



**Desarrollo de una herramienta de  
apoyo para telemonitoreo:  
Aplicación a la  
recuperación de la amplitud articular  
de la rodilla.**

**Nicole Daniela Pinilla Rivera**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá, Colombia  
2020



# **Desarrollo de una herramienta de apoyo para telemonitoreo: Aplicación a la recuperación de la amplitud articular de la rodilla.**

**Nicole Daniela Pinilla Rivera**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Biomédico**

Director (a):

Ing. Sebastián Jaramillo Isaza, PhD

Línea de Investigación:

Rehabilitación, Telerrehabilitación, Biomecánica, Telemedicina.

Grupo de Investigación:

Bioingeniería

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2020



*"Los progresos de la medicina y de la bioingeniería podrán considerarse verdaderos logros para la humanidad cuando todas las personas tengan acceso a sus beneficios y dejen de ser un privilegio para las minorías"*

*Rene Favoloro*



## **Agradecimientos**

A mi familia por ayudarme a culminar mi carrera, a mis profesores especialmente a mi tutor Sebastián Jaramillo y a todas las personas que confiaron en mi a lo largo de mi vida académica. A mis amigos y novio por darme fuerza cuando lo necesité y a todas las personas que participaron como voluntarios probando la interfaz.

A todos ustedes gracias.

## Resumen

Las problemáticas mundiales de estos días impulsan el desarrollo de nuevas tecnologías especialmente en el sector de la salud. Actualmente se necesitan herramientas que permitan hacer seguimiento y monitoreo a pacientes en procesos de rehabilitación física de forma remota, buscando disminuir desplazamientos innecesarios y aumentar la cobertura de los procesos de rehabilitación. El presente trabajo de grado consiste en el desarrollo de un sistema asincrónico de telemonitoreo y medición compuesto por una interfaz en la cual un Smartphone registra información motora y una serie de encuestas registran la información tipo cognitiva, afectivo-social. La interfaz permite que un profesional de la salud de indicaciones de rehabilitación al paciente en movimientos de flexión y extensión de miembro inferior, específicamente de la articulación de la rodilla; estas indicaciones las da el especialista apoyado en los videos realizados por el paciente y la interpretación biomecánica que el realiza apoyado en los softwares Kinovea e ImageJ. El proyecto utilizó tecnología de fácil acceso como los Smartphones permitiendo que la herramienta sea asequible y accesible a la mayor cantidad de población garantizando una mayor cobertura a personas que lo necesiten. Este tipo de dispositivos y de tecnologías pueden contribuir al registro y cuantificación de parámetros biomecánicos de interés como el ángulo de flexión o de extensión en las articulaciones de las personas, lo cuales pueden servir de apoyo a los profesionales de la salud para el monitoreo y evaluación de los procesos de recuperación y rehabilitación motora. La interfaz se construyó en el software Matlab ya que este software brinda la posibilidad de conexión con dispositivos móviles y el análisis de los datos de forma directa. Además de este, también se utilizaron los softwares Kinovea e ImageJ para capturar y procesar los datos obtenidos. En el desarrollo de la aplicación se pudo demostrar por medio de encuestas de usabilidad tipo SUS que los usuarios sintieron satisfacción al utilizar la plataforma y que la misma no fue difícil de comprender haciendo que los usuarios se sintieran atraídos por este tipo de tecnologías ya que la interfaz es muy intuitiva y de fácil comprensión dado que en las opciones que se tienen en la sesión aparece solo una vez se han completado las demás tareas, dicho de otro modo no se puede pasar a una siguiente ventana o un proceso diferente sin antes completar a cabalidad el anterior.

**Palabras clave:** Telerrehabilitación, Telemonitoreo, articulación de la rodilla, flexión, extensión, Smartphone

## Abstract

The global problems of these days drive the development of new technologies especially in the health sector. Currently, tools are needed that allow monitoring and monitoring of patients in physical rehabilitation processes remotely, seeking to reduce unnecessary travel and increase the coverage of rehabilitation processes. The present degree work consists of the development of an asynchronous telemonitoring and measurement system composed of an interface in which a Smartphone records motor, cognitive, affective-social information and allows a health professional to give rehabilitation indications to the patient in flexion and extension movements of the lower limb, specifically of the knee joint; These indications are given by the specialist supported by the videos made by the patient and the biomechanical interpretation performed by the specialist supported by the Kinovea and ImageJ software. The project used easily accessible technology such as Smartphones, allowing the tool to be affordable and accessible to the largest number of the population, guaranteeing greater coverage to people who need it. This type of device and technology can contribute to the recording and quantification of biomechanical parameters of interest such as the angle of flexion or extension in people's joints, which can support health professionals for monitoring and evaluation of recovery and motor rehabilitation processes. The interface was built in the Matlab software since this software offers the possibility of connection with mobile devices and the analysis of the data directly. In addition to this, the Kinovea and ImageJ software were also used to capture and process the data obtained. In the development of the application, it was possible to demonstrate through SUS type usability surveys that users felt satisfaction when using the platform and that it was not difficult to understand, making users feel attracted to this type of technology since the The interface is very intuitive and easy to understand given that in the options available in the session it appears only once the other tasks have been completed, in other words, it is not possible to go to a next window or a different process without first completing a the previous one.

**Keywords:** Telerehabilitation, Telemonitoring, knee joint, flexion, extension, Smartphone

# Contenido

<b>1. Capítulo 1- Introducción</b>	<b>15</b>
1.1 Introducción	15
1.2 Estado del arte	16
1.3 Planteamiento del problema	19
1.4 Justificación	20
1.5 Objetivos	22
1.5.1 Objetivo General	22
1.5.2 Objetivos específicos	22
<b>2. Capítulo 2 - Marco teórico</b>	<b>23</b>
2.1 Posiciones anatómicas	23
2.2 Anatomía y Biomecánica de la rodilla	24
2.2.1 Movimientos de la rodilla	25
2.2.2 Movimiento de extensión	25
2.2.3 Movimiento de flexión	26
2.2.4 Patología de la rodilla: Artritis	27
2.2.5 Terapias de rehabilitación de la rodilla	27
2.3 Telesalud	29
2.3.1 Telerrehabilitación	30
2.3.2 Telemonitoreo	31
2.3.3 Normatividad colombiana en Telesalud	31
2.4 Dispositivo móvil (Smartphone)	32
2.5 Usabilidad	32
2.6 Lenguaje de programación: Matlab	33
2.6.1 Matlab: Simulink	34
2.6.2 Matlab: App Designer	35
2.7 Droidcam: Aplicación para el celular	36
2.8 Software	36
2.8.1 Kinovea	36
2.8.2 Imagej	37
<b>3. Capítulo 3 – Diseño</b>	<b>39</b>
3.1 Etapa 1: Revisión científica y vigilancia tecnológica	39
3.2 Etapa 2: Identificación de la población	40
3.3 Etapa 3: Construcción de protocolos de adquisición	41
3.3.1 Ejercicios de fuerza Nivel I:	43
Primer ejercicio:	43
Segundo ejercicio:	43
Tercer ejercicio:	44
Cuarto ejercicio:	44
Quinto ejercicio:	45
3.3.2 Ejercicios de fuerza Nivel II:	46

---

Primer ejercicio:.....	46
Segundo ejercicio:.....	46
Tercer ejercicio:.....	47
Cuarto ejercicio:.....	47
3.3.3 Ejercicios de movilidad de rodilla Nivel I:.....	48
Primer ejercicio:.....	48
Segundo Ejercicio:.....	48
Tercer ejercicio:.....	49
3.3.4 Ejercicios de movilidad de rodilla Nivel II:.....	49
Primer ejercicio:.....	49
Segundo ejercicio:.....	50
Tercer ejercicio:.....	50
3.3.5 Propioceptivos de rodilla Nivel I:.....	51
Primer ejercicio:.....	51
Segundo ejercicio:.....	51
Tercer ejercicio:.....	52
3.3.6 Propioceptivos de rodilla Nivel II:.....	52
Primer ejercicio:.....	52
Segundo ejercicio:.....	53
Tercer ejercicio:.....	53
3.4 Etapa 4: Construcción de la interfaz.....	54
3.4.1 Sesión especialista:.....	55
3.4.2 Sesión usuario:.....	56
3.5 Etapa 5: Validación: Usabilidad, Registro e interpretación de datos.....	58
<b>4. Capítulo 4 – Resultados.....</b>	<b>60</b>
4.1 Síntesis de revisión bibliográfica y vigilancia tecnológica.....	60
4.2 Identificación de la población.....	60
4.3 Explicación ejemplificada de la interfaz.....	61
4.3.1 Recorrido: Sesión especialista.....	61
4.3.2 Recorrido: Sesión usuario.....	66
4.4 Validación – Usabilidad.....	72
4.5 Análisis de resultados y discusión.....	80
<b>5. Capítulo 5 – Conclusiones y Trabajos Futuros.....</b>	<b>82</b>
5.1 Conclusiones.....	82
5.2 Trabajos futuros.....	83

## Lista de figuras

Figura 1: Posición anatómica del cuerpo. [1] .....	23
Figura 2: Planos del cuerpo en vista anterior. [1] .....	24
Figura 3: Componentes anatómicos de la rodilla. [1].....	25
Figura 4: Movimiento de Extensión [19].....	26
Figura 5: Flexión activa [19] .....	26
Figura 6: Extensión [19].....	26
Figura 7: Ejercicio de músculos Poplíteos [19] .....	28
Figura 8: Componentes y actores de la telesalud [29].....	30
Figura 9: Logo de Matlab [40].....	34
Figura 10: Entorno de simulación en Simulink [39].....	34
Figura 11: Ejemplo de design view de App designer [39].....	35
Figura 12: Ejemplo de Code view de App designer [39].....	35
Figura 13: Vista de Droidcam. Autoría propia .....	36
Figura 14: Vista de Kinovea. Autoría propia .....	37
Figura 15: Vista ImageJ. Autoría propia.....	37
Figura 16: Vista de Imagej con una imagen cargada. Autoría propia .....	38
Figura 17: Resumen de la vigilancia tecnológica. Autoría propia.....	39
Figura 18: Ejercicios de fuerza nivel I, primer ejercicio. [23] .....	43
Figura 19: Ejercicios de fuerza nivel I, Segundo ejercicio. [23] .....	44
Figura 20: Ejercicios de fuerza nivel I, tercer ejercicio. [23] .....	44
Figura 21: Ejercicios de fuerza nivel I, cuarto ejercicio. [23].....	45
Figura 22: Ejercicios de fuerza nivel I, quinto ejercicio. [23].....	45
Figura 23: Ejercicios de fuerza nivel II, primer ejercicio. [24] .....	46
Figura 24: Ejercicios de fuerza nivel II, segundo ejercicio. [24].....	46
Figura 25: Ejercicios de fuerza nivel II, tercer ejercicio. [24] .....	47
Figura 26: Ejercicios de fuerza nivel II, cuarto ejercicio. [24].....	47
Figura 27: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel I, primer ejercicio. [25] .....	48
Figura 28: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel I, segundo ejercicio. [25] .....	48
Figura 29: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel I, tercer ejercicio. [25] .....	49
Figura 30: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel II, primer ejercicio. [26] .....	49
Figura 31: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel II, segundo ejercicio. [26] .....	50
Figura 32: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel II, tercer ejercicio. [26] .....	50
Figura 33: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel I, primer ejercicio. [27] .....	51
Figura 34: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel I, segundo ejercicio. [27] .....	51
Figura 35: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel I, tercer ejercicio. [27] .....	52
Figura 36: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel II, primer ejercicio. [28] .....	52

---

Figura 37: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel II, segundo ejercicio. [28] .....	53
Figura 38: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel II, tercer ejercicio. [28] .....	53
Figure 39: Interacción y flujo de información entre paciente y especialista. Autoría propia .....	55
Figura 40: Diagrama explicativo sesión especialista. Autoría propia .....	56
Figura 41: Diagrama explicativo sesión usuario. Autoría propia .....	58
Figura 42: Primera ventana. Autoría propia .....	61
Figura 43: Primera ventana sesión especialista. Autoría propia .....	61
Figura 44: Segunda ventana sesión especialista. Autoría propia .....	62
Figura 45: Tercera ventana sesión especialista. Autoría propia .....	62
Figura 46: Cuarta ventana sesión especialista. Autoría propia .....	63
Figura 47: Quinta ventana sesión especialista. Autoría propia .....	63
Figura 48: Sexta ventana sesión especialista. Autoría propia.....	64
Figura 49: Sexta ventana sesión especialista, selección de video . Autoría propia .....	64
Figura 50: Séptima ventana sesión especialista. Autoría propia.....	65
Figura 51: Séptima ventana sesión especialista. Autoría propia.....	65
Figura 52: Octava ventana sesión especialista. Autoría propia .....	66
Figura 53: Primera ventana sesión usuario. Autoría propia .....	66
Figura 54: Segunda ventana sesión usuario. Autoría propia.....	67
Figura 55: Tercera ventana sesión usuario. Autoría propia.....	67
Figura 56: Cuarta ventana sesión usuario. Autoría propia .....	68
Figura 57: Quinta ventana sesión usuario, diagnóstico . Autoría propia.....	68
Figura 58: Quinta ventana Ver video a realizar, diagnóstico . Autoría propia.....	69
Figura 59: Quinta ventana, iniciar sesión de ejercicios sesión usuario. Autoría propia ...	69
Figura 60: Sexta ventana sesión usuario. Autoría propia .....	70
Figura 61: Séptima ventana sesión usuario. Autoría propia .....	70
Figura 62: Octava ventana sesión usuario. Autoría propia.....	71
Figura 63: Novena ventana sesión usuario. Autoría propia.....	71
Figure 64: Videos registrados de los pacientes. Autoría propia. ....	72
Figure 65: Cortes en frames de los videos realizados por el paciente. Autoría propia.....	72
Figura 66: Gráfica de la pregunta uno. Autoría propia.....	74
Figura 67: Gráfica de la pregunta dos. Autoría propia.....	75
Figura 68: Gráfica de la pregunta tres. Autoría propia.....	75
Figura 69: Gráfica de la pregunta cuatro. Autoría propia .....	76
Figura 70: Gráfica de la pregunta cinco. Autoría propia .....	76
Figura 71: Gráfica de la pregunta seis. Autoría propia .....	77
Figura 72: Gráfica de la pregunta Siete. Autoría propia .....	77
Figura 73: Gráfica de la pregunta ocho. Autoría propia.....	78
Figura 74: Gráfica de la pregunta nueve. Autoría propia.....	78
Figura 75: Gráfica de la pregunta diez. Autoría propia .....	79
Figura 76: Gráfica de la pregunta once. Autoría propia.....	79



# 1. Capítulo 1- Introducción

En este capítulo se muestra una introducción al presente proyecto, definiendo el problema al que se busca dar solución, la justificación que motiva su desarrollo y los principales objetivos que se buscarán alcanzar.

## 1.1 Introducción

En el mundo, las lesiones osteo musculares y osteo articulares son bastante comunes, no sólo cuando se ocasionan por accidentes sino también por las condiciones de salud de la persona. Una de las articulaciones que más se lesiona es la rodilla debido a que es la responsable de soportar gran parte del peso corporal. Adicionalmente, esta articulación permite varios tipos de movimiento como la flexión, extensión, rotación medial leve y rotación lateral de la pierna en posición de flexión [1]. La capacidad de movimiento que tienen las articulaciones para flexionar o extender, completa o parcialmente, el cuerpo sin sufrir lesiones en los músculos y tejidos se conoce como amplitud articular [2]. Hay que tener en cuenta que cualquier ejercicio deportivo, por más mínimo que parezca involucra una determinada amplitud de movimiento que se delimita en función de los tejidos y las propiedades musculares del área a involucrada; existen algunas personas conocidas como contorsionistas cuya amplitud articular sobrepasa los límites y se flexiona o extiende de forma extrema, a esto se le conoce como hiperextensión.

Las lesiones en la articulación de la rodilla pueden requerir una cirugía o solamente fisioterapia que mejore la lesión. La fisioterapia se debe realizar varias veces a la semana, por un tiempo prolongado y en repeticiones controladas por un especialista llamado fisioterapeuta. Se ha demostrado que para que exista un proceso exitoso de rehabilitación es indispensable que se comiencen las terapias de 2 a 3 semanas después de sufrida la lesión ya que esto da lugar a una recuperación más rápida, mejorando su función física a los 3 o 4 meses y disminuyendo notablemente el dolor [3][4]

Hoy en día, la telesalud es una herramienta o método de atención que está tomando más fuerza que nunca, debido a las condiciones por las que atraviesa el mundo debido a la pandemia originada por el COVID-19. Se considera que la telesalud es el conjunto de

actividades de salud que se llevan a cabo a distancia de forma síncrona o asíncrona entre el profesional de la salud y el paciente, abarca las áreas de promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento o rehabilitación. En la telesalud se permiten intercambiar datos con el propósito de facilitar el acceso de la población que vive en lugares remotos, aislados de las instituciones de salud, personas apartadas geográficamente y a su vez es necesaria para profesionales que deseen prestar sus servicios médicos por medio de las TIC. [5]

La telerehabilitación, otra tecnología emergente, se define como como la prestación de servicios de rehabilitación por medio de sistemas electrónicos y tecnologías de la comunicación (TIC), se considera una herramienta con un gran potencial en el tratamiento de pacientes ya que proporciona herramientas con las cuales se pueden evaluar determinadas funciones y realizar intervenciones terapéuticas individuales a distancia [6]. Por otro lado, el Telemonitoreo permite establecer una relación entre el personal de un prestador de servicios de salud y un paciente a través de plataformas TIC. En este proyecto de grado se realizó una herramienta de telemonitoreo como sistema de apoyo para rehabilitar la amplitud articular en la articulación de la rodilla, se hizo el estudio con voluntarios sanos a los cuales se les indicó los beneficios, posibles riesgos y demás indicaciones importantes del proyecto. La herramienta se desarrolló capturando el movimiento de flexión y extensión de los voluntarios, mientras estos se encuentran en diferentes posiciones y se utilizó la cámara del celular como sistema de captura de datos. Estos datos los procesa el especialista utilizando software como Kinovea e imagen, la interfaz se realizó con Matlab en la cual se diferencié la sesión de especialista de la de usuario y en cada sesión se puede realizar diferentes acciones de acuerdo a las necesidades del usuario que la esté utilizando.

