esguinces y torceduras, también a ampliar los movimientos de las articulaciones.
- **Explicación de ejercicio:** De aquí parte la interacción más importante de la terapia, ya que el especialista le da una explicación al paciente sobre el ejercicio que debe de ejecutar.

- **Ejecución de ejercicio:** En este punto, el paciente ejecuta el ejercicio bajo la supervisión del fisioterapeuta.
- **Pregunta de control:** Este punto es muy importante, ya que de acuerdo a la escala de Borg, el especialista determina la condición física del paciente al termino de cada ejercicio, cabe destacar que si el paciente tiene un agotamiento alto, el ejercicio concluye.

Aunado a lo anterior, se identificaron los requerimientos funcionales que se pueden observar en la tabla 3.2 las cuales se pueden interpretar en el sistema móvil para que el paciente afectado pueda tener una interacción similar con el agente inteligente:

3.2. Fisioterapia Pulmonar

Tabla 3.2: Requerimientos funcionales de aplicación móvil

No.	Nombre de Requerimiento Funcional	Descripción
1	Inicio de Sesión	El usuario deberá de ingresar el nombre de usuario y la contraseña que se encuentra debidamente registrada en la base de datos.
2	Menú principal	El sistema proporcionará tres diferentes opciones disponibles donde el usuario se podrá dirigir.
4	Menú lateral	El sistema proporcionará un menú lateral donde el usuario tendrá accesibilidad a acceder a las opciones disponibles desde cualquier pantalla
5	Fisioterapia Física	El sistema proporcionará un menú donde el usuario podrá acceder a los distintos ejercicios físicos implementados en la aplicación móvil.
6	Fisioterapia Respiratoria	El sistema proporcionará un menú donde el usuario podrá acceder a los distintos ejercicios respiratorios implementados en la aplicación móvil.
7	Preguntas de control	El sistema le pedirá al usuario ingresar datos correspondientes a sus variables biomédicas actuales.
8	Fisioterapia	El sistema por medio de la cámara detectara el cuerpo humano y será capaz de contar las repeticiones del ejercicio ejecutado en tiempo real
9	Escala de Borg	El sistema por medio de un alertDialog registrará la condición del usuario al termino de cada ejercicio implementando la escala de Borg.

3.2.3. Ejercicios respiratorios y físicos

La aplicación móvil propuesta tiene la capacidad de detectar 32 puntos del cuerpo humano (se utiliza el módulo Pose detection del SDK de Google ML) como se puede ver en la 3.2, la captura de la imagen y la identificación de los puntos es a través de la cámara del dispositivo inteligente. La herramienta Google ML captura gestos corporales, las características principales que deben cumplir los ejercicios son los siguientes:

1. Los movimientos corporales deben de estar dentro de los puntos que puede capturar la cámara del dispositivo.
2. Los gestos corporales deben de ser gruesos y fáciles de detectar.

Para la selección e implementación de los ejercicios, junto con el experto en el área, se realizó un concentrado basado en las guías recomendadas de los ejercicios físicos y respiratorios que tienen una eficiencia notable en la rehabilitación pulmonar, como se puede ver en el Anexo A, se revisaron cuatro importantes guías clínicas, que se mencionan a continuación:

- Guía clínica de rehabilitación domiciliaria proporcionada por el instituto mexicano de seguro social.
- Guía proporcionada por el colegio mexicano en terapia respiratoria.
- Guía proporcionada por el instituto nacional de geriatría.
- Guía proporcionada por el gobierno de México para la rehabilitación de personas que sufrieron SARS-COV-2 (Covid-19).

Basándonos en la revisión de las guías, se pudo observar una gran variedad de ejercicios físicos y respiratorios que pueden ser implementados en la aplicación móvil. Como primer alcance presentado en el objetivo de la investigación, se puede determinar la implementación de los siguientes ejercicios de rehabilitación pulmonar como se observa en la tabla 3.3.

3.2. Fisioterapia Pulmonar

Tabla 3.3: Ejercicios Seleccionados

No.	Nombre de Ejercicio	Tipo	Repeticiones
1	Respiración diafragmática (Sentado)	Ejercicio Respiratorio	10 - 15 repeticiones
2	Respiración costal	Ejercicio Respiratorio	N/A
3	Abducción de brazos	Ejercicio Físico	6 - 8 repeticiones.
4	Flexión de brazos	Ejercicio Físico	6-8 repeticiones.
5	Respiración costal (sentado).	Ejercicio Físico	6-8 repeticiones.
6	Sentadilla	Ejercicio Físico	N/A
7	Cuádriceps en una silla	Ejercicio Físico	N/A
8	Isquiotibiales	Ejercicio Físico	N/A
9	Deltoides Medio	Ejercicio Físico	N/A

3.2.4. Elaboración y validación de videos de los ejercicios muestra utilizados como base para la implementación de los ejercicios implementados en la aplicación móvil

La base de conocimiento de nuestro sistema experto se compone de cientos de fotogramas de video que posteriormente son convertidos a formato vectorial para su integración a la aplicación móvil. En la figura 3.10 se puede observar la directriz principal del agente inteligente, donde los fotogramas captados en tiempo real por la cámara del dispositivo móvil serán comparados con nuestra base de conocimiento.

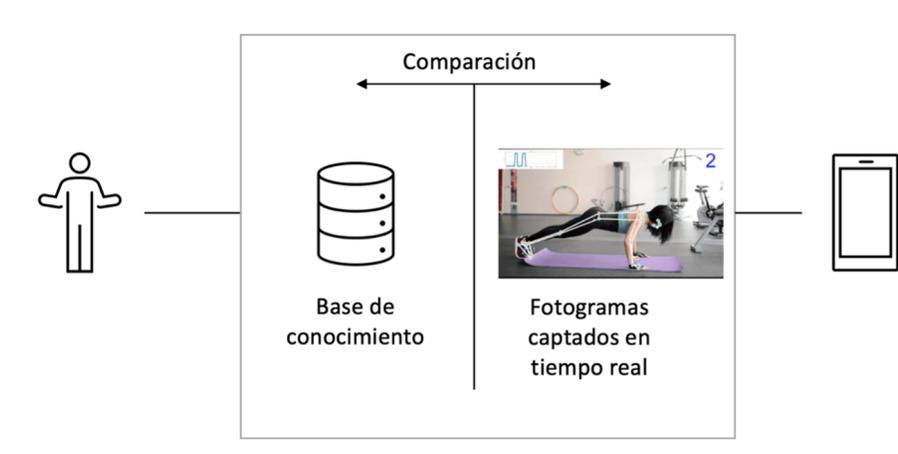


Figura 3.10: Arquitectura de Base de conocimiento

La base de conocimiento está formada por un conjunto de videos realizados en conjunto y bajo la supervisión del experto en el área, estos videos son afines a los ejercicios fisioterapéuticos. En este punto, de los videos se obtuvieron cientos de imágenes (fotogramas) por cada ejercicio propuesto para cada una de las posiciones de control. Un ejemplo de ello se muestra en la figura 3.11, donde se pueden observar las posiciones “Arriba” y “Abajo” para el ejercicio de sentadillas, es importante contar con fotogramas que cubran diferentes ángulos del desarrollo del ejercicio y bajo diferentes condiciones ambientales, formas corporales y algunos tipos de variación de cada ejercicio, los fotogramas recolectados de cada ejercicio se pueden observar en la tabla 3.4.

3.2. Fisioterapia Pulmonar



Figura 3.11: Ejercicio Sentadilla

El procesamiento para la clasificación de las imágenes de los ejercicios fisioterapéuticos se puede ver en la figura 3.12 y se describe a continuación:

- Los videos recopilados son convertidos en formato *jpg*.
- Las imágenes resultantes son clasificadas por posición inicial (Clase A) y posición final (Clase B) de cada ejercicio fisioterapéutico propuesto.
- Después de la clasificación, se hace uso de la herramienta Pose classification (extended), la cual convierte cada clase de ejercicio a formato vectorial, el cual es contenido en un archivo csv para que posteriormente se integre a la arquitectura de la aplicación móvil.

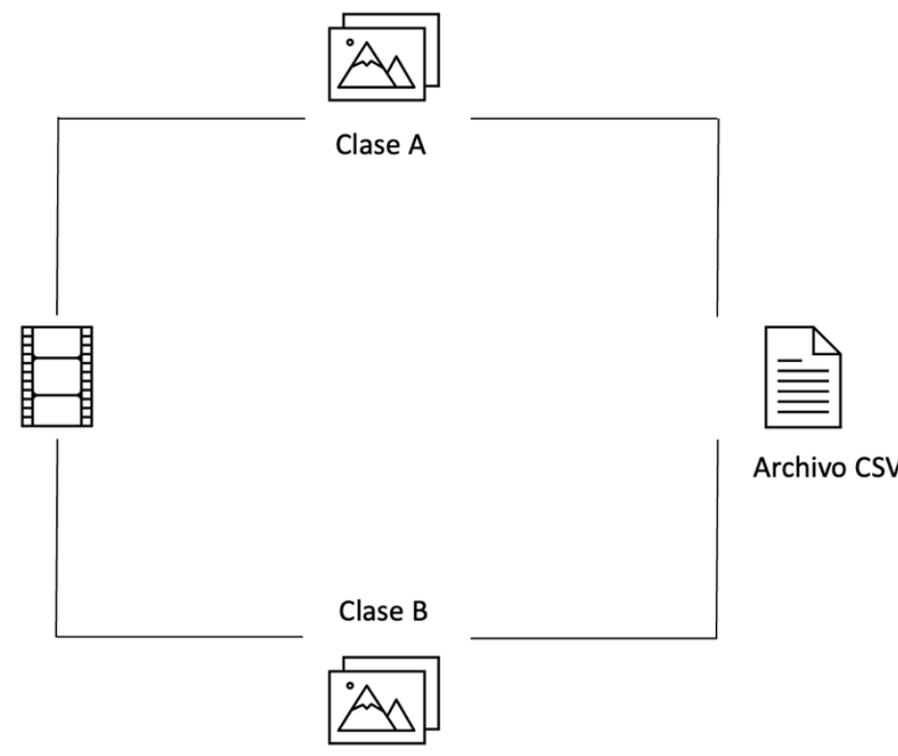


Figura 3.12: Clasificación de fotogramas

En la tabla 3.4 se puede ver el número de fotogramas obtenidas para las clases A y B de cada una de los ejercicios que fueron seleccionados para implementarse en la aplicación desarrollada.

3.2. Fisioterapia Pulmonar

Tabla 3.4: Fotogramas Recolectados

No.	Nombre de Ejercicio	No. De fotogramas (Clase A)	No. de fotogramas (Clase B)
1	Respiración diafragmática	120	100
2	Respiración costal	103	99
3	Abducción de brazos	102	140
4	Flexión de brazos	130	110
5	Respiración costal (Sentado)	99	98
6	Sentadilla	120	130
7	Cuádriceps en una silla	100	120
8	Isquiotibiales.	99	100
9	Deltoides Medio	101	120

3.2.5. Propuesta de la implementación de la aplicación incluyendo la interfaz de usuario

En este apartado se presenta una propuesta de diseño para la interfaz gráfica de la aplicación móvil. Para ilustrar la propuesta se presentan diferentes pantallas de la aplicación, cumpliendo con los requerimientos de diseño y de usabilidad. En la tabla 3.5 se puede observar las dos primeras interacciones que tiene el usuario cuando ingresa sus datos de autenticación.

CAPÍTULO 3. Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliar de personas con enfermedades pulmonares crónicas

Tabla 3.5: Inicio de sesión

No.	Nombre	Captura
1	Inicio de Sesión	
2	Menú principal	

En la tabla 3.6 se presentan las pantallas del menú lateral que contendrá todos los accesos donde el usuario tendrá acceso, en la interfaz "Perfil de Paciente", el usuario podrá ingresar para ver los datos relevantes respecto a su historial clínico.

3.2. Fisioterapia Pulmonar

Tabla 3.6: Menú lateral

No.	Nombre	Captura
3	Menú lateral	
4	Perfil de Paciente	

En la tabla 3.7, se muestra la pantalla “Acerca De”, donde se puede ver a los colaboradores del proyecto de investigación, al igual la pantalla "Fisioterapia Física", donde se puede visualizar los ejercicios físicos y en la tabla 3.8, se pueden ver los ejercicios respiratorios implementados en la aplicación móvil inteligente.

