

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería de Sistemas

Puesta a prueba de un esquema de teleconsulta con la implementación de videoconferencia confiable


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas

Autor:

Juan Gustavo Moyano Dután

Director:

Carlos Villie Morocho Zurita

ORCID:  0000-0002-8196-2644

Cuenca, Ecuador

2025-09-24

Resumen

Esta tesis se centra en el desarrollo y evaluación de un software seguro de videoconferencia integrado en un sistema de telemedicina, diseñado para facilitar consultas médicas remotas. El software cumple con los estándares HIPAA y utiliza tecnologías WebRTC y Next.js, siguiendo la metodología Agile Secure FDD para un desarrollo impulsado por características con medidas de seguridad mejoradas. La metodología de investigación incluye una revisión exhaustiva de la literatura de trabajos relacionados en e-salud. La investigación empírica, sobre el uso del software desarrollado, involucró la evaluación de las percepciones de los usuarios aplicando la metodología TAM a través de cuestionarios estructurados con análisis estadísticos y la aplicación de la evaluación basado en la herramienta de soporte de la OMS. Los hallazgos clave indican que los usuarios perciben el software como altamente útil y mantienen actitudes positivas hacia él, al mismo tiempo que sugieren áreas de mejora en la facilidad de uso. Además, esta tesis integra dos trabajos previos de INNTRATEC, uno de Identidad Digital y otro de integración e interoperabilidad de historias clínicas electrónicas con FHIR. Los experimentos prácticos utilizaron comunicación satelital STARLINK y un pulsioxímetro para mejorar las capacidades de monitoreo remoto en escenarios médicos del mundo real, confirmando la estabilidad, seguridad y eficiencia del software. La tesis concluye con recomendaciones para mejorar la interfaz de usuario, fortalecer la educación del usuario y mejorar continuamente las medidas de seguridad. El trabajo futuro propone la integración de dispositivos médicos adicionales, mejorar las capacidades de almacenamiento y análisis de datos.

Palabras clave del autor: telemedicina, seguridad digital, software web, acceso remoto, interoperabilidad



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

This thesis focuses on the development and evaluation of secure videoconferencing software integrated into a telemedicine system designed to facilitate remote medical consultations. The software complies with HIPAA standards and utilizes WebRTC and Next.js technologies, following the Agile Secure FDD methodology for feature-driven development with enhanced security measures. The research methodology includes a comprehensive review of related literature in e-health. The empirical study on the developed software involved evaluating user perceptions using the TAM methodology through structured questionnaires with statistical analysis and applying the evaluation framework based on the WHO support tool. Key findings indicate that users perceive the software as highly useful and maintain positive attitudes towards it, while also suggesting areas for improvement in ease of use. Additionally, this thesis integrates two previous works by INNTRATEC: one on Digital Identity and another on the integration and interoperability of electronic health records (EHR) using FHIR. Practical experiments included the use of STARLINK satellite communication and a pulse oximeter to enhance remote monitoring capabilities in real-world medical scenarios, confirming the stability, security, and efficiency of the software. The thesis concludes with recommendations to improve the user interface, strengthen user education, and continuously enhance security measures. Future work includes the integration of additional medical devices and improving data storage and analysis capabilities.

Author Keywords: telemedicine, digital security, web-based software, remote access, Interoperability



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1. Capítulo 1: Introducción	13
1.1. Motivación	13
1.2. Planteamiento del problema	16
1.3. Solución propuesta	17
1.4. Contexto del proyecto	19
1.5. Objetivos.....	19
1.5.1. Objetivo general.....	19
1.5.2. Objetivos específicos	19
1.6. Metodología para el desarrollo de la investigación.....	19
2. Capítulo 2: Marco teórico	22
2.1. Definiciones y relaciones	22
2.1.1. Telesalud	22
2.1.2. Telemedicina	22
2.1.3. eSalud (o eHealth):.....	23
2.2. Herramientas y conceptos para la implementación.....	23
2.2.1. React.....	23
2.2.2. Next.js	24
2.2.3. La capa de transporte.....	24
2.2.4. TCP (Transmission Control Protocol)	25
2.2.5. UDP (User Datagram Protocol)	25
2.2.6. Web Real-Time Communication (WebRTC)	26
2.3. Desarrollo basado en características (FDD).....	27
3. Capítulo 3: Estado del arte.....	29
3.1. Contexto de investigación	29
3.2. Preguntas de investigación	30
3.3. Resultados búsqueda	31
3.4. Aplicar criterios de inclusión/exclusión	31
3.5. Análisis de resultados	31
4. Capítulo 4: Metodología	33
4.1. Definición de metodología.....	33
4.2. Definición de metas del software y estrategia de telemedicina	36
4.2.1. Alcance.....	37

4.2.2.	Descripción General	39
4.2.3.	Funcionalidades del Software	40
4.2.4.	Restricciones	44
4.2.5.	Suposiciones y Dependencias	45
4.2.6.	Restricciones de diseño	46
4.3.	Definición de un modelo general y cambio organizacional	47
4.3.1.	Análisis de requerimientos	47
4.3.2.	Definición de actores que interactúan con el software	48
4.3.3.	Decisión de política de seguridad	48
4.4.	Construir una lista de características	50
4.4.1.	Módulos y características identificadas	50
4.4.2.	Modulo video y controles	51
4.4.3.	Modulo agendar cita	52
4.4.4.	Modulo autenticación identidad digital	52
4.4.5.	Modulo chat y mensajería	53
4.5.	Diseño basado en características y optimización	54
4.5.1.	Requisitos por características de seguridad.....	54
4.5.2.	Análisis de riesgos de seguridad.....	55
4.6.	Implementación y desarrollo de servicio	61
4.6.1.	Arquitectura comunicación FrontEnd y BackEnd	61
4.6.2.	Pantalla Inicio de sesión	62
4.6.3.	Pantalla "HOME"	63
4.6.4.	Pantalla de Solicitud de Acceso	64
4.6.5.	Pantalla de Videoconferencia	66
5.	Capítulo 5: Integración y Pruebas	69
5.1.	Formulación de hipótesis	69
5.1.1.	Variables planteadas	69
5.2.	Definición de alcance	70
5.2.1.	Metodología de evaluación	70
5.2.2.	Preguntas de Investigación.....	70
5.2.3.	Hipótesis planteadas.....	71
5.2.4.	Selección de muestra	71
5.2.5.	Planificación del cuasi experimento	72
5.3.	Primera etapa: Prueba con pacientes simulados y estudiantes de medicina integrando una antena satelital STARLINK	73
5.3.1.	Descripción.....	73

5.3.2.	Objetivos.....	74
5.3.3.	Metodología.....	74
5.3.4.	Resultados.....	75
5.3.5.	Conclusiones	76
5.4.	Segunda etapa: Prueba con paciente real en NERO y médico en CEM	76
5.4.1.	Descripción.....	76
5.4.2.	Objetivos.....	77
5.4.3.	Metodología.....	77
5.4.4.	Resultados.....	79
5.4.5.	Conclusiones	79
5.5.	Tercera etapa: Prueba de marcha con estudiantes de medicina con Pulsioxímetro y antena STARLINK.....	79
5.5.1.	Descripción.....	79
5.5.2.	Objetivos.....	80
5.5.3.	Metodología.....	80
5.5.4.	Resultados.....	82
5.5.5.	Conclusiones	82
5.6.	Cuarta etapa: Prueba con pacientes y médicos reales con pulsioxímetro y antena STARLINK en zonas rurales.....	83
5.6.1.	Descripción.....	83
5.6.2.	Objetivos.....	84
5.6.3.	Metodología.....	85
5.6.4.	Resultados.....	87
5.6.5.	Conclusiones	87
6.	Capítulo 6: Análisis y evaluación de los resultados de las pruebas.....	88
6.1.	Cuestionario planteado	88
6.2.	Evaluación hipótesis	91
6.3.	Evaluación de Cores.....	96
7.	Capítulo 7: Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro	101
7.1.	Conclusiones	101
7.2.	Recomendaciones	104
7.3.	Trabajo Futuro	104
8.	Capítulo 8: Referencias.....	106

Índice de figuras

Figura 1 Modelo de investigación cuantitativo [27].	20
Figura 2 Modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection) [26].	25
Figura 3 Arquitectura WebRTC [33].	26
Figura 4 Breve descripción de un proceso FDD [46].	27
Figura 5 Flujograma de la metodología PRISMA [54].	30
Figura 6 La lógica de cores centrales de Support Tool [25].	34
Figura 7 Proceso de desarrollo de aplicaciones web seguras [26].	35
Figura 8 Arquitectura del software de videoconferencia	39
Figura 9 Modelo general del software de videoconferencia planteado por módulos	47
Figura 10 Diagrama de casos de uso del módulo video y opciones.	52
Figura 11 Diagrama de casos de uso del módulo agendar cita	52
Figura 12 Diagrama de casos de uso del módulo Autenticación Identidad Digital.	53
Figura 13 Diagrama de casos de uso del módulo Chat y Mensajería.	53
Figura 14 Arquitectura comunicación Frontend y Backend	61
Figura 15 Interfaz de inicio de sesión.	62
Figura 16 Manejo de errores en interfaz de inicio de sesión.	63
Figura 17 Interfaz calendario.	63
Figura 18 Asistir a cita.	64
Figura 19 Interfaz de solicitud previo a enviar una solicitud (Profesional de la salud)	65
Figura 20 Interfaz de solicitud después de enviar una solicitud (Profesional de la salud)	65
Figura 21 Interfaz de solicitud después de aprobar una solicitud	66
Figura 22 Interfaz videoconferencia	67
Figura 23 Interfaz agenda de citas	67
Figura 24 interfaz gestión de la información del paciente	68
Figura 25 Modelo TAM [61].	70
Figura 26 Antena STARLINK instalada	74
Figura 27 Estudiantes de medicina durante la consulta remota	75
Figura 28 Antena STARLINK instalada	77
Figura 29 Profesional y paciente durante consulta.	78
Figura 30 Antena instalada en espacio para prueba de marcha.	80
Figura 31 Médico conectado remotamente para monitoreo de datos	81
Figura 32 Estudiantes realizando prueba de marcha	81
Figura 33 Datos pulsioxímetro durante consulta	84
Figura 34 Datos e informe del pulsioxímetro durante consulta	84
Figura 35 Uso del chat durante una videoconferencia.	85

Figura 36 Datos pulsioxímetro durante consulta	85
Figura 37 Médicos durante consulta y lectura de pulsioxímetro	86
Figura 38 Boxplot utilidad percibida	92
Figura 39 Boxplot facilidad de uso	92
Figura 40 Boxplot actitud hacia el uso.....	93
Figura 41 Nivel de madurez core 1	97
Figura 42 Nivel de madurez core 2	98
Figura 43 Nivel de madurez core 3	99
Figura 44 Nivel de madurez core 4	100
Figura 45 Nivel de madurez core 5	101

Índice de tablas

Tabla 1 Características Paciente	48
Tabla 2 Características Médico	48
Tabla 3 Módulos y características identificadas.	50
Tabla 4 Requisitos a desarrollar por características planteadas.....	54
Tabla 5 Resumen de medidas de seguridad por característica	59
Tabla 6 Preguntas del cuestionario	88
Tabla 7 Prueba Shapiro-Wilk	94
Tabla 8 Resumen resultados sesiones de videoconferencia	94
Tabla 9 Resultados de la evaluación del Core 1	96
Tabla 10 Resultados de la evaluación del Core 2	97
Tabla 11 Resultados de la evaluación del Core 3	98
Tabla 12 Resultados de la evaluación del Core 4	99
Tabla 13 Resultados de la evaluación del Core 5	100

Agradecimientos

Agradezco al director de mi tesis, Ing. Villie Morocho Zurita, por haber confiado en mí y permitirme contribuir al desarrollo de este proyecto como parte de mi tema de titulación, al cual he dedicado todo mi compromiso y dedicación.

Agradezco a los docentes del Centro de Especialidades Médicas por su apoyo al proyecto, especialmente al Lic. Diego Cobos por organizar todas las pruebas con los estudiantes y pacientes de prueba.

Agradezco al GAD y al Centro de Salud de Baños por apoyar las pruebas con pacientes dispuestos a participar en el proyecto, así como a los médicos involucrados. Agradezco a CEDIA por brindarnos el uso de una antena STARLINK, herramienta fundamental para acceder a una conexión a internet durante las pruebas.

Agradezco a Diego Castro, quien se encargó de la configuración del dispositivo pulsioxímetro, y a todos los estudiantes de ingeniería que apoyaron en las pruebas como parte del proyecto de vinculación.

A mis familiares, amigos y docentes por formar parte de mi vida tanto personal como universitaria, por su constante apoyo y por alentarme a dar lo mejor de mí cada día. Por último, agradezco sinceramente a la Facultad de Ingeniería y a la Universidad de Cuenca por haberme preparado para ser un profesional competente y por brindarme experiencias inolvidables durante mi formación académica.

Dedicatoria

A mis padres, Alfredo y Rosa, quienes me han brindado un apoyo incondicional a lo largo de toda mi carrera universitaria. A pesar de las complicaciones, siempre estuvieron ahí, impulsándome con su amor y confianza.

A mis hermanos, María Emilia y José Alfredo, quienes, como yo, enfrentamos dificultades en nuestra infancia y juntos logramos superarlas para alcanzar nuestros sueños profesionales. Siento una profunda admiración y orgullo por sus logros.