## 1.2 Estado del arte

Existen varios factores limitantes para la aceptación de la telemedicina como una forma de prestar un servicio integral en salud, estos factores limitantes se dan principalmente por el desconocimiento del personal de la salud y de los pacientes, ya que como no se invierten recursos son tecnologías poco conocidas [5]. Sin embargo en países más desarrollados son cada vez más habituales este tipo de prácticas ya que suponen un beneficio para el paciente y para el especialista ya que no se incrementan en gran medida los costos de los servicios médicos y es más fácil acceder a ellos.

La telemedicina es una tecnología en auge ya que tiene muchos beneficios, en Alemania se investigó la efectividad de una intervención de telerehabilitación en pacientes que tuvieron un remplazo total de cadera o rodilla, comparándolo con la efectividad de la atención habitual en centro médico en cuanto al rendimiento físico, la movilidad, la calidad de vida y el dolor postoperatorio. Dando como resultado que la telerehabilitación podría tener el potencial de aumentar el acceso a la terapia en áreas donde faltan estructuras y se carece de ofertas en atención médica adecuada, puesto que puede aumentar la facilidad de acceso a los pacientes, mejorando su calidad de vida y reduciendo costos en atención médica [6]

En Reino Unido, BMC Health Services realizó un estudio que se basaba en realizar encuestas y entrevistas a diferentes pacientes de avanzada edad con diferentes patologías como perciben la telemedicina y que aspectos son importantes para ellos al momento de adquirir o utilizar un producto en esta modalidad. El estudio arrojó que la mayoría de pacientes encuentran que los sistemas de telemedicina tienen problemas de diseño y falta de atención a las necesidades del usuario final ya que no están diseñados para las necesidades del usuario, es decir, que el paciente se debe adaptar al equipo y no el equipo a las necesidades del paciente [7]

La universidad de Granada en España diseñó un sistema Web que permite evaluar el dolor de espalda utilizando la plataforma Skype. En este diseño se comparó la forma tradicional de diagnóstico (consulta presencial con especialista) con el uso de un sistema software como Kinovea y Skype lo cual no incrementa costos de atención médica. Los resultados de este estudio podrían servir para ofrecer un servicio de calidad reduciendo costos económicos y ampliando la capacidad de atención a personas cuya ubicación geográfica sea remota o personas con dificultades para desplazarse al centro médico. Además, supone un beneficio a especialistas ya que pueden prestar servicios de calidad a distancia [3].

En la universidad de Málaga se realizó una tesis en la cual se estudió la cinemática del miembro superior e inferior del cuerpo haciendo uso de sensores inerciales y de la cámara del celular para la adquisición de los datos. Este estudio se centró en mostrar de qué manera se puede usar un Smartphone para realizar el trabajo que realizaría otro tipo de sistema de adquisición como lo es un Kinect o un sistema MoCap[8].

Un grupo de investigación en telemedicina en los países bajos realizó un estudio de investigación sobre la eficacia de un sistema de entrenamiento de actividad digital en el hogar después que el paciente fuera sometido a una artroplastia total de rodilla, donde debían demostrar que este sistema de entrenamiento basado en un acelerómetro aumentaría la adherencia de los pacientes a los ejercicios y lograrían mejorar el funcionamiento físico además de una pronta recuperación. Los resultados que obtuvieron fueron muy satisfactorios ya que los pacientes sí mostraron una adherencia al ejercicio y una mejoría en su proceso de rehabilitación [9]

En Cali, en la universidad ICESI se realizó una interfaz que apoya el proceso de rehabilitación en adultos que tenían osteoartritis en la rodilla, la osteoartritis era causada por obesidad. La interfaz es adaptable a centros de rehabilitación y a hogares consistía en 3 sesiones, en la primera el especialista podía ver gráficas del proceso del paciente, en la segunda sesión se podía asignar la rutina al paciente según los criterios de ejercicios, repeticiones, series. La última sesión era la del usuario, en esta él tenía la opción de participar colaborativamente con otras personas y contarles su experiencia de progreso o retroceso. Las autoras concluyeron que la interfaz cumplía su propósito de apoyar al proceso de rehabilitación y que además podía ser usada en la modalidad intramural y en la modalidad telemedicina [10].

Una docente del programa de enfermería de la universidad Javeriana, junto con otras personas realizó una aplicación digital llamada Control Vit, esta es una aplicación de telemonitoreo que permite que los profesionales de la salud pudieran hacer un seguimiento a los pacientes que han sufrido una falla a nivel cardíaco. Haciendo uso de la aplicación los médicos evaluaron la adherencia de los pacientes al tratamiento farmacológico y además creaban alertas para el paciente y así establecían una comunicación. Gracias a este proyecto se pudo concluir que el 91% de los pacientes que usaron Control Vit durante un periodo de seis meses no necesitaron reingresar al hospital ya que se identificaron más fácilmente sus complicaciones gracias a la aplicación y esto hizo que se realizaran ajustes en su tratamiento farmacológico [11].

En la UNAD sede barranquilla se diseñó un sistema de telemonitorización que permite realizar un seguimiento a los pacientes hipertensos. La monitorización se realiza remotamente con un prestador remitente (CAP del corregimiento de Boquilla) y un centro de referencia. Se realizaron encuestas a voluntarios que probaron el sistema y se obtuvo

como resultado que el 75% de los voluntarios confiaría en diagnósticos y tratamientos realizados a distancia por profesionales de la salud, el 91% están de acuerdo con la implementación de la telemedicina y el 8,33% restante no sabe/no responde [12].

Todas estas investigaciones son solo una parte de lo que se está haciendo alrededor del mundo entorno a la telesalud y telemedicina lo cual demuestra que es una tecnología que cada día toma más fuerza y tiene mayor valor porque sus posibilidades son infinitas y estamos viendo la importancia de este tipo de prestación de salud en este momento con el coronavirus SARS-CoV-2. Cada día se debe usar más la tecnología creando apps, dispositivos, equipos que mejoren los procesos de salud haciéndolos de fácil acceso para los pacientes y para los profesionales del área de la salud.

### **1.3 Planteamiento del problema**

En Colombia, situaciones como el aislamiento generado por la pandemia Covid-19, las condiciones de pobreza, sumadas a la difícil situación de orden público, dificulta que todas las personas tengan cobertura en servicios de salud integral [5]. Lo que buscan áreas como la telemedicina, procesos como la rehabilitación a distancia, conocida también como Telerrehabilitación y herramientas como el telemonitoreo, es que todos los pacientes accedan a servicios de salud integrales así estos no sean convencionales [13]. Uno de los mayores problemas de las aplicaciones telemáticas al campo Biomédico es el desconocimiento general no solo de la población, sino también de los trabajadores del sector salud, ya que al no ser tecnologías en las que se inviertan suficientes recursos existe desconocimiento y en algunos casos resistencia al cambio [5]. La legislación vigente para la telemedicina en el país está dada principalmente por la resolución 2654 de 2019 donde se establecen disposiciones para la telesalud y parámetros para la práctica de la telemedicina en Colombia [14] y la resolución 3100 de 2019 que clasifica a la telemedicina como una de las tres modalidades en las que se puede prestar el servicio de salud. Siendo la primera, la modalidad intramural, seguida de la modalidad extramural y por último la telemedicina [13]. En Colombia, el servicio que más se presta en modalidad de telemedicina es la teleconsulta con un 37% en medicina interna, seguido por 14% en

Ginecología y psiquiatría con un 12%. El segundo servicio con mayor oferta es la teleimagenología. Donde predomina el procedimiento de rayos X (50%) seguido de los TAC (25%) [5].

Gracias a la normatividad vigente y a la aplicación de las TICs se puede tanto inferir como demostrar que la telemedicina y la telerehabilitación son una gran herramienta para la prestación de servicios de salud. Pero, entonces ¿Cómo la telemedicina puede ser igual de favorable que la medicina convencional?, aunque son procesos diferentes se debe demostrar por medio de plataformas y herramientas tanto síncronas como asíncronas que evidencien que se está llevando a cabo la prestación del servicio de la manera más eficaz. Para el área de telerehabilitación estas herramientas pueden ser sistemas de movimiento que unidos a interfaces gráficas capturan la información de la persona cuando está realizando los ejercicios y así determinan si estos ejercicios están siendo realizados acorde a las especificaciones de los profesionales. De igual manera, es posible realizar la comprobación de la adherencia de los voluntarios a procesos de telerehabilitación y específicamente a procesos de telemonitoreo por medio de un registro automático en la interfaz que muestra que la persona ha ingresado varios días lo que infiere que está realizando los ejercicios. Adicionalmente, indagar dentro de la misma interfaz sobre el estado de ánimo, el nivel de dolor, horas de sueño, entre otros, puede brindar información extremadamente valiosa sobre el estado de salud mental del paciente. Es por esto que la presente propuesta plantea la siguiente pregunta de investigación, ¿Es posible diseñar una herramienta de telemonitoreo basada en las TICs que contribuya a mejorar los procesos de telerehabilitación en personas con lesiones a nivel de la articulación tibiofemoral?

## 1.4 Justificación

La rodilla es una articulación que se lesiona fácilmente debido a que soporta el peso total del cuerpo, es decir que entre más obesa sea la persona más peso debe soportar la rodilla, es por esto que se recomienda tener un IMC de acuerdo a su estatura y edad [15]. Se estima que solamente de 80 a 90% de los pacientes refieren un mecanismo de lesión y de 50 a 60% están relacionados con actividades deportivas ya que los deportistas siempre están en movimiento y esto puede hacer que la rodilla se esfuerce mucho más de lo debido y por esto se vuelva un poco más frágil. Se estima que anualmente hay 8.000 lesiones de rodilla donde el 0.01% es por luxación de rodilla, el 40% por luxación anterior y 33% por

luxación posterior, por otra parte, la luxación lateral se presenta en 18% y la medial en 4%[16]. Desde hace algunos años y con el crecimiento de las TIC se ha venido hablando de una modalidad de prestación de servicios en salud llamada telemedicina, la norma colombiana define telemedicina como la forma de prestar un servicio de salud a distancia, en los componentes de promoción, prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación, por profesionales de la salud que utilizan tecnologías de la información y la comunicación (TICS) que les permite intercambiar datos con el propósito de facilitar el acceso y la oportunidad en la prestación de servicios de salud a la población que presenta limitaciones de oferta y de acceso a los servicios de salud en su área geográfica [13], por ejemplo para finales del año 2019 habían aproximadamente 18.896 personas que vivían en zonas rurales del territorio colombiano [17] y por tal motivo se les dificultaba asistir a un centro médico donde pudieran recibir atención integral en salud. La telemedicina no solo se centra en brindar atención médica en casa de forma Síncrona (transmisión en tiempo real) y asíncrona (la comunicación no es en tiempo real), también utiliza herramientas que agilizan procesos, este es el caso del PACS (Picture Archiving and Communication System) el cual facilita los procesos de radiología al enviar las radiografías directamente a un servidor en el cual de forma online el radiólogo puede leer las radiografías y dar un diagnóstico en el menor tiempo posible [18]. Por otra parte, el telemonitoreo permite hacer seguimiento remoto e igual que la telemedicina ayuda a minimizar los desplazamientos de pacientes y profesionales en rehabilitación, lo que lleva a una mejora en las condiciones de atención medica en las IPS (Institución prestadora de salud). El desarrollo de este proyecto muestra como el uso de las TICS permiten la transferencia de información entre profesionales de la rehabilitación (Fisioterapeutas) y personas en situación de discapacidad o cuya ubicación geográfica no les permite acceder a los procesos convencionales en salud y como haciendo uso de las mismas se puede brindar oportunidad de atención a una mayor población y al tiempo evaluar los procesos realizados en esta modalidad. Este proyecto se basó en una herramienta que apoya los procesos de rehabilitación de la articulación de la rodilla, específicamente los que ayuden a rehabilitar la amplitud articular de la misma, por tal motivo se definieron tres tipos diferentes de ejercicios (Fuerza, movilidad y propioceptivos) que son indispensables al momento de realizar una correcta rehabilitación en la articulación

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Desarrollar una herramienta tipo software que contribuya al telemonitoreo de procesos de rehabilitación de la amplitud articular en la articulación tibiofemoral.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Construir una interfaz que utilice la cámara de celular para monitorear los movimientos de flexión y extensión en la articulación de la rodilla.
- Registrar los movimientos seleccionados para su posterior análisis e interpretación biomecánica.
- Realizar un registro de las interacciones del usuario con la interfaz software, para seguimiento y monitoreo.
- Validar los protocolos experimentales en diferentes voluntarios siguiendo los lineamientos de normatividad en cuanto al manejo de datos y consentimientos informados.
- Brindar a los profesionales de la salud la posibilidad de estimar parámetros biomecánicos como la amplitud articular usando herramientas informáticas para el análisis de video (Kinovea) o de imagen (ImageJ).
- Evaluar la usabilidad de la herramienta utilizando métodos cuantitativos de examinación

## 2. Capítulo 2 - Marco teórico

A continuación, se presentan los principales conceptos, términos y definiciones que sustenta el planteamiento de esta propuesta y que servirán para contextualizar adecuadamente el desarrollo del proyecto.

### 2.1 Posiciones anatómicas.

La posición anatómica es aquella posición convencional en la cual la persona se halla de pie frente al observador, con la cabeza y los ojos mirando hacia el frente, los pies se encuentran en el suelo, hacia adelante, mientras que los miembros superiores se encuentran al costado del cuerpo con las palmas de la mano mirando hacia el frente. Si el cuerpo esta acostado boca abajo se dice que se encuentra en decúbito prono y si esta boca arriba se dice que está en decúbito supino. La vista frontal del cuerpo se denomina vista anterior y la vista trasera del cuerpo lleva por nombre vista posterior [1].

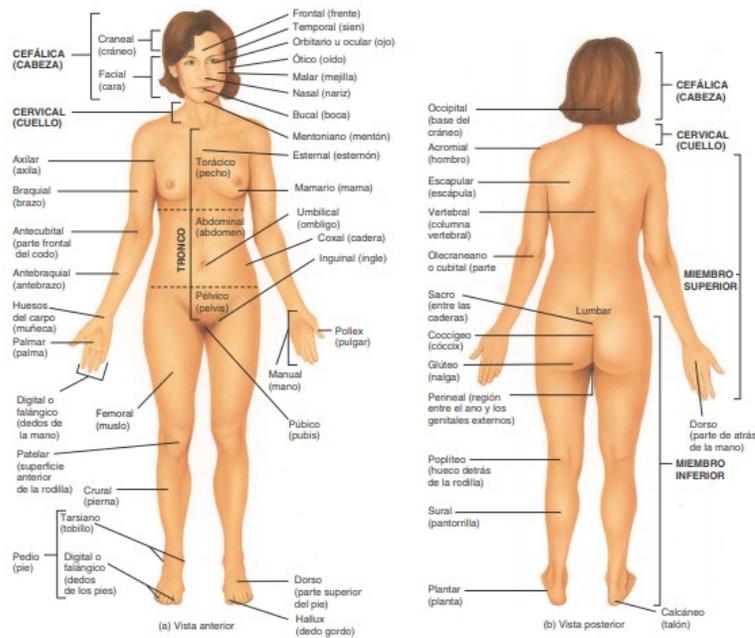


Figura 1: Posición anatómica del cuerpo. [1]

El cuerpo a su vez está dividido por planos imaginarios:

**Plano frontal:** Divide el cuerpo u órgano en partes anterior y posterior

**Plano Transversal:** Divide el cuerpo o un órgano en una parte superior y una parte inferior.

**Plano sagital:** Es un plano vertical que divide el cuerpo o un órgano en lados derecho e izquierdo. Si el plano pasa por la línea media del cuerpo u órgano y lo divide en partes iguales se denomina plano mediosagital. Pero si el plano no está en la línea media del cuerpo, es decir que lo divide en partes desiguales, se denomina plano parasagital.