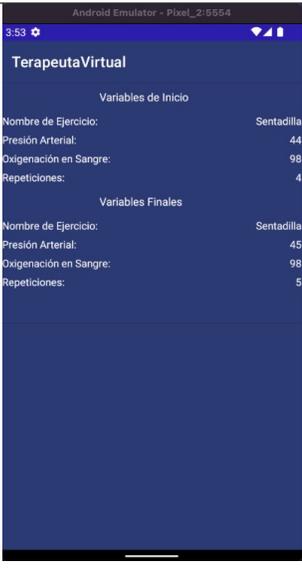
CAPÍTULO 3. Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliaria de personas con enfermedades pulmonares crónicas

Tabla 3.7: Opciones de menú lateral

No.	Nombre	Captura
5	Acerca De	
6	Lista de Fisioterapia Física	

3.2. Fisioterapia Pulmonar

Tabla 3.8: Fisioterapia Respiratoria

No.	Nombre	Captura
7	Lista de Fisioterapia Respiratoria	
8	Variables Biomédicas	

En la tabla 3.9 se puede observar la manera en la que los usuarios finales realizan sus fisioterapias de rehabilitación, destacando los 32 puntos del cuerpo humano que el SDK es capaz de detectar al igual la aplicación es capaz de contar las repeticiones del ejercicio a ejecutar y la confianza de detección de las clases de clasificación.

Tabla 3.9: Ejecución de fisioterapia

No.	Nombre	Captura
9	Ejecución de fisioterapia	

3.2.6. Implementación de tecnología web basada en arquitectura en la nube

En este punto se estableció una conectividad dinámica con la plataforma Amazon AWS, la cual ofrece una colección de servicios de computación en la nube para diversas implementaciones como se puede observar en la figura 3.13.

3.2. Fisioterapia Pulmonar

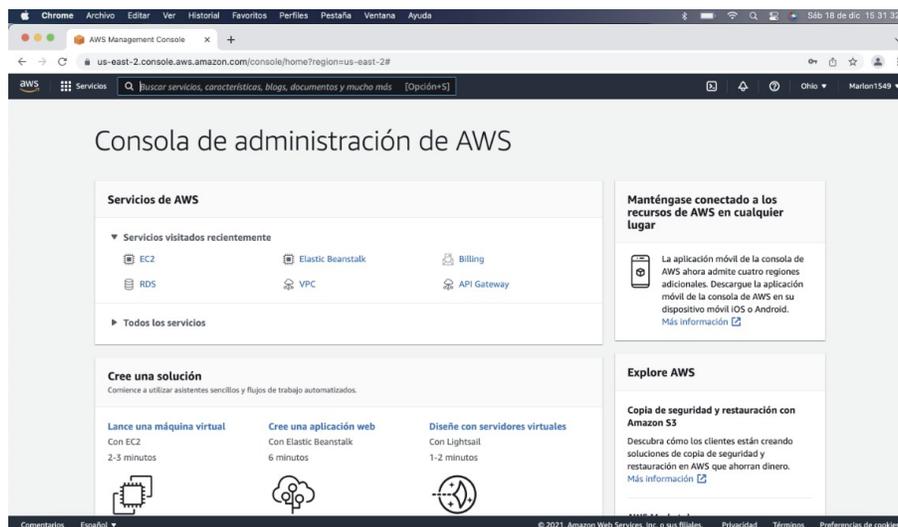


Figura 3.13: Servicios disponibles en plataforma Amazon AWS

3.2.6.1. Base de datos

La base de datos esta alojada en el servicio de base de datos relacionales (RDS), como se puede ver en la figura 3.14 el motor de base de datos es Maria DB, con puerto de conexión TCP 3306 donde las características de seguridad implementadas para mantener los datos seguros fue:

1. **Trafico HTTP:** Solo se permitirán conexiones al motor de la base de datos con direcciones IPv4 mediante el protocolo TCP ingresadas en la plataforma.
2. **RDP:** Se habilitará el tráfico RDP mediante el protocolo TCP para las direcciones IPv4.

CAPÍTULO 3. Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliar de personas con enfermedades pulmonares crónicas

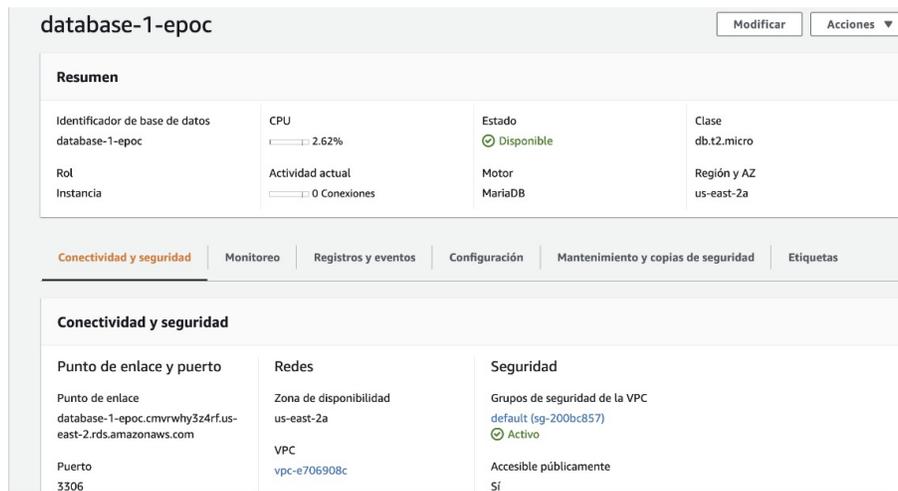


Figura 3.14: Características de instancia RDS

La base de datos se conectó mediante Workbench, el cual es un Sistema Gestor de Base de datos (SGBD) que permite manejar los datos alojados en la base de datos. En la figura 3.15 se pueden observar las características principales de la base de datos, de las cuales se puede destacar la conexión con la plataforma Amazon AWS con nuestro SGBD que se encuentra de manera local en el equipo de cómputo, en la figura 3.16 se puede observar información alojada en la base de datos.

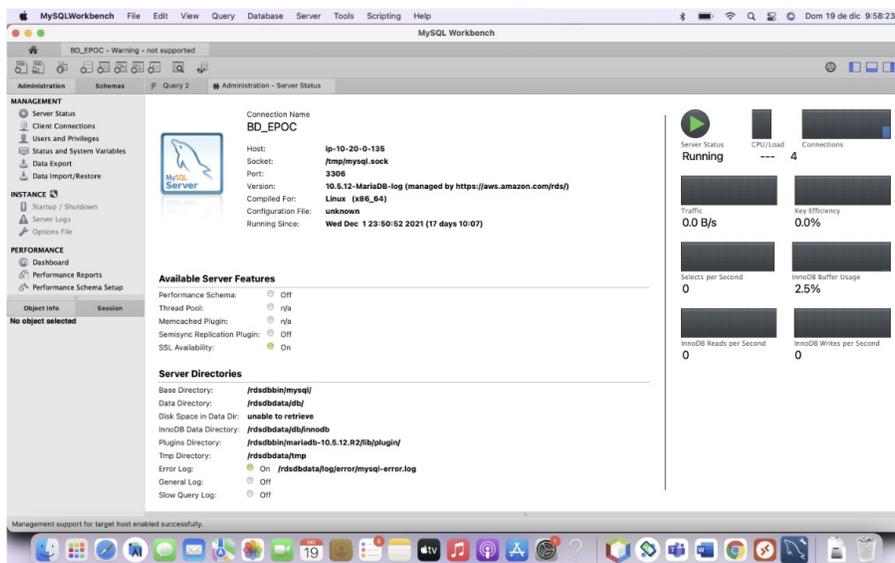


Figura 3.15: Características de conexión de Base de datos

3.2. Fisioterapia Pulmonar

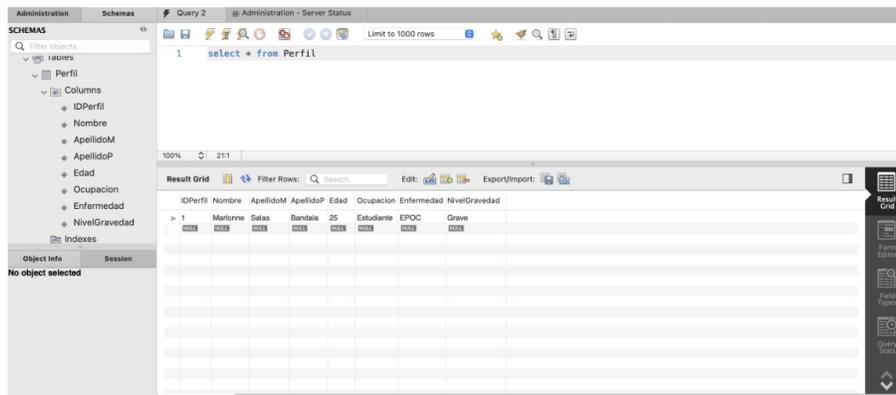


Figura 3.16: Conexión a SGBD

3.2.6.2. Instancia EC2

En la figura 3.17 se puede ver la instancia EC2, la cual es una máquina virtual de Windows Server 2020, en este caso se implementó un servidor GlashFish como se puede observar en la figura 3.18, en el servidor se implementaron los servicios web restful basados en el lenguaje de programación Java, la cual con la base de datos implementamos CRUD (acrónimo de Create, Read, Update, Delete), que son las distintas operaciones que se pueden realizar sobre información almacenada.



Figura 3.17: Instancia EC2

CAPÍTULO 3. Desarrollo de la aplicación móvil como herramienta mHealth en la rehabilitación domiciliar de personas con enfermedades pulmonares crónicas

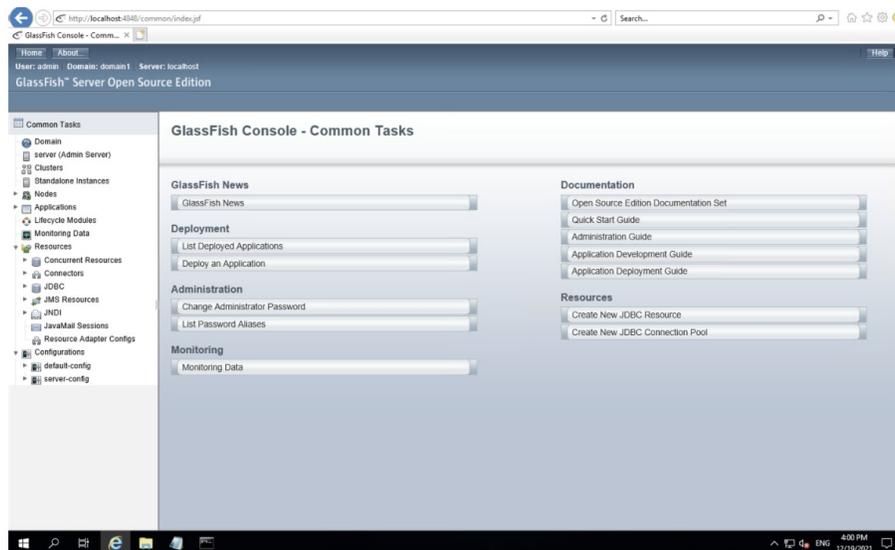


Figura 3.18: Servidor GlasFish

3.2.6.3. Servicios web RestFul

Los servicios web fueron implementados en el entorno Netbeans (figura 3.19), la persistencia de los datos se manejó mediante el formato JSON como se puede observar en la figura 3.20 para que puedan ser manipulados y consumidos en la aplicación móvil.