A mi pareja, Andrea, quien ha sido mi roca y mi mayor motivación. Su apoyo inquebrantable durante la última etapa de la carrera hizo posible que llegara hasta aquí. Me siento orgulloso y feliz de compartir cada momento de este logro contigo.

A mis mejores amigos, Daniel y Juan, quienes han sido mi familia fuera de casa. Crecimos juntos y soñamos juntos desde jóvenes. Es emocionante ver que después de todos estos años, seguimos apoyándonos y celebrando nuestros éxitos juntos.

A mis familiares y amigos, quienes de diversas maneras siempre estuvieron ahí para brindarme su apoyo y aliento.

Este trabajo está dedicado a ustedes, por ser mi fuente de inspiración, por su amor y por creer en mí en cada paso del camino.

Yo, Juan Gustavo Moyano Dután en calidad de autor y titular de los derechos morales, patrimoniales e intelectuales del trabajo de titulación “PUESTA A PRUEBA DE UN ESQUEMA DE TELECONSULTA CON LA IMPLEMENTACIÓN DE VIDEOCONFERENCIA CONFIABLE”, manifiesto que la idea presentada en este trabajo de investigación fue planteada por la empresa INNTRATEC S.A.S. A petición de la empresa esta idea está sujeta a cláusulas de confidencialidad, por lo que se mantendrá como confidencial, salvo que la otra parte, proporcione el permiso expreso y por escrito para revelarla.

1. Capítulo 1: Introducción

1.1. Motivación

La motivación para la realización de este trabajo de titulación nace desde que se propuso un ecosistema completo para salud electrónica dentro del Centro de Especialidades Médicas (de la Universidad de Cuenca), el mismo que surgió como respuesta a la emergencia sanitaria causada por COVID-19. La Política Pública de Transformación Digital en Salud 2024-2034 [1] identifica la digitalización del sector salud como un eje prioritario, promoviendo la integración de herramientas digitales para mejorar la accesibilidad y la eficiencia en la atención médica. Con el inicio de dicha pandemia, varias plazas para prácticas estudiantiles cerraron en diferentes centros de salud, por lo que con esta institución que estaba en proceso de consolidación se buscaba aportar desde la atención de la emergencia médica a pacientes, pero también abrir espacios para estudiantes no solo de medicina sino, como es el caso, estudiantes de otras áreas como la ingeniería. Este centro es una entidad integral de atención y cuidado para bienestar personal y familiar, dirigido principalmente a brindar atención de calidad, pero con precios bajos o económicos. Por esta razón, cualquier aportación académica que se pueda brindar para mejorar la atención del centro, resultaría importante para cumplir uno de los objetivos respecto a las prácticas de vinculación con la sociedad.

La transformación digital del sector salud es un eje fundamental dentro de las políticas públicas del Ecuador, como se establece en la Política Pública de Transformación Digital en Salud 2024-2034 [1], que establece un marco estratégico para la digitalización del sector salud en Ecuador, priorizando la interoperabilidad, la infraestructura digital y la capacitación del personal sanitario, y la Agenda Digital de Salud 2023-2027 [2], que orienta la implementación de tecnologías digitales en el sistema de salud, incluyendo la Historia Clínica Electrónica Única y el fortalecimiento de servicios de telemedicina. Específicamente, la Agenda Digital[2] detalla estrategias concretas para fortalecer la infraestructura digital del sistema de salud, fomentar la interoperabilidad y capacitar al personal sanitario en el uso de tecnologías de telemedicina, facilitando la adopción de herramientas como la videoconferencia para consultas médicas remotas. Este proyecto se alinea con esas iniciativas al proponer una plataforma de videoconferencia segura para telemedicina.

El interés para la elaboración de este trabajo, surgió cuando se pudo evidenciar que inicialmente dentro del centro y, más aún en las zonas rurales, existen brechas tecnológicas con respecto al registro de las historias clínicas y accesibilidad a la medicina, así lo presenta Vásquez-Cevallos et al. [3]. Por lo que, participar en la implementación de este ecosistema, fue una gran oportunidad para brindar un aporte significativo a la atención médica dentro del país. En este caso, enfocado al desarrollo de una plataforma de video conferencia para un

sistema de telemedicina. Como principal proponente de las ideas se aprovechó las necesidades planteadas desde INNTRATEC SAS. Una empresa dedicada a la innovación y transferencia tecnológica que venía aportando en otras iniciativas de manejo de historia clínica electrónica. Todo el ecosistema planteado inició con el desarrollo de una plataforma para el registro de una Historia Clínica Electrónica, seguida de la integración con un sistema de interoperabilidad utilizando estándares HL7 y HFIR en el trabajo de Maxi & Morocho [4], que consiste principalmente en estandarizar la historia clínica electrónica registrada para facilitar y agilizar el proceso de intercambio electrónico de información clínica. Posteriormente, a través de una Blockchain, se ha integrado una identidad digital para el personal médico, implementada en el trabajo de Cáceres et. al. [5]. Además, existe otro dispositivo, un pulsioxímetro generado en el trabajo de Neira Carvallo et. al. [6], que aún no se ha integrado en el ecosistema, pero se propone implementar la integración durante la videoconferencia, para el monitoreo en tiempo real de la saturación de oxígeno y el pulso.

Si bien es cierto, el ecosistema ofrece una interoperabilidad e identidad digital segura para el proceso de registro de datos en la historia clínica electrónica, sin embargo, para dar las características específicas de un servicio de telemedicina, es necesario, implementar un sistema de videoconferencia segura y confiable que no implique solamente el uso de un sistema de videollamada, sino que integre los servicios mencionados ofreciendo optimización de recursos, funcionalidad, reducción de gastos y accesibilidad al proceso de atención médica.

De acuerdo con los datos presentados por el INEC en el año 2019, el 81.8% de los ecuatorianos poseen un celular inteligente, el 53.2% poseen una conexión a internet en su hogar, y el 70.7% usan internet [7]. Esto indica que, con el tiempo, cada vez más personas están involucradas con temas de la red. Además, existen tecnologías satelitales que ofrecen conexión a internet desde cualquier ubicación, eliminando la necesidad de una red celular o de internet previamente instalada. Un ejemplo destacado es STARLINK, un proyecto de Space Exploration Technologies Corp., más conocida como SpaceX, que utiliza una constelación de satélites en órbita baja para proporcionar internet de alta velocidad a nivel mundial, incluso en áreas remotas. Esta tecnología permite mejorar significativamente la accesibilidad y la estabilidad de las conexiones en lugares donde las opciones tradicionales son limitadas [8], [9].

El uso del internet y el contexto post-pandemia han provocado un incremento en el uso de consultas médicas remotas, creando nuevas formas de solicitar atención médica y convirtiéndose en un nuevo canal para dicha atención. A esto debe sumarse los efectos causados por los casi tres años, debido a la pandemia por COVID-19, lo cual provocó que

actividades académicas y gran parte de laborales pudieran ser ejercidas de manera remota, utilizando dispositivos portátiles y aumentando significativamente el porcentaje de personas que utilizan dispositivos y computadores con conexión a internet, incrementando estas cifras un 79.4% [10]. Uno de los miedos evidentes en pandemia fue la posibilidad de contagio por lo que se establecieron medidas de aislamiento, y en fases posteriores, otras medidas de evitar contacto físico y mantener un distanciamiento social. Esto provocó en gran medida el uso de llamadas y videollamadas para varias actividades cotidianas y la atención médica no fue la excepción. Sin embargo, al no haber previsto dichos cambios en la forma de atención, se utilizaron elementos inseguros entre los que se destacaron videollamadas sin condiciones adecuadas de conexión. Esta situación motivó buscar mejoras en la propuesta de videoconferencia cumpliendo nuevas características, pero principalmente centrada en la seguridad.

Para las aplicaciones de video conferencia, se ha establecido, entre otras, la Ley de Responsabilidad y Portabilidad de Seguros de Salud (HIPAA) como marco referencial, que exige la garantía de confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información médica. [11], [12]. A nivel nacional en Ecuador, el Programa Abierto del Plan Nacional de Gobierno Electrónico y la Constitución destacan la importancia de contar con servicios médicos seguros, de calidad y cálidos, que garanticen la confidencialidad del paciente y el acceso a la información [13]. Adicionalmente, la reciente aprobación de la Ley Orgánica para la Protección de Datos Personales en Ecuador tiene como objetivo salvaguardar los derechos de datos personales, incluido el acceso a la información y la protección de datos, con artículos específicos que abordan el tratamiento legal de datos, requisitos de consentimiento, intereses legítimos, derechos de rectificación, y el tratamiento de categorías especiales como datos de salud [14], [15], [16]. Dentro de esta ley, se mencionan varios artículos referentes a los datos clínicos y que se han considerado relevantes para el desarrollo y sustento de esta investigación, entre estos están:

Artículo 7: Menciona que el tratamiento de los datos será lícito solamente si el titular da su consentimiento para su uso; exista una obligación legal o interés legítimo por parte del responsable del tratamiento.

Artículo 8: El consentimiento para el acceso a los datos será válido cuando la manifestación de la voluntad sea libre, específica, informada e inequívoca. Este consentimiento puede revocarse si el tratamiento de sus datos personales no garantiza celeridad, eficiencia, eficacia y gratuidad.

Artículo 9: Debe existir un interés legítimo para el tratamiento de los datos, es decir, pueden ser utilizados solamente cuando sea estrictamente necesarios, y se debe garantizar que el tratamiento sea transparente para el titular.

Artículo 14: El titular tiene derecho a obtener una rectificación y actualización de sus datos personales por parte del responsable del tratamiento.

Artículo 25 y 26: Se definen categorías especiales de datos personales, las cuales deben ser tratadas únicamente con el consentimiento explícito del titular. Dentro de esta categoría se encuentran los datos de salud.

Donde se destaca:

Artículo 30, 31 y 37: *Se indica que los datos relativos a la salud deben ser tratados con confidencialidad, integridad, disponibilidad y deben cumplir con un consentimiento previo de acceso por parte del titular, de tal manera que se garantice la seguridad y protección de acceso no autorizado a estos datos.*

1.2. Planteamiento del problema

Con una sociedad que se mueve y cambia a gran velocidad, la mayoría de las personas mantienen una agenda ocupada con actividades laborales, académicas y otras, sin embargo, es claro que separar un espacio de tiempo para visitar al médico se vuelve complicado. Esto sucede especialmente, cuando se trata de molestias pequeñas que posiblemente no son graves y podrían curarse desde casa [17]. Por otro lado, en el caso de zonas rurales y más aún en países subdesarrollados, comúnmente no hay médicos especializados en ciertas áreas y en su mayoría, el acceso es limitado [3], [18]. En el contexto ecuatoriano, el acceso a servicios de salud digitalizados sigue siendo un desafío, especialmente en áreas rurales. El Plan Decenal de Salud 2022-2031 [19] identifica la fragmentación de los sistemas de información en salud y la falta de interoperabilidad como barreras clave para la modernización del sector. A pesar de los avances en infraestructura y normativas, persisten dificultades en la integración de tecnologías digitales que faciliten el acceso remoto a consultas médicas, especialmente para poblaciones en condiciones de vulnerabilidad. Adicionalmente, en el contexto de la pandemia COVID-19, desató múltiples problemas, uno de estos fue la dificultad que existía para acceder a servicios de salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasificó este virus altamente contagioso, por lo que, dentro de los centros médicos, se establecieron protocolos específicos, con equipos especiales para reducir la probabilidad de contagio. Sin embargo, estos centros al ser lugares de tratamiento de múltiples enfermedades diferentes al virus, causaba alerta sobre pacientes que requerían un tratamiento para una enfermedad distinta y desistían acudir por miedo al contagio. En este

sentido, la falta de tiempo, organización y trabas para acceder al servicio de salud hace incluso que las personas desistan de ir al médico y descuiden su bienestar y salud. Lo que supone un problema a corto y largo plazo, pero que se puede evitar con otras formas de acceso a la atención médica [20].

En algunos casos, se usan aplicaciones de videoconferencia comerciales (Skype®, FaceTime®, Zoom®, WhatsApp®) que no cumplen con normativas como la Ley de Responsabilidad y Portabilidad de Seguros de Salud (Health Insurance Portability and Accountability Act [HIPAA]), que requiere la protección y el manejo confidencial de información médica y se mantiene en constante actualización por lo que debe adaptarse a los últimos cambios de la ley [21], [22]. Incluso, algunos servicios comerciales recopilan y venden datos para fines no relacionados con la atención médica perdiendo características de seguridad [23].

Por otro lado, el reporte de ciberseguridad del BID y la OEA [24] identifica varios fallos críticos en la ciberseguridad del sector médico. Destaca la falta de infraestructura tecnológica robusta que hace a los sistemas de salud vulnerables a ataques, la protección insuficiente de datos personales y clínicos debido a lagunas en las leyes y regulaciones, y la alta incidencia de ataques de ransomware que pueden paralizar los sistemas de salud. También existe la falta de conciencia y capacitación en ciberseguridad entre el personal médico, lo cual incrementa el riesgo de ataques de ingeniería social, y las vulnerabilidades introducidas por la interconexión de dispositivos médicos a través del IoT [25].