**Plano oblicuo:** Atraviesa el cuerpo o el órgano en un ángulo oblicuo es decir cualquier ángulo diferente de  $90^\circ$  [1]

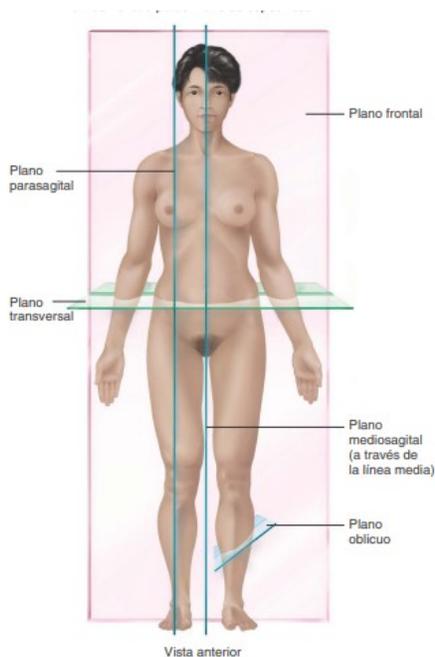


Figura 2: Planos del cuerpo en vista anterior. [1]

## 2.2 Anatomía y Biomecánica de la rodilla.

La articulación de la rodilla es la articulación más grande y compleja del organismo humano y su estructura está configurada para sostener el peso del cuerpo [1]

Esta articulación permite movimiento de flexión, extensión, rotación medial leve y rotación lateral de la pierna en posición de flexión, pero también es la más vulnerable a las lesiones debido a que soporta peso y su estabilidad depende casi completamente de los ligamentos asociados a la articulación [1]

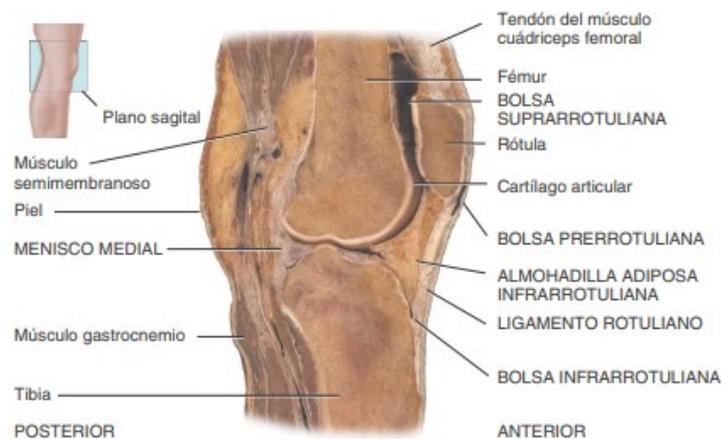


Figura 3: Componentes anatómicos de la rodilla. [1]

### 2.2.1 Movimientos de la rodilla.

La articulación de la rodilla desempeña principalmente el movimiento de flexión- extensión que le permite acercar o alejar determinado ángulo el extremo del miembro a su raíz, es decir que le posibilita controlar la distancia existente entre el suelo y el cuerpo. La posición de referencia a partir de la que se mide este movimiento es el eje de la pierna que está situado en la prolongación del eje del muslo [1]

### 2.2.2 Movimiento de extensión.

Es el movimiento que aleja la cara posterior de la pierna de la cara posterior del muslo. En la posición de referencia existe un estiramiento de  $0^\circ$ , sin embargo, es funcional entre  $5^\circ$  y  $10^\circ$  lo que se conoce como hiperextensión. (Figura 4) [19]

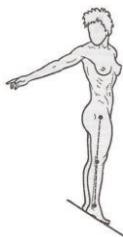


Figura 4: Movimiento de Extensión [19]

### 2.2.3 Movimiento de flexión.

Este movimiento hace posible que se acorte la distancia entre la parte posterior del muslo y de la pierna a partir de la posición de referencia. La posición en la cual se encuentra la cadera influye en el ángulo de flexión de la rodilla.

La flexión activa es máxima de 140° y se presenta si la cadera se encuentra en flexión previa (figura 5) y si la posición de la cadera es de extensión se presenta un ángulo de máximo 120° [20]. (Figura 6)



Figura 5: Flexión activa [19]

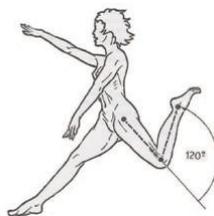


Figura 6: Extensión [19]

### **2.2.4 Patología de la rodilla: Artritis**

La artritis es una enfermedad en la que inflama la membrana sinovial, esta enfermedad afecta al 1% de la población mundial y se presenta en edades entre los 35 y los 50 años de edad especialmente en las mujeres; aunque su causa es desconocida se ha establecido a factores genéticos, ambientales y endocrinos. En el norte de Europa y Norteamérica la población afectada por esta enfermedad está entre el 0,5% y el 1% del total de la población, mientras que en el sur de Europa está entre el 0,3% y el 0,7%. Sin embargo en países en desarrollo la prevalencia oscila entre el 0,1% y el 0,5%. El Colombia no existe un censo actualizado de los pacientes que tienen este tipo de patología, sin embargo, en el año 2005 existían aproximadamente 200.000 pacientes con Artritis [21].

Existen 3 tipos de artritis:

- Osteoartritis: Se desgasta progresivamente el cartílago de la articulación.
- Artritis reumatoide: Artritis inflamatoria que puede destruir el cartílago de la articulación. Suele afectar ambas rodillas.
- Artritis postraumática: Puede desarrollarse después de un daño en la rodilla. [22]

Una de las partes de la rodilla que más se lesiona es el menisco esto se debe a que en este lugar se encuentran los huesos más importantes de la pierna y también ayuda a la articulación a soportar el peso, deslizarse y girar en varias direcciones. El menisco, además ayuda a que el Fémur y la tibia no estén en contacto directo. Es una lesión muy común en deportistas ya que sus piernas están en movimiento todo el tiempo y un solo movimiento puede causar la lesión, los adultos mayores suelen lastimarse el menisco sin sufrir ningún trauma o golpe esto se debe al desgaste por la edad. [22]

### **2.2.5 Terapias de rehabilitación de la rodilla.**

Se define rehabilitación como el conjunto de técnicas que sirven para recuperar una función del cuerpo que ha disminuido por un accidente o de una enfermedad. La rehabilitación la hace un especialista llamado fisioterapeuta quien utilizando principalmente diferentes tipos de ejercicios ayuda a recuperar las articulaciones. Para la articulación de la rodilla se realizan primordialmente ejercicios de acompañamiento en fuerza y movilidad

de rodilla, estos ejercicios consisten en que el Fisioterapeuta le indica al paciente la posición y los movimientos a realizar.

Músculos poplíteos: Para la realización este ejercicio el paciente debe estar en una posición decúbito prono, debe tener los brazos estirados y los pies sobresaliendo del borde de la mesa. Para este ejercicio el fisioterapeuta debe ejercer una resistencia en el sentido de la extensión de la rodilla mientras el paciente flexiona la rodilla, y no permite que el fisioterapeuta pueda estirar la pierna [19]. (Figura 7)

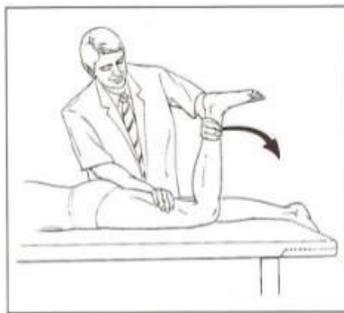


Figura 7: Ejercicio de músculos Poplíteos [19]

*Extensión de la rodilla en cuádriceps femoral:* Para la realización de este ejercicio el paciente debe estar sentado con un cojín por debajo de la porción distal del muslo. El especialista debe estar de pie al lado de la extremidad a tratar y la mano que ejerce la resistencia se coloca justo encima del tobillo; la presión se ejerce hacia el suelo. El paciente no debe permitir que el fisioterapeuta doble la rodilla [19].

Existen 3 ejercicios comunes que sirven para todo tipo de patología o lesión en la articulación tibiofemoral, su fisioterapeuta le asignara el que mejor se acomode a si situación:

1. **Ejercicios de fuerza de rodilla:** Fortalecer la rodilla es un proceso que se hace en conjunto con los músculos que se encuentran en la rodilla, ya sea que se inserten en ella o que nazcan ahí, el fortalecerlos se hace indispensable para hacer que la articulación sea más fuerte y estable [23] [24].
2. **Ejercicios de movilidad de rodilla:** Este tipo de ejercicios ayuda a aumentar los rangos de movimiento articular en la articulación aumentando en flujo sanguíneo lo

que favorece la segregación de líquido sinovial y ayuda a lubricar la articulación [25][26].

3. **Ejercicios propioceptivos de rodilla:** Estos son ejercicios que ayudan a entrenar a el sentido de la posición de las personas, ya que usted sabe lo que su cuerpo está haciendo, pero no lo ve. Este tipo de ejercicios ayuda en una coordinación esencial de las funciones normales en la articulación [27][28].

## 2.3 Telesalud

Se define telesalud como el conjunto de actividades relacionadas con la salud que se llevan a cabo a distancia haciendo uso de las tecnologías de información y comunicación TIC. Incluye la telemedicina y la teleeducación en salud [18] La telesalud busca mejorar el acceso, calidad y organización de la atención clínica impactando la salud pública y garantizando que se presten servicios integrales en salud en todo el país.

La resolución 2654 de 2019 dicta todas las disposiciones referentes a la telesalud en el territorio colombiano, en ella se establece que todas las tecnologías de salud deben ser accesibles a todas las personas en condiciones de igualdad, sin acciones de discriminación física ni económica. También dicta otras disposiciones como la comunicación de los usuarios con el personal de la salud cuando se utiliza la telemedicina como forma de prestar el servicio, se indica que para una correcta comunicación se deben cumplir algunas condiciones:

- Autorización del usuario/paciente.
- Garantizar la identificación de los profesionales y los usuarios en el inicio de sesión.
- Garantizar el tratamiento confidencial de información y de datos personales. [14]

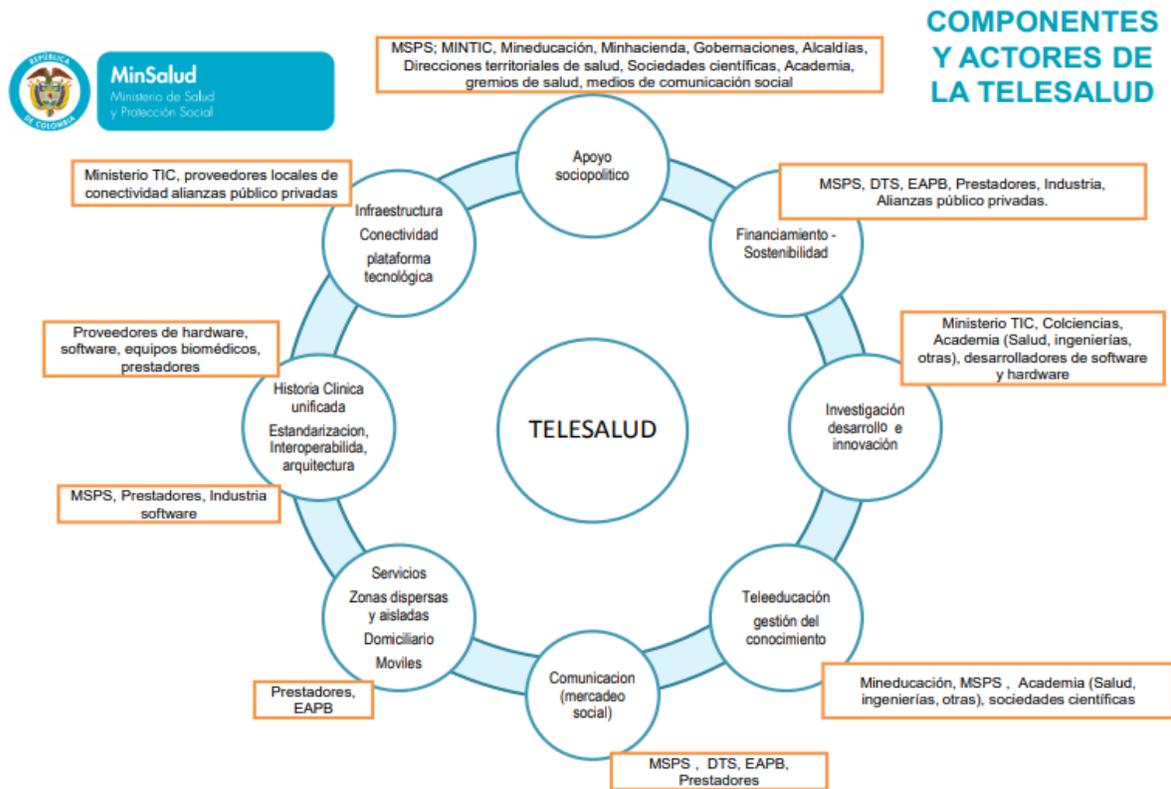


Figura 8: Componentes y actores de la telesalud [29]

### 2.3.1 Telerrehabilitación

Se entiende telerrehabilitación como la prestación de servicios de rehabilitación por medio de herramientas TIC, se considera una herramienta con un gran potencial en el tratamiento de pacientes al proporcionarle formas de evaluar determinadas funciones y realizar intervenciones terapéuticas individuales a distancia. Las TICS han convertido la telerrehabilitación en una realidad ya que permiten ampliar la rehabilitación física y motora fuera del centro hospitalario, en un entorno más familiar evaluar así la eficiencia de los procedimientos en relación con la vida diaria, además favorece la eliminación de barreras facilitando el acceso a asistencia especializada a pacientes con discapacidad o pacientes que viven en zonas rurales [30][13].

### 2.3.2 Telemonitoreo

Se define telemonitoreo como la relación entre el personal de un prestador de servicios de salud y un usuario en cualquier lugar donde se encuentre a través de plataformas TIC [14] En este tipo de categoría el personal de salud y el usuario o paciente pueden comunicarse de manera sincrónica o asincrónica desde cualquier lugar si cuentan con conexión a internet [14] Tanto en Colombia como en Latinoamérica no se disponen los suficientes recursos a la salud, esto genera que las nuevas tecnologías existentes se demoren bastante tiempo en llegar a estos países y por ende se cree un desconocimiento tanto de los profesionales de la salud como de los pacientes; este desconocimiento genera peores atrasos tanto en innovación como en aceptación de la telesalud [31]

### 2.3.3 Normatividad colombiana en Telesalud.

- **Resolución 3100 de 2019**

Es la nueva norma de habilitación en salud que prosiguió a la resolución 2003 de 2014, en ella se dictan todas las disposiciones en salud definiendo los procedimientos y condiciones de los prestadores de salud y la habilitación de los mismos, además en esta resolución se clasifica a la telemedicina como una de las 3 formas de prestar un servicio integral en salud en el territorio nacional [13]. En la resolución se dan indicaciones para el prestador de servicios de salud ya que si habilita un servicio él es el responsable de dar cumplimiento a los estándares, criterios y especificaciones determinados para ese servicio siguiendo la normatividad del mismo [13].

- **Resolución 2654 de 2019**

En esta norma se establecen parámetros en telesalud y al mismo tiempo dicta los lineamientos de la telemedicina en el país. La norma dispone que los servicios en salud deben ser accesibles a toda la población sin discriminación re raza, sexo, genero, orientación sexual y política ni estrato socioeconómico. Esta resolución se basa en otras leyes que garantizan que el servicio prestado por modalidad telesalud sea eficiente, integral y de calidad siguiendo los lineamientos de las tecnologías de la información y la comunicación [14].

- **Ley 1419 de 2010:** Establece que la telesalud es un apoyo al sistema general de seguridad social en salud [14].

- **Ley 1751 de 2015:** Dicta que el acceder a servicios en salud debe garantizar una atención integral, oportuna y de alta calidad [14].
  - **Ley 1438 de 2011:** Precisa que la coordinación electrónica en telemedicina, asistencia y demás servicios prestados que no se encuentren en modalidad intramural deben ser integrales y seguir las buenas prácticas de la prestación del servicio [14].
  - **Ley 1995 de 2019:** Incentivar herramientas de calidad que modernicen la gestión de prestación de servicios en territorios apartados del territorio colombiano, esto debe ser de la mano de los lineamientos del MINTIC impulsando actividades como la telesalud, historia clínica electrónica, factura electrónica y demás [14].
- Otras:** Para la correcta implementación de la modalidad telemedicina es relevante que se sigan las leyes 527 de 1999, 1266 de 2008, 1581 de 2012, 1712 de 2014 y el decreto 1277 de 2013 los cuales preservan y garantizan el uso de medios tecnológicos, la calidad y seguridad de la atención y la preservación de datos personales de los pacientes [14][32].

## 2.4 Dispositivo móvil (Smartphone).

En la actualidad, existen dispositivos móviles, como los celulares tipo Smartphone, cuyas cámaras son capaces de capturar hasta 220 imágenes por segundo (fps). A su vez, un fotograma está compuesto por píxeles que son las unidades básicas de la imagen. Cuanto mayor sea el número de píxeles por superficie de la imagen, mayor nitidez tendrá la misma [33] La cámara de un Smartphone tiene diferentes posibilidades, como tomar una foto o un video para poder transmitirlo a un sistema de cómputo como lo es Matlab y así realizar mediciones, simulaciones y toma de datos. Este dispositivo también es utilizado como un instrumento de registro en el campo de la captura y análisis de movimiento [8][34]

## 2.5 Usabilidad

La usabilidad hace referencia a la facilidad con que un usuario puede utilizar una herramienta fabricada por otras personas con el fin de alcanzar un objetivo, está vinculada

a la simpleza, facilidad, comodidad y practicidad que necesita cualquier sistema para que el usuario no tenga impedimentos en su uso. Es, además un factor que permite determinar la calidad de la interacción causada entre humano-tecnología describiendo la satisfacción de los usuarios en cuanto a efectividad, eficiencia y satisfacción con la que el producto alcanza los objetivos para los cuales fue propuesto.[35]

El método más conocido para evaluar la usabilidad la Escala de Usabilidad del Sistema o también conocido como el método SUS por sus siglas en inglés. Es un método inventado por Jhon Brooke en el año de 1986 para evaluar prácticamente la usabilidad de cualquier sistema. Es un cuestionario corto que no es difícil de administrar y da resultados rápidos sin necesidad de gastar mucho dinero [36]. Es un tipo de cuestionario de escala de clasificación que consta de 10 sencillas preguntas, en la que el usuario puntúa de 1 a 5, donde 1 es completamente en desacuerdo y 5 completamente de acuerdo. Es necesario recordar que los resultados no son porcentajes ya que se debe realizar un método específico para calcular el SUS. El método se describe a continuación:

- Para cada una de las preguntas impares, reste 1 del puntaje.
- Para cada una de las preguntas pares, reste su valor de 5.
- Tome estos nuevos valores que ha encontrado y sume la puntuación total. Luego multiplique esto por 2.5.

La escala SUS no da indicaciones de problemas específicos, pero puede indicar que tan bien o mal está el diseño frente a la usabilidad de su grupo específico de usuarios. Normalmente una excelente usabilidad es mayor de 80 puntos, una buena usabilidad se encuentra en 68 puntos y 51 o menos significa que su diseño necesita ajustes [37].

En este proyecto se utilizó la escala de usabilidad SUS y se obtuvo un valor promedio de 78,8 lo que indica que el sistema está calificado por el usuario como buena casi excelente. Se tuvieron en cuenta otros parámetros de usabilidad como la efectividad y la eficiencia dando como resultados que la interfaz es muy intuitiva para el usuario, aunque se complica su uso cuando el usuario es una persona mayor de 30 años.