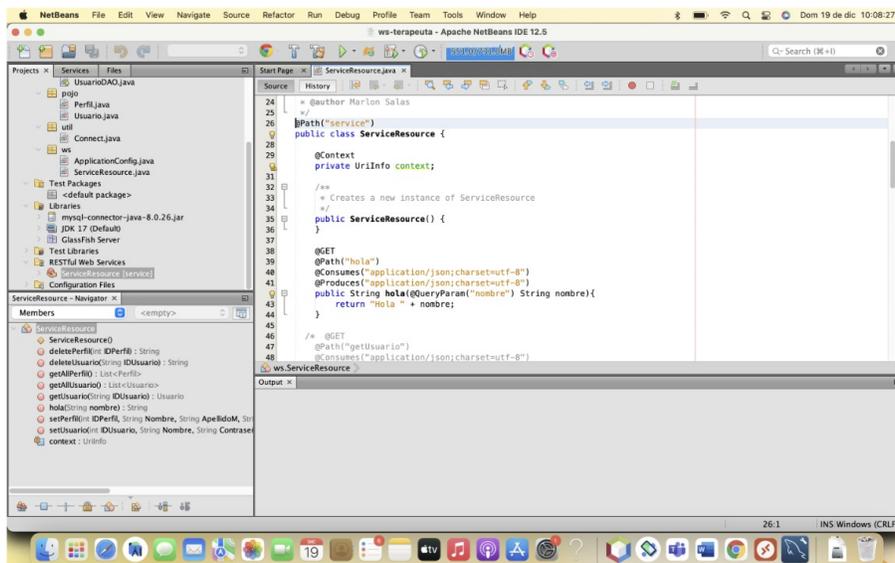


Figura 3.19: Netbeans

3.2. Fisioterapia Pulmonar

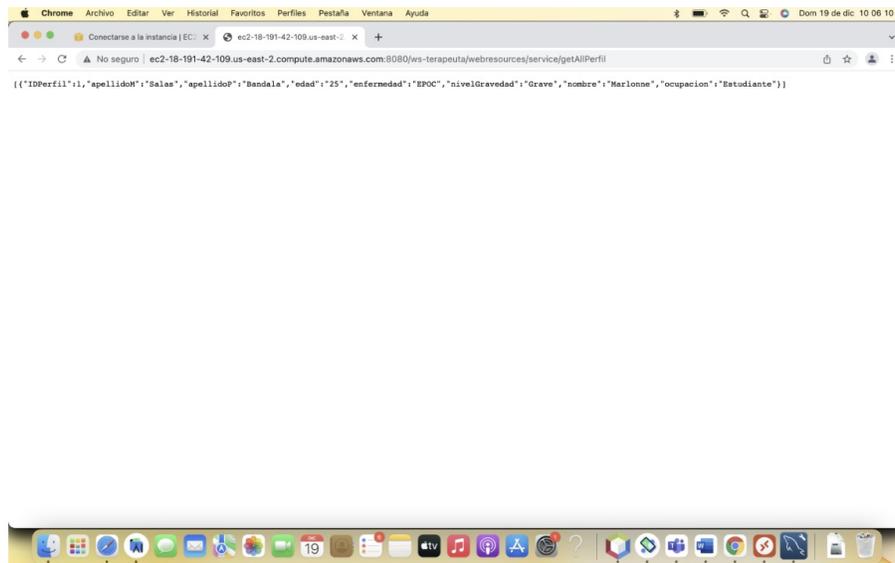


Figura 3.20: Persistencia de los Datos en formato JSON

Capítulo 4

Evaluación de la Propuesta

Al final del proceso de desarrollo se generó un sistema móvil inteligente lúdico basado en procesamiento de imagen y aprendizaje automático que tiene como finalidad ofrecer a personas afectadas con EPOC, realizar sus fisioterapias de rehabilitación donde se encuentren por medio de la cámara del dispositivo móvil, la base de conocimiento que conforma parte de la arquitectura móvil tiene gran importancia ya que contiene toda la pericia para que nuestro sistema inteligente pueda cumplir con lo planteado en la investigación. En este capítulo se detallan las herramientas y la forma en la que se estuvieron realizando las pruebas necesarias con los usuarios finales.

Para hacer la evaluación de la implementación, se puso a prueba al sistema móvil con usuarios finales que validaron la correcta precisión de la detección de los ejercicios fisioterapéuticos propuestos en la investigación, así mismo se validó la correcta integración de la base de conocimiento en la aplicación móvil.

Posterior a las evaluaciones generales del sistema, se aplicó a los usuarios finales un cuestionario de usabilidad (SUS), el cual es un método rápido y eficaz para poder conocer la facilidad de manejo de las interfaces gráficas por los usuarios finales.

4.1. Materiales y método

Para validar la hipótesis, es importante poner la aplicación a prueba en diferentes escenarios en los que se puede presentar una fisioterapia de rehabilitación, el contexto para poner a prueba la aplicación debe considerar los siguientes aspectos ambientales:

1. **Escenario:** El lugar donde se realizaron las pruebas constaron de diferentes espacios donde se denotaban cambios ambientales principalmente en la luz del espacio de prueba.
2. **Formas Corporales:** Los cuerpos a detectar por la aplicación deben de tener una diferencia corporal en altura y complexión para poder tener un amplio criterio en cuestión a la detección de los puntos en el cuerpo humano.

Para llevar a cabo la validación experimental, se contó con un grupo de 10 personas entre 25 y 65 años de edad como participantes en la prueba de la aplicación. Se les pidió que ejecutaran los ejercicios fisioterapéuticos previamente explicados, de tal forma que puedan ser capaces de realizar una terapia de rehabilitación, para llevar a cabo la validación experimental, los materiales que se emplearon fueron los siguientes:

1. **Teléfono inteligente:** El dispositivo móvil debe de cumplir con características necesarias para poder soportar aplicaciones donde su principal actividad sea transmitir fotogramas en tiempo real por medio de la cámara integrada, las especificaciones necesarias para poder realizar la validación experimental son las siguientes:
 - Sistema Operativo: Android 8.0 Oreo
 - Cámaras: Trasera: 8MP, f/2.0, vídeo 1080p/30fps, Frontal: 5MP
 - Procesador: Snapdragon 425

4.2. Método de experimentación

Con el propósito de hacer que el experimento pueda ser repetido tantas veces como sea necesario o bien se desee validar sus resultados, se planteó el método de experimentación siguiente:

4.2. Método de experimentación

1. Se prepara el escenario donde se ejecutarán las pruebas, de tal manera que se asigna un espacio considerable donde el usuario tendrá un espacio adecuado para poder ejecutar los ejercicios fisioterapéuticos.
2. Se prepara el equipo móvil y se adecua en el escenario para su ejecución, se recibe al grupo de personas uno por uno. En donde detalladamente se les da explicación sobre las actividades que se espera realice.
3. Se les proporciona una carta de consentimiento informado para la realización de las pruebas, mencionando que sus datos serán de uso exclusivo para la investigación, teniendo en contexto claro de los derechos de confidencialidad, se puede observar en el Anexo C.
4. Una vez claras las instrucciones, se ejecutan las pruebas de fisioterapia de rehabilitación.
5. Al termino del entrenamiento con la aplicación móvil, se procede a darle al usuario el cuestionario de usabilidad.

4.2.1. Aplicación móvil

El desarrollo de la aplicación móvil se realizó considerando tener interfaces gráficas limpias e intuitivas para tener al usuario final concentrado y atraído en la aplicación, la navegación dentro de la aplicación tiene un flujo sencillo para que personas de diversas edades no tengan alguna dificultad para acceder a todas las funcionalidades que existen en el sistema.

Para medir la calidad del modelo de aprendizaje automático propuesto, utilizaremos la fórmula de precisión como se puede ver en la figura 4.1 proveniente de la matriz de confusión como se puede observar en la tabla 4.1, la cual esta se utiliza para medir la calidad de clasificación que nuestro agente inteligente.

Tabla 4.1: Matriz de confusión

	Positivo	Negativo
Positivo	Verdadero Positivo (TP)	Falso Negativo (FN)
Negativo	Falso Positivo (FP)	Verdadero Negativo (TN)

$$precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

Figura 4.1: Formula de precisión

Donde, de acuerdo a nuestro sistema móvil:

1. **TP (Verdadero Positivo):** Este punto es valido cuando el usuario final ejecuta un ejercicio de rehabilitación y la aplicación móvil lo detecta correctamente.
2. **FP (Falso Positivo):** Esto ocurre cuando el sistema detecta la ejecución de un ejercicio de rehabilitación, pero en realidad no sucedió.

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

4.3.0.1. Respiración diafragmática (Sentado)

Este ejercicio fisioterapéutico tiene la principal característica de ejercitar los músculos pulmonares y así presentar movimientos finitos de inhalar y exhalar a la hora de ejecutar el ejercicio, este movimiento es el primordial ya que nuestro sistema

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

experto debe de detectar esos movimientos, por lo tanto los resultados de este ejercicio quedaron de la siguiente manera (Tabla 4.2):

Tabla 4.2: Resultados de ejecución de Ejercicio Respiración Diafrágica (Sentado)

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	10	7	3	40 segundos
2	12	10	2	48 segundos
3	8	6	2	32 segundos
4	11	9	2	44 segundos
5	8	4	2	33 segundos
6	10	7	3	42 segundos
7	8	5	3	41 segundos
8	11	7	4	45 segundos
9	8	6	2	34 segundos
10	13	10	3	52 segundos
Total:	99	71 VP	26 FP	6.85 minutos

Aplicando la fórmula de precisión, quedaría de la siguiente manera como se puede observar en la figura 4.2:

$$\text{Precisión} = \frac{71}{71 + 26} = 0.73$$

Figura 4.2: Resultado de ejercicio Respiración Diafrágica (Sentado)

Las clases que conforman la detección del ejercicio fisioterapéutico son las siguientes:

- RESPCS_INHALAR
- RESPCS_EXHALAR

El promedio de confianza de las clases que conforman este ejercicio fisioterapéutico se pueden observar en la tabla 4.3:

Tabla 4.3: Promedio de confianza de detección del ejercicio Respiración Costal (Sentado)

# de Clase	Clase	Promedio de Confidencia
1	RESPCS_INHALAR	0.75
2	RESPCS_EXHALAR	0.81

En las imágenes 4.3 se puede observar el correcto funcionamiento de la ejecución del ejercicio:

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

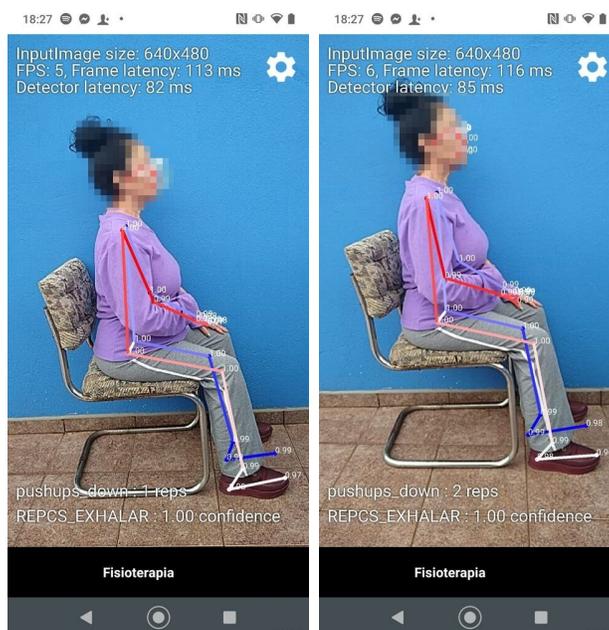


Figura 4.3: Ejecución de ejercicio Respiración Diafragmática (Sentado)

4.3.0.2. Respiración costal

En este punto, el usuario al realizar este ejercicio ejercita sus músculos pulmonares expandiendo y contrayendo los pulmones, de tal manera que realizando este ejercicio el usuario puede notar una gran mejoría a la hora de respirar. Los resultados correspondientes a este ejercicio se pueden observar en la tabla 4.4:

Tabla 4.4: Resultados de ejecución de Ejercicio Respiración Costal

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	10	7	3	60 segundos
2	9	5	4	54 segundos
3	13	10	3	78 segundos
4	11	8	3	66 segundos
5	12	8	4	72 segundos
6	15	10	5	90 segundos
7	13	9	4	77 segundos
8	9	6	3	54 segundos
9	11	8	3	65 segundos
10	13	10	3	77 segundos
Total:	116	81 VP	35 FP	11.5 minutos

De acuerdo con la fórmula de precisión, los resultados se pueden observar en la figura:

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

$$\text{Precisión} = \frac{81}{81 + 35} = 0.72$$

Figura 4.4: Resultado de ejercicio Respiración Diafragmática

Las clases que conforman la detección del ejercicio fisioterapéutico son las siguientes:

- RESPC_INHALAR
- RESPC_EXHALAR

La confianza de las clases que conforman este ejercicio fisioterapéutico se puede observar en la tabla 4.5:

Tabla 4.5: Promedio de confianza de detección del ejercicio Respiración Costal

# de Clase	Clase	Promedio de Confidencia
1	RESPC_INHALAR	0.76
2	RESPC_EXHALAR	0.77

En las imágenes 4.5 se puede observar el correcto funcionamiento de la ejecución del ejercicio Respiración costal:

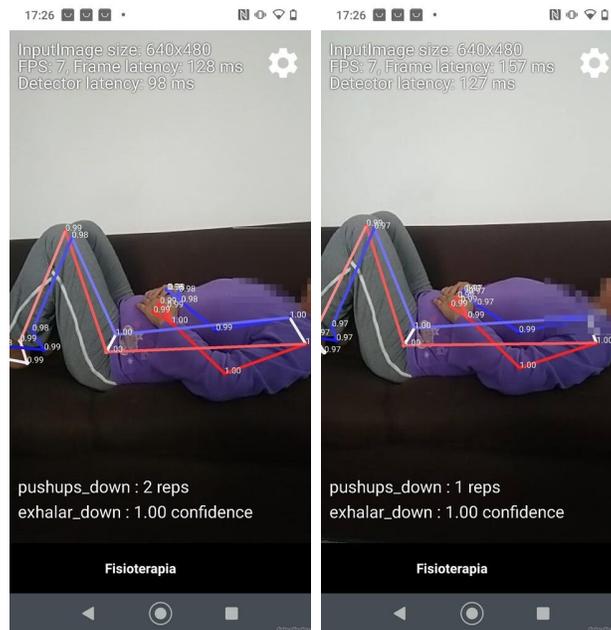


Figura 4.5: Ejecución de ejercicio Respiración Diafragmática

4.3.0.3. Abducción de brazos

Este ejercicio presenta movimientos gruesos, el movimiento principal se da en los marcadores de los brazos, el usuario tiene que levantar los brazos horizontalmente los resultados correspondientes se pueden observar en la tabla 4.6:

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

Tabla 4.6: Resultados de ejecución de Ejercicio Abducción de brazos

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	10	8	2	60 segundos
2	14	11	3	84 segundos
3	10	9	1	60 segundos
4	13	10	3	78 segundos
5	8	6	2	48 segundos
6	9	8	1	54 segundos
7	15	13	2	90 segundos
8	7	6	1	42 segundos
9	13	10	3	78 segundos
10	9	8	1	54 segundos
Total:	108	89 VP	19 FP	10.8 minutos

Aplicando la fórmula de precisión, de acuerdo con los resultados anteriores, la precisión de este ejercicio se puede ver en la figura 4.6:

$$\text{Precisión} = \frac{89}{89 + 19} = 0.83$$

Figura 4.6: Resultado de ejercicio Abducción de brazos

Las clases que conforman el ejercicio fisioterapéutico son las siguientes:

- ABDUC_UP
- ABDUC_DOWN

El promedio de confianza de la detección de las clases se puede observar en la tabla 4.7:

Tabla 4.7: Promedio de confianza de detección del ejercicio Abducción de brazos

# de Clase	Clase	Promedio de Confidencia
1	ABDUC_UP	0.90
2	ABDUC_DOWN	0.87

En las imágenes 4.7 se puede observar la ejecución del ejercicio abducción de brazos:

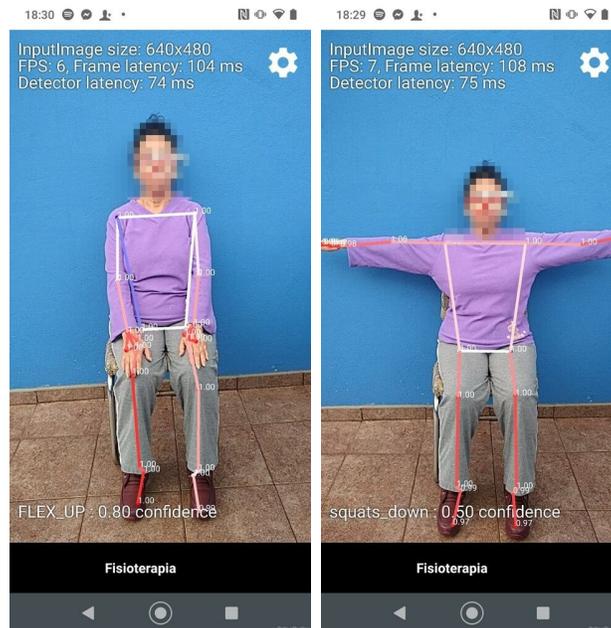


Figura 4.7: Ejecución de ejercicio abducción de brazos

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

4.3.0.4. Flexión de brazos

Este ejercicio fisioterapéutico se caracteriza principalmente por tener movimientos gruesos en los brazos, los marcadores principales a tener en cuenta se posicionan completamente en los brazos, al momento de levantar los brazos verticalmente, la aplicación detecta la ejecución, los resultados correspondientes a este ejercicio se encuentran en la tabla 4.8 :

Tabla 4.8: Resultados de ejecución de Ejercicio Flexión de brazos

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	10	9	1	80 segundos
2	12	10	2	96 segundos
3	9	6	3	72 segundos
4	7	6	1	56 segundos
5	11	9	2	88 segundos
6	8	6	2	48 segundos
7	10	8	2	81 segundos
8	6	5	1	48 segundos
9	9	8	1	72 segundos
10	11	10	1	89 segundos
Total:	93	77 VP	12 FP	12.1 minutos

Aplicando la fórmula de precisión, los resultados se pueden observar en la figura 4.8:

$$\text{Precisión} = \frac{77}{77 + 12} = 0.87$$

Figura 4.8: Resultado de ejercicio Flexión de brazos

Las clases para la detección de la ejecución del ejercicio se componen de la siguiente manera:

- FLEX_UP
- FLEX_DOWN

El promedio de confianza encontrado en la ejecución del ejercicio, se puede observar en la tabla 4.9:

Tabla 4.9: Promedio de confianza en ejercicio fisioterapéutico Flexión de brazos

# de Clase	Clase	Promedio de Confianza
1	FLEX_UP	0.94
2	FLEX_DOWN	0.91

En las imágenes 4.9 se puede observar la ejecución del ejercicio flexión de brazos:

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

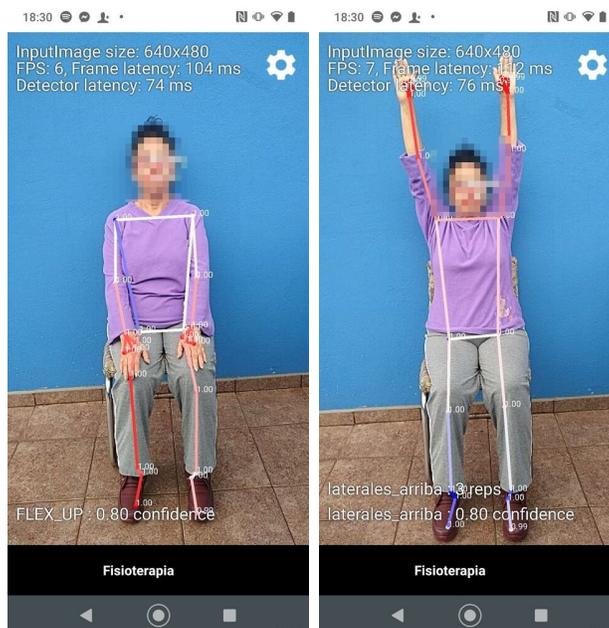


Figura 4.9: Ejecución de ejercicio flexión de brazos

4.3.0.5. Sentadilla

Este ejercicio fisioterapéutico presenta un movimiento grueso a la hora de ser ejecutado, la detección de este ejercicio es fluida, los marcadores se posicionan a lo largo del cuerpo, los resultados correspondientes a esta evaluación experimental se muestran a continuación:

Tabla 4.10: Resultados de ejecución de Ejercicio Respiración Sentadilla

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	14	12	2	42 segundos
2	7	6	1	21 segundos
3	16	14	2	48 segundos
4	12	11	1	36 segundos
5	10	8	2	30 segundos
6	14	14	0	42 segundos
7	11	10	1	33 segundos
8	14	13	1	42 segundos
9	10	8	2	30 segundos
10	12	12	0	36 segundos
Total:	120	108 VP	12 FP	6 minutos

Aplicando la fórmula de precisión, los resultados se pueden observar en la figura 4.10:

$$\text{Precisión} = \frac{108}{108 + 12} = 0.91$$

Figura 4.10: Resultado de ejercicio Sentadilla

Las clases que conforman este ejercicio son las siguientes:

- SQUATS_UP
- SQUATS_DOWN

El promedio de confianza encontrada en la ejecución del ejercicio se puede observar en la tabla 4.11:

Tabla 4.11: Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Sentadilla

# de Clase	Clase	Promedio de Confianza
1	SQUATS_UP	0.98
2	SQUATS_DOWN	0.96

En las imágenes 4.11 se puede ver al usuario realizando la ejecución del ejercicio sentadilla dentro del entorno móvil:

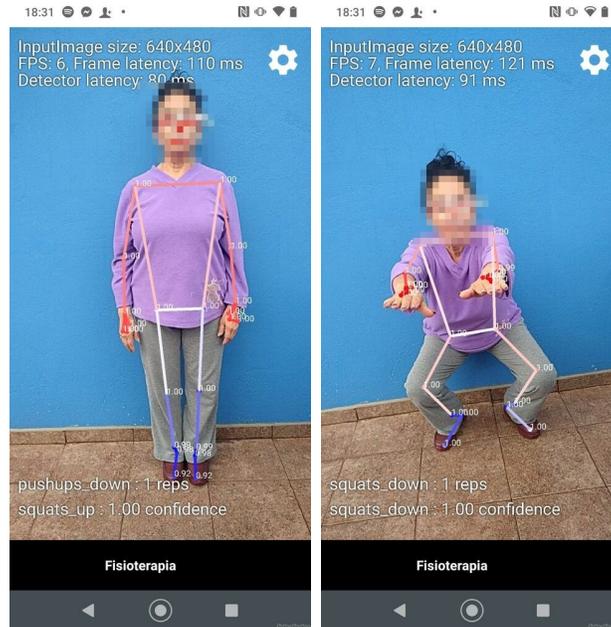


Figura 4.11: Ejecución de ejercicio sentadilla

4.3.0.6. Cuádriceps en una silla

Los marcadores a destacar en este ejercicio se localizan en las piernas del usuario final, el ejercicio se realiza en posición sentado; el movimiento a destacar se realiza en la parte de la rodilla, el usuario debe de levantar el pie en forma recta y bajarlo, teniendo movimientos individuales por cada pierna. Los resultados correspondientes a este ejercicio se muestran en la siguiente tabla 4.12:

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

Tabla 4.12: Resultados de ejecución de Ejercicio Cuádriceps en una silla

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	7	5	2	56 segundos
2	10	7	3	80 segundos
3	13	12	1	104 segundos
4	9	9	0	72 segundos
5	7	5	2	63 segundos
6	12	11	1	96 segundos
7	9	7	2	72 segundos
8	10	9	1	80 segundos
9	13	12	1	104 segundos
10	6	6	0	48 segundos
Total:	96	83 VP	13 FP	13 minutos

Los resultados de la fórmula de precisión se muestran en la figura 4.12:

$$\text{Precisión} = \frac{83}{83 + 13} = 0.86$$

Figura 4.12: Resultado de ejercicio Cuádriceps en una silla

Las clases de clasificación que conforman este ejercicio fisioterapéutico son las siguientes:

- CUADRICEPS_UP
- CUADRICEPS_DOWN

El promedio de confianza de ejecución del ejercicio fisioterapéutico se puede observar en la tabla 4.13:

Tabla 4.13: Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Cuádriceps en una Silla

# de Clase	Clase	Promedio de Confianza
1	CUADRICEPS_UP	0.90
2	CUADRICEPS_DOWN	0.88

En las imágenes 4.13 se puede ver al usuario realizando la ejecución del ejercicio cuadriceps en una silla:

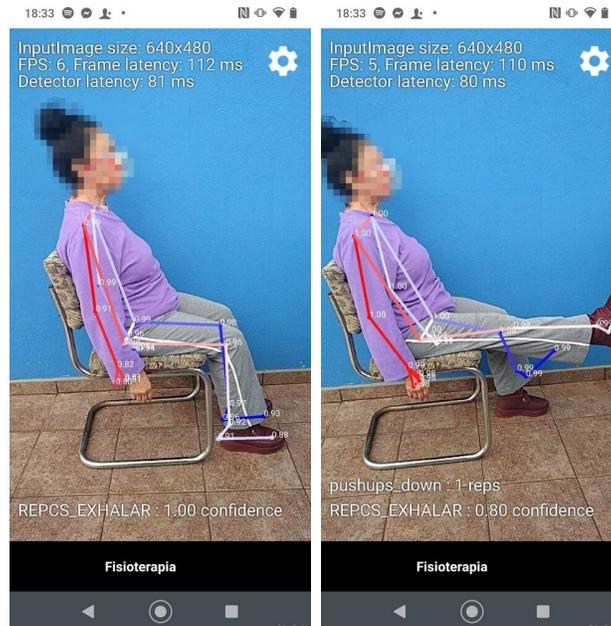


Figura 4.13: Ejecución de ejercicio cuadriceps en una silla

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

4.3.0.7. Isquiotibiales

En este ejercicio, los marcadores principales se localizan en las piernas del usuario, el movimiento se localiza en las rodillas y en el pie. El afectado debe de estar parado apoyándose de un objeto firme para poder levantar el pie detrás a la altura de los glúteos. Los resultados correspondientes se pueden observar en la tabla 4.14:

Tabla 4.14: Resultados de ejecución de Ejercicio Isquiotibiales

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	10	9	1	91 segundos
2	8	6	2	73 segundos
3	12	10	2	108 segundos
4	9	8	1	82 segundos
5	11	9	2	99 segundos
6	9	8	1	82 segundos
7	10	8	2	91 segundos
8	13	12	1	118 segundos
9	9	9	0	83 segundos
10	7	6	1	65 segundos
Total:	98	84 VP	14 FP	14.8 minutos