1.3. Solución propuesta

Desde hace varios años atrás, como un aporte a la posible falta de atención médica y sobre todo con una visión de ampliar la posibilidad de acceso a la medicina en general o mejora en el diagnóstico, se han planteado soluciones de salud electrónica (eSalud). Una de las áreas en la que se divide la eSalud es la Telesalud, cuyo enfoque principal es el intercambio de servicios o información a través de soluciones de telecomunicaciones. Así mismo, dentro de la Telesalud está la Telemedicina [26] que, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud, consiste en la prestación de servicios de salud, donde la distancia es un factor crítico, mediante el uso de Tecnologías de la información para el intercambio de información para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades [27].

Frente a lo expuesto, se propone diseñar e implementar una plataforma web de videoconferencia segura y confiable, enfocado a la optimización de la privacidad, confidencialidad y seguridad, para la integración de un sistema de telemedicina, que posibilite a los pacientes, agendar y realizar una consulta con un profesional de la salud de manera

rápida y remota. Además, esta plataforma incluye la integración de un dispositivo flexible, en este caso, un pulsioxímetro generado en el trabajo “Sistema de monitoreo remoto IoT de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno para pacientes post COVID-19” [6]. durante la videoconferencia y el uso de una antena STARLINK para mejorar la conectividad en áreas remotas, asegurando así la estabilidad y calidad de las consultas médicas. Así mismo, toda esta información se obtendrá de una “Historia Clínica Electrónica” (HCE) existente para que el médico pueda acceder a la información y realizar el diagnóstico o tratamiento correspondiente.

La solución propuesta consiste en diseñar e implementar un software de videoconferencia seguro y confiable, integrado con dispositivos médicos y tecnologías avanzadas como Blockchain y estándares FHIR/HL7. Este desarrollo se basa en la combinación del Support Tool to Strengthen Telemedicine planteado por la OMS [28] y la metodología Secure Feature Driven Development [29], permitiendo un enfoque iterativo que aborda las necesidades técnicas, organizacionales y estratégicas del sistema de telemedicina. Este marco no solo asegura la integración funcional del software, sino que también facilita su evaluación y optimización continua, respondiendo a las demandas específicas de entornos rurales y urbanos.

El software de videoconferencia propuesto en este trabajo se alinea con la Agenda Digital de Salud 2023-2027 [2], que establece la necesidad de herramientas digitales para mejorar la cobertura y calidad de la atención médica en Ecuador. En dicha agenda, se enfatiza la importancia de la Historia Clínica Electrónica Única como eje central para garantizar el acceso a la información médica en tiempo real y mejorar la continuidad de la atención. Asimismo, la identidad digital única y la interoperabilidad, desarrolladas en otro proyecto en conjunto con la videoconferencia, refuerzan la alineación con la agenda digital, asegurando un ecosistema de salud digital seguro y eficiente.

La HCE del paciente que no necesariamente está estandarizada pasa por una capa de transformación a estándares FHIR y HL7 a través de un middleware proporcionado por el trabajo de [4] “Software Integrador de información médica utilizando HL7 y HFIR”, permitiendo la interoperabilidad con los datos del paciente. Por otra parte y complementando la seguridad, se integra el manejo de la identidad digital única del médico y el paciente a través de Blockchain implementada en el trabajo de [5] “Propuesta de Identidad Digital para Historial Clínico Unificado utilizando Tecnología Blockchain”.

1.4. Contexto del proyecto

Este trabajo de titulación es parte del proyecto ElectroHealth HUB propuesto por la empresa INNTRATEC S.A.S, en donde el subsistema a desarrollar es un componente más del ecosistema de telemedicina.

1.5. Objetivos

Frente a lo expuesto en las secciones anteriores, el presente trabajo de titulación tiene como propósito diseñar e implementar una plataforma web de videoconferencia segura y confiable, enfocado a la optimización de la privacidad, confidencialidad y seguridad, para la integración en un sistema de telemedicina, que posibilite a los pacientes, agendar y realizar una consulta remota con un profesional de la salud. Así mismo, toda esta información se obtendrá de una "Historia Clínica Electrónica" (HCE) existente para que el médico pueda revisarla y realizar el diagnóstico o tratamiento correspondiente.

1.5.1. Objetivo general

Diseñar e implementar una plataforma de videoconferencia web segura y confiable, enfocado a la optimización de la privacidad, confidencialidad y seguridad, que además integre e interopere con datos clínicos por medio de estándares HL7 y use Identidad Digital en Blockchain que permita agendar y realizar consulta remota para integrar en un sistema de telemedicina.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar los requisitos técnicos de infraestructura y arquitectura de la plataforma.
- Implementar la plataforma de video conferencia segura y confiable usando una metodología ágil.
- Integrar la implementación con la autenticación con Blockchain y acceso a los datos a través de los estándares HL7.
- Evaluar la plataforma en un escenario de telemedicina, considerando las características del médico y paciente.

1.6. Metodología para el desarrollo de la investigación

Para el desarrollo de este trabajo de titulación se ha seguido la metodología de investigación planteado por Hernández Sampieri et al. [30] con un enfoque cuantitativo, el mismo que consta de 10 fases (ver Figura 1)

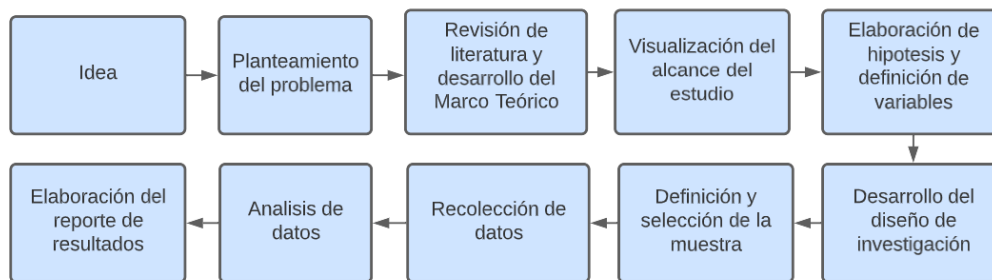


Figura 1 Modelo de investigación cuantitativo [30].

Cada una de las fases se han definido de la siguiente manera:

1. **Idea:** En el desarrollo de este trabajo de titulación, se planteó la idea de investigar y desarrollar un software de videoconferencia seguro y confiable para ser integrado en un sistema de telemedicina. Esta idea surgió como respuesta a la necesidad de mejorar el acceso y la calidad de las consultas médicas remotas, especialmente en áreas rurales y con acceso limitado a servicios médicos tradicionales.
2. **Planteamiento del problema:** El planteamiento del problema se llevó a cabo en el Capítulo 1 de la tesis, donde se identificó la problemática existente en el ámbito de la telemedicina y se justificó la necesidad de desarrollar un software específico. Se establecieron los objetivos de la investigación, la motivación para llevar a cabo el estudio, así como la viabilidad de implementar soluciones tecnológicas en este contexto.
3. **Revisión de literatura y desarrollo del Marco Teórico:** En el Capítulo 2 y 3 de la tesis se realizó una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con la salud electrónica, telemedicina, y tecnologías asociadas. Esta revisión proporcionó el fundamento teórico necesario para entender los conceptos clave y las soluciones tecnológicas aplicables al desarrollo del software de videoconferencia. Se discutieron herramientas como React, Next.js, y conceptos de seguridad aplicados a aplicaciones de telemedicina.
4. **Visualización del alcance del estudio:** El alcance del estudio se definió en el Capítulo 4. Se estableció la necesidad de explorar las características y funcionalidades del software de videoconferencia desarrollado, así como de describir su implementación y uso en entornos de telemedicina.
5. **Elaboración de hipótesis y definición de variables:** Una vez establecido el alcance del estudio, en el Capítulo 5 se desarrollaron hipótesis relacionadas con la percepción de utilidad, facilidad de uso, actitud e intención de uso del software por parte de los

usuarios. Además, se definieron variables dependientes e independientes que permitieron evaluar estas hipótesis durante el estudio.

6. **Desarrollo del diseño de investigación:** El diseño de investigación se definió también en el Capítulo 4, utilizando la metodología Agile Secure FDD para el desarrollo del software de videoconferencia. Se describieron las características de seguridad implementadas y el enfoque por características del diseño del software, adaptándose a los requisitos de seguridad y usabilidad identificados.
7. **Definición y selección de muestra:** En el Capítulo 5 se seleccionaron métodos de muestreo, tanto probabilísticos como no probabilísticos, para llevar a cabo el estudio. Se determinó el tamaño de la muestra y se identificaron los casos de estudio, garantizando la representatividad y validez de los resultados obtenidos.
8. **Recolección de datos:** Se definieron técnicas de recolección de datos en el Capítulo 5, relacionadas con el estudio de percepción de utilidad, facilidad de uso, actitud e intención de uso del software. Se seleccionaron herramientas y metodologías para la recolección de datos, garantizando la calidad y precisión de la información obtenida.
9. **Análisis de datos:** El análisis de datos se realizó en el Capítulo 6 mediante pruebas estadísticas para evaluar la confiabilidad y validez de los resultados. Se utilizaron herramientas de software estadístico para el procesamiento y análisis de datos recolectados durante la evaluación del software de videoconferencia.
10. **Elaboración del reporte de resultados:** Finalmente, en el Capítulo 6 y 7 se presentaron los resultados del estudio mediante un reporte detallado. Se sintetizaron todas las fases del trabajo de titulación, incluyendo las conclusiones, recomendaciones y propuestas de trabajo futuro basadas en los hallazgos y resultados obtenidos durante la investigación.

2. Capítulo 2: Marco teórico

En esta sección se abordan conceptos claves que sustentan este trabajo. Se explica de manera general el concepto de la salud electrónica y más profundamente, el concepto de telemedicina con las áreas que comprenden.

2.1. Definiciones y relaciones

Según la Organización Mundial de la salud [27] la salud electrónica (eSalud) es la intersección de la medicina e informática, es decir, se aplica a la práctica de la medicina utilizando procesos electrónicos y de comunicación [31]. Y se puede clasificar de la siguiente manera:

2.1.1. Telesalud

La telesalud es un término más amplio que incluye la telemedicina, pero también abarca otros servicios y actividades relacionadas con la salud, como la educación en salud, la salud pública y la administración de la salud, utilizando las TIC. Se basa en la prestación de servicios e información a través de soluciones de telecomunicaciones. La telesalud empodera a los pacientes y al sistema de atención médica y reduce el costo de la atención para las personas que desean mantener o mejorar su salud. La telesalud incluye tres conceptos: teleasistencia, telemetría y telemedicina. La Teleasistencia: ofrece atención remota que permite a las personas, por ejemplo, quedarse en casa. La telemetría permite realizar un seguimiento de la salud de los pacientes en todas partes, incluso dentro del hospital mediante sensores, sistemas remotos y redes inalámbricas [32]. Finalmente, la telemedicina reduce las barreras de distancia entre médicos y pacientes al brindar consulta remota (tele consulta).

2.1.2. Telemedicina

La telemedicina se refiere específicamente a la prestación de servicios de atención médica a distancia, utilizando tecnologías de la información y comunicación (TIC). Esto incluye diagnósticos, consultas, tratamientos y monitoreo de pacientes. La telemedicina puede mejorar la calidad de la atención médica, donde la distancia es un factor crítico, como en áreas rurales, países en desarrollo y desiertos médicos [33], [26], [34]. Wen [35] define a estos sistemas como dispositivos utilizados para recopilación y compartir datos. Y menciona que se pueden clasificar en 3 grupos: a) aplicaciones de monitoreo, diseñados principalmente para dispositivos móviles inteligentes; b) dispositivos electrónicos de captura, para recopilación de datos de señales biológicas; c) sistemas de monitoreo y seguimiento, como relojes inteligentes o pulseras.

2.1.3. eSalud (o eHealth):

eSalud es un concepto aún más amplio que la telesalud y la telemedicina. Incluye cualquier uso de tecnologías electrónicas y digitales en el ámbito de la salud. Esto comprende desde registros médicos electrónicos, aplicaciones móviles de salud, portales de pacientes, hasta sistemas de gestión hospitalaria y big data en salud. Los Registros de salud electrónicos (Electronic Health Record (EHR)), pueden ser considerados como un repositorio digital de información médica. Esta información es procesada por un computador para ser almacenada y transmitida de forma segura. Solo usuarios autorizados pueden acceder a esta información [36]. Por otro lado, mHealth consiste en el uso de dispositivos móviles, como teléfonos inteligentes, para el intercambio de información médica entre el médico y el paciente. Uno de sus problemas principales es no se ha abordado adecuadamente la seguridad y privacidad de los datos de los pacientes por lo que puede existir grandes falencias [37], que se acentúan más dependiendo del nivel de conocimiento sobre plataformas digitales y capacitación en ciberseguridad.

2.2. Herramientas y conceptos para la implementación

2.2.1. React

React es una librería basada en Node.js de código abierto desarrollado por Jordan Walke e implementada oficialmente por Facebook en 2011. Fue diseñado para la creación de interfaces de usuario para aplicaciones de una sola página o SPA (Single Page Application) enfocadas principalmente a interfaces de usuario a gran escala con datos que cambian constantemente [38]. Según la encuesta anual para desarrolladores realizada por StackOverflow (StackOverflow Developer Survey) en 2023 React fue la el framework más popular para el desarrollo web, con un 40.58% de desarrolladores profesionales [39].