## **2.6 Lenguaje de programación: Matlab**

Significa Matrix Laboratory, fue creado por Cleve Moler en los años 70 y en la actualidad su licencia la tiene MathWorks. Es un sistema de cómputo que está disponible en los

sistemas operativos Windows, Mac y Linux [38]. Matlab ofrece un lenguaje de programación propio donde se pueden manipular matrices, datos, funciones, algoritmos y creación de aplicaciones, interacción con otros lenguajes y programas y dos herramientas adicionales que son Simulink y App designer. Matlab permite operaciones de vectores, matrices, funciones, etc. [39]

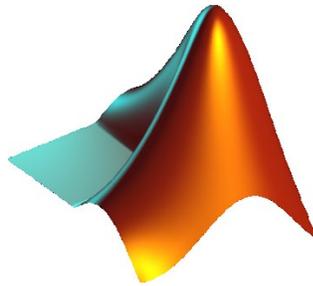


Figura 9: Logo de Matlab [40]

### 2.6.1 Matlab: Simulink

Es un Toolbox especial de Matlab que sirve para simular el comportamiento de los sistemas dinámicos, permite construir y simular de control mediante diagramas de bloques. Es un entorno gráfico en el cual el modelo a simular se construye dando clic y arrastrando los diferentes bloques. Sirve ya que puede reducir los costos de operación de un sistema ya que las pruebas a realizar pueden ser simuladas arrojando resultados muy confiables y contundentes [39] [41]

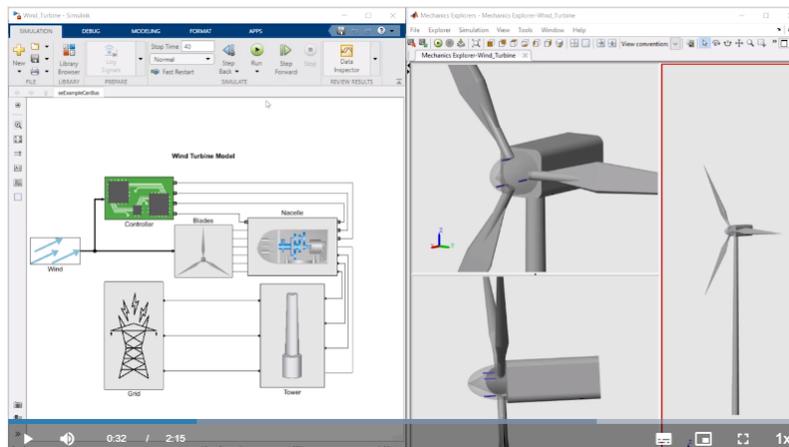


Figura 10: Entorno de simulación en Simulink [39]

## 2.6.2 Matlab: App Designer

Es un Toolbox de Matlab que permite crear apps profesionales. Se deben arrastrar y colocar los parametros en el área de diseño para crear el diseño de la interfaz gráfica y realizar la programación necesaria en el editor integrado. App designer genera de forma automática código orientado a objetos que puede ser comprobado automáticamente mediante el code analyzer que muestra mensajes de advertencia y error sobre el código que se escribe y así se puede modificar la app conforme a los mensajes que aparecen[39]

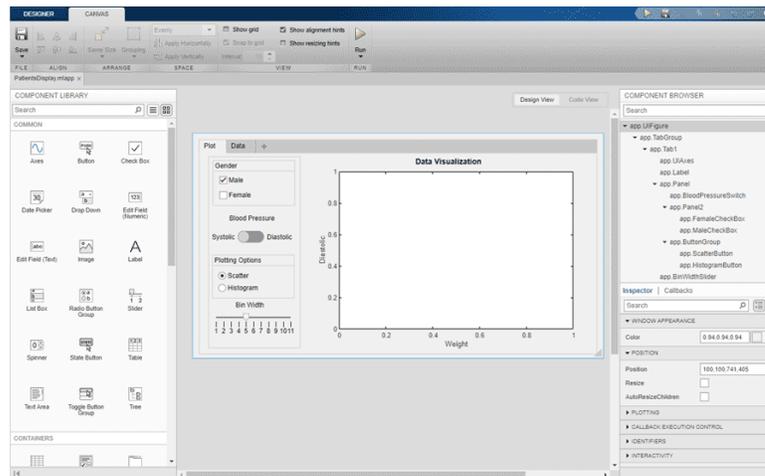


Figura 11: Ejemplo de design view de App designer [39]

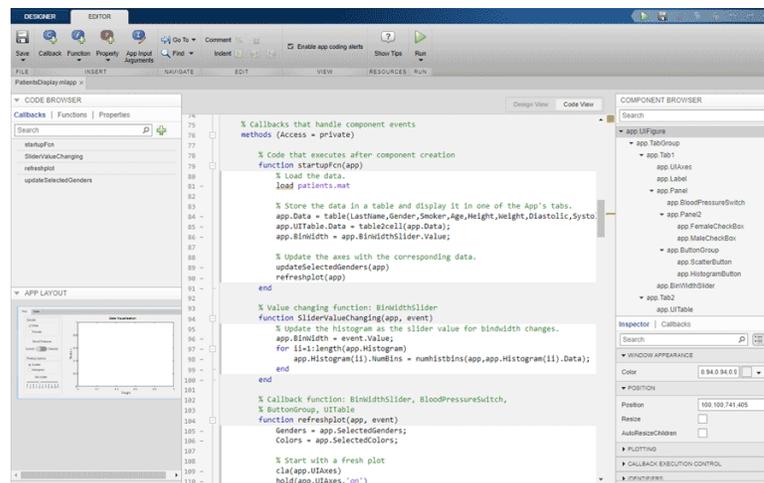


Figura 12: Ejemplo de Code view de App designer [39]

## 2.7 Droidcam: Aplicación para el celular.

Es una aplicación de celular que permite usar el teléfono móvil como una cámara web en el computador a través de Wifi o USB. Droidcam convierte su celular en una cámara web usando el IP. La aplicación instala todos los controladores necesarios de la cámara web y conecta al computador con el dispositivo móvil. Muestra la dirección IP de cada dispositivo y puede ser usado con la cámara frontal y trasera de su Smartphone [42].



Figura 13: Vista de Droidcam. Autoría propia

## 2.8 Software

Un software son las instrucciones informáticas que permiten que un computador ejecute diferentes tareas que controlan el comportamiento de una maquina o un sistema. Estas instrucciones informáticas se realizan por medio de programaciones y ejecución de tareas específicas [43].

### 2.8.1 Kinovea

Software gratuito de análisis de videos e imágenes dedicados al deporte. Es una herramienta bastante utilizada en los deportes de diferentes especialidades ya que permite observar y analizar un video fotograma a fotograma. Las herramientas de dibujo integradas permiten adicionar flechas, descripciones, ángulos y demás en todo el momento del video. Este software es compatible con Windows XP, Windows vista y Windows 7 [44].

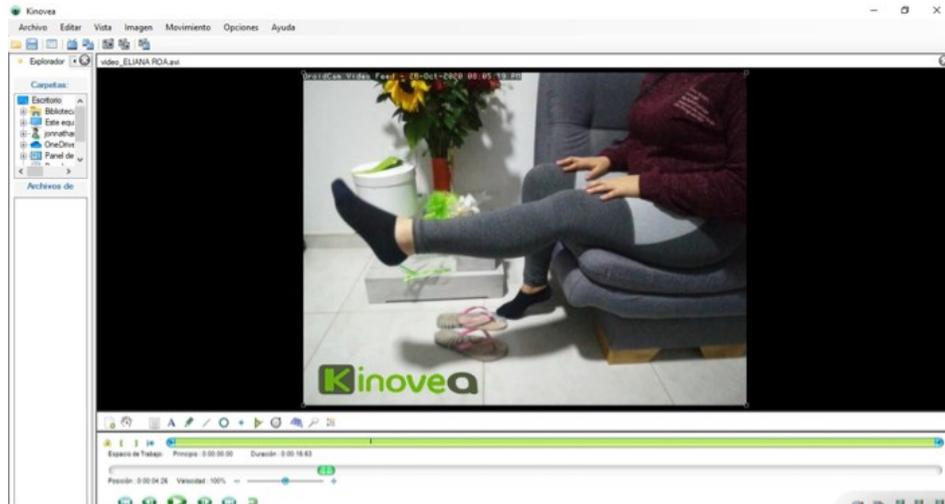


Figura 14: Vista de Kinovea. Autoría propia

## 2.8.2 Imagej

Es un software gratuito y open source desarrollado por el National Institutes of Health en 1987, que permite mostrar, tratar, editar, analizar, procesar, guardar, e imprimir imágenes en diferentes formatos de imagen como lo son dicom, png, jpg, gif, et. Este software puede calcular el área y las estadísticas de valor de píxel de selecciones definidas por el usuario, puede medir distancias y ángulos. [45]

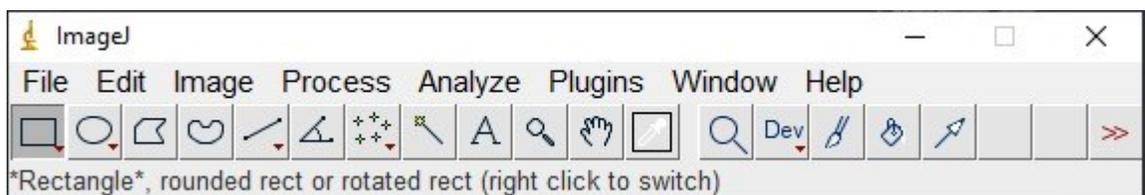


Figura 15: Vista ImageJ. Autoría propia

38 Desarrollo de una herramienta de apoyo para telemonitoreo: Aplicación a la recuperación de la amplitud articular de la rodilla.

---

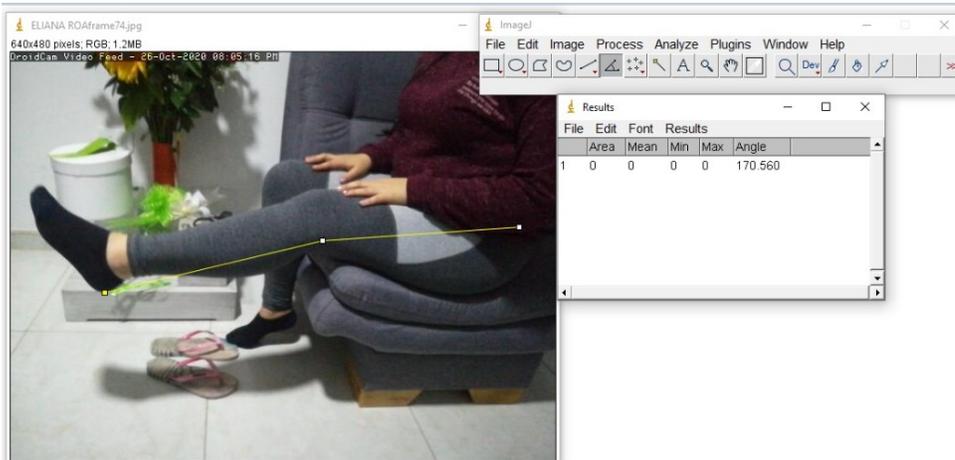


Figura 16: Vista de Imagej con una imagen cargada. Autoría propia

### 3. Capítulo 3 – Diseño

En el capítulo de diseño se explicarán las fases que se tuvieron en cuenta para desarrollar la investigación y posterior realización de la interfaz.

#### 3.1 Etapa 1: Revisión científica y vigilancia tecnológica

A continuación, se presenta un diagrama tipo mapa conceptual que resume el trabajo de investigación realizado en este proyecto.

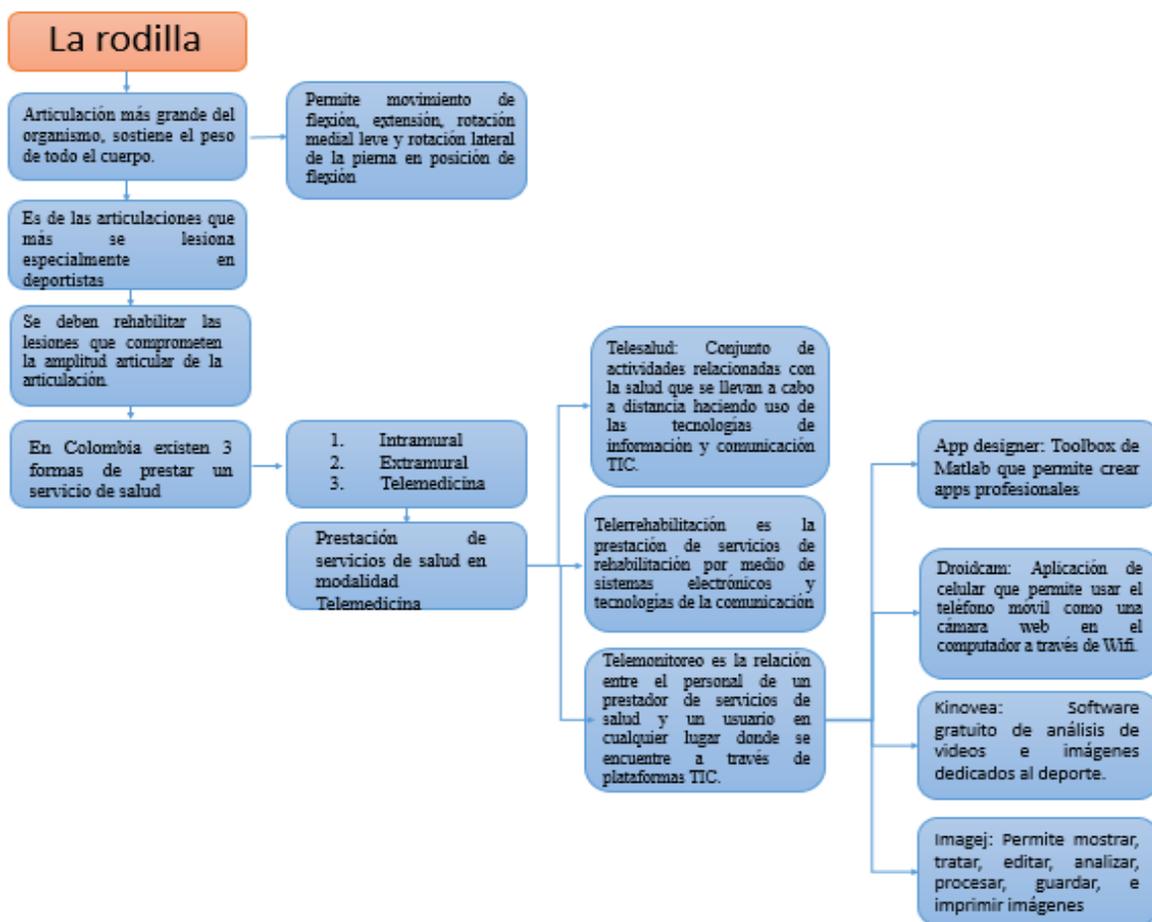


Figura 17: Resumen de la vigilancia tecnológica. Autoría propia.

## **3.2 Etapa 2: Identificación de la población**

La articulación de la rodilla es la que sufre más lesiones, esto se debe a que soporta todo el peso del cuerpo, las personas que más se lesionan esta articulación son los deportistas, aunque también hay una gran incidencia de lesiones en esta articulación por personas mayores ya que la edad hace que la articulación se desgaste desencadenando patologías como la artritis y los dolores osteo-musculares. Al ser una articulación que se lesiona con gran facilidad surge un interés médico por crear implementos, dispositivos, aplicaciones y herramientas que ayuden a prevenir este tipo de lesiones, pero también a rehabilitar la articulación cuando ya existe una dolencia. Una lesión en la rodilla puede surgir a cualquier edad y a la puede padecer cualquier persona es por esto que se realizó la interfaz con diez voluntarios hombres y mujeres, todos mayores de edad en un rango de edades de 20 a 58 años sin embargo la interfaz puede ser usada por personas de casi todas las edades sin importar su género.

### 3.3 Etapa 3: Construcción de protocolos de adquisición.

Para lograr un correcto funcionamiento de la interfaz se hace necesario seguir los requerimientos presentados en la tabla 1.

Requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento de la interfaz.	
Computador.	El computador puede ser portátil o de mesa y debe garantizar una conexión a internet.
Smartphone.	El SmartPhone debe tener instalada la aplicación Droidcam que se encuentra disponible en Android y en IOS. Debe estar conectado a la misma red Wifi que el computador.
Distancia de grabación respecto a la persona)	No se establecen parámetros de distancia de grabación, únicamente se debe tener en cuenta que en el espacio de grabación de la cámara se pueda ver la articulación del paciente según el video correspondiente. Es decir que, si en el video se ve el paciente de cuerpo completo, el celular debe estar a una distancia donde se vea el paciente completamente para posteriormente realizar la grabación.
Resolución de la cámara del SmartPhone.	No se establecen indicaciones referentes a la resolución de la cámara, sin embargo, se recomienda que sea al menos de 2MP para garantizar un buen tamaño de imagen.
Velocidad de red.	No se establecen parámetros de velocidad de red ya que no importa a qué velocidad se transmita la información, lo único que es necesario es que se transmita correctamente.
Iluminación del lugar de grabación.	El espacio en el cual el paciente va a grabar su video debe tener una buena iluminación, no debe grabar a contraluz.
Espacio de grabación.	Es importante que el lugar donde grabe el paciente sea acorde a un proceso médico, que no interfieran personas, mascotas o elementos externos en el momento de la grabación.