Aplicando la fórmula de precisión, los resultados se puede observar en la figura 4.14:

$$\frac{84}{84 + 14} = 0.86$$

Figura 4.14: Resultado de ejercicio isquiotibiales

Las clases de clasificación que conforman este ejercicio son las siguientes:

- ISQUI_DOWN
- ISQUI_UP

El promedio de confianza de detección de las clases de este ejercicio se puede observar en la tabla 4.15:

Tabla 4.15: Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Isquiotibiales

# de Clase	Clase	Promedio de Confidencia
1	ISQUI_UP	0.89
2	ISQUI_DOWN	0.92

En las imágenes 4.15 se puede ver al usuario realizando la ejecución del ejercicio isquiotibiales:

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

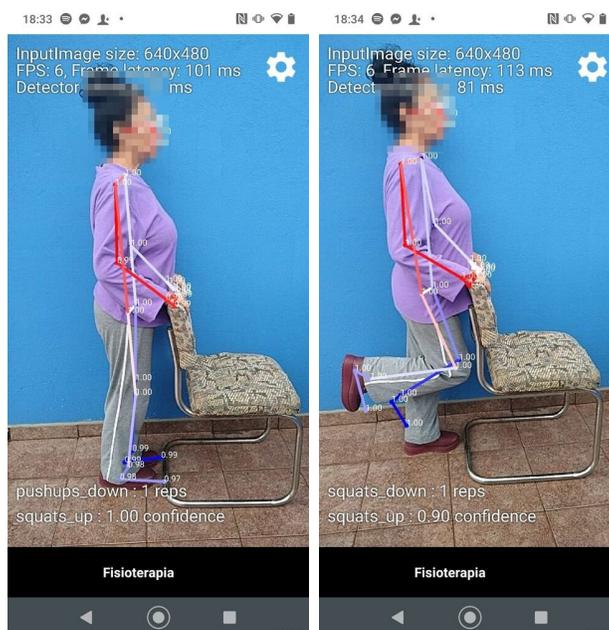


Figura 4.15: Ejecución de ejercicio isquiotibiales

4.3.0.8. Deltoides Medio

En este ejercicio fisioterapéutico, los marcadores se centran completamente en los brazos del usuario, el movimiento a detectar se da cuando el afectado sube individualmente el brazo lateralmente. Los resultados correspondientes a la ejecución de este ejercicio se pueden observar en la tabla 4.16:

Tabla 4.16: Resultados de ejecución de ejercicio Deltoides Medio

# de Usuario	Repeticiones de ejercicio	Verdadero Positivo	Falso Positivo	Tiempo de ejecución
1	7	5	2	84 segundos
2	9	8	1	108 segundos
3	10	11	1	120 segundos
4	8	6	2	96 segundos
5	6	5	1	60 segundos
6	11	9	2	132 segundos
7	9	8	1	108 segundos
8	5	5	0	60 segundos
9	10	10	0	120 segundos
10	7	6	1	84 segundos
Total:	82	73 VP	11 FP	16 minutos

Los resultados correspondientes a la fórmula de precisión aplicada en este ejercicio fisioterapéutico se puede observar en la figura 4.16:

$$\text{Precisión} = \frac{73}{73 + 11} = 0.87$$

Figura 4.16: Resultado de ejercicio Deltoides Medio

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

Las clases de clasificación que comprenden este ejercicio fisioterapéutico son las siguientes:

- DELTOIDES_UP
- DELTOIDES_DOWN

El promedio de confianza de detección de las clases se puede observar en la tabla 4.17:

Tabla 4.17: Promedio de confianza de ejercicio fisioterapéutico Deltoides Medio

# de Clase	Clase	Promedio de Confidencia
1	DELTOIDES_UP	0.93
2	DELTOIDES_DOWN	0.87

En las imágenes 4.17 se puede ver al usuario realizando la ejecución del ejercicio Deltoides medio:

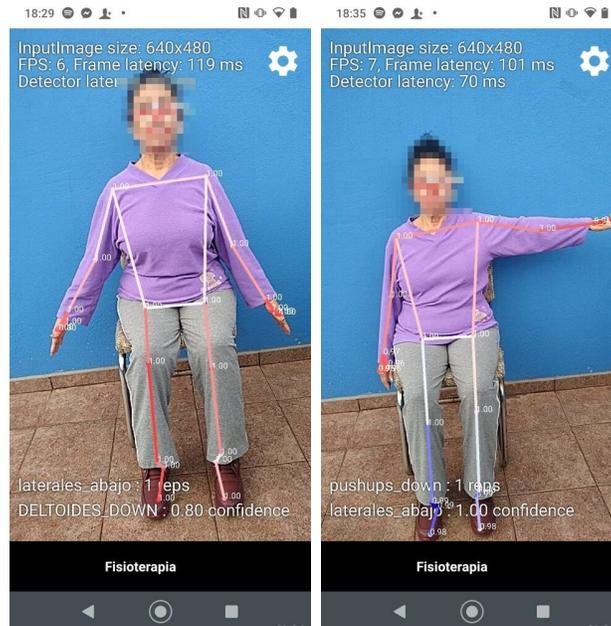


Figura 4.17: Ejecución de ejercicio Deltoides medio

4.3.1. Cuestionario de Usabilidad

El cuestionario de usabilidad consta de 10 preguntas, los cuales conforman a la evaluación directa que nos darán una pauta para poder aplicar la escala de usabilidad. Las preguntas aplicadas se pueden observar en la tabla 4.18:

Tabla 4.18: Preguntas de evaluación de usabilidad

# de Enunciado	Enunciado
1	Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia.
2	Encontré el sistema innecesariamente complejo.
3	Pensé que el sistema sería fácil de usar.
4	Creo que necesito el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema.
5	Encontré que las diversas funciones de este sistema estan bien integradas.
6	Creo que hay demasiadas inconsistencias en este sistema.
7	Creo que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente.
8	Encontré el sistema muy complicado de usar
9	Me sentí muy seguro usando el sistema.
10	Creo que necesito aprender muchas cosas antes de utilizar este sistema.

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

En la figura 4.18 se pueden ver los resultados de los cuestionarios aplicados, donde por cada pregunta realizada (eje x) se muestra el porcentaje obtenido por cada respuesta. De igual forma se puede ver cada respuesta obtenida junto el porcentaje obtenido por cada usuario.

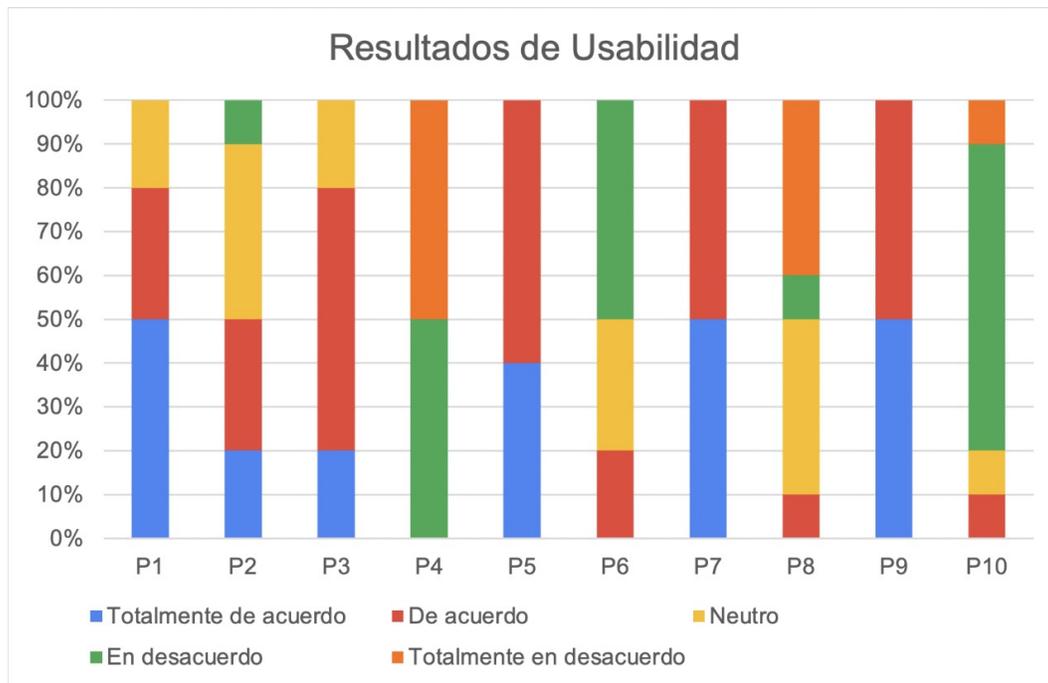


Figura 4.18: Resultado de enunciados de Usabilidad

La forma de obtener un resultado individual por cada cuestionario aplicado se basa en lo siguiente:

- Para los enunciados 1,3,5,7 y 9 se le restará uno a la puntuación obtenida.
- Para los enunciados 2,4,6,8 y 10 a cinco se le restara la puntuación obtenida.
- Finalmente, el resultado será la suma del producto de las puntuaciones multiplicado por 2.5 para obtener el valor total del SUS.

El cálculo del primer renglón se hace la siguiente manera:

$$[(5-1)+(5-4)+(3-1)+(5-1)+(5-4)+(5-3)+(5-1)+(5-1)+(5-1)+(5-2)]*2.5= 72.5$$

La tabla 4.19 muestra desglosada cada puntuación por pregunta (columnas) y además el puntaje total del SUS por cada prueba aplicada (filas). Finalmente, se obtuvo un promedio de los puntajes obtenidos el cual corresponde a un puntaje de 80.7 de manera global.

Tomando en cuenta la escala del puntaje proporcionada por Brooke (2013) que se puede observar en la figura 4.19, así como el promedio obtenido del puntaje de los diez cuestionarios aplicados el cual corresponde a un valor de 80.7, se puede concluir que el prototipo se encuentra en el rango aceptable, en el grado B y con el adjetivo excelente.

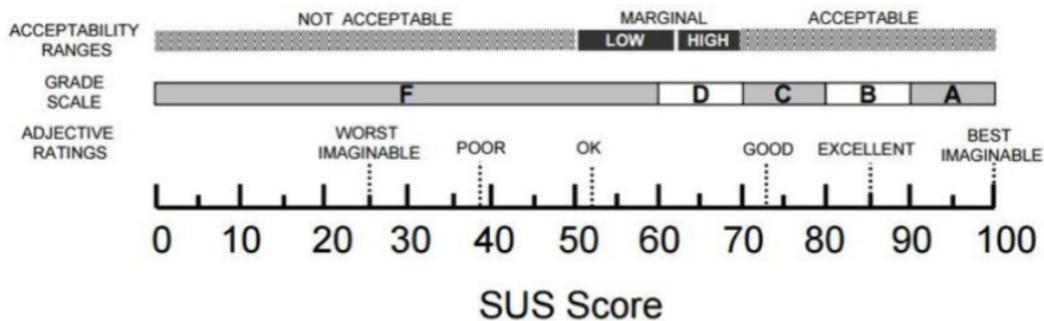


Figura 4.19: Escala de usabilidad. “Grade rankings of SUS scores from “Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale,” by A. Bangor, P.T. Kortum, and J.T. Miller, 2009, Journal of Usability Studies, 4(3), 114-123. Reprinted with permission.” (Brooke, 2013)

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

Tabla 4.19: Resultados de encuestas de usabilidad

Pregunta/ Participante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Puntaje
1	5	4	3	1	4	3	5	1	5	2	72.5
2	5	5	5	2	4	2	5	4	4	3	70
3	3	4	5	2	5	2	5	1	5	2	85
4	5	3	4	1	5	2	4	1	5	1	90
5	5	5	3	2	5	3	5	3	4	4	70.5
6	5	2	4	1	2	2	4	1	4	2	70
7	5	2	4	1	3	4	2	3	5	2	77.5
8	5	2	4	2	4	2	4	3	4	2	75
9	5	1	5	1	5	2	5	1	5	2	95
10	4	2	4	2	4	3	4	2	4	2	90
											Promedio: 80.7

4.3.2. Conclusión

A lo largo de este capítulo se explicó el experimento que se realizó con los usuarios reclutados para validar que este cumpla o no con el objetivo principal del trabajo de investigación y poner a prueba nuestra aplicación móvil. La prueba constó de dos fases principales. En la primera fase, se puso a prueba la aplicación con los ejercicios implementados en nuestra base de conocimiento.

Para evaluar la precisión de detección, se tomaron en cuenta los resultados obtenidos en cada ejercicio, los cuales se pueden observar en la tabla 4.20. Estos resultados fueron analizados considerando los criterios de precisión discutidos en los estudios revisados anteriormente. Según el artículo de Xiao y cols. titulado "A Survey of Human Pose Estimation: History, Methods, and Challenges", se considera que un sistema de detección de poses es preciso si puede detectar correctamente la mayoría de las poses en una imagen o video, incluso en situaciones difíciles como condiciones de iluminación adversas o cambios de perspectiva. Además, el artículo de Geirhos y cols. titulado "Benchmarking Robustness in Object Detection: Autonomous Driving when Winter

is Coming" destaca la importancia de evaluar la capacidad de detección en diferentes condiciones, como en situaciones climáticas adversas.