React utiliza JSX, un transpilador de XML de JavaScript, creado para facilitar la creación de aplicaciones web gracias a que brinda una sintaxis más clara al momento de leer y actualizar código transformando funciones dentro de React a una función de JavaScript marcada como etiquetas personalizadas de HTML. Esto hace posible la creación de componentes interfaz de usuario que son adjuntados al DOM, así mismo, estos pueden ser reutilizables y son considerados un elemento importante de la estructura dentro de una aplicación implementada en React [38]. Básicamente, estos componentes pueden ser considerados como funciones que cuentan con un conjunto de estados como entrada, y si existe cierto cambio dentro de las propiedades/estados se obtiene una interfaz de usuario como salida. Siempre que exista un cambio dentro de los estados o propiedades, React renderiza los cambios en la interfaz dependiendo de los estados. Todo este proceso de renderizado se hace a través de un Virtual

DOM (V-DOM), el mismo que realiza comparaciones de diferencias y actualizaciones de datos en los componentes sin actualizar y modificando solamente, el componente en donde se han cambiado los datos o donde el usuario ha interactuado. Esto evitará que se vuelva, a cargar toda la interfaz y garantizará que este proceso de renderizado se realice de manera eficiente. V-DOM y la sintaxis declarativa de JSX reduce el procesamiento y tiempo necesarios para actualizar los componentes.

2.2.2. Next.js

Next.js es una poderosa herramienta, basado en React, para el desarrollo web. Ofrece una experiencia del desarrollador mejorada al proporcionar características listas para producción, como representación del lado del servidor, capacidad de TypeScript, enrutamiento automático y estilos específicos de componentes [40]. Estas características permiten a los desarrolladores enfocarse en la lógica de la aplicación en lugar de preocuparse por la configuración y estructura básica. Además, destaca por su capacidad de recarga de código activo, lo que facilita la iteración y actualización rápida de la aplicación durante el desarrollo. Su soporte para la representación del lado del servidor (Server-Side rendering) y la carga dinámica de componentes optimiza el rendimiento y mejora la velocidad de carga, ofreciendo una experiencia de usuario más rápida y fluida.

También es valioso por su capacidad de exportar sitios estáticos, debido a su enfoque en la estructura organizada de la aplicación y su enrutamiento automático simplifican el desarrollo y evitan errores de configuración. La compatibilidad con styled-JSX permite una gestión más eficiente de los estilos específicos de componentes, mejorando el mantenimiento y la escalabilidad de la aplicación [40].

2.2.3. La capa de transporte

La capa de transporte permite la comunicación de extremo a extremo entre dos dispositivos conectados a una red de internet. Esta capa es una parte indispensable dentro de la jerarquía de protocolos para los servicios de transmisión de datos, desde el origen al destino, de manera segura y rentable. La capa de transporte es parte del modelo de referencia OSI para sistemas de telecomunicaciones. El modelo se estableció como un estándar en 1979 y consta de siete capas (ver Figura 2) [41].

Cada una de las capas proporciona un servicio a su capa superior, en este caso, la capa de transporte proporciona: servicio orientado a la conexión, entrega confiable, control de flujo y multiplexación, mientras que su capa inferior, la capa de red, se encarga del enrutamiento de los paquetes a través de la red. Con este enrutamiento la capa de transporte es capaz de utilizar las direcciones de la capa de red, debido a que no cuenta con su propia dirección [42].

De manera general, esta capa se encarga del transporte de datos entre dos nodos dentro de una red. Existen dos tipos de protocolos de comunicación: confiables (TCP) y no confiables (UDP).

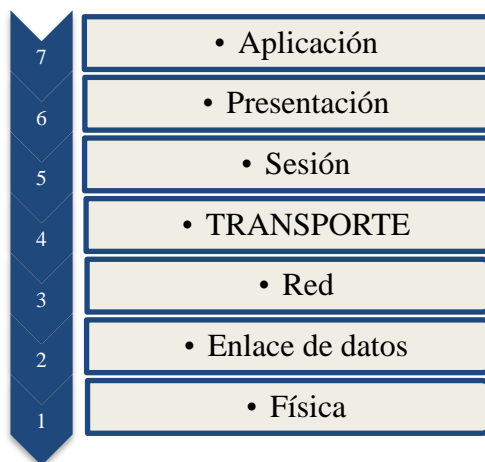


Figura 2 Modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection) [26].

2.2.4. TCP (Transmission Control Protocol)

Según CISCO, TCP es un protocolo de transporte orientado a la conexión [43], puesto que se debe establecer una comunicación para enviar paquetes y asegurar el flujo de los datos. Si durante la transmisión, se llegase a perder un paquete, TCP retransmite los datos hasta que pase un tiempo de espera o se reciba un acuso de recibo (ACK) de una entrega exitosa. Gracias al flujo que sigue, TCP garantiza que la conexión se mantendrá hasta que se complete el proceso de intercambio de mensajes entre dispositivos. TCP proporciona además, características de confiabilidad, integridad, control de flujo, control de congestión y robustez, sin embargo, es considerado un protocolo pesado [42]. En resumen, TCP se utiliza para transmitir datos por medio de protocolos en donde se requiere que la información llegue intacta [44].

2.2.5. UDP (User Datagram Protocol)

CISCO define a UDP como un protocolo de la capa de transporte sin conexión [45]. A diferencia de TCP, no requiere proporcionar una conexión como requisito previo para entregar los paquetes. UDP no garantiza confiabilidad ni orden de entrega de los paquetes, por lo que podrían perderse, llegar en desorden o recibir información duplicada durante la transmisión. Sin embargo, la entrega de los paquetes es más ágil debido a que no realiza el proceso de verificación de paquetes, por lo que este protocolo está enfocado a aplicaciones que requieren velocidad de transmisión sobre confiabilidad.

Un paquete UDP se denomina datagrama, el mismo que se divide en dos partes: encabezado y carga útil. Durante la transmisión de datos, se emplea un mecanismo de verificación de redundancia cíclica para validar la integridad de los paquetes, por medio de esta verificación, puede detectar si un paquete contiene un error, si es así, lo descarta, declarándolo perdido. Sin embargo, UDP no ofrece ningún mecanismo para control de congestión [42].

Generalmente, este protocolo se aplica para conexiones de baja latencia y tolerancia a pérdidas. Las conexiones de aplicaciones en tiempo real soportan estas características cuando se trata de transmisión de contenido multimedia, por lo que son capaces de permitir paquetes desordenados o perdidos [44].

2.2.6. Web Real-Time Communication (WebRTC)

El protocolo de comunicación Web Real-Time Communication (WebRTC), es una tecnología web de código abierto publicada por Google en 2011 y con constante actualización adaptando y mitigando nuevas vulnerabilidades, su última versión estable fue publicada en 2024 [46]. Permite la comunicación entre navegadores web brindando funcionalidades como llamadas de audio/video, chat y comunicación por pares P2P (peer-to-peer) para compartir información o archivos de manera segura. Todas estas funcionalidades se pueden realizar sin ningún software de terceros, intermediario o plugin [46].

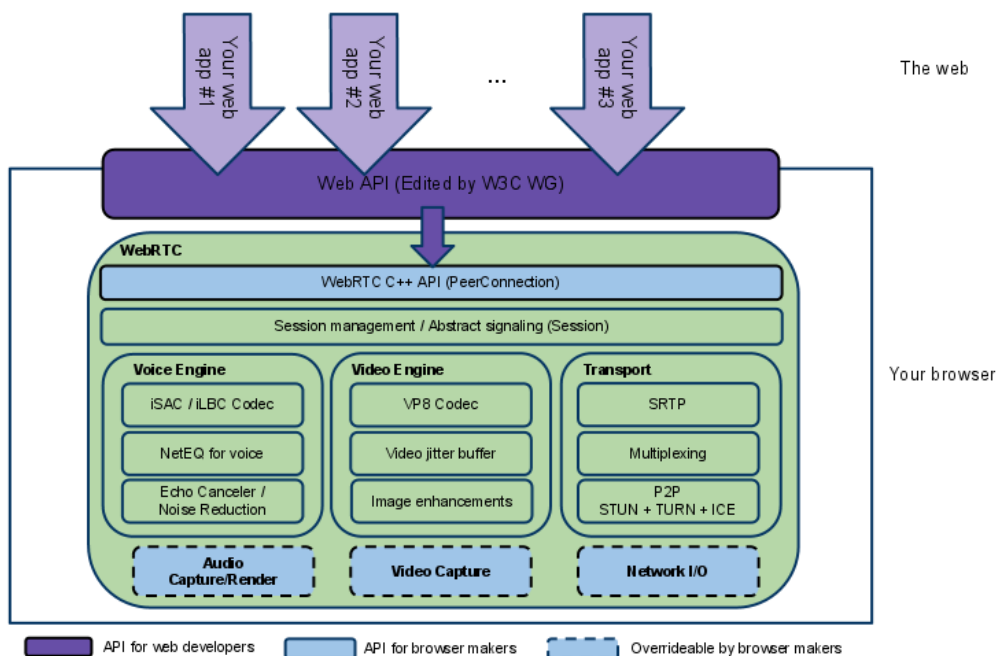


Figura 3 Arquitectura WebRTC [33].

Esta tecnología está disponible para plataformas web y aplicaciones nativas, en todos los navegadores modernos como Firefox, Chrome o Edge y para aplicaciones móviles nativas como iOS y Android. WebRTC funciona como un conjunto de APIs de JavaScript que permite

establecer una conexión por pares entre navegadores para intercambiar llamadas de audio, chat de video, chat basado en texto, uso compartido de archivos, uso compartido de pantalla, juegos y datos de sensores en tiempo real [47].

En la Figura 3 se representa la arquitectura que utiliza WebRTC, la misma que utiliza una API para el transporte de módulos para manejo de sesiones (Session management) y señalización abstracta (Abstract Signaling) independiente. La arquitectura incluye motores de medios de voz y video, así mismo se representan los códecs internos de los motores.

VoiceEngine se encarga de enviar el audio capturado, desde tarjeta de sonido a la red. Utiliza iSAC y iLBC para retener la calidad de la voz capturada por los micrófonos cuando existe un nivel alto de latencia de voz y bajo ancho de banda. Así mismo, incluye un buffer para fluctuación dinámica y un algoritmo para manejo de errores para solucionar posibles pérdidas de paquetes. También, VoiceEngine, corrige problemas causados por la compresión y cifrado de datos, la detención de voz y la reducción de ruido [48].

Dentro de la misma arquitectura, VideoEngine utiliza códecs VP8 y H.264 para la gestión y envío del contenido capturado por dispositivos para de video. Incluye funciones para la captura de imágenes, procesamiento de video y mejora de calidad de imagen capturada por la cámara. Adicionalmente, cuenta con un buffer de fluctuación de video para controlar la perdida de paquetes y administrar el ancho de banda [48].

2.3. Desarrollo basado en características (FDD)

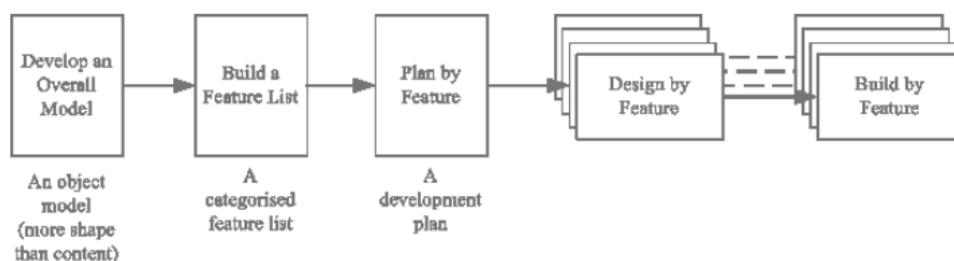


Figura 4 Breve descripción de un proceso FDD [49]

El desarrollo basado en características [49] o FDD (Feature Driven-Development por sus siglas en inglés), es una metodología ágil para el desarrollo de aplicaciones web, que al igual que Programación Extrema (XP) y el desarrollo orientado a pruebas, (TDD) [50] se enfocan en iteraciones cortas, con el objetivo de cumplir con tareas y funcionalidades para el desarrollo web. FDD es un proceso basado en modelos, se basa en la idea de plantear e implementar características o funcionalidades mencionadas por el cliente del software. Estas

características, en ciertos casos, pueden corresponder a casos de uso del sistema, sin embargo, también pueden estar relacionadas con características de funcionalidades transparentes para los usuarios finales de un software. FDD contiene un proceso de 5 fases, representadas en la Figura 4, en donde las tres primeras etapas, están centradas en la planificación, mientras que, en las dos últimas fases, se implementan a través de las iteraciones entre el diseño y desarrollo de las características.

Los pasos son descritos a continuación:

- **Develop an Overall Model (DOM):** En esta primera fase, se desarrolla un modelo general, en donde se puede incluir a personas expertas en el dominio del área en el que se trabaja, así mismo un equipo técnico que cuente con un Arquitecto jefe.
- **Build a Feature List (BFL):** Se debe crear una lista de características para identificar las que deben respaldar los requisitos.
- **Plan by Feature (PBF):** Planificar por característica, es una actividad dentro de las etapas iniciales en donde se producirá el plan de desarrollo.
- **Design by Feature (DBF):** Como parte de la implementación, se diseña por características para producir el paquete de diseño de funciones.
- **Build by Feature (BBF):** Metodología por etapas por cada propietario de los métodos de clases concentrándose en cada característica de cada clase para producir una función completa de valor para el cliente. Por lo general, solo se produce un modelo de caso de uso y un modelo de clase (u objeto) al realizar iteraciones FDD.