Table 1: Requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento de la interfaz.  
Autoría propia

Requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento de la interfaz.	
Computador.	El computador puede ser portatil o de mesa y debe poder conectarse a una red Wifi.
Smartphone.	El SmartPhone debe tener instalada la aplicación Droidcam que se encuentra disponible en Android y en ios. Debe estar conectado a la misma red Wifi que el computador.
Distancia de grabación (Celular respecto a la persona)	No se establecen parámetros de distancia de grabación, únicamente se debe tener en cuenta que en el espacio de grabación de la cámara se pueda ver la articulación del paciente según el video correspondiente. Es decir que si en el video se ve el paciente de cuerpo completo, el celular debe estar a una distancia donde se vea el paciente completamente.
Resolución de la cámara del SmartPhone.	Se establece que la resolución minima de la camara del SmartPhone utilizado deben ser 12 MP ya que este valor garantiza buenas condiciones de tamaño de imagen.
Velocidad de red.	La conexión Wifi debe ser de almenos 5MB para que se transmita la información rapidamente.
Iluminación del lugar de grabación.	El espacio en el cual el paciente va a grabar su video debe tener una buena iluminación, no debe grabar a contraluz.
Espacio de grabación.	Es importante que el lugar donde grabe el paciente sea acorde a un proceso médico, que no interfieran personas o mascotas en el momento de la grabación.

Para la interfaz se escogieron 3 tipos de ejercicios cada uno de dos niveles, los 2 primeros ejercicios son de fuerza de rodilla, los dos siguientes de movilidad de rodilla y el último bloque es de ejercicios propioceptivos de rodilla, se escogieron estos ejercicios ya que son comunes a la hora de realizar una rehabilitación de rodilla, aunque no abarcan todas las

posibles lesiones si una gran parte de ellas. En todos los videos la posición de la cámara y del paciente pueden ser diferente, de igual manera se pueden repetir algunos ejercicios.

### 3.3.1 Ejercicios de fuerza Nivel I:

**Primer ejercicio:** El celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar sentada con las piernas estiradas que se vea todo su cuerpo. Como se muestra en la siguiente figura



Figura 18: Ejercicios de fuerza nivel I, primer ejercicio. [23]

**Segundo ejercicio:** El celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar en posición prono o ventral con flexión de rodilla, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 19: Ejercicios de fuerza nivel I, Segundo ejercicio. [23]

**Tercer ejercicio:** Para el tercer ejercicio el celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar sentada al borde de la superficie, con los pies colgando de la misma, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 20: Ejercicios de fuerza nivel I, tercer ejercicio. [23]

**Cuarto ejercicio:** Para el cuarto ejercicio el celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar de pie sosteniéndose de una pared, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 21: Ejercicios de fuerza nivel I, cuarto ejercicio. [23]

**Quinto ejercicio:** El celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar sentada al borde de la superficie, con los pies colgando de la misma, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 22: Ejercicios de fuerza nivel I, quinto ejercicio. [23]

### 3.3.2 Ejercicios de fuerza Nivel II:

**Primer ejercicio:** El celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar sentada al borde de la superficie, con los pies colgando de la misma, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 23: Ejercicios de fuerza nivel II, primer ejercicio. [24]

**Segundo ejercicio:** Para el segundo ejercicio el celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar de pie sosteniéndose de una pared, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 24: Ejercicios de fuerza nivel II, segundo ejercicio. [24]

**Tercer ejercicio:** El celular debe estar lateral al paciente y este debe estar en una escalera o escalón para poder realizar el ejercicio.



Figura 25: Ejercicios de fuerza nivel II, tercer ejercicio. [24]

**Cuarto ejercicio:** El celular debe estar lateral al paciente y este debe estar en una escalera o escalón y colocar una almohada, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 26: Ejercicios de fuerza nivel II, cuarto ejercicio. [24]

### 3.3.3 Ejercicios de movilidad de rodilla Nivel I:

**Primer ejercicio:** El celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar sentada al borde de la superficie, con los pies colgando de la misma, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 27: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel I, primer ejercicio. [25]

**Segundo Ejercicio:** Para este ejercicio el celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar en posición prono o ventral con flexión de rodilla, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 28: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel I, segundo ejercicio. [25]

**Tercer ejercicio:** Para este ejercicio el celular debe estar frente a la persona y esta debe estar sentada en una silla



Figura 29: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel I, tercer ejercicio. [25]

### 3.3.4 Ejercicios de movilidad de rodilla Nivel II:

**Primer ejercicio:** Para este ejercicio el celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar en posición prono con extensión de rodilla, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 30: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel II, primer ejercicio. [26]

**Segundo ejercicio:** El celular debe estar lateral al paciente y este debe estar en una escalera o escalón para poder realizar el ejercicio, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 31: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel II, segundo ejercicio. [26]

**Tercer ejercicio:** Para este ejercicio el celular debe estar lateral a la persona y esta debe estar en posición prono con flexión intercalada de rodilla, como se muestra en la siguiente figura



Figura 32: Ejercicios de movilidad de rodilla nivel II, tercer ejercicio. [26]

### 3.3.5 Propioceptivos de rodilla Nivel I:

**Primer ejercicio:** Para este ejercicio el celular debe estar frente a la persona y esta debe estar sentada en una silla.



Figura 33: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel I, primer ejercicio. [27]

**Segundo ejercicio:** Para este ejercicio el celular debe estar frente al paciente y este debe estar apoyado en un solo pie.



Figura 34: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel I, segundo ejercicio. [27]

**Tercer ejercicio:** Para este ejercicio el celular debe estar frente al paciente y este debe estar apoyado en un solo pie y de espaldas.



Figura 35: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel I, tercer ejercicio. [27]

### 3.3.6 Propioceptivos de rodilla Nivel II:

**Primer ejercicio:** El celular debe estar frente al paciente y este debe estar de pie con una almohada en el suelo.



Figura 36: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel II, primer ejercicio. [28]

**Segundo ejercicio:** El celular debe estar frente al paciente y este de espaldas, parado en un pie debe rebotar un balón contra la pared.



Figura 37: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel II, segundo ejercicio. [28]

**Tercer ejercicio:** El celular debe estar frente al paciente y este debe tocar con la punta del pie diferentes marcadores ubicados en el suelo.



Figura 38: Ejercicios propioceptivos de rodilla nivel II, tercer ejercicio. [28]

La resolución 8430 de 1993 es donde se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas que rigen la investigación en salud, en este trabajo se tuvo presente el título II, capítulo 1 artículos 5 y 6 donde se hace énfasis en que los procedimientos de pruebas

en seres humanos deben respetar la dignidad y derechos del mismo. [46] Además, se tuvo en cuenta la declaración de Helsinki que brinda los principios éticos para las investigaciones médicas en personas [47] por tal motivo a todos los participantes se les entregó un consentimiento informado por escrito el cual avala la participación voluntaria en el estudio por parte de la persona y se explica que es un proceso netamente investigativo.

### **3.4 Etapa 4: Construcción de la interfaz**

La aplicación se realizó usando el Software Matlab R2019-a junto con el entorno de desarrollo interactivo App designer de Matlab, además se hizo uso de la cámara del celular con la aplicación gratuita DroidCam que muestra la dirección IP única de cada dispositivo, la aplicación puede ser sincronizada con Matlab. Tiene dos sesiones, la de especialista y la de usuario. En la figura 39 se muestra una imagen explicativa de la interfaz, en ella se ve que el usuario se puede comunicar por medio de un celular a un computador y también directamente el usuario con el computador. La información ingresada en el computador entra a una base de datos en la nube, esta información se puede ver desde otro computador por el especialista en salud, de igual manera el especialista se comunica con un computador, ingresa información a la base de datos y esta información se muestra en la sesión del usuario; esta interacción indica que hay una comunicación asincrónica entre las dos partes involucradas. En síntesis, si se guarda información en la sesión de especialista, esta se puede ver en la de usuario e igualmente la información guardada desde la sesión de usuario se puede ver en especialista.

La base de datos queda guardada en un drive de Excel con el correo [interfaztelemonitoreorodilla@gmail.com](mailto:interfaztelemonitoreorodilla@gmail.com) y la clave para acceder al correo es Interfaz.1 En esta base de datos queda guardada la información de:

- Nombre del paciente.
- Identificación del paciente.
- Edad del paciente.
- Genero del paciente.
- Preguntas de salud mental (4) respondidas por el paciente
- Recomendaciones del médico.

- Recomendaciones para el ejercicio realizadas por el especialista.
- Asignación del video que debe realizar el paciente.
- Diagnóstico al paciente, realizado por el especialista.
- Fecha de ultima conexión del paciente.

En el computador queda guardada la información de los videos tanto los que asigna el especialista como el video que realiza la persona desde su sesión de usuario haciendo uso de la aplicación Droidcam. Estos videos realizados por el usuario quedan guardados con su nombre además todos los frames de cada video también se guardan con el nombre propio del paciente. Esta información es guardada en la carpeta que lleva por nombre "videodef" y es la carpeta que debe buscar el especialista para hacer la ruta en Kinovea y poder abrir el video para su interpretación biomecánica. De igual forma en la misma carpeta queda cortado el video en frames y puede ser buscado por el especialista para su interpretación Biomecánica en el software ImageJ.

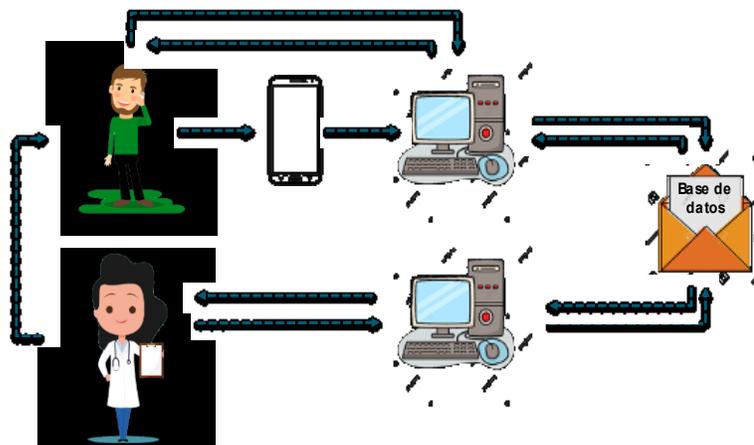


Figure 39: Interacción y flujo de información entre paciente y especialista. Autoría propia

### 3.4.1 Sesión especialista:

En la telemedicina existe la posibilidad que varios especialistas atiendan al mismo paciente, como es el caso de la teleradiología donde cualquier especialista puede leer las imágenes radiológicas que se encuentran en el PACS, es por esta razón que en la interfaz cualquier especialista debe ingresar con la clave universal 301116 y posteriormente digitar la información del paciente a tratar, donde podrá ver las encuestas de salud mental que realizó por el paciente, el video que este realizó y abrir Kinovea e Imagej , además podrá asignar el video que debe seguir el paciente y así mismo brindarle recomendaciones, por ejemplo: Realice los ejercicios en un espacio iluminado; además puede dar

recomendaciones para el ejercicio, por ejemplo: Por favor sea más cuidadoso con el ejercicio ya que se puede lastimar. Por último, puede dar un diagnóstico al paciente, por ejemplo: El paciente se está recuperando satisfactoriamente, continúe realizando los ejercicios. Inmediatamente después que el fisioterapeuta entregue un diagnóstico al paciente el programa lo enviará al inicio y es en ese momento en que la sesión habrá terminado.

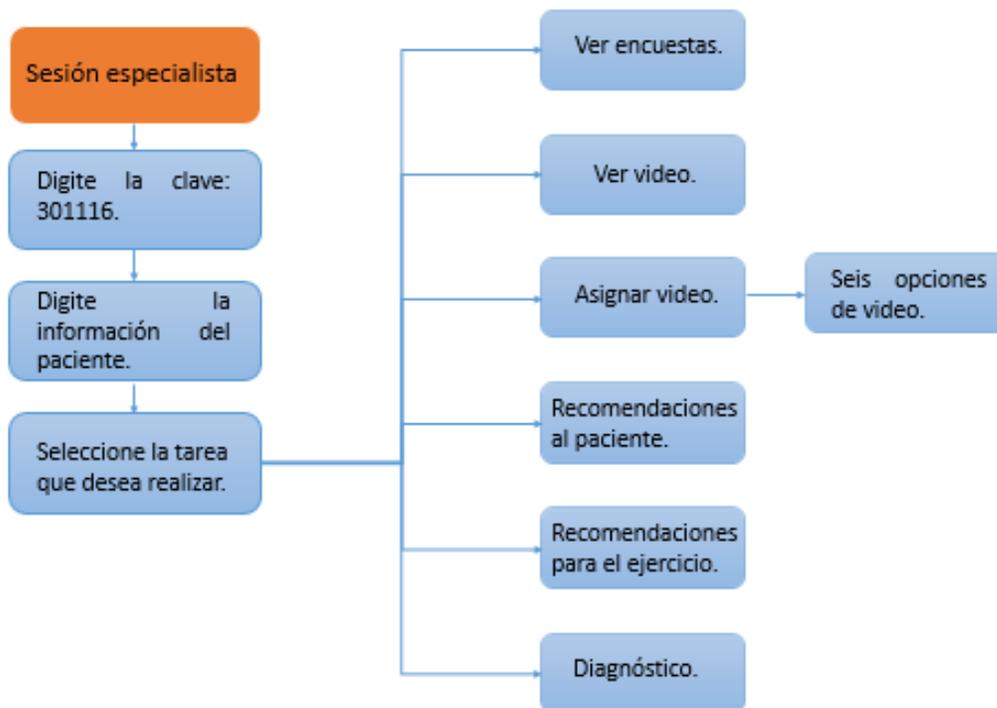


Figura 40: Diagrama explicativo sesión especialista. Autoría propia

### 3.4.2 Sesión usuario:

El usuario debe registrarse una única vez, y esperar a que el especialista modifique los parámetros para la primera sesión. Posteriormente debe ingresar con su información y realizar una encuesta de salud mental con 3 preguntas donde en un rango de 1 a 10, siendo uno mal y 10 excelente

1. ¿Cómo está de ánimo?
2. ¿Cuánto le duele?
3. ¿Cómo durmió?

Las preguntas de salud mental se formularon de acuerdo a [48] [49] [50] que dan indicaciones sobre cómo se debe evaluar la salud mental de una persona y lo importante que es que en un proceso de rehabilitación la persona se encuentre bien a nivel mental para que se recupere rápidamente. Este tipo de pruebas presentan información cognitiva que permite la identificación de parámetros como lo son la perseverancia, persistencia, interés, etc. Aunque las preguntas que se pueden hacer respecto a la evaluación del estado de salud mental son muy variadas para este caso se utilizaron unas preguntas básicas que se relacionan directamente con el estado de ánimo del paciente y su percepción del dolor.

Después, el paciente debe revisar la rutina que le asignó el médico tratante donde podrá ver el diagnóstico de su proceso de recuperación, el video que el médico le asignó para la sesión en curso, iniciar la sesión de ejercicios y salir. En la opción iniciar sesión de ejercicios puede ver las recomendaciones del médico, las recomendaciones para el ejercicio y digitar su dirección IP; esta dirección IP es diferente en todos los dispositivos electrónicos y se puede ver en la aplicación DROIDCAM que debe ser descargada en el celular del paciente. Una vez el paciente digita su dirección IP y está seguro que está bien puede probar la cámara de su celular, esto se hace con el fin que el paciente vea la posición de grabación de la cámara y la posición en la que él se encuentra respecto a esta. Posteriormente comienza a registrar video, que es el momento en el que el paciente realiza los ejercicios que vio en el video. Este video se registra en una frecuencia de 30 frames por segundo es decir que en 1 segundo hay 30 frames y que un frame equivale a 0.3333 segundos. Inmediatamente después que el tiempo se acabe se abre una segunda encuesta de salud mental para el paciente donde debe responder en una escala de 1 a 10, donde 1 es poco y 10 es mucho:

1. Que tanto dolor siente después de realizado el ejercicio.

Apenas termine la segunda encuesta el programa comenzará de nuevo y es en este momento cuando la sesión habrá terminado.

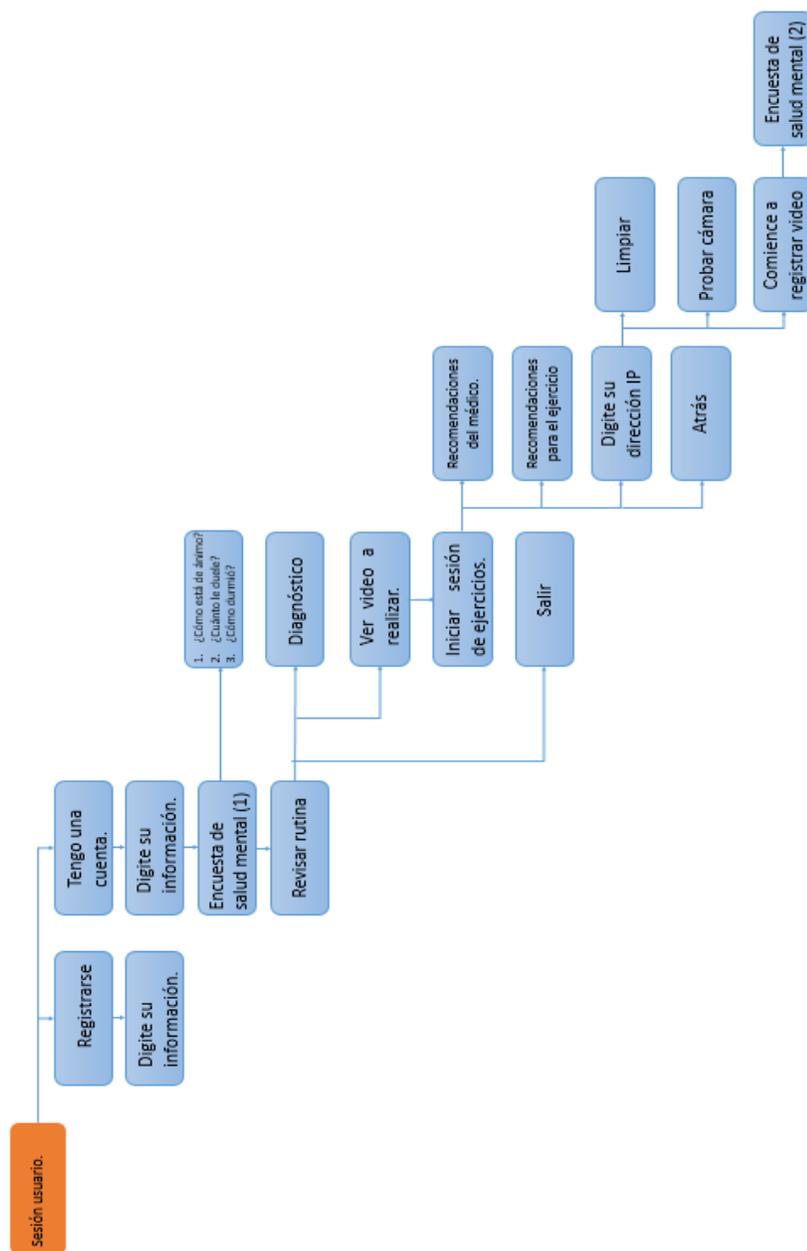


Figura 41: Diagrama explicativo sesión usuario. Autoría propia

### 3.5 Etapa 5: Validación: Usabilidad, Registro e interpretación de datos

La validación de la herramienta se realizó con 10 participantes de los cuales una persona era especialista (5 mujeres y 5 hombres) todos los participantes fueron voluntarios y se les

entrego un consentimiento informado para que después de una explicación, hicieran uso de la interfaz y posteriormente responder una encuesta de usabilidad de 12 preguntas (Ver tabla 2).