Los resultados de nuestra prueba indicaron que la aplicación mostró una efectividad promedio de detección de poses del 85 % (véase tabla 4.20). Esto significa que, en general, el sistema pudo identificar correctamente la posición y configuración de las poses en un alto porcentaje de los casos evaluados. Estos resultados respaldan las consideraciones planteadas en los estudios mencionados anteriormente.

No obstante, también se identificaron algunas situaciones en las que la precisión de detección fue menor. Por ejemplo, en casos de poses extremas o en condiciones de iluminación desfavorables, la efectividad de detección disminuyó ligeramente. Estos hallazgos destacan la importancia de seguir trabajando en la optimización del sistema para aumentar la precisión y abordar los desafíos específicos encontrados durante la evaluación (Mustafa y cols., 2021).

En resumen, los resultados obtenidos en nuestra prueba indican que la aplicación móvil tiene una alta efectividad en la detección de poses, alcanzando un porcentaje promedio del 85 % (tabla 4.20). Estos resultados respaldan el rendimiento del sistema y sugieren que la aplicación es capaz de cumplir con el objetivo principal del trabajo de investigación. No obstante, se recomienda seguir trabajando en la optimización del sistema para mejorar aún más la precisión en casos desafiantes y lograr un rendimiento más robusto en diferentes condiciones.

Tabla 4.20: Resultados de precisión de ejercicios fisioterapéuticos

Nombre de ejercicio	Precisión
Respiración diafragmática (Sentado)	0.73
Respiración costal	0.72
Abducción de brazos	0.83
Flexión de brazos	0.87
Sentadilla	0.91
Cuádriceps en una silla	0.86
Isquiotibiales	0.86
Deltoides Medio	0.87

4.3. Resultados de la ejecución de los ejercicios de rehabilitación

Se puede observar que la detección de los ejercicios de respiración tienen un bajo porcentaje de precisión, ya que el SDK usado en la aplicación móvil, no siempre es capaz de detectar pequeños movimientos. Al término de las pruebas, se les compartió un link que contenía el cuestionario de usabilidad SUS para conocer su experiencia al interactuar con el prototipo. Recordando que el cuestionario SUS tiene una alta efectividad con un grupo pequeño de usuarios y que además está diseñado para evaluar la usabilidad en sistemas informáticos. Por lo tanto, derivado del análisis de resultados de dicho cuestionario, se obtuvo un alto puntaje en la escala de puntuación del SUS siendo así se puede concluir que el prototipo cumple con el objetivo de tener una mejor experiencia y cumple con los estándares de usabilidad. Cabe señalar, se obtuvieron comentarios positivos durante la realización de las pruebas, por lo cual se concluye que el prototipo realizado tuvo un impacto positivo en los usuarios y efectivamente mejoró la experiencia de usuario cuando los afectados realizan los ejercicios implementados, ya que mencionan que es una herramienta innovadora y altamente intuitiva.

Capítulo 5

Conclusiones y trabajo futuro

5.0.1. Resumen

Las tecnologías de la información han impactado de manera directa en nuestro día a día, actualmente han surgido nuevos paradigmas en donde se ven beneficiadas diversas áreas, en el ámbito médico surge como paradigma de apoyo la tendencia tecnológica eHealth, la cual involucra el uso de las TIC'S para el uso en rehabilitación, apoyo al diagnóstico, entre otras. Esta tendencia tecnológica tiene dos ramas importantes, la cual es: *mHealth* y *tHealth*.

mHealth en particular, aborda primordialmente el uso de dispositivos móviles, se caracteriza esencialmente por ofrecer accesibilidad y en determinado contexto minimizar costos hospitalarios. La mayoría de estos sistemas móviles tienen una arquitectura basada en IoT (Internet de las Cosas) para ofrecer una comunicación directa entre sistemas y aplicaciones. Como se mencionó en este trabajo, la inteligencia artificial hoy en día juega un papel muy importante actualmente, ya que actualmente existen diversas áreas que la conforman las cuales son importantes, ya que apoyan en el campo de la medicina de manera automatizada.

La visión por computadora, es un área de la inteligencia artificial ha cobrado una gran importancia en el campo de la rehabilitación, destacando que actualmente existen investigaciones que abordan la rehabilitación como tratamiento de enfermedades tomando como base la detección del cuerpo humano. En lo que se refiere a las Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC) uno de los tratamientos que

se dan a las personas que padecen esta enfermedad es la rehabilitación tanto física como pulmonar, misma que se lleva a cabo bajo la guía y supervisión de un especialista, sin embargo algunas veces es complicado que el paciente se pueda trasladar hasta las instalaciones hospitalarias donde se encuentra el especialista, por lo que la utilización de la tecnología de reconocimiento de imagen y la inteligencia artificial implementada en aplicaciones de mHealth resulta de gran utilidad en el tratamiento y seguimiento a pacientes con EPOC.

Partiendo de lo anterior, en este trabajo de investigación se propuso la realización de una herramienta innovadora para crear un enfoque accesible para la realización de fisioterapia de personas que padecen Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas desde el lugar donde se encuentren estos pacientes, con el uso y el apoyo de los teléfonos inteligentes, mediante el uso de una aplicación móvil. Una aplicación móvil que puede ofrecer a los usuarios gran accesibilidad y flexibilidad en cuanto a la experiencia de usuario para las personas que padecen EPOC, cubriendo así las necesidades de los pacientes que en ocasiones hacen que abandonen su tratamiento de fisioterapia de rehabilitación.

Para probar la propuesta anterior, se desarrolló un prototipo basado en el sistema operativo Android, este prototipo consta de tres componentes principales. El primer componente es una base de conocimiento, la cual es el fundamental en nuestra investigación, en ella se encuentran todos los ejercicios fisioterapéuticos clasificados en inicio y fin convertidos a un formato vectorial. El segundo componente es el sistema de adquisición de los datos, en este componente, la cámara del dispositivo móvil transmite en tiempo real la detección de los 32 puntos del cuerpo humano del usuario para que una vez que sean capturados se obtengan las coordenadas de los puntos marcadores y estos son comparados con los marcadores de referencia en la base de conocimiento. Derivado del componente anterior surge el tercer componente validación de la ejecución de ejercicio fisioterapéutico, en este punto es donde se determinará si el usuario final realizó el ejercicio correctamente o no.

Una vez que se desarrolló un prototipo funcional del sistema, la propuesta se sometió a una validación experimental para comprobar si realmente existe la posibilidad de crear una herramienta auxiliar domiciliaria para la fisioterapia de rehabilitación de las personas que padecen EPOC. En primera instancia, se definió el objetivo, el proceso y

5.1. Aportaciones

los materiales para realizar dicha validación. La prueba consto de dos fases, dando un total de 9 ejercicios a los usuarios para que pudieran ejecutarlos.

Al final de las pruebas, se entregó a los participantes un cuestionario de usabilidad, llamado SUS, el cual está diseñado para evaluar sistemas informáticos. Se eligió este cuestionario ya que proporciona resultados muy efectivos con pocos usuarios. Una vez que finalizaron las pruebas y se contestaron los cuestionarios, se procedió a analizar los datos recabados. En promedio el puntaje que se obtuvo de probar el sistema y evaluarlo fue de 80.7, un puntaje considerado en la escala de puntuación del SUS como excelente.

Por lo tanto, retomando la hipótesis inicial de este trabajo de investigación y el resultado final de las pruebas realizadas, se puede concluir que efectivamente la propuesta ha tenido un impacto positivo respecto a la combinación de la detección de patrones de movimiento y el análisis de señales biomédicas aplicados a un sistema para la asistencia terapéutica remota en la rehabilitación pulmonar.

5.1. Aportaciones

Las principales aportaciones identificadas son las siguientes:

- **Revisión sistemática de la literatura:** Partiendo del análisis de la literatura existente sobre las aplicaciones tecnológicas de tipo eHealth, se observó que actualmente las enfermedades pulmonares obstructivas crónicas únicamente tienen investigaciones sobre el seguimiento de la enfermedad y además implementan una comunicación directa entre el paciente y el médico. Es aquí donde el objetivo de la investigación tiene una aportación considerable con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que padecen esta enfermedad.
- **Propuesta:** En este trabajo de investigación se hizo un prototipo que le va a permitir a las personas afectadas por las EPOC, realizar sus fisioterapias de rehabilitación desde donde se encuentren. Todo esto con el objetivo de poder mejorar la calidad de vida de los afectados mediante el apoyo de esta herramienta auxiliar tecnológica propuesta para servir como apoyo a sus fisioterapias, de igual forma gracias a esta tecnología implementada se prevé reducir los costos hospitalarios aunado a esta enfermedad.

- **Aplicación móvil:** El prototipo implementado tiene una arquitectura con tres módulos principales: Consulta a Base de datos (Base de conocimiento), Adquisición de datos y Validación de la ejecución de ejercicio fisioterapéutico. En conjunto estos módulos realizan un procesamiento de comparación de las coordenadas que son alojadas en la base de conocimiento con los fotogramas que son transmitidos en tiempo real para así tener el resultado si el usuario final realizó correctamente el ejercicio o no. Cabe destacar que se tiene preparado el entorno de desarrollo para ofrecer una conectividad basada en la nube, se crearon servicios web basados en el lenguaje de programación java y se tienen preparadas las instancias en la plataforma AWS.
- **Validación Experimental:** Se realizó una validación experimental al prototipo desarrollado con el propósito de recabar información para saber si este cumple con su objetivo. Se llevo a cabo una prueba a un grupo de usuarios finales que interactuaron con la aplicación propuesta, dicha prueba se apoyó del cuestionario SUS para obtener resultados precisos y concretos de usabilidad. Las pruebas arrojaron resultados positivos, validando así el prototipo que se llevo a cabo.

5.2. Trabajo Futuro

A lo largo del trabajo de investigación, se pudo observar que existen diferentes líneas por el cual el trabajo puede continuar.

1. En la validación experimental derivado de los resultados para los ejercicios que requieren de mayor precisión en la detección de movimientos: *Respiración Diafragmática (Sentado)* y *Respiración costal* mostraron tener dificultad para la detección de la expansión y contracción de los músculos pulmonares. Como trabajo futuro se prevé realizar un sensor que sirva de apoyo para poder detectar cuando el usuario este respirando con el fin de detectar correctamente los ejercicios mencionados.
2. Actualmente existen ejercicios fisioterapéuticos que requieren de herramientas de apoyo como un espirómetro "Threshold", la cual tiene la funcionalidad de despejar las vías respiratorias mediante una carga resistiva que genera el espirómetro. Como

5.2. Trabajo Futuro

trabajo futuro se planea generar una conectividad directa entre el espirómetro y la aplicación móvil para poder ampliar el alcance de los ejercicios implementados actualmente.

3. Es de suma importancia llevar un control de las variables biomédicas en tiempo real de las personas que están realizando ejercicios de fisioterapia. Aunado a lo anterior, actualmente existen en el mercado dispositivos de cómputo vestible (*wearables*) que tienen sensores de variables biomédicas y además cuentan con SDK para que desarrolladores implementen desarrollos con los dispositivos. Como trabajo futuro, se espera realizar una conexión directa entre estos dispositivos con la aplicación móvil para poder llevar un control preciso de las variables biomédicas de las personas afectadas.
4. Finalmente, la aplicación móvil solamente esta desarrollada bajo el sistema operativo Android en el lenguaje de programación Java, se espera como trabajo futuro tener la implementación del sistema nativo para dispositivos iPhone bajo el entorno de desarrollo XCode en el lenguaje de programación swift.