3. Capítulo 3: Estado del arte

3.1. Contexto de investigación

La telemedicina, comenzó a tener un auge muy significativo debido a la pandemia por COVID-19, en el año 2020 y en gran medida a las innovaciones tecnológicas que ha proporcionado la cuarta revolución industrial de la mano del Internet de las Cosas, entre ellas tenemos la videoconferencia para asistir a pacientes en forma remota. En la actualidad, su importancia radica en los problemas suscitados a raíz de los distintos problemas de comunicación entre paciente y médico, debido a los estrictos protocolos para restringir el distanciamiento social dentro de los centros de asistencia médica.

De acuerdo con la revisión de la literatura especializada en el tema de investigación, la pandemia por COVID-19 ha impulsado exponencialmente el desarrollo de tecnologías para la atención médica remota en múltiples especialidades, teniendo un gran impacto en el desarrollo de tecnologías innovadoras de atención médica para así, facilitar el diagnóstico médico de forma remota, destacando principalmente el uso de la telemedicina [46] - [51].

Es importante resaltar que existe localidades muy lejanas a los centros poblados o de difícil acceso que carecen de profesionales en el área de la salud y donde sus habitantes tienen que recorrer grandes distancias para ser atendidos por ellos, generando riesgos para la salud del paciente e incrementando los costos para sus traslados, impidiendo una adecuada atención médica primaria. Es por ello, que la empresa EXO, Soluciones Tecnológicas ha diseñado el Centro de Diagnóstico Móvil (CDM), que un dispositivo móvil capaz de medir los diferentes parámetros vitales del paciente desde cualquier lugar (centro asistencial) hasta estas localidades a través de redes inalámbricas, contando además con una computadora personal vital para facilitar el diagnóstico adecuado al paciente, que luego serán almacenados en la nube de forma encriptada para resguardar los datos confidenciales de los pacientes a través de llaves digitales en tiempo real o diferidos, necesitándose solamente un computadora personal o un teléfono inteligente.

Para la revisión y recopilación sistemática de las fuentes bibliográficas se ha utilizado la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) [57], en su versión reducida planteada en diez pasos, que facilita la síntesis de información, enfocándose principalmente en preguntas básicas de investigación que permiten relacionar ideas o conceptos claves, dando así respuesta a las preguntas planteadas y a los vacíos de investigación, describiéndose en los siguientes apartados y siguiendo el flujograma de clasificación, el cual se detalla en la Figura 5.

De acuerdo con la metodología de revisión y recopilación desarrollada en este trabajo de investigación, se han establecido los siguientes criterios de elegibilidad de trabajos de investigación relacionados con el tema de estudio: artículos científicos de revistas académicas en el idioma inglés y desarrolladas en los últimos cinco años, con el fin de delimitar la búsqueda a investigaciones que abarquen información y tecnología actualizada, excluyéndose los trabajos carentes de marcos teóricos, estudios de casos y monografías en la búsqueda exhaustiva en cuatro de las bibliotecas virtuales más importantes que existen en la Red: PubMed, ACM, IEEEExplore y ScienceDirect.

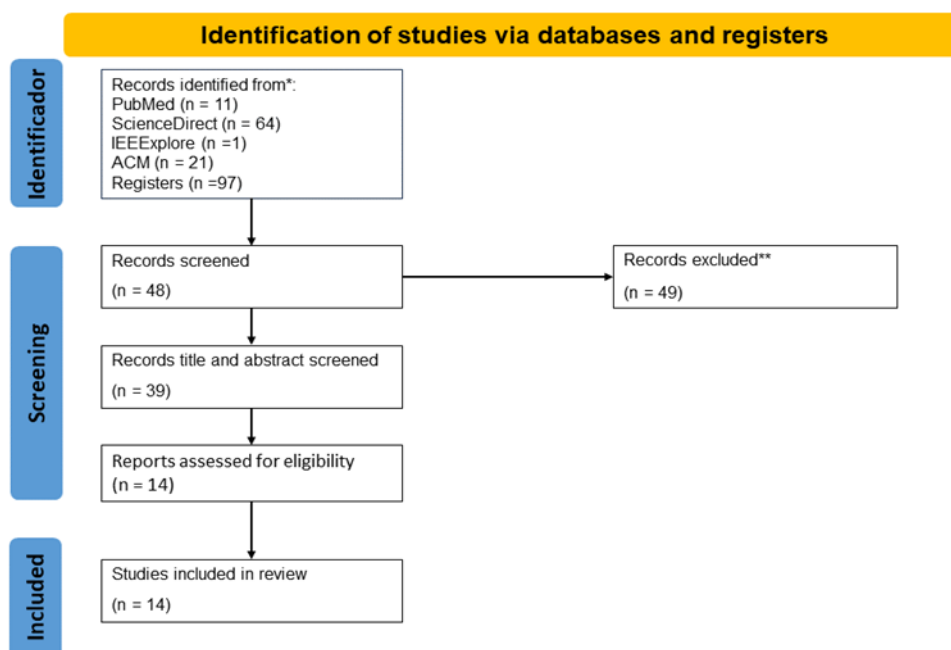


Figura 5 Flujograma de la metodología PRISMA [57]

3.2. Preguntas de investigación

Partiendo del problema de estudio, se plantean las siguientes preguntas iniciales que parten del problema de estudio:

- **P1. ¿Cómo garantizar la confiabilidad de una videoconferencia?**
- **P2. ¿Cuál fue el impacto del uso de videoconferencia para el tratamiento y atención de pacientes durante la pandemia por COVID -19?**

- **P3. ¿Cómo mejora la atención de un paciente a distancia con el uso de video conferencia?**
- **P4. ¿Qué arquitecturas o protocolos de comunicación existen para videoconferencias web?**

3.3. Resultados búsqueda

Con el fin de incluir todas las variables en las preguntas de la investigación planteada, se realizaron utilizando los conectores OR y AND, combinando palabras claves con resultados favorables en la primera búsqueda de 93 artículos:

- PubMed (n = 11),
- ACM (n = 21),
- ScienceDirect (n = 64) y
- IEEEExplore (n = 1).

3.4. Aplicar criterios de inclusión/exclusión

Posteriormente, se realizó la búsqueda y remoción de los artículos duplicados, aplicándose previamente los criterios de elegibilidad antes mencionados, dando como resultado 48 artículos que cumplen con las condiciones iniciales y removiendo un total de 49 artículos de la búsqueda. De los 48 que cumplían con las condiciones iniciales de elegibilidad, se han incluido 39 que son relevantes por su Abstract y título. Finalmente, se han incluido 14 artículos en la investigación. (ver Figura 5)

Una vez realizada la revisión y recopilación sistemática, se realizó un análisis de los resultados y las conclusiones de cada uno de los artículos incluidos obtenidos por la metodología PRISMA. Para esto, fue necesario, extraer, ordenar y examinar los resultados más relevantes con el fin de poder identificar temas y subtemas que apoyen a responder las preguntas de investigación, estos temas, se compararon de manera interna y externa para finalmente agregarlos en una tabla para poder realizar una síntesis de los resultados. Para finalizar, se realiza una discusión de los resultados sintetizados con respecto a todos los estudios.

3.5. Análisis de resultados

Entre los resultados de los trabajos más relevantes relacionados con el tema, encontrados a través de metodología PRISMA, consta de las siguientes consultas:

Hunter, et al. (2021) [52], describe en su artículo: Fiabilidad de los métodos de evaluación cognitiva por teléfono y videoconferencia en adultos mayores con y sin demencia, llevó a cabo un estudio de la administración de pruebas cognitivas por teléfono y videoconferencia introduciendo fuentes adicionales de variación en comparación con las pruebas en persona con la enfermedad de Alzheimer.

En el artículo publicado por Groom et al. (2021) [51]: Telemedicina y telesalud en residencias de ancianos: una revisión integradora, reseña la utilidad acelerada de la telemedicina y la telesalud durante la pandemia de COVID-19 ofreciendo vías prometedoras para detectar el deterioro clínico en pacientes de forma tempranas en lugar donde se encuentren.

Azevedo et al. (2015) [55]: presentan en su trabajo de investigación una propuesta de API (Application Programming Interfaces) para integrar datos de sensores en aplicaciones web y WebRTC para la comunicación e intercambio de datos entre pares a través de una extensión de WebRTC mediante aplicaciones web, utilizando protocolos de transmisión como SRTP (Secure Real-time Transport protocol) y SCTP (Stream Control Transmission Protocol), en donde el contenido multimedia se transmite mediante SRTP y los datos dependen de SCTP.

Igualmente, Andrikos et al. (2019) [56], Un entorno de teleconsulta en tiempo real mejorado y transparente para radiólogos: Este artículo describe una novedosa plataforma basada en web que promueve servicios avanzados de teleconsulta en tiempo real sobre imágenes médicas. Los principios de los sistemas de gestión de flujo de trabajo heterogéneos y las tecnologías de vanguardia, como el patrón arquitectónico de microservicios, las redes de igual a igual y el concepto de aplicación de una sola página con comunicación por pares y una aplicación de una sola página (SPA), para proporcionar servicios de teleconsulta en tiempo real, basado en el protocolo WebRTC.

Por otro lado, el artículo publicado por Naeemabadi et al. (2019) [58], Desarrollo de un programa de telerehabilitación para la recuperación postoperatoria de una cirugía de rodilla: especificaciones y requisitos, donde diseñaron y desarrollaron un programa de tele rehabilitación, que incluye una plataforma portátil para el paciente, así como una plataforma web para el médico. Estas plataformas incluyen servicios de comunicación, capacitación, reporte e información a los pacientes. Además, la portabilidad y la facilidad de uso del programa se mejoraron ofreciendo servicio offline. Se plantea un sistema de gestión de contenido (CMS) que interconecta las dos plataformas.

En resumen y de acuerdo con la revisión sistemática efectuada, los pacientes perciben la tecnología (internet, cámara, dispositivo o computador) relativamente costosa para acceder

a la videoconferencia, lo que plantea problemas de equidad. Sin embargo, el acceso a Internet y el uso de teléfonos inteligentes aumentan año tras año en toda la población [59], lo cual facilita el acceso a un navegador web para una consulta remota. Para la misma, prefieren el uso de una plataforma sencilla e intuitiva [60], así mismo, mientras más experiencia tecnológica tienen buscan una interfaz más compleja [59], comúnmente está relacionado con la edad del paciente. A parte del uso de la tecnología en la consulta, la comunicación entre el médico y el paciente no es tan diferente a una consulta cara a cara, existe igual aceptación y satisfacción considerando siempre la experiencia y capacidad del médico. Sin embargo, uno de los temores clave con respecto es la falta de contacto humano físico y confianza [54]. Adicionalmente, se presenta cierta incomodidad por quedarse solos en salas de espera virtual antes de su consulta remota.

Para los médicos, en la mayoría de los casos, fue una experiencia nueva y, en ocasiones, desafiante. aunque en gran medida se concluía a esta consulta remota fácil de usar. Una de las preocupaciones principales de los médicos es la privacidad de los datos y su correcto manejo [61]. Los médicos consideraron beneficioso para las consultas tempranas y control de tratamiento donde no se requiere un examen físico formal, pero las señales visuales son importantes. Se considera que las consultas cara a cara son más importantes cuando se requiere de emociones más desafiantes [59], [62]. Los profesionales de la salud reconocen los beneficios para los pacientes, pero también reconocen las barreras, como la falta de apoyo de expertos en el área de la salud y tecnológica dispuestos a capacitar a profesionales de la salud, flujo de trabajo, carga de trabajo y desconocimiento de la tecnología. Adicionalmente, se debe considerar el mantenimiento de los modelos de atención médica virtual requerirá la de políticas de apoyo, regulaciones y modelos económicos [53], [63].

4. Capítulo 4: Metodología

Dentro de este trabajo de titulación, uno de los objetivos principales, fue el diseño e implementación de un prototipo para un software de videoconferencia segura y confiable que, a su vez, se integre a un sistema de telemedicina. Por lo que dentro de este capítulo se define la metodología empleada para el desarrollo de este siguiendo una metodología ágil y acelerando el proceso de implementación.

4.1. Definición de metodología

Para la generación del software de videoconferencia se ha propuesto el uso de una metodología ágil. Dentro de la investigación de [50], se han evaluado múltiples metodologías para el desarrollo web, con el fin de que se pueda elegir la correcta de acuerdo con el contexto, mostrando las fortalezas y debilidades de cada una. De acuerdo con el contexto de

este trabajo de titulación, se seleccionó a Secure FDD (Feature Driven Development) [29], el cual es una extensión de la metodología ágil FDD [49].

El desarrollo del software de videoconferencia se fundamentó en la aplicación de la metodología planteada por la OMS en su herramienta de soporte para el fortalecimiento de la telemedicina [28], un marco metodológico que organiza el diseño, implementación y evaluación del sistema en cinco etapas, denominadas Cores (ver Figura 6). Estas etapas comprenden la Evaluación de la Situación Actual, donde se diagnostican las capacidades iniciales del sistema y se evalúa la preparación de los recursos disponibles; la Estrategia de Telemedicina, que establece la visión estratégica, objetivos y metas del sistema; el Cambio Organizacional, que analiza la aceptación y adopción del sistema por parte de usuarios y personal médico; el Desarrollo del Servicio, enfocado en garantizar la calidad de las funcionalidades y su implementación en escenarios reales; y, finalmente, el Monitoreo y Optimización, que asegura la mejora continua mediante el seguimiento de indicadores clave de rendimiento. Esto permite un proceso iterativo y dinámico, donde las etapas, según los avances del proyecto, pueden volver a ejecutarse, asegurando que el software cumpla con los estándares establecidos y responda a las necesidades específicas del sistema de salud.