Encuesta de usabilidad para Desarrollo de una herramienta de apoyo para telemonitoreo: Aplicación a la recuperación de la amplitud articular de la rodilla					
Por favor seleccione que tan de acuerdo o en desacuerdo está con cada una de las preguntas donde 1 es en completo desacuerdo y 5 completamente de acuerdo.					
Por favor indique si es especialista o usuario.	Especialista		Usuario		
1. Creo que usaría esta interfaz de forma frecuente.	1	2	3	4	5
2. Encontré la interfaz demasiado compleja	1	2	3	4	5
3. Pensé que la interfaz sería fácil de utilizar.	1	2	3	4	5
4. Creo que necesitaría el apoyo de un profesional para hacer uso de la interfaz.	1	2	3	4	5
5. Encontré que las funciones del sistema están integradas adecuadamente.	1	2	3	4	5
6. Creo que hay mucha inconsistencia en la interfaz.	1	2	3	4	5
7. La mayoría de las personas aprenderían a utilizar esta interfaz rápidamente.	1	2	3	4	5
8. El uso de la interfaz es muy confuso.	1	2	3	4	5
9. Me sentí muy confiado(a) con el uso de la interfaz.	1	2	3	4	5
10. Necesito aprender muchas cosas antes de usar la interfaz de manera adecuada.	1	2	3	4	5
Si lo considera necesario por favor escriba recomendaciones u observaciones.					

Table 2: Encuesta de usabilidad. Autoría propia.

Durante la realización se la interfaz se pudo observar que las personas tardaron alrededor de 8 minutos en realizar todo el proceso y que no cometieron errores al oprimir los botones ya que estos aparecen mayormente de forma secuencial y hasta que un proceso no esté terminado, no pasa al siguiente.

## **4. Capítulo 4 – Resultados**

En este capítulo se presentarán los principales resultados obtenidos durante el proyecto como lo son la identificación de la población, la presentación de las diferentes opciones de la interfaz, tanto en modo usuario como en modo especialista, resultados de la encuesta de usabilidad que sirvió como proceso de validación, para terminar con una discusión de los principales resultados hallados.

### **4.1 Síntesis de revisión bibliográfica y vigilancia tecnológica**

Debido a la importancia de innovar en procesos de telesalud (especialmente de telemedicina y telemonitoreo) se construyó, con ayuda de las TIC, una interfaz de apoyo a procesos de telemonitoreo con dos tipos de sesión: la sesión de especialista y la de usuario, cada una de ellas con opciones diferentes de acuerdo a su tipo de usuario. La comunicación asíncrona entre ambas sesiones se realizó por medio de una interfaz desarrollada en App designer de Matlab que guarda la información en una base de datos en la nube, pero también en carpetas a las cuales se puede acceder desde la otra sesión.

### **4.2 Identificación de la población**

Aunque la propuesta está orientada principalmente a pacientes con lesiones en miembros inferiores que comprometen la amplitud articular en la articulación de la rodilla puede ser utilizada también en pacientes con otro tipo de patologías como alteraciones Osteo-musculares, desgarres y enfermedades como artritis. La interfaz puede ser usada por personas de casi todas las edades. Para la validación de la interfaz se tomó como criterio una población de 5 mujeres y 5 hombres de diferentes edades, todos mayores de edad, voluntarios sanos que no tuvieran una afectación real en la rodilla. Se pudo determinar que el criterio de género no fue indicación de un correcto o incorrecto manejo de la interfaz, por el contrario, su edad si lo fue ya que las personas más jóvenes utilizaron la interfaz de forma más fácil y rápida, mientras que las personas mayores se mostraban inseguras y un poco más demoradas.

## 4.3 Explicación ejemplificada de la interfaz.

La primera ventana que usted vera al entrar será la siguiente:



Figura 42: Primera ventana. Autoría propia

### 4.3.1 Recorrido: Sesión especialista

1. Debe ingresar la clave 301116 y oprimir el botón continuar.

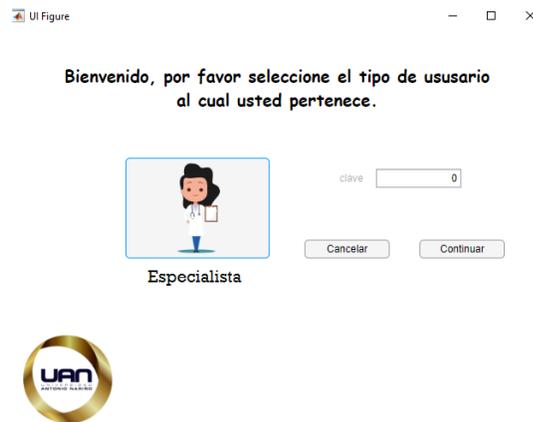


Figura 43: Primera ventana sesión especialista. Autoría propia

2. Posteriormente aparecerá la siguiente ventana, donde usted debe digitar la identificación del paciente y presionar continuar.



Figura 44: Segunda ventana sesión especialista. Autoría propia

3. Aparecerá esta ventana, en ella usted vera el nombre, la identificación y la fecha de ultima conexión del paciente esta da indicaciones sobre la adherencia de la persona a los procesos de rehabilitación ya que al hacer su conexión automática y tener un video de la persona realizando el ejercicio se puede inferir que la persona acepto la forma de prestación del servicio. En esta ventana usted podrá realizar diferentes acciones como ver las últimas encuestas realizadas por el paciente , ver video que realizo el paciente , asignar uno de los 6 videos, dar recomendaciones al paciente como por ejemplo la ropa que debe usar y la iluminación del lugar , dar recomendaciones para el ejercicio como el número de repeticiones y realizar un diagnóstico apoyado en la interpretación biomecánica del video en el software Kinovea y la interpretación de los frames en el software Imagej.



Figura 45: Tercera ventana sesión especialista. Autoría propia

- Si selecciona ver encuestas podrá ver los valores de las últimas cuatro encuestas de salud mental contestadas por el paciente.



Figura 46: Cuarta ventana sesión especialista. Autoría propia

- Si selecciona ver video, podrá ver el último video realizado por el paciente y abrir los softwares Imagej y kinovea para poder realizar las mediciones e interpretaciones biomecánicas necesarias. Una vez usted seleccione la opción ver video, la figura representativa de la sesión de usuario se borrará y comenzará en su lugar la reproducción del video que realizó el paciente.



Figura 47: Quinta ventana sesión especialista. Autoría propia

- Si elige la opción seleccionar video vera la siguiente pantalla



Figura 48: Sexta ventana sesión especialista. Autoría propia

En ella tendrá seis opciones diferentes de video para asignar al paciente y una vez lo seleccione la imagen representativa de la sesión del paciente se borrará y comenzará la reproducción del video esto con el fin de que usted este seguro que este es el video que desea asignarle a su paciente. Debe oprimir seleccionar y una vez lo haga, esta ventana se cerrará automáticamente y dará lugar a la siguiente ventana.



Figura 49: Sexta ventana sesión especialista, selección de video . Autoría propia

7. En la opción recomendaciones al paciente usted podrá escribir las recomendaciones que considere necesarias, por ejemplo, recomendaciones respecto a a la iluminación del lugar y ropa que debe usar el paciente. Debajo de donde usted escribe se muestra lo que está escribiendo para tener la realimentación visual de lo que usted quiere decir. No olvide oprimir guardar.



Figura 50: Séptima ventana sesión especialista. Autoría propia

8. Para la opción recomendaciones para el ejercicio, usted podrá escribir las recomendaciones necesarias para el ejercicio como lo son las series y número de repeticiones, debajo de donde usted escribe se muestra lo que está escribiendo para tener la realimentación visual de lo que usted quiere decir. No olvide oprimir guardar, una vez lo haga se abrirá automáticamente la siguiente ventana.

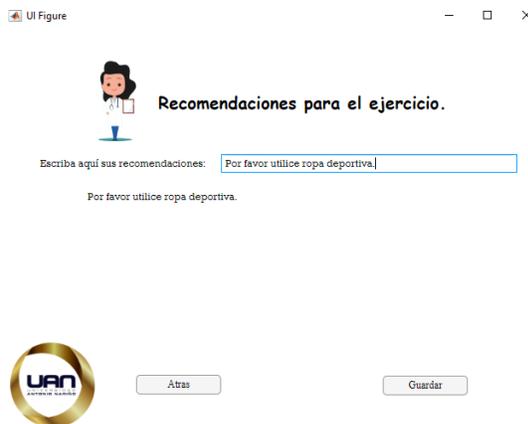


Figura 51: Séptima ventana sesión especialista. Autoría propia

9. La última opción es realizar el diagnóstico. En esta opción usted podrá escribir las observaciones necesarias para el diagnóstico que encontró una vez realizo las interpretaciones en el software Kinovea y el software ImageJ. Este diagnóstico puede incluir la información que usted crea pertinente. No olvide oprimir guardar.

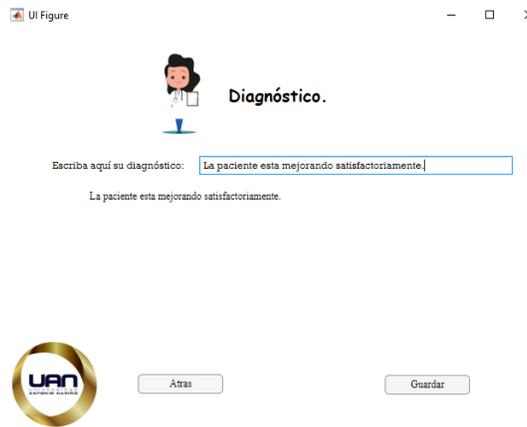


Figura 52: Octava ventana sesión especialista. Autoría propia

### 4.3.2 Recorrido: Sesión usuario.

1. Debe seleccionar una de las dos opciones. Si es la primera vez que va a usar la interfaz debe seleccionar registrarse.



Figura 53: Primera ventana sesión usuario. Autoría propia

2. En la ventana de registrarse, usted debe digitar sus datos una sola vez, si se intenta guardar el mismo paciente 2 veces no será permitido y aparecerá un mensaje de

error. No olvide oprimir guardar, una vez lo haga le saldrá la opción salir. Después debe esperar a que su especialista le asigne una rutina.



The screenshot shows a registration window titled "Bienvenido, por favor regístrese." with a cartoon character icon. The form includes fields for "Nombre:" (Nicole Daniela F), "Edad:" (23), "Género:" (Femenino), and "Identificación:" (1015468693). A note below the fields reads: "Por favor regístrese UNA vez y presione salir para que su especialista pueda asignarle la rutina. No olvide oprimir Guardar." At the bottom, there is a "UAN" logo and two buttons: "Limpiar" and "Guardar".

Figura 54: Segunda ventana sesión usuario. Autoría propia

3. Si elige la opción ya tengo una cuenta, aparecerá la siguiente ventana en donde debe digitar su identificación y posteriormente oprimir continuar.



The screenshot shows a login window titled "Iniciar sesión" with a cartoon character icon. The form includes a field for "Identificación:" (1015468693). At the bottom, there is a "UAN" logo and two buttons: "Atrás" and "Continuar".

Figura 55: Tercera ventana sesión usuario. Autoría propia

4. Después usted debe realizar una encuesta de salud mental de 3 sencillas preguntas en una escala de 1 a 10 donde 1 es mal y 10 es excelente. No olvide oprimir guardar.

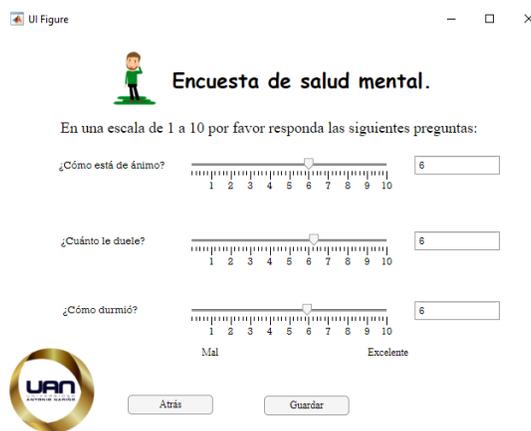


Figura 56: Cuarta ventana sesión usuario. Autoría propia

5. En la siguiente ventana usted podrá revisar la rutina. podrá ver el Diagnostico que realizó el especialista, ver el video asignado y comenzar a registrar video. No podrá registrar video si no observa completamente el video asignado, es decir que no aparecerá la opción de registrar video si el video asignado no se ha terminado.

Si elige ver diagnóstico usted vera la siguiente ventana y en la parte derecha de la misma verá el diagnostico de su especialista.



Figura 57: Quinta ventana sesión usuario, diagnóstico . Autoría propia

Si elige ver video a realizar, verá la siguiente ventana donde comenzará la reproducción del video asignado y hasta que el video no termine usted no podrá avanzar. Se recomienda que tome nota de los ejercicios observados para que los pueda realizar fácilmente después.



Figura 58: Quinta ventana Ver video a realizar, diagnóstico . Autoría propia

Apenas se termine de reproducir el video se mostrará la opción de iniciar la sesión de ejercicios. Si da clic en esa opción, vera la siguiente ventana.

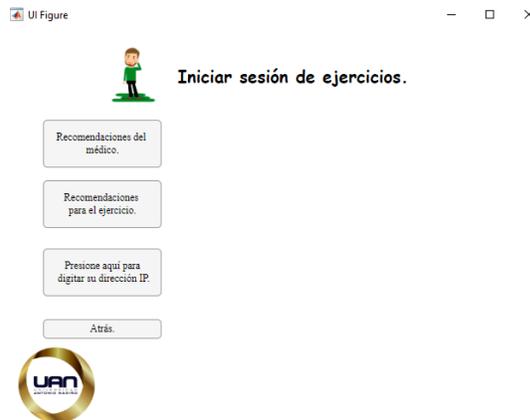


Figura 59: Quinta ventana, iniciar sesión de ejercicios sesión usuario. Autoría propia

6. Si elige la opción Recomendaciones del médico vera que en la parte derecha de la ventana aparece su nombre e identificación y más abajo las recomendaciones que le dio su médico.

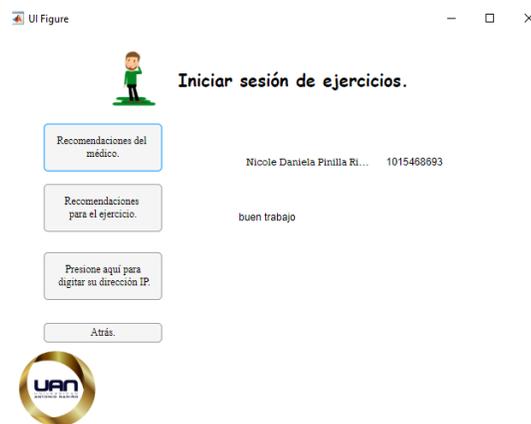


Figura 60: Sexta ventana sesión usuario. Autoría propia

7. Si elige la opción recomendaciones para el ejercicio vera que en la parte derecha están las indicaciones que le dio su médico para la correcta realización del ejercicio.



Figura 61: Séptima ventana sesión usuario. Autoría propia

8. En la opción presione aquí para digitar su dirección IP usted vera la siguiente ventana. Recuerde que para poder grabar debe tener descargado en su dispositivo móvil la aplicación Droidcam y esta le muestra la dirección IP de su SmartPhone. La opción probar cámara le permite ver en qué posición quedará registrado su video y de esta manera usted puede por ejemplo cambiar su ubicación a una con mejor iluminación o colocar la cámara trasera o frontal de su celular. Una vez este seguro de que la posición del celular es correcta y grabará un buen video puede oprimir "Comience a registrar video", es en este momento que usted debe realizar los ejercicios propuestos. Inmediatamente oprima "Comience a registrar video" la aplicación droidcam se activará y comenzará a grabar. El tiempo determinado de grabación es estándar es decir que si usted no terminó la sesión de ejercicios no

puede hacerla de nuevo, o si por el contrario le sobró tiempo debe esperar a que este se acabe, esto debido a que apenas el celular deje de registrar el video, aparecerá una nueva ventana. Un aspecto importante a tener en cuenta es que el video se guarda automáticamente y además se corta en frames también de forma automática,



Figura 62: Octava ventana sesión usuario. Autoría propia

- Después de realizado el video, es decir la sesión de ejercicios. Aparecerá una segunda encuesta de salud mental que usted debe contestar y después de eso su sesión habrá terminado. No olvide oprimir guardar, una vez lo haga la interfaz irá a la primera ventana.