Apéndice A

Guías clínicas de rehabilitación pulmonar

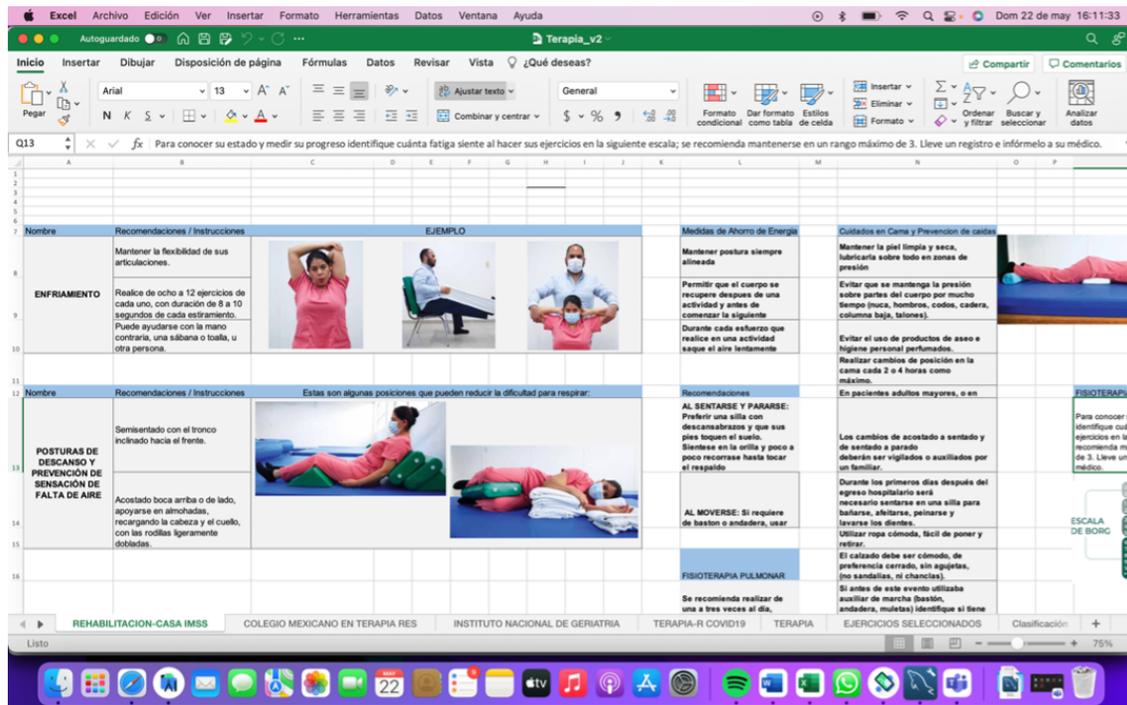


Figura A.1: Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Instituto Mexicano de Seguro Social

APÉNDICE A. Guías clínicas de rehabilitación pulmonar

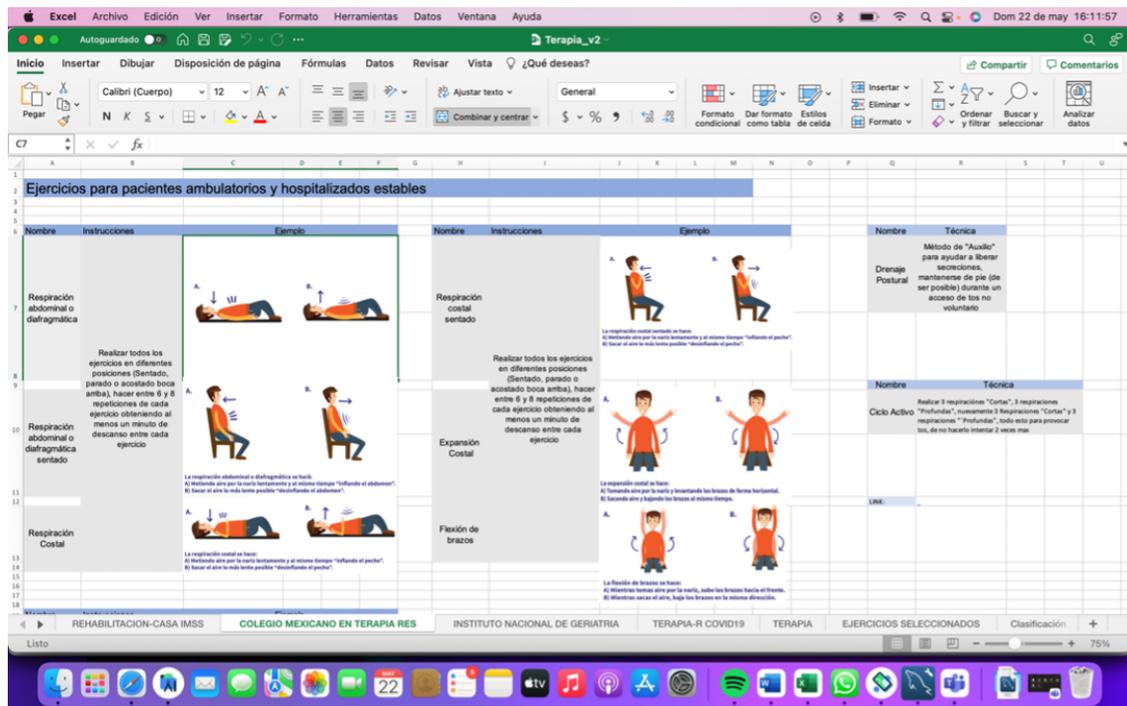


Figura A.2: Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Colegio Mexicano en Terapia Respiratoria

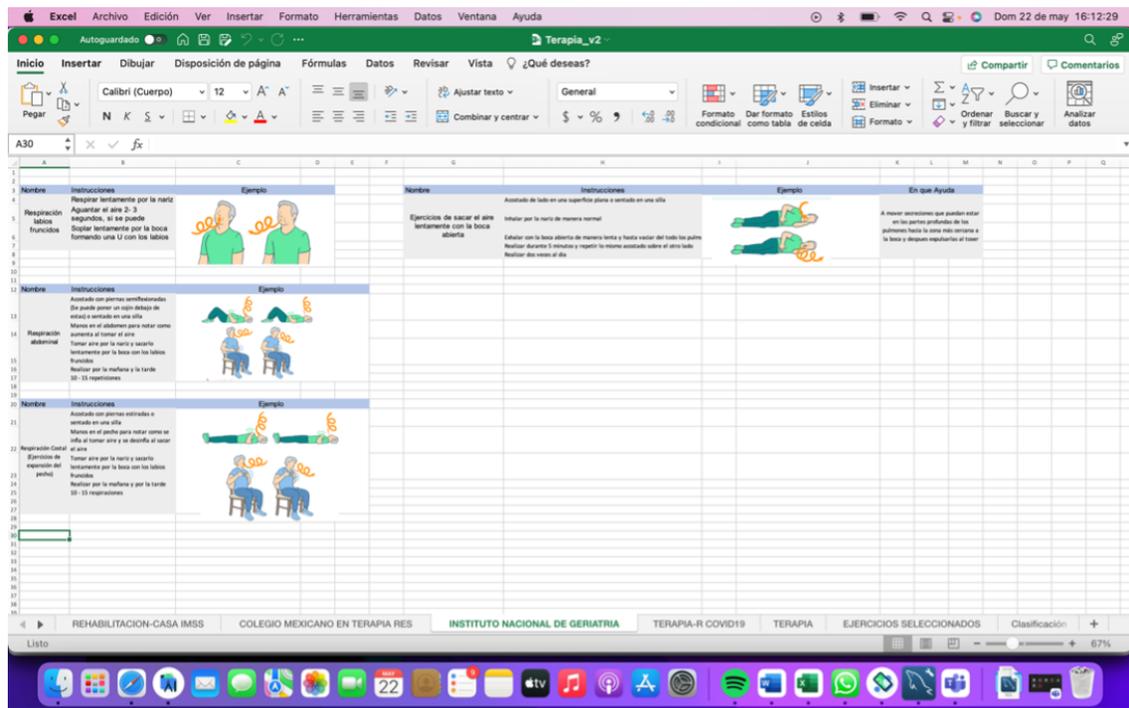


Figura A.3: Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Instituto Nacional de Geriátria

APÉNDICE A. Guías clínicas de rehabilitación pulmonar

Nombre	Técnica	Objetivo	Requisitos para Ejercicio	Precauciones	Prohibido	LINK	Ejemplo
Respiración Sumada	Ejercicio Respiratorio	Eliminar secreciones bronquiales de zonas específicas del pulmón	Cooperación de la persona Seguir indicaciones	Realizarlo despacio para evitar mareos	Persona con fractura de costillas	https://www.youtube.com/watch?v=05hx3O83eLk	
Fortalecimiento de los músculos respiratorios	Entrenamiento de músculos respiratorios	Aumentar la fuerza de los músculos respiratorios	Cooperación de la persona Seguir indicaciones	No fatigar a la persona	Personas con insuficiencia respiratoria	https://www.youtube.com/watch?v=6684310e8tc	
Respiración glosofaríngea	Ejercicio respiratorio	Llevar aire a los pulmones cuando están afectados los músculos respiratorios	Se necesitan entrenadores de músculos respiratorios	No fatigar a la persona	Personas con enfermedades neuromusculares severas	https://www.youtube.com/watch?v=1ZVynp13A88tc	

Figura A.4: Concentrado de ejercicios de guía clínica proporcionada por el Gobierno de México para la rehabilitación de personas por Covid-19

Excel Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana Ayuda

Autoguardado Terapia_v2

Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista ¿Qué deseas?

Calibri (Cuerpo) 12

General

Formato condicional Dar formato como tabla Estilos de celda

Insertar Eliminar Formato Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Analizar datos

D67

PROGRAMA DE TERAPIA DE REHABILITACIÓN PULMONAR SELECCIONADA PARA APLICACIÓN

No.	Nombre	Indicaciones	Tiempo de ejecución	Duración de terapia	Estado del Paciente	Instituto Nacional de Geriatria	Colégio Mexicano en Terapia	Programa de rehabilitación	Terapia Respiratoria	Gobierno de México
1	Respiración abdominal o diafragmática (sentado)	Acostado con piernas semiflexionadas (se puede poner un cojín debajo de rodillas) o sentado en una silla. Manos en el abdomen para notar como se eleva al tomar aire inspirar y no exhalar. Realizar por la mañana y por la tarde 10-15 repeticiones.		N/A	Pacientes ambulatorios y hospitalizados estables.		X			No Invasivo
2	Respiración costal (sentado de espaldas de pecho) ACORTADO	Acostado con piernas semiflexionadas. Manos en el pecho para notar como se eleva al tomar aire inspirar y no exhalar. Realizar por la mañana y por la tarde 10-15 repeticiones.		N/A		X				No Invasivo
3	Abducción de brazos	Manos tocan aire por la nariz, sube los brazos hacia los lados. Muevas sacas el aire, baja los brazos en la misma dirección.	6-8 repeticiones	N/A	Pacientes ambulatorios y hospitalizados estables.				X	No Invasivo
4	Flexión de brazos	Manos tocan aire por la nariz, sube los brazos hacia el frente. Muevas sacas el aire, baja los brazos en la misma dirección.	6-8 repeticiones	N/A	Hospitalizados estables.				X	No Invasivo

La respiración abdominal o diafragmática se hace:
 A) Inclinando aire por la nariz lentamente y al mismo tiempo "suflando el abdomen".
 B) Sacar el aire lo más lento posible "desinflando el abdomen".

REHABILITACION-CASA IMSS COLEGIO MEXICANO EN TERAPIA RES INSTITUTO NACIONAL DE GERIATRIA TERAPIA-R COVID19 TERAPIA EJERCICIOS SELECCIONADOS Clasificación

Listo 56%

Figura A.5: Ejercicios de rehabilitación seleccionados

APÉNDICE A. Guías clínicas de rehabilitación pulmonar

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following table structure:

Número de ejercicio	Ejercicios															
	Acondicionamiento - entrenamiento físico				Técnicas de limpieza bronquial						respiratorio		Otros			
	1. Entrenamiento de resistencia (Mds y Mds)	2. Ejercicio aeróbico	3. Flexibilidad	4. Movilización de miembros superiores e inferiores (Mds y Mds)	3. Técnicas que utilizan ondas de choque - Vibración manual	2. Técnicas que utilizan el efecto de la gravedad - Drenaje postural	3. Técnica de los - Tos dirigida (TD)	4. Espiración lenta total a glotis abierta en lateralización (ELTGL)	5. Técnicas de espiración forzada (TEF)	6. Ciclo activo respiratorio (CAR)	1. Patrón respiratorio costobasal	2. Patrón respiratorio diafragmático	1. Aumento del flujo respiratorio (AFF)	3. ELP/TLF	Ejercicios de relajación	Técnicas de ahorro de energía
Respiración abdominal o diafragmática (Sentado)												x				
Respiración costal (ejercicios de expansión de pecho) ACOSTADO											x					
Abducción de brazos				x												
Flexión de brazos				x												
Respiración costal sentado											x					
Sentadilla	x															
Cuadriceps en una silla				x												
Isquiotibiales				x												
Deltoides Medio				x												

Figura A.6: Clasificación de ejercicios seleccionados

Apéndice B

Requerimientos técnicos para plataforma en la nube

Tabla B.1: Requerimientos técnicos para plataforma en la nube

No.	Requerimiento de plataforma Amazon AWS	Implementación en proyecto
1.-	Relational Database Service (RDS)	Base de Datos en motor Maria DB
2.-	Amazon EC2	Windows Server 2022 / Servidor GlashFish