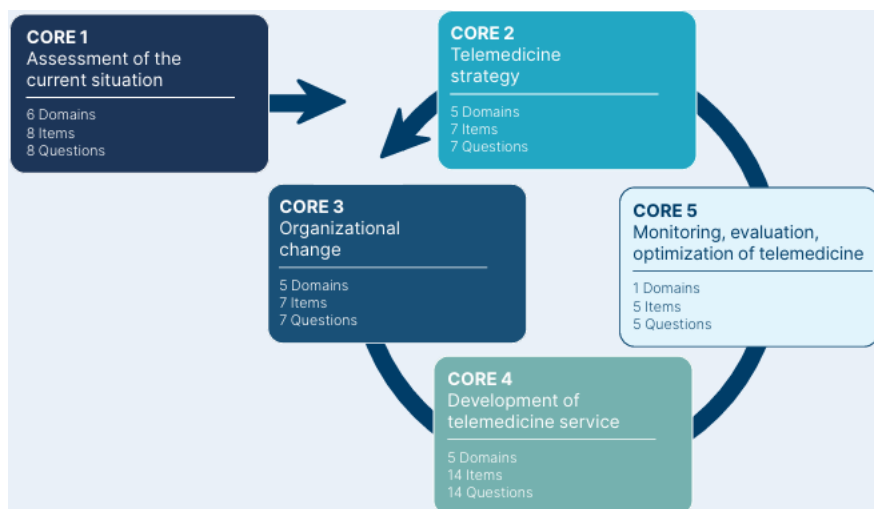


Figura 6 La lógica de cores centrales de Support Tool [28]

Complementando este marco, se utilizó la metodología Feature-Driven Development (FDD), seleccionada por su enfoque en el desarrollo de sistemas web seguros y escalables. En la Figura 7 se muestran las actividades FDD que se representan como figuras rectangulares redondeadas. Mientras que las subtareas, dentro de cada actividad FDD, se representan con rectángulos. Estas subtareas incluyen: nuevas subtareas específicas para el análisis de seguridad; y tareas personalizadas para aplicaciones web. Se produce principalmente un modelo de caso de uso y un modelo de clase/objeto.

La combinación de la Herramienta de Soporte y FDD proporcionó un marco robusto para abordar tanto aspectos estratégicos y organizacionales como técnicos. Esta integración permitirá que el desarrollo del software asegure un software seguro y funcional, ajustado a las exigencias del entorno de telemedicina y alineado con las necesidades de los usuarios finales.

A continuación, se explican brevemente cada una de las subtareas de FDD complementadas con los cores principales presentados en la herramienta de soporte:

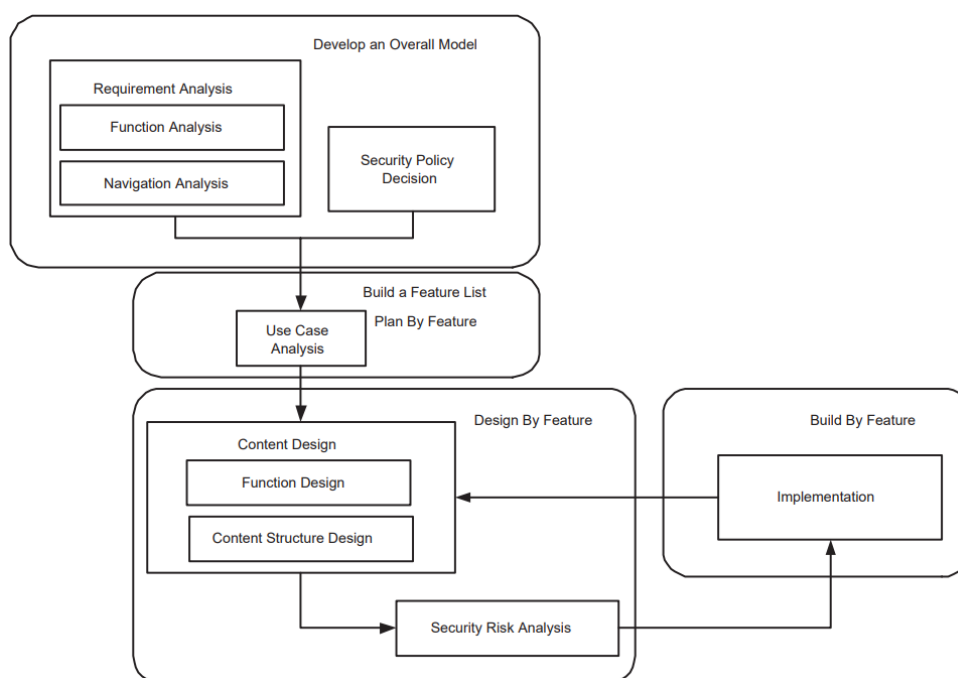


Figura 7 Proceso de desarrollo de aplicaciones web seguras [29].

- 1. Análisis de Requisitos, Evaluación de la Situación Actual y Estrategia de Telemedicina (FDD + Core):** Este paso combina la identificación de necesidades técnicas y de seguridad del sistema con un enfoque estratégico. Mediante la metodología FDD, se elabora una lista de características (Build Feature List, BFL) que define las funcionalidades esenciales del sistema. Paralelamente, se incorporan el primer Core (Evaluación de la Situación Actual), que diagnostica las capacidades iniciales y los recursos disponibles, y el segundo Core (Estrategia de Telemedicina), que alinea estas características con las metas estratégicas del proyecto y su alcance organizacional. Este enfoque integrado asegura que cada funcionalidad no solo cumpla con los requisitos técnicos, sino que también responda a las necesidades específicas del sistema de telemedicina, contribuyendo así a alcanzar su visión global.

2. **Decisión de Política de Seguridad y Cambio organizacional (FDD + Core):** En este punto, se definen políticas claras para garantizar la seguridad del sistema. Este paso puede complementarse con los principios del Core de Cambio Organizacional, considerando cómo los usuarios adoptarán y percibirán las medidas de seguridad implementadas, para minimizar barreras de uso y maximizar la aceptación.
3. **Análisis de Casos de Uso y Desarrollo del Servicio (FDD + Core):** Las características definidas se clasifican y organizan para construir un modelo estructural del sistema. Aquí, se refuerza el análisis mediante el Core de Desarrollo del Servicio, asegurando que los casos de uso representen escenarios reales, alineados con las necesidades clínicas y de los usuarios finales.
4. **Diseño de Contenido y Optimización (FDD + Core):** Se desarrolla un plan detallado para implementar las características y funcionalidades, mediante un diseño estructural y funcional. Este diseño se complementa con el Core de Monitoreo y Optimización, previendo indicadores clave para medir la efectividad y el rendimiento de las funcionalidades durante su implementación y uso.
5. **Análisis de Riesgos de Seguridad y Cambio Organizacional (FDD + Core):** Este paso se convierte en un proceso iterativo donde los riesgos identificados se evalúan y mitigan progresivamente. La lógica del Core de Cambio Organizacional también puede aplicarse aquí, involucrando a los usuarios y personal médico en la identificación de riesgos operativos y su mitigación.
6. **Implementación y Desarrollo del Servicio (FDD + Core):** Durante esta etapa, el sistema se desarrolla con un enfoque en las características priorizadas, especialmente aquellas relacionadas con la seguridad. Al mismo tiempo, el Core de Desarrollo del Servicio asegura que la implementación sea funcional y viable en escenarios clínicos reales.
7. **Monitoreo y Optimización (Core):** Tras la implementación, se realiza un seguimiento continuo del sistema. Los indicadores clave definidos en los pasos anteriores, junto con las herramientas de FDD para iterar y mejorar, aseguran un ciclo constante de retroalimentación y ajuste.

4.2. Definición de metas del software y estrategia de telemedicina

Las metas propuestas para el software se plantean a través de una descripción general, el alcance y restricciones de este.

4.2.1. Alcance

- Se propone desarrollar un software de videoconferencia segura y confiable para la integración a un sistema de telemedicina. Este software se integra al proyecto ElectroHealth HUB como parte del sistema de telemedicina propuesto por INNTRATEC S.A.S.
- El software se integrará a un subsistema de Identidad Digital para Historial Clínico Unificado para la autenticación mediante Blockchain de los médicos y pacientes [5].
- Así mismo, se integrará a un Historial Clínico Electrónico (HCE) a través de un middleware para la extracción y estandarización de datos en formato FHIR y HL7 [4].
- Adaptar la arquitectura para utilizar todas las características de seguridad en la lectura de datos de un dispositivo externo en este caso un pulsímetro [6].
- El objetivo principal del software es permitir una videoconferencia segura para consulta, tratamiento y agenda de citas entre médico y paciente, en donde se considera el nivel de acceso a su información (estandarizada en FHIR/HL7) médica a través de una identidad digital en Blockchain.
- Se busca que tanto al paciente como al médico se le facilite el proceso de consulta, agenda y tratamiento a través de una videoconferencia segura, cumpliendo con características de seguridad como

confidencialidad, integridad, disponibilidad y autenticidad.

- Los niveles de acceso a los datos se manejan de acuerdo con las políticas de INNTRATEC S.A.
 - **Básico:** en este nivel se proveerá únicamente los datos incluidos en el formulario 001 del MSP detallado más específicamente en el estudio para estandarizar estos datos [4].
 - **Avanzado:** en este nivel se podrá acceder a la información de todos los formularios que incluyen:
 - Anamnesis
 - Consulta Externa – Anamnesis y EF
 - Consulta Externa – Evolución
 - Evolución y prescripciones
 - Examen Físico

A continuación, se proporciona una descripción detallada y los niveles de acceso a la información:

- Nivel de Acceso 1: Permite acceder exclusivamente a los datos demográficos de los pacientes, es decir, a todos los datos correspondientes al formulario 001 del MSP que se encuentran detallados dentro del trabajo de titulación Software integrador de información médica utilizando Health Level Seven y FHIR [4]
- Nivel de Acceso 2: En este caso, el acceso se amplía para incluir lo mencionado en el nivel de acceso 1. Además, se tiene acceso a todos los antecedentes del paciente, tanto personales como familiares. Estos datos están contenidos en los formularios 002 y 003, específicamente en las secciones de anamnesis - consulta externa y anamnesis, respectivamente.
- Nivel de Acceso 3: En este nivel, se tiene acceso a todos los datos disponibles en el

middleware. Esto implica que, además de incluir la información mencionada en los niveles de acceso 1 y 2, se puede acceder a la totalidad de los formularios 002, 003 y 005.

4.2.2. Descripción General

Se propone que el software ofrezca al médico la posibilidad de acceder a la información del Historial Clínico Electrónico (HCE) con la debida autorización, en línea, del paciente durante una videoconferencia. Para ello, se sugiere una arquitectura modular, que consta de un servidor que mantiene la conexión y transmisión en tiempo real mediante el uso de WebRTC [44], [48]. Para los servicios de backend y frontend se empleará el framework Next.js [40].

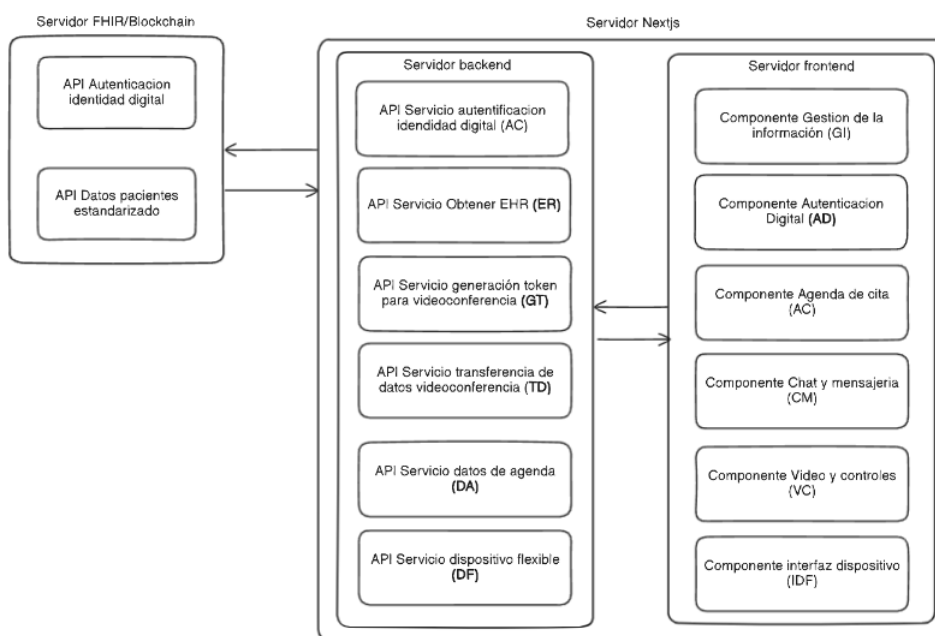


Figura 8 Arquitectura del software de videoconferencia

La arquitectura incluye un Servidor Back End (SBE), que consta de seis submódulos para el manejo de la autenticación, videoconferencia y la transferencia de datos: el Servicio de Transferencia de Datos (TD), el Servicio de Generación de Tokens (GT), el Servicio de Autenticación Servidor-Cliente (AC), servicio de datos de agenda (DA), servicio dispositivo adicional flexible (DF), que permite integrar un dispositivo de lectura de datos a la plataforma y los servicios de conexión con el servidor FHIR/Blockchain que es el servicio obtener EHR (ER). Además, se dispone de un Servidor Front End (SFE), que incluye seis módulos, cada uno dedicado a una actividad específica relacionada con las funcionalidades del software de videoconferencia, como se muestra en la Figura 8: el Módulo de Gestión de la Información (GI), el Módulo de Agenda de Citas (AC), el Módulo de Chat y Mensajería (CM), el Módulo de

Autenticación Digital (AD), el Módulo de Video y Controles (VC) y el módulo de interfaz para dispositivo adicional (IDF).