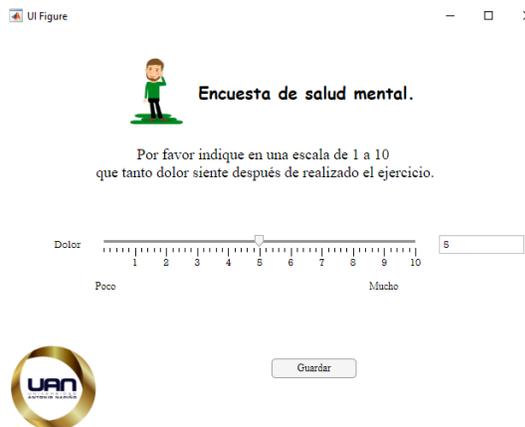


Figura 63: Novena ventana sesión usuario. Autoría propia

Los videos registrados por el paciente se guardan en una misma carpeta, pero con su nombre, como se muestra en la figura 64.



Figure 64: Videos registrados de los pacientes. Autoría propia.

Además, en la misma carpeta se guardan los frames del video realizado, también con el nombre del paciente, como se muestra en la figura 65.



Figure 65: Cortes en frames de los videos realizados por el paciente. Autoría propia.

## 4.4 Validación – Usabilidad

Para la validación de la interfaz se utilizó el recurso de las encuestas de usabilidad, las cuales permiten evaluar el desempeño de la herramienta e identificar las oportunidades de mejora (Ver tabla 2).

### Voluntarias mujeres:

1. La primera participante uso la interfaz y realizó la encuesta de usabilidad y acorde a sus respuestas se obtuvo un nivel de 82,5 lo que indica que para ella la interfaz estuvo bien.
2. La segunda participante uso la interfaz y realizó la encuesta de usabilidad y acorde a sus respuestas se obtuvo un nivel de 70 lo que indica que para ella la interfaz estuvo bien, pero puede mejorar especialmente en la parte de la velocidad.

3. La tercera participante uso la interfaz y realizó la encuesta de usabilidad y acorde a sus respuestas se obtuvo un nivel de 87,5 lo que indica que para ella la interfaz estuvo bien, pero puede mejorar colocando un temporizador que avise cuando comienza el celular a grabar.
4. La cuarta participante uso la interfaz y realizo la encuesta de usabilidad y acorde a sus respuestas se obtuvo un nivel de 87,5 lo que indica que para ella la interfaz estuvo bien, pero puede mejorar la velocidad en la que se ve el video.
5. La quinta participante en hacer uso de la interfaz fue la fisioterapeuta quien obtuvo un nivel de 92,5 lo que indica que ella usaría la interfaz en su trabajo ya que ayudaría a realizar los diferentes tipos de rehabilitación en especial en situaciones como la actual pandemia, sin embargo dio recomendaciones respecto a que el especialista deber tener una opción para recomendar un ejercicio diferente a los videos ya que existen muchas lesiones que comprometen la amplitud articular de la rodilla y el especialista evalúa la situación de acuerdo a diversos factores.

**Voluntarios hombres:**

1. El primer participante uso la interfaz, realizó la encuesta de usabilidad y obtuvo un nivel de 97,5 lo que indica que para el uso de la interfaz fue muy sencillo y cumpliría con su propósito, sin embargo, dio recomendaciones basadas en mejorar la rapidez tanto de la interfaz como de los videos.
2. El segundo participante después de usar la interfaz realizo la encuesta de usabilidad y obtuvo un nivel de 52,5 lo que indica que el no usaría la interfaz ya que le pareció aburrida y poco necesaria.
3. El tercer participante uso la interfaz y posteriormente realizo la encuesta obteniendo así un valor de 75 le pareció que era complicado realizar los ejercicios después de ver el video, para él se debería ver el video y al tiempo realizar los ejercicios.

4. El participante número cuatro obtuvo un valor de 75 y le pareció buena la interfaz, pero manifestó que alguien debía ayudarlo en su uso.
5. El último participante después de usar la interfaz y realizar la encuesta obtuvo un valor de 90 lo que indica que usaría la interfaz de forma frecuente.

Se realiza un promedio de todos los valores obtenidos y da como resultado un valor de 78,8 que indica que la interfaz está calificada en promedio por el usuario como buena casi excelente.

Se presentan las estadísticas obtenidas de la encuesta de usabilidad. Para el análisis de significancia de las respuestas se utilizó el siguiente criterio: 1 es completamente en desacuerdo y 5 completamente de acuerdo:

1. Por favor indique si es especialista o usuario.

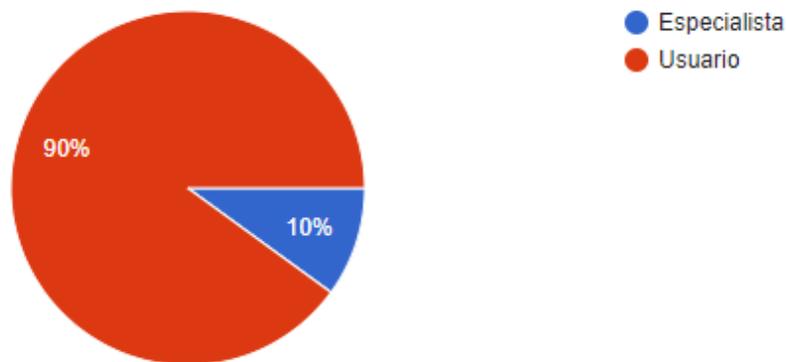


Figura 66: Gráfica de la pregunta uno. Autoría propia

2. Creo que usaría esta interfaz de forma frecuente.

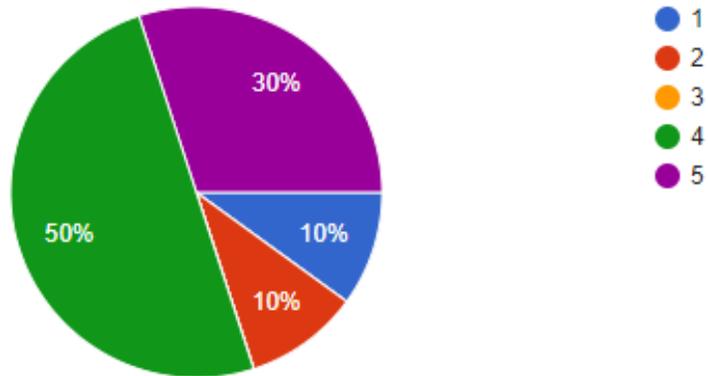


Figura 67: Gráfica de la pregunta dos. Autoría propia

3. Encontré la interfaz demasiado compleja

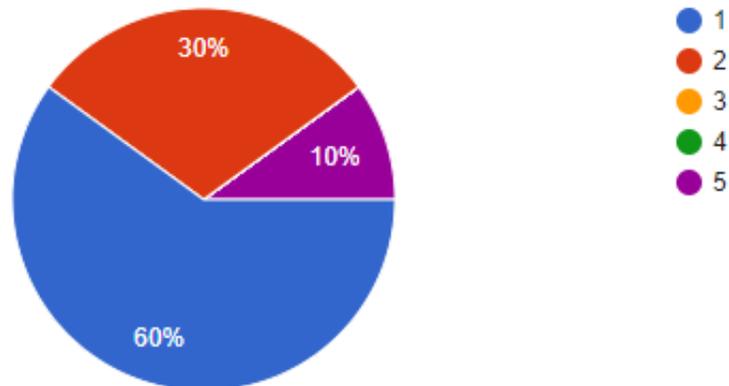


Figura 68: Gráfica de la pregunta tres. Autoría propia

4. Pensé que la interfaz sería fácil de utilizar.

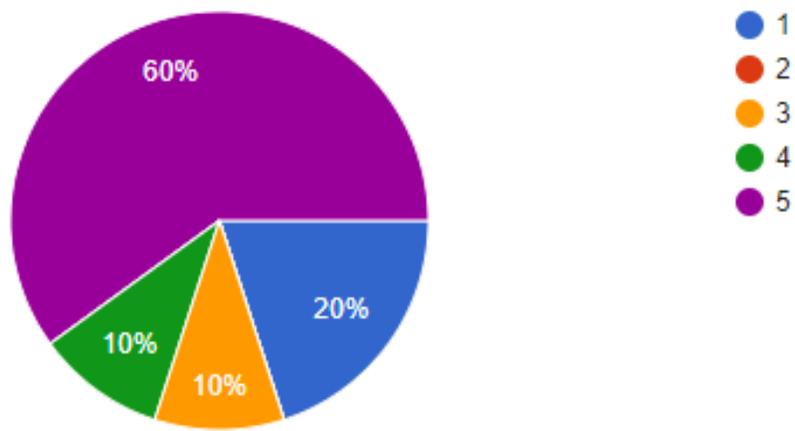


Figura 69: Gráfica de la pregunta cuatro. Autoría propia

5. Creo que necesitaría el apoyo de un profesional para hacer uso de la interfaz.

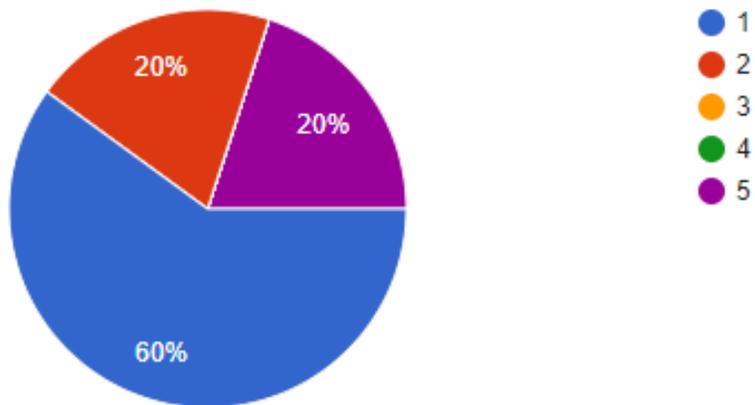


Figura 70: Gráfica de la pregunta cinco. Autoría propia

6. Encontré que las funciones del sistema están integradas adecuadamente.

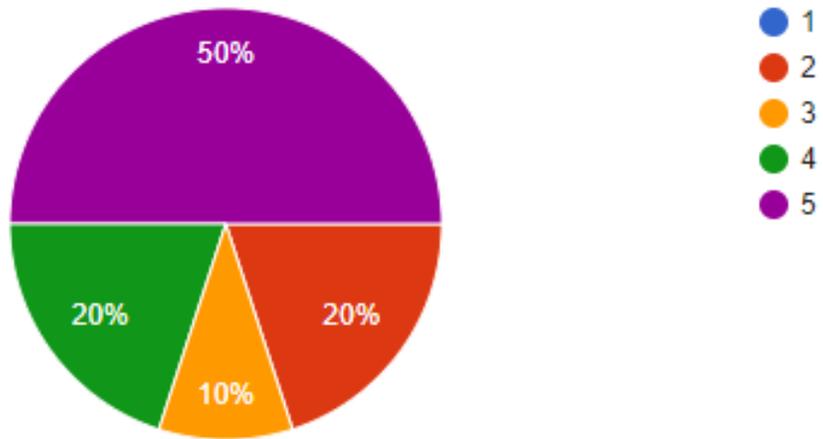


Figura 71: Gráfica de la pregunta seis. Autoría propia

7. Creo que hay mucha inconsistencia en la interfaz.

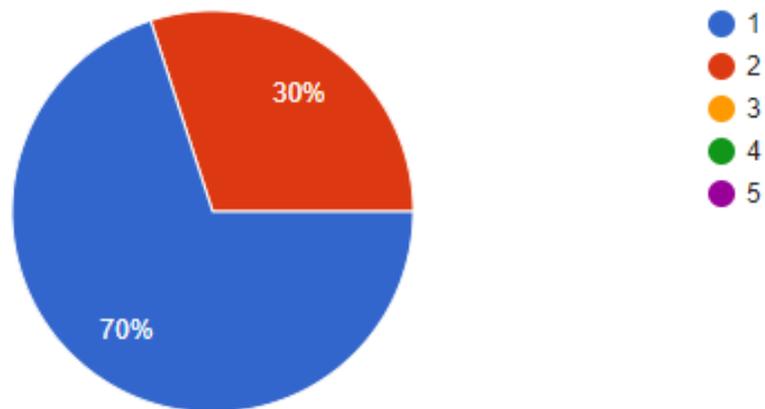


Figura 72: Gráfica de la pregunta Siete. Autoría propia

8. La mayoría de las personas aprenderían a utilizar esta interfaz rápidamente.

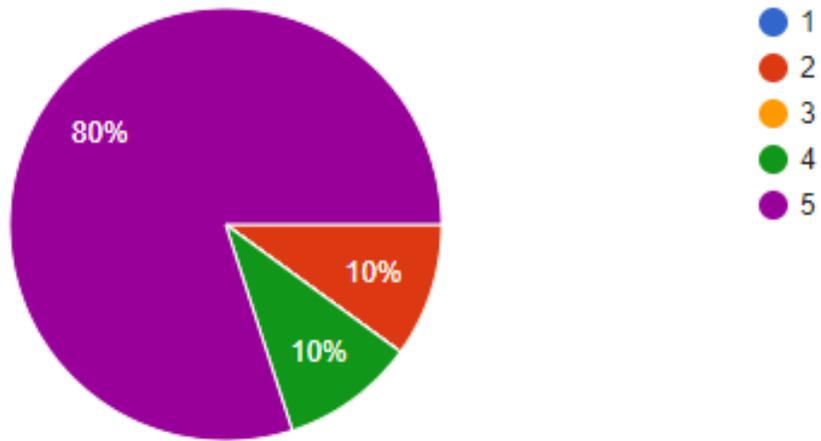


Figura 73: Gráfica de la pregunta ocho. Autoría propia

9. El uso de la interfaz es muy confuso.

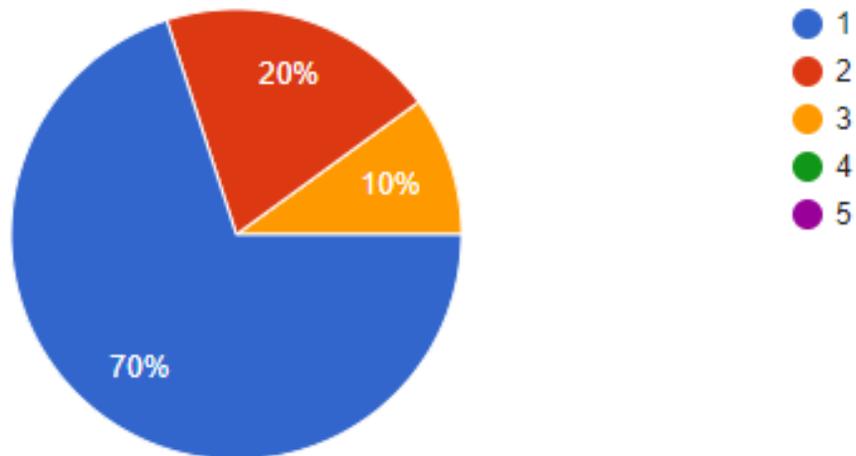


Figura 74: Gráfica de la pregunta nueve. Autoría propia

10. Me sentí muy confiado(a) con el uso de la interfaz.

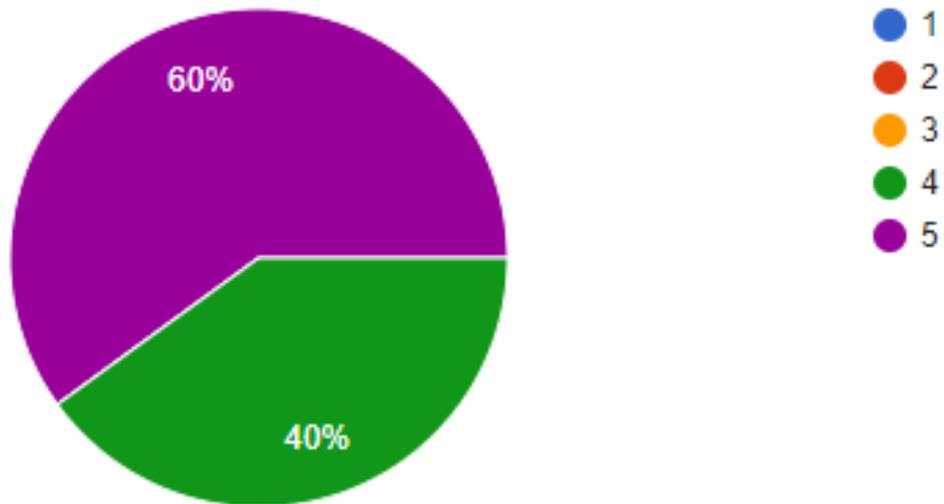


Figura 75: Gráfica de la pregunta diez. Autoría propia

11. Necesito aprender muchas cosas antes de usar la interfaz de manera adecuada.

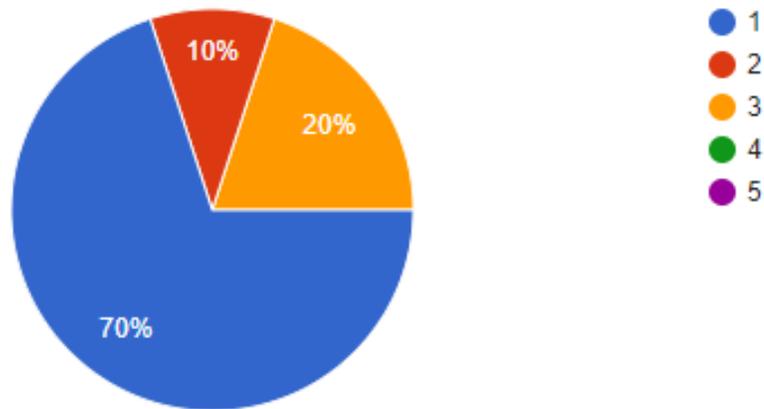


Figura 76: Gráfica de la pregunta once. Autoría propia

Se pudo determinar que la interfaz fue más fácil de usar para las personas menores de 30 años, los entrevistados que eran mayores de esta edad tuvieron problemas con la interfaz especialmente porque no sabían usar bien el computador. Sin embargo, se puede determinar que casi todas las personas encontraron que la interfaz era una buena forma de realizar ejercicios de rehabilitación y que además también la usarían de forma frecuente.