Apéndice C

Consentimiento Informado

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que aporte es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

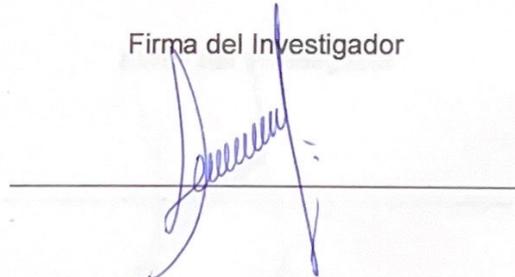
Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha:

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

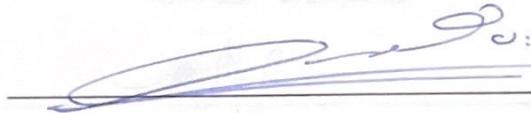
Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que apporto es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 7 de Julio de 2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

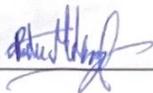
Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que aporte es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 7 de Julio de 2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que apporto es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

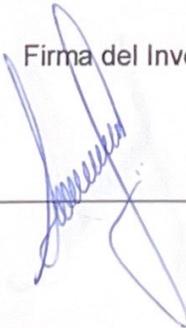
Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 8 de julio del 2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que apporto es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha:

7 Julio 2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que aporte es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

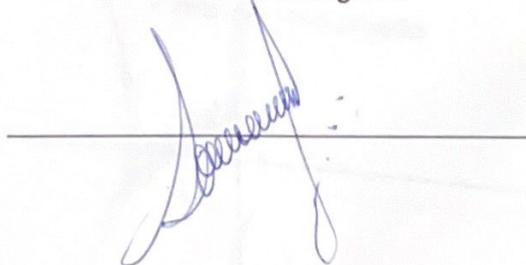
Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 6- JUL. 2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

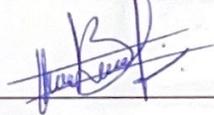
Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que apporto es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

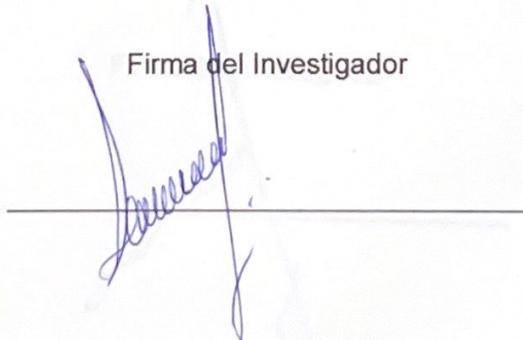
Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 06-JUNIO-2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que aporte es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

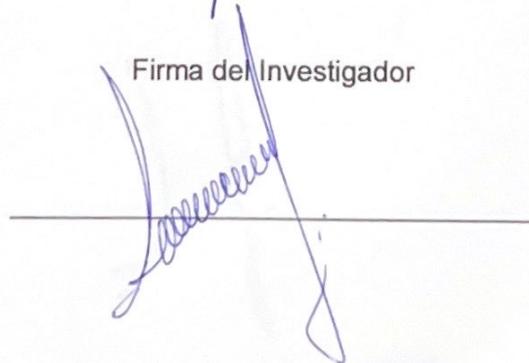
Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 07 - Junio - 22

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

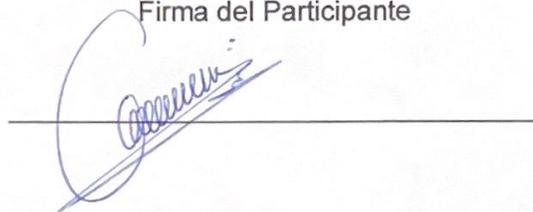
Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que apporto es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

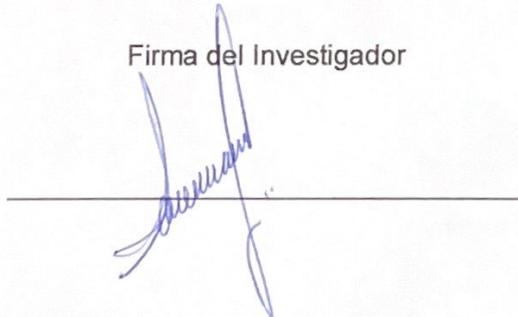
Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 6 DE JULIO DE 2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



CONSENTIMIENTO INFORMADO

Mediante la firma de este documento, doy mi consentimiento para participar en el trabajo de investigación de la Maestría en Sistemas Computacionales, que se encuentra en el Instituto Tecnológico Superior de Xalapa en la ciudad de Xalapa, Veracruz, desarrollado por: Lic. Marlonne Salas Bandala, M.C. Manuel Prisciliano Ralero de la Mora y Dr. Rubén Posada Gómez. Entiendo que fui elegido para probar el prototipo de la investigación que lleva por nombre "Herramienta auxiliar para terapia virtual de ejercicios de rehabilitación pulmonar en pacientes con EPOC por procesamiento de imagen".

Además, doy fe que estoy participando de manera voluntaria y que la información que apporto es confidencial, por lo que no se revelará a otras personas, por lo tanto, no afectará mi situación personal, ni de salud. Así mismo, sé que puedo dejar de proporcionar la información y dejar de participar en el trabajo en cualquier momento, incluso después haber asistido a las actividades acordadas.

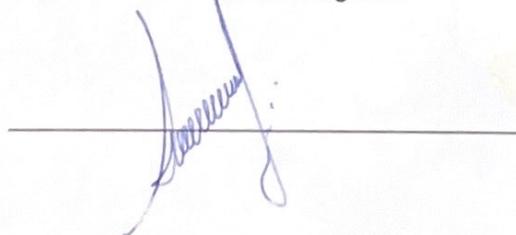
Además, afirmo que se me proporcionó suficiente información sobre los aspectos éticos y legales que involucran mi participación y que puedo obtener más información en caso de que lo considere necesario.

Fecha: 07 Julio 2022

Firma del Participante



Firma del Investigador



Referencias

- Aramayo Salgueiro, J. D., Piedad Gascueña, A. D. L., y Sánchez Muñoz, E. (2014). *Procesado de imágenes para plataformas móviles* (Tesis de Master no publicada). Universidad Complutense de Madrid.
- Brooke, J. (2013, 01). Sus: a retrospective. *Journal of Usability Studies*, 8, 29-40.
- Catarina, A., y Macedo, M. (2014). Serious Game for Motion Disorders Rehabilitation of Parkinson 's Disease Patients Examination Committee :. (October), 72.
- Chauhan, N. S. (2020). *Métricas del aprendizaje automático*. Descargado de <https://www.datasource.ai/es/data-science-articles/metricas-de-evaluacion-de-modelos-en-el-aprendizaje-automatico>
- Dell, N., D'Silva, K., y Borriello, G. (2015). Mobile touch-free interaction for global health. En *Proceedings of the 16th international workshop on mobile computing systems and applications* (p. 15–20). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. Descargado de <https://doi.org/10.1145/2699343.2699355> doi: 10.1145/2699343.2699355
- Delrieux, C., Pawelko, E., Arcusin, L., y Raponi, M. (2012). Procesamiento de imágenes en tiempo real utilizando tecnología embebida. Aplicación en rehabilitación visual.
- Devices, E. M. (2020). *¿por qué utilizar mhealth*. Descargado de https://www.ekuore.com/es/porque_utilizar_mhealth/

- Ding, X., Jiang, Y., Qin, X., Chen, Y., Zhang, W., y Qi, L. (2019). Reading face, reading health: Exploring face reading technologies for everyday health. En *Proceedings of the 2019 chi conference on human factors in computing systems* (p. 1–13). New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. Descargado de <https://doi.org/10.1145/3290605.3300435> doi: 10.1145/3290605.3300435
- Enriquez, J. G., y Casas, S. I. (2014, jun.). Usabilidad en aplicaciones móviles. *Informes Científicos Técnicos - UNPA*, 5(2), 25–47. Descargado de <https://publicaciones.unpa.edu.ar/index.php/ICTUNPA/article/view/581> doi: 10.22305/ict-unpa.v5i2.71
- Geirhos, R., Rubisch, P., Michaelis, C., Bethge, M., y Wichmann, F. A. (2019). Benchmarking robustness in object detection: Autonomous driving when winter is coming. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 41(11), 2730–2743. doi: 10.1109/TPAMI.2018.2879652
- Gonzalez, E., Fernandez-Vega, M., Gonzalez-Salinas, C., y Hernandez-Zenteno, R. d. J. (2016). Cumplimiento de la guía practica de primer nivel del EPOC. *Neumologia y cirugia*, 75, 215–221. Descargado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0028-37462016000300215&nrm=iso
- Inhelgeim, B. (2022). *Enfermedad pulmonar obstructiva crónica*. Descargado de <https://www.boehringer-ingelheim.mx/areas-terapeuticas/respiratorios/epoc>
- Jovaní, S. E. (2014a). *App para el reconocimiento de imagenes version ios* (Tesis de Master no publicada). Universitat Jaume.
- Jovaní, S. E. (2014b). App para reconocimiento de imagenes versión IOS.
- Juan Diego Hurtado Chaves, O. A. N., Alex Aldemar N. (2015). Sistema de captura de gestos con KINECT para la manipulación de robots quirúrgicos virtuales. *Iteckne*, 12, 17–24. Descargado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-17982015000100003&nrm=iso
- Kitchenham, B., y Charters, S. (2007, 01). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. , 2.

- Martins, T., Carvalho, V., y Soares, F. (2020). Physioland – A serious game for physical rehabilitation of patients with neurological diseases. *Entertainment Computing*, 34(July 2019), 100356. Descargado de <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2020.100356> doi: 10.1016/j.entcom.2020.100356
- Medline. (s.f.). *Epoc | enfermedad pulmonar obstructiva crónica | medlineplus en español*. Descargado de <https://medlineplus.gov/spanish/copd.html>
- ML, G. (2022). *Kit de desarrollo google ml*. Descargado de <https://developers.google.com/ml-kit>
- Mustafa, M. W., Mazhar, R., Akram, T., Khan, S., y Baig, M. N. (2021). Performance evaluation of human pose estimation algorithms: A systematic review. *Computer Vision and Image Understanding*, 208, 103188. doi: 10.1016/j.cviu.2021.103188
- Negrete, J., González, P., y Guerra, A. (1996).
- Nicolas Aguirre. (2015). Procesamiento de imagenes. , 42–72.
- Núñez, S. B., Sala, L. E., y Carrera, M. (2008). Paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. *Paciente con enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Jano: Medicina y Humanidades*.
- OMS. (2022). *Enfermedad pulmonar obstructiva crónica*. Descargado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd))
- Organization, W. H. (2020). *ehealth*. Descargado de <http://www.who.int/kms/initiatives/e-Health/en/>
- Pediaditis, P. A., M.Kazantzaki, y E.Sfakianakis. (2020). Automated facial video-based recognition of depression and anxiety symptom severity: cross-corpus validation. *Machine Vision and Applications*, 31(4), 30. Descargado de <https://doi.org/10.1007/s00138-020-01080-7> doi: 10.1007/s00138-020-01080-7
- Pereira, M., Almeida, A. M., y Caixinha. (2016). Exercit@rt mobile: Monitoring of pulmonar rehabilitation in COPD. *TISHW 2016 - 1st International Conference on Technology and Innovation in Sports, Health and Wellbeing, Proceedings*(Tishw).

- Rouhiainen, L. (2018). Inteligencia artificial. *Madrid: Alienta Editorial*.
- Sainz de Abajo, B., Rodrigues, J., Lopez-Coronado, M., De Castro Lozano, C., Fernández, J., y García, E. (2011, 01). M-health y t-health. la evolución natural del e-health. *RevistaeSalud.com*.
- Sandi, G., Nugraha, I. G. B. B., y Supangkat, S. H. (2013). Mobile health monitoring and consultation to support hypertension treatment. *Proceedings - International Conference on ICT for Smart Society 2013: "Think Ecosystem Act Convergence", ICISS 2013*, 323–326. doi: 10.1109/ICTSS.2013.6588109
- Sanz., J. (2013). *Reconocimiento automático de formas* (Tesis de Master no publicada). Universidad de Barcelona.
- Sobradillo, V. (2001). la rehabilitación respiratoria en el paciente con enfermedad pulmonar obstructiva cronica. *Medicina Integral*, 37(3), 127-132.
- Wang, J., Wang, H., wu, S., Lin, X., y Yang, Q. (2015, 06). Design and implementation of real-time sobel edge detection on fpga for mobile device applications. En (p. 9-14). doi: 10.1145/2757757.2757759
- Xiao, B., Wu, Z., y Wei, Y. (2020). A survey of human pose estimation: History, methods, and challenges. *Sensors*, 20(14), 3951. doi: 10.3390/s20143951