El módulo GI será utilizado por los médicos para revisar la información de los HCE obtenida desde el middleware [4]. El módulo AC e IDA será accesible únicamente por los médicos para programar citas para los pacientes y revisar la información de los pacientes en tiempo real. Los módulos VC y CM estarán disponibles tanto para pacientes como para médicos durante una videoconferencia. Todos los módulos serán accesibles únicamente a través del módulo AD [5], que se encargará de validar el nivel de acceso de los médicos.

4.2.3. Funcionalidades del Software

A continuación, se definen las funcionalidades del software propuesto, mediante los módulos mencionados en la Figura 8. La funcionalidad de cada uno de estos módulos se explica a continuación:

Aplicación Servidor BackEnd

En este servidor se llevará a cabo la parte lógica para la comunicación de los servidores de videoconferencia, utilizando los protocolos necesarios para mantener una videoconferencia basada en la arquitectura WebRTC [48]. Los servicios que se ejecutan dentro de este servidor se subdividen en:

- Servicio TD: Este servicio se enfoca en la gestión de la videoconferencia. Incluye los motores de audio y video, así como los protocolos de transporte que, junto con la gestión de la sesión y la señalización, generan una videoconferencia accesible únicamente con un token único generado para la sala a través del servicio de generación de tokens.
- Servicio GT: Este servicio contempla la integración con el servicio de blockchain para obtener un token único vinculado a la identidad digital del médico, lo que permite generar un toque personal para cada una de las salas de videoconferencia. Es fundamental señalar que, sin este token o

con un token inválido, tanto los datos como la sala serán inaccesibles para el médico.

- Servicio AC: El servidor de autenticación de clientes tiene la función de generar un token válido exclusivamente para el servidor frontend. Este token establece una sesión tanto para el médico como para el paciente en sus respectivos dispositivos. Además, este token se utiliza para acceder a todos los servicios previos a una videoconferencia. Asimismo, la información médica del paciente es accesible únicamente mediante el token generado por la identidad digital a través de la blockchain.
- Servicio ER: Este servicio está diseñado para transmitir solicitudes al servidor FHIR/blockchain con el fin de recuperar datos del EHR del paciente. Esta operación es factible únicamente con la autorización del paciente. La información recuperada se proporciona en un archivo, ya sea en formato XML o JSON, que posteriormente puede ser interpretado a través de la interfaz correspondiente.
- Servicio DA: Mediante este servicio se accede a la totalidad de los datos de la agenda de citas médicas. Permite visualizar tanto las citas pendientes entre el paciente y el médico como las citas previas. Adicionalmente, este servicio facilita el enlace para el acceso a una sesión de videoconferencia

- Servicio DF: Este servicio permite la integración de un dispositivo adicional que cumple con todos los estándares de seguridad establecidos en el proyecto. El dispositivo está habilitado para mostrar al médico los datos del paciente en tiempo real, pero únicamente durante la videollamada. Es importante destacar que el acceso a estos datos requiere autenticación y el acceso previamente aprobado por el paciente.
- El SBE será transparente para los usuarios. Es importante recalcar que, dentro de este servidor, se realizarán las validaciones correspondientes para los accesos de los médicos y pacientes, así como para la creación de una sala de videoconferencia. Asimismo, se utiliza la información de autenticación para otorgar el acceso correspondiente a la videoconferencia y a cada uno de los servicios en la aplicación frontend.

Aplicación Servidor Frontend

Este servidor está enfocado en la interfaz con la que el médico y el paciente interactuarán previo y durante una videoconferencia. Se han considerado distintos componentes dentro de esta interfaz para cumplir con ciertas actividades y mejorar la experiencia de la consulta remota. Los módulos se pueden subdividir en:

- Módulo AD: Este módulo se utiliza para autenticar al médico y al paciente. Es esencial que ambos pasen por este proceso para poder acceder a la videoconferencia. Para la validación, se utiliza la autenticación a través de la Identidad Digital del médico mediante la

blockchain. Este módulo está diseñado para enlazarse directamente con la blockchain, determinando el nivel de acceso y la información correspondiente, y permitiendo realizar peticiones de autenticación y obtener un token que verifique que el médico y el paciente están autenticados.

- Módulo GI: En este módulo se mostrará toda la información del Historial Clínico Electrónico (HCE) a la que solo el médico tendrá acceso. El médico podrá acceder a esta información una vez haya sido validado por el Módulo AD. La información del paciente se adapta a través de un middleware, estandarizándola al formato FHIR, y mostrando solo la información accesible según el nivel de acceso del médico. La respuesta puede recibirse en formato XML o JSON, y este componente se encargará de adaptar esta información para que sea visible y modificable por el médico durante la videoconferencia [4].
- Módulo AC: Este módulo se utiliza para la agenda de citas del médico con el paciente. Este módulo incluirá un calendario donde se podrán ver las citas del médico, los días disponibles y los horarios en los que se puede asignar una nueva cita al paciente. Al igual que en el módulo anterior, el médico debe estar autenticado a través del Módulo AD para utilizarlo. Para el paciente, solo será visible una agenda de los días en los que tiene cita.

- **Módulo VC:** Este módulo proporciona la interfaz de videoconferencia, donde el médico y el paciente pueden verse a través de la pantalla. Incluye opciones para encender/apagar la cámara, activar/desactivar el micrófono y compartir la pantalla. Este módulo es crucial, ya que todos los datos compartidos a través de la videoconferencia (audio y video) deben estar asegurados e inaccesibles para terceros. Este módulo se conecta directamente con la aplicación SBE para establecer la comunicación entre los usuarios conectados.
- **Módulo CM:** Este módulo permite compartir información durante la videoconferencia. Su objetivo principal es que el usuario pueda enviar mensajes de texto. Tanto el médico como el paciente deben estar autenticados para utilizar este módulo
- **Modulo IDF:** Este módulo agrega la interfaz correspondiente para poder visualizar los datos en tiempo real obtenidos mediante el dispositivo que se agregue. Cabe recalcar que los datos enviados por los dispositivos solo son accesibles si ambas partes se autentican y se ha ingresado a la videoconferencia, es decir, si la solicitud de acceso fue aprobada previamente.

4.2.4. Restricciones

- Para acceder a este software el cliente y el médico deberán tener una cuenta ya registrada dentro del sistema propio del centro médico y el subsistema de Identidad Digital.

- Para el manejo de la información, se pretende utilizar la ley de la protección de los datos relacionados con datos digitales, priorizando las características de seguridad mencionadas en la ley HIPAA.
- Para el manejo de los datos, se debe enlazar el software al subsistema FHIR [4] para la estandarización de los datos médicos.
- Se han planteado que se utilizará el protocolo FTP para la comunicación.
- Se utilizará la metodología de programación ágil Secure FDD propuesta por [29].
- Para el acceso a una videoconferencia es necesario que exista una cita previa y tanto el médico como el paciente deben estar autenticados a través del subsistema de Identidad Digital [5].
- Se pretende utilizar un protocolo de seguridad https validando el certificado SSL en el dominio correspondiente a la Universidad de Cuenca (ucuenca.edu.ec) o laboratorio de telemedicina.
- Para la validación de las funcionalidad y usabilidad del software se utilizarán datos ficticios para las pruebas correspondientes.

4.2.5. Suposiciones y Dependencias

- Los datos están estandarizados al formato HL7, por lo que la información deberá ser adaptada a este estándar de acuerdo con la investigación de Maxi & Morocho, (2021).

- Solo se acepta peticiones JSON y XML
- El dominio, los certificados y el mantenimiento de los servidores será otorgado por la Universidad de Cuenca a través del laboratorio de telemedicina.
- Todos los datos utilizados para las pruebas serán generados de manera ficticia para que se realicen las pruebas con los médicos y estudiantes que son parte del proyecto.
- Si el usuario accede por primera vez a software de videoconferencia, siempre se debe pedir los permisos correspondientes del micrófono y de la cámara a través del navegador.

4.2.6. Restricciones de diseño

- La interfaz del software de videoconferencia debe ser adaptable en cualquier dispositivo por lo que se propone que funcione bajo el concepto de web responsive.
- Al ser adaptable en cualquier dispositivo, el software debe ser capaz de interoperar entre distintos dispositivos, es decir, puede existir una comunicación entre dispositivos móviles, laptops, computadoras de escritorio y tablets.
- El software debe soportar distintos navegadores web como Chrome, Edge, Firefox y Safari, independientemente de la arquitectura del computador o dispositivo.
- Los dispositivos Android y iOS pueden hacer uso de este prototipo, siempre y

cuando existan los permisos correspondientes relacionados con la cámara y micrófono. Además de contar con una interfaz adaptable preferentemente de manera horizontal.

4.3. Definición de un modelo general y cambio organizacional

4.3.1. Análisis de requerimientos

En esta primera etapa se define un modelo general. Inicialmente, fue necesario familiarizarse con el contexto del software de videoconferencia. En esta fase, se revisan los requerimientos planteados y se seleccionan los módulos necesarios para satisfacer estos requerimientos. Se han propuesto cinco módulos para cumplir con las actividades básicas indicadas en el desarrollo del software. A continuación, se presenta un modelo general (figura 8) de los actores y los accesos que tendrán a cada módulo planteado dentro del software de videoconferencia.

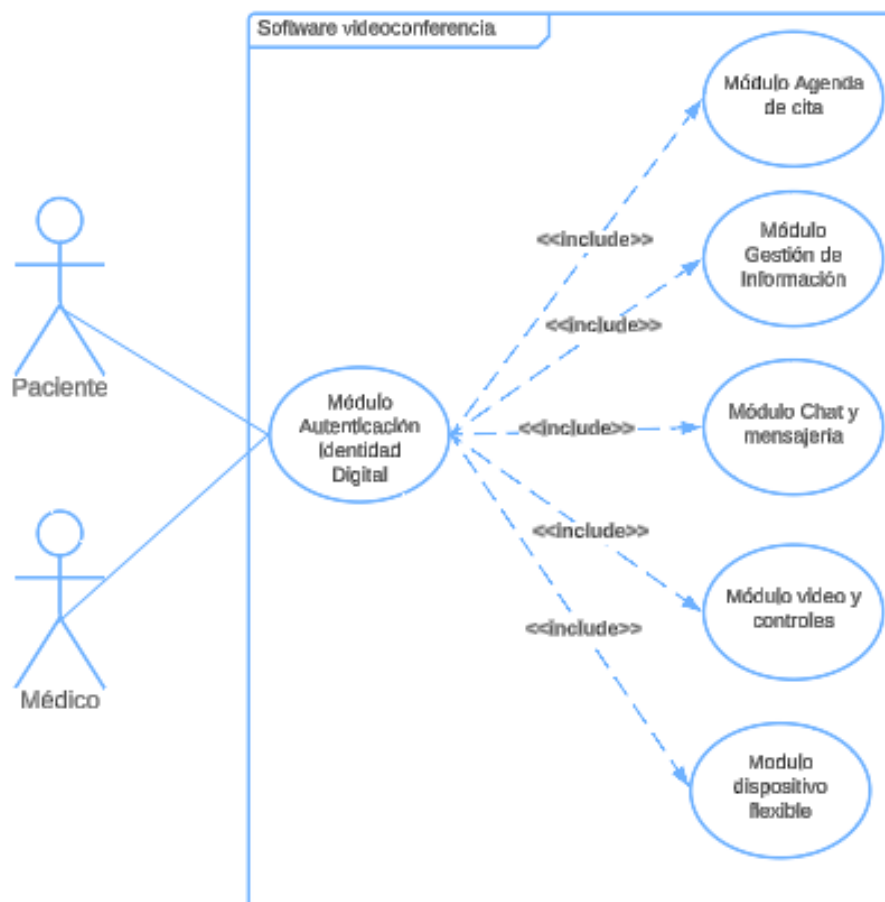


Figura 9 Modelo general del software de videoconferencia planteado por módulos

De manera general, un médico tendrá acceso a todos los módulos planteados, siempre y cuando cumpla con el proceso de autenticación a través del módulo AD. Por otro lado, un paciente tendrá acceso a los módulos CM, AD y VC. También se debe considerar que existe un servidor SBE donde se realizarán las validaciones para el acceso a la videoconferencia y se establecerá la comunicación entre los dos actores dentro de la misma.