## 4.5 Análisis de resultados y discusión

Con los resultados obtenidos en las encuestas se puede determinar que la interfaz cumple con el propósito para la cual fue creada que es: Construir una interfaz de telemonitoreo que apoye a la rehabilitación de la amplitud articular de la articulación de la rodilla. Los especialistas pueden apoyarse de ella y así cumplir a cabalidad su trabajo y llegar a más personas que lo necesiten. La interfaz fue realizada en el entorno de desarrollo de Matlab y App designer de Matlab lo que ayudó a que fuera de fácil comprensión para el usuario final.

Aunque hubo un error en la velocidad de ejecución de la interfaz esto no afectó directamente la confiabilidad de los resultados y se infiere que la velocidad está relacionada a dos factores: La capacidad del computador y a que Matlab es un Software pesado lo que entorpece los procesos. Además, al ser una herramienta manejada por computador se notó que las personas mayores tuvieron cierta dificultad en el uso de la misma, sin embargo, pudieron terminar satisfactoriamente su proceso de registro y realización de rutina de ejercicios.

La herramienta guarda los videos que posteriormente pueden ser analizados por profesionales de la salud utilizando el software Kinovea, pero además de esto automáticamente los corta en frames lo que hace que también se puedan analizar estas imágenes en el software Kinovea. Ambos softwares son de uso libre y se pueden abrir directamente desde la interfaz por medio de dos botones que están en la sesión de especialista donde él puede comenzar a analizar la realización del ejercicio por parte del usuario y así posteriormente darle un diagnóstico y recomendaciones tanto para el paciente como para el ejercicio de la siguiente sesión. El especialista da indicaciones claras para el paciente y para el ejercicio, por ejemplo, en las indicaciones para el paciente le puede decir que realice los ejercicios en un lugar iluminado, que utilice ropa deportiva, y demás indicaciones pertinentes. Esto junto con la opción de “Probar cámara” de la sesión del paciente infieren que el video que se obtendrá será de calidad y servirá para la realización de las mediciones cinemáticas. El paciente puede hacer uso de la opción “probar cámara” cuantas veces sea necesario para que el mismo determine si la ubicación tanto de la cámara como de la persona es correcta y garantiza una buena adquisición del

movimiento en el video, siguiendo las recomendaciones tanto de su especialista como del video que este le asignó.

La normatividad colombiana relacionada a la implementación de aplicaciones de telemonitoreo en el marco de la telesalud está dada por las leyes de protección de datos personales (ley 527 de 1999, ley 1266 de 2008, ley 1581 de 2012, ley 1712 de 2014 y el decreto 1277 de 2013) por el momento la interfaz no cumple con los requerimientos de protección de datos de los usuarios, sin embargo, esta etapa será incluida en un futuro desarrollo de la plataforma.

## 5. Capítulo 5 – Conclusiones y Trabajos Futuros

### 5.1 Conclusiones

- Ayuda a los Fisioterapeutas en la realización de su trabajo ya que ellos tienen la opción de estimar parámetros biomecánicos con los Software Kinovea e Imagej. Sin embargo, la interfaz no llega a reemplazar al especialista sino se vuelve un apoyo en el telemonitoreo de las terapias de rehabilitación necesarias para rehabilitar correctamente la amplitud articular en la articulación tibiofemoral.
- Se realizó una interfaz útil tanto para pacientes como para fisioterapeutas en la cual se pueden dar indicaciones de realización de ejercicios y eventualmente realizarlos para así tener una comunicación asíncrona entre los dos involucrados (Especialista, paciente).
- Gracias a la validación realizada en los voluntarios que tuvieron acceso a un consentimiento informado y una encuesta de usabilidad se pudo determinar que la interfaz es una oportunidad importante de adquirir y utilizar diferentes herramientas que utilicen las TIC para el bien del ser humano.
- Es indispensable que la tecnología se adapte a las personas, por ejemplo, en la realización de este proyecto las personas que tuvieron mayor dificultad fueron las personas mayores ya que no sabían cómo hacer uso adecuado de todas las funciones del computador ni del celular.
- Para realizar una correcta adquisición de los datos es necesario contar con un computador, un celular inteligente (Smartphone) que tenga descargada la aplicación Droidcam y debe ser indispensable que ambos dispositivos estén conectados a una misma red Wifi.

## 5.2 Trabajos futuros.

- Aplicar o desarrollar herramientas que permitan garantizar que se cumplan todas las leyes referentes a la protección de datos personales, y las leyes de uso y realización de Telemedicina en Colombia.
- Verificar que el paciente cuente con una conexión de red, un computador y un celular inteligente.
- La base de datos debe guardar toda la información de la persona, como una historia clínica. En este momento solo guarda la información de la última sesión realizada por el paciente.
- Realizar validaciones en campo, con especialistas y con pacientes reales.
- Realizar las mediciones que se pueden hacer en los softwares Kinovea e ImageJ directamente en la interfaz, es decir que no se deba hacer uso de programas externos.
- Identificar un nuevo software o lenguaje de programación que permita desarrollar una herramienta apta para dispositivos móviles tipo Android e IOS.
- Almacenamiento en la nube.

## Bibliografía

- [1] G. J. Tortora and B. Derrickson, "Principios de anatomía e fisiología," *Editorial panamericana*, 2016.  
<https://www.medicapanamericana.com/materialesComplementarios/TortoraOld/TortoraOld.aspx> (accessed Oct. 07, 2020).
- [2] glosarios@servidor-alicante.com, "Amplitud articular (Educación física)," *glosarios@servidor-alicante.com*, Aug. 2015, Accessed: Oct. 31, 2020. [Online]. Available: <https://glosarios.servidor-alicante.com/educacion-fisica/amplitud-articular>.
- [3] ACHC, "Edición 118: Una mirada a la telemedicina en Colombia | ACHC | Hospitalaria," *Asociación Colombiana de hospitales y clínicas.*, 20018.  
<https://achc.org.co/hospitalaria/revista/edicion-118-una-mirada-la-telemedicina-en-colombia.html> (accessed Oct. 20, 2020).
- [4] F. Cabana, C. Pagé, A. Svoetelis, S. Langlois-Michaud, and M. Tousignant, "Is an in-home telerehabilitation program for people with proximal humerus fracture as effective as a conventional face-to face rehabilitation program? A study protocol for a noninferiority randomized clinical trial," *BMC Sports Sci. Med. Rehabil.*, vol. 8, no. 1, p. 27, Feb. 2016, doi: 10.1186/s13102-016-0051-z.
- [5] J. A. G. Pereáñez, D. A. G. Arango, C. F. H. Villa, J. A. S. Aguirre, L. F. G. Giraldo, and M. A. M. Cardona, "Situations about telemedicine in Colombia: Between the legal and the legitimate: Telemedicine in Colombia," in *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, Jun. 2019, vol. 2019-June, pp. 1–7, doi: 10.23919/CISTI.2019.8760717.
- [6] S. Eichler *et al.*, "Effectiveness of an interactive telerehabilitation system with home-based exercise training in patients after total hip or knee replacement: Study protocol for a multicenter, superiority, no-blinded randomized controlled trial," *Trials*, vol. 18, no. 1, p. 438, Sep. 2017, doi: 10.1186/s13063-017-2173-3.
- [7] N. C. Campling, D. G. Pitts, P. V. Knight, and R. Aspinall, "A qualitative analysis of the effectiveness of telehealthcare devices (i) are they meeting the needs of end-users?," *BMC Health Serv. Res.*, vol. 17, no. 1, p. 455, Jul. 2017, doi: 10.1186/s12913-017-2408-8.
- [8] F. De Ciencias De La Salud and C. Roldán Jiménez, "Estudio de la cinemática del miembro superior e inferior mediante sensores inerciales," *UMA Editorial*, Dec. 2017. Accessed: Oct. 20, 2020. [Online]. Available: <http://orcid.org/0000-0002-7355-9740>.
- [9] K. E. M. Harmelink, A. V. C. M. Zeegers, T. M. Tönis, W. Hullegie, M. W. G. Nijhuis-Van Der Sanden, and J. B. Staal, "The effectiveness of the use of a digital activity coaching system in addition to a two-week home-based exercise program in patients after total knee arthroplasty: Study protocol for a randomized controlled trial," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 18, no. 1, p. 290, Jul. 2017, doi: 10.1186/s12891-017-1647-5.

- [10] Andrea Montoya Montoya and Diana Carolina Orejuela, "INTERFAZ DE APOYO PARA LA REHABILITACIÓN FÍSICA DE PERSONAS CON OSTEOARTROSIS DE RODILLA POR OBESIDAD EN UN SISTEMA INTEGRAL PARA UNA CONTINUIDAD DEL TRATAMIENTO," *Facultad de ingenierías, departamento de diseño*, Nov. 2013.  
[https://repository.icesi.edu.co/biblioteca\\_digital/bitstream/10906/76633/1/vita\\_interfaz\\_apoyo.pdf](https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76633/1/vita_interfaz_apoyo.pdf) (accessed Nov. 21, 2020).
- [11] "aplicación móvil | Revista Pesquisa Javeriana."  
<https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/tag/aplicacion-movil/> (accessed Nov. 21, 2020).
- [12] "DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEMONITORIZACIÓN EN EL CAP DEL CORREGIMIENTO DE LA BOQUILLA QUE PERMITA CONTROLAR Y DIAGNOSTICAR A PACIENTES CON HIPERTENSION ARTERIAL."  
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/2521/33102531.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed Nov. 21, 2020).
- [13] Ministerio de salud y protección social, "Resolucion 3100," 2019.  
<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-3100-de-2019.pdf> (accessed Oct. 20, 2020).
- [14] Ministerio de salud, "resolución 2654 de 2019," *Ministerio de salud*, 2019.  
[https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/Resolución No. 2654 del 2019.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/Resolución No. 2654 del 2019.pdf) (accessed Oct. 20, 2020).
- [15] I. Sañudo, "Sumario 1. La rodilla en movimiento," 2013. Accessed: Oct. 31, 2020. [Online]. Available: <http://www.tecnicadecarrera.com/biomecanica-de-rodilla/>.
- [16] E. B. Nafarrete and M. P. García, "Lesiones multiligamentarias de rodilla," 2009. Accessed: Oct. 31, 2020. [Online]. Available: [www.medigraphic.com](http://www.medigraphic.com).
- [17] D. Colombia, "Población rural (% de la población total) - Colombia | Data," 2016.  
<https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=CO> (accessed Oct. 31, 2020).
- [18] F. Bordils and M. Chavarría, "Monográfico: Radiología Digital 54," *radiología digital*, 2010. <http://www.conganat.org/SEIS/is/is45/> (accessed Oct. 21, 2020).
- [19] H. Hislop, "Pruebas Funcionales Musculares Daniels 6a Edicion."  
<https://es.slideshare.net/AlbertSlasher/pruebas-musculares-daniels> (accessed Oct. 20, 2020).
- [20] "Fisiología médica. Un enfoque por aparatos y sistemas | AccessMedicina | McGraw-Hill Medical."  
<https://accessmedicina.mhmedical.com/book.aspx?bookid=1501> (accessed Oct. 20, 2020).
- [21] W. Bautista-Molano *et al.*, "Perfil epidemiológico de pacientes colombianos con artritis reumatoide evaluados en una clínica especializada de atención integral," *Reumatol. Clin.*, vol. 12, no. 6, pp. 313–318, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.reuma.2015.11.009.

- [22] ortopedia y traumatología Sociedad Colombiana de cirugía, “Rodilla,” SCCOT, 2016. <http://www.sccot.org.co/index.php/2013-09-16-20-49-22/miembro-inferior/rodilla> (accessed Oct. 21, 2020).
- [23] “Rehabilitación. Ejercicios de fuerza de rodilla Nivel I - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=MG74tn2BZ14> (accessed Oct. 23, 2020).
- [24] “Rehabilitación. Ejercicios de fuerza de rodilla Nivel II OPCIÓN B - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=tJnrMptE-2A&t=2s> (accessed Oct. 23, 2020).
- [25] “Rehabilitación. Ejercicios de movilidad de rodilla Nivel I - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=x0rU6ncGb3Q> (accessed Oct. 23, 2020).
- [26] “Rehabilitación. Ejercicios de movilidad rodilla Nivel II - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=FFxxw3tzCyw> (accessed Oct. 23, 2020).
- [27] “Rehabilitación. Propioceptivos de rodilla Nivel I - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=-eVN7u1JH94> (accessed Oct. 23, 2020).
- [28] “Rehabilitación. Propioceptivos de rodilla Nivel II - YouTube.” <https://www.youtube.com/watch?v=A8p87tT-Nxw> (accessed Oct. 23, 2020).
- [29] Ministerio de salud y protección social, “Telemedicina,” *ministerio de salud*, 2014. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PSA/TELESA LUD PARA LINEA DE BASE NOV 19 DE 2014.pdf> (accessed Oct. 30, 2020).
- [30] J. M. Roig-Fusté, “La informática aplicada a la psicología,” *La informática aplicada a la psicología*, May 17, 2019. 10.2307/j.ctvh1dnhh (accessed Oct. 20, 2020).
- [31] B. Osorno, S. Cogollo, and A. Casas, “Sistema de detección, registro y telemonitoreo de arritmias cardíacas Artemisa medigraphic en línea,” 2008. Accessed: Oct. 20, 2020. [Online]. Available: [www.medigraphic.com](http://www.medigraphic.com).
- [32] Mintic, “Nuevo marco reglamentario para la telesalud en colombia.” <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/OT/nuevo-marco-reglamentario-para-la-telesalud-en-colombia-18122019.pdf> (accessed Nov. 20, 2020).
- [33] J. Barros, “Tamaño de imagen, resolución y dimensiones | Jota Barros,” 2016. <https://jotabarros.com/aprende-fotografia-tamano-imagen-resolucion-tamano-fisico/> (accessed Oct. 20, 2020).
- [34] P. Marcos Plaza, “USO DE LOS SMARTPHONES EN LOS LABORATORIOS DE PRÁCTICAS DE FÍSICA,” 2017. Accessed: Oct. 20, 2020. [Online]. Available: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/23982>.
- [35] D. Vilte, V. Saldaño, G. Gaetán, and A. E. Martin, “Identificando barreras en la interacción con facebook: una experiencia con adultos mayores de la Patagonia Austral,” *Inf. Científicos Técnicos - UNPA*, vol. 7, no. 2, pp. 249–268, Sep. 2015, doi: 10.22305/ict-unpa.v7i2.135.
- [36] A. S. for P. Affairs, “System Usability Scale (SUS),” Sep. 06, 2013. <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>

- (accessed Oct. 24, 2020).
- [37] N. Thomas, "Cómo utilizar la escala de usabilidad del sistema (SUS) para evaluar la usabilidad de su sitio web - Usabilidad Geek." <https://usabilitygeek.com/how-to-use-the-system-usability-scale-sus-to-evaluate-the-usability-of-your-website/> (accessed Oct. 24, 2020).
- [38] "Tutorial de Matlab," *udlap*. [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lep/garcia\\_b\\_s/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/garcia_b_s/capitulo2.pdf) (accessed Oct. 24, 2020).
- [39] Mathworks, "MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico - MATLAB & Simulink," *Mathworks*. <https://la.mathworks.com/products/matlab.html> (accessed Oct. 24, 2020).
- [40] "Logotipo, Ingeniería De Control, Matlab imagen png - imagen transparente descarga gratuita." <https://www.freepng.es/png-eyidc3/> (accessed Oct. 24, 2020).
- [41] J. Aracil and F. Gomez, "Matlab." [http://www.esi2.us.es/~fabio/apuntes\\_matlab.pdf](http://www.esi2.us.es/~fabio/apuntes_matlab.pdf) (accessed Oct. 24, 2020).
- [42] "DroidCam - "https://www.dev47apps.com/ "(accessed Oct. 24, 2020).
- [43] Pérez Julián and Gardey Ana, "Definición de software - Qué es, Significado y Concepto," 2008. <https://definicion.de/software/> (accessed Nov. 20, 2020).
- [44] "Kinovea." <https://www.kinovea.org/> (accessed Oct. 24, 2020).
- [45] "ImageJ." <https://imagej.nih.gov/ij/> (accessed Oct. 24, 2020).
- [46] M. de Salud, "Resolucion 8430 de 1993," *ministerio de salud*, 1993. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF> (accessed Oct. 24, 2020).
- [47] A. médica Mundial, "Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial," *Asociación médica mundial*, 1989. <https://www.wma.net/es/policies-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/> (accessed Oct. 24, 2020).
- [48] Medline, "Evaluación de salud mental: Prueba de laboratorio de MedlinePlus." <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/evaluacion-de-salud-mental/> (accessed Nov. 21, 2020).
- [49] E. Versión, "IESM-OMS VERSIÓN 2.1 INSTRUMENTO DE EVALUACIÓN PARA SISTEMAS DE SALUD MENTAL ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD FEBRERO 2005 NO DEBE SER CITADO NI DIVULGADO SIN AUTORIZACIÓN," 2005. Accessed: Nov. 21, 2020. [Online]. Available: [https://www.who.int/mental\\_health/evidence/WHOAIMS\\_Spanish.pdf?ua=1](https://www.who.int/mental_health/evidence/WHOAIMS_Spanish.pdf?ua=1).
- [50] "Cómo evaluar el estado mental - Trastornos neurológicos - Manual MSD versión para profesionales." <https://www.msdmanuals.com/es/professional/trastornos-neurológicos/examen-neurológico/cómo-evaluar-el-estado-mental> (accessed Nov. 21, 2020).