4.3.2. Definición de actores que interactúan con el software

Este software tiene planteado interactuar con dos tipos de actores para realizar las distintas actividades: Médico y Paciente. En las siguientes tablas (Tabla 1 y Tabla 2), se especifican las características de cada uno de ellos, así mismo, se define su nivel de educación necesario, experiencia relacionada con su área y sus conocimientos técnicos. Debe considerarse que, al tratarse de un escenario de telemedicina, se debería contar con la ayuda de un asistente médico, pero que la aplicación también podría ser utilizada directamente por el paciente. Para evitar confusiones, en este documento se referencia directamente al paciente.

Tabla 1 Características Paciente

Tipo de Actor	Paciente
Nivel de educación	No aplica
Experiencia	No aplica
Experiencia técnica	Conocimientos básicos en el uso de dispositivos móviles inteligentes o de escritorio.

Tabla 2 Características Médico

Tipo de Actor	Médico
Nivel de educación	Tercer nivel o superior
Experiencia	Área de la salud.
Experiencia técnica	Conocimientos básicos en el uso de dispositivos móviles inteligentes o de escritorio.

4.3.3. Decisión de política de seguridad

Para el proyecto se han considerado los siguientes objetivos y políticas de seguridad:

Objetivos de seguridad:

Toda la información y las funciones están restringidas, es decir, sólo estarán disponibles para usuarios que estén identificadas autenticadas y autorizadas.

Debido a que son datos médicos personales, estos deben ser confidenciales, por lo que se deben mantener encriptados al momento de solicitar la información. Se debe garantizar la integridad de los datos mientras son comunicados.

Es importante garantizar la disponibilidad del sistema, es decir, que pueda realizarse una consulta remota en cualquier momento.

Políticas de Seguridad

Autenticación: La aplicación verificará la identidad de todos los usuarios antes de permitirles realizar sus tareas asociadas. Este proceso se realiza mediante el módulo AD.

Autorización: A cada usuario solo se le otorgará el acceso suficiente para realizar las tareas para las que ha sido autorizado explícitamente, dependiendo de su rol dentro de la aplicación, se ha realizado validación de permisos mediante roles dentro del servidor frontend.

Identificación: Para realizar cualquier proceso dentro de la videoconferencia, es necesario que tanto el médico como el paciente se identifiquen mediante el módulo AD, caso contrario ningún modulo ni ventana es accesible.

Integridad: La información intercambiada dentro del software no es editable, lo que impide modificar cualquier campo almacenado dentro del HCE. Además, se utiliza un certificado SSL para cifrar las comunicaciones, asegurando que los datos transmitidos entre el cliente y el servidor sean protegidos contra interceptaciones y manipulaciones. Las peticiones válidas son gestionadas y verificadas por la lógica de la aplicación y el servidor.

Control de Acceso y Autenticación: Las políticas de seguridad para las APIs de comunicación entre servicios incluyen el uso de claves API (x-apis-key) encriptadas, que son conocidas únicamente por el cliente y el servidor. Esta medida está diseñada para garantizar un control estricto sobre quién puede acceder y utilizar los servicios proporcionados. Las claves API encriptadas son generadas y gestionadas de manera segura, y se utilizan para autenticar y autorizar las solicitudes de los clientes.

Confidencialidad de Datos: La encriptación de las claves API asegura la confidencialidad de la información durante la transmisión. Esto significa que las claves no pueden ser interceptadas ni interpretadas por terceros, asegurando la protección de la información sensible.

Integridad de Datos: Además de la confidencialidad, la encriptación de las claves API también garantiza la integridad de los datos. Esto previene que los datos sean alterados o modificados durante la transmisión entre el cliente y el servidor, asegurando que las comunicaciones sean seguras y fiables.

Roles de Médico y Paciente: Se establecen roles diferenciados para médicos y pacientes. Los médicos tienen acceso a todos los módulos y funcionalidades del software después de autenticarse correctamente. Los pacientes tienen acceso limitado a ciertos módulos, siempre después de la autenticación adecuada.

4.4. Construir una lista de características

4.4.1. Módulos y características identificadas

Una vez completado el modelo general del software, se han definido cinco diagramas de casos de uso detallados que describen las funcionalidades de cada uno de los módulos propuestos. En esta etapa, se identificaron las siguientes características para cada módulo, las cuales se presentan en la Tabla 3:

Tabla 3 Módulos y características identificadas.

Módulo	Id	Característica
Servidor BackEnd (SBE)	SBE1	Establecer una conexión por pares
	SBE2	Transferencia de Audio
	SBE3	Transferencia de video
	SBE4	Compresión y encriptado de datos.
	SBE5	Detección de actividad de voz
	SBE6	Cancelación de ruido y eco
	SBE7	Captura de pantalla
	SBE8	Procesamiento y optimización de video

	SBE9	Mejora de la calidad de la imagen de video de la cámara.
Video y Controles (VC)	VOC1	Activar/Desactivar Micrófono.
	VOC2	Encender/Apagar Cámara.
	VOC3	Compartir Pantalla.
	VOC4	Salir de la llamada.
Agendar Cita (AC)	ACC1	Abrir Calendario.
	ACC2	Seleccionar Fecha.
	ACC3	Agregar Observaciones.
	ACC4	Guardar Información.
Autenticación Digital (AD)	ADC1	Iniciar Sesión
	ADC2	Solicitar Acceso de Información
	ADC3	Autorizar Acceso a información
	ADC4	Mostrar Información
Chat y mensajería (CM)	CMC1	Enviar mensaje de texto

Una vez definidas las características con las que se va a trabajar en cada módulo, se plantean los diagramas de casos de uso correspondientes, los cuales incluyen actores y accesos específicos. Estos diagramas de casos de uso y las características identificadas proporcionan una visión clara y detallada de cómo se estructurará y funcionará el software de videoconferencia, asegurando que todas las necesidades y requisitos definidos se cumplan de manera eficiente y efectiva.

4.4.2. Modulo video y controles

Este módulo es importante, debido a que será el encargado de la videoconferencia por lo que dentro de este módulo se establecerá la comunicación con la aplicación. Las características se representan en la figura 9 y pueden ser incluidas dentro del mismo componente.

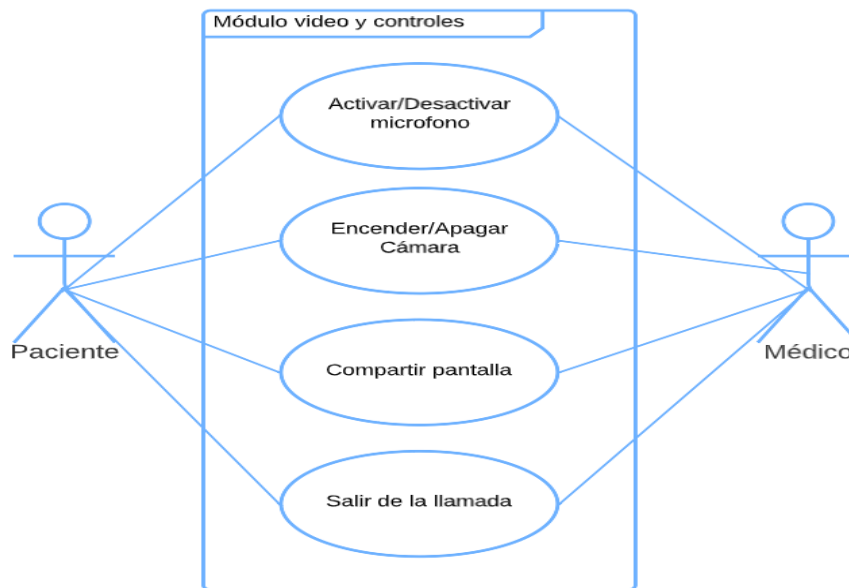


Figura 10 Diagrama de casos de uso del módulo video y opciones.

4.4.3. Modulo agendar cita

El módulo agendar cita será accesible solamente por el médico, en este caso las características planteadas están enfocadas a la agenda de cita entre el médico y paciente, es importante destacar que la agenda de cita se puede realizar durante la videoconferencia, las características de este módulo están representadas en la figura 10.

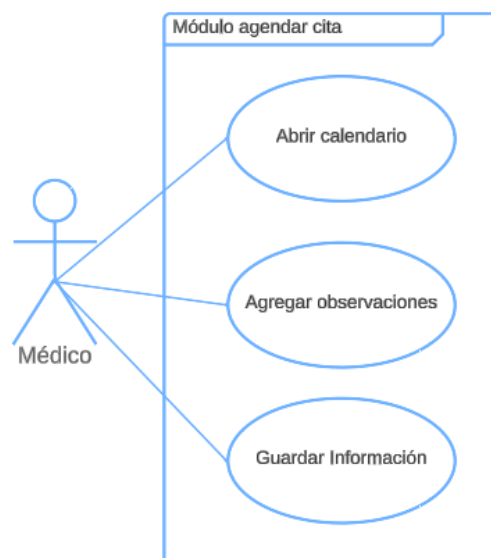


Figura 11 Diagrama de casos de uso del módulo agendar cita

4.4.4. Modulo autenticación identidad digital

Este módulo se encarga de la autenticación de los usuarios, gestionando los permisos de acceso del médico a los datos del paciente. Las características que se implementan se

muestran en la figura 11. Se conecta directamente con el subsistema de Identidad Digital a través de la Blockchain. Es importante destacar que este módulo también se comunica con el servidor backend para autenticar al cliente y solicitar el token de identidad digital.

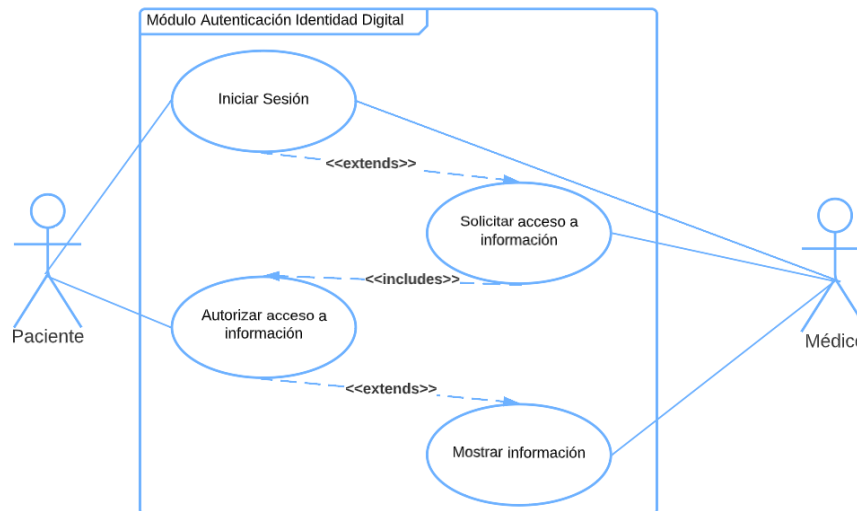


Figura 12 Diagrama de casos de uso del módulo Autenticación Identidad Digital.

El proceso de autenticación es el siguiente: una vez que tanto el médico como el paciente han iniciado sesión, el médico solicita acceso a la información del paciente antes de iniciar la videoconferencia. El paciente, a su vez, debe aprobar o rechazar esta solicitud antes de comenzar la videoconferencia. Si el paciente aprueba la solicitud, el médico puede acceder a la información del paciente según su nivel de acceso. En caso de rechazo, el médico no podrá acceder ni a la videollamada ni a los datos del paciente.

4.4.5. Modulo chat y mensajería

Dentro de este componente de los usuarios, se podrá compartir información dentro de una interfaz de chat durante la videoconferencia. Toda la información compartida será encriptada, este componente es accesible para los dos roles y como se muestra una figura 12 la única característica que tiene es enviar un mensaje de texto.

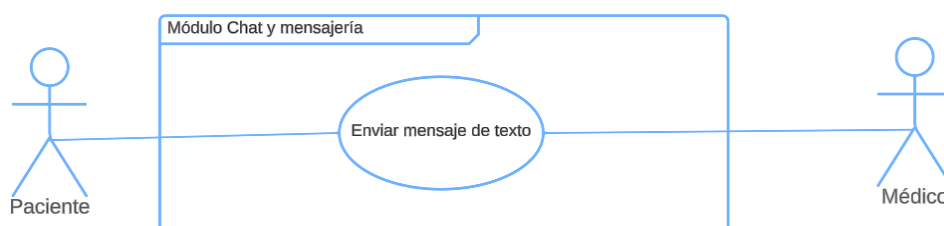


Figura 13 Diagrama de casos de uso del módulo Chat y Mensajería.

4.5. Diseño basado en características y optimización

Se han tomado las características y se han agrupado relacionándolas con características de seguridad y una funcionalidad que cumpla con el requisito planteado.

4.5.1. Requisitos por características de seguridad

A continuación, en la tabla 4 se describen los requisitos de seguridad que se deben desarrollar para las características planteadas anteriormente. Estos requisitos son esenciales y deben ser priorizados conforme a la metodología establecida.

Tabla 4 Requisitos a desarrollar por características planteadas

Id Características	Requisitos por desarrollar
<i>SBE1, SBE2 y SBE3</i>	Asegurar la conexión por pares de manera segura, considerando medidas de encriptado y autenticación. Asegurar la transferencia de audio y video mediante protocolos seguros
<i>SBE4</i>	Aplicar compresión y encriptado de datos para garantizar la confidencialidad y eficiencia en la transmisión.
<i>SBE5, SBE6, SBE 8 y SBE 9</i>	Implementar una detección de actividad de voz segura para mejorar la experiencia del usuario. Incorporar técnicas de cancelación de ruido y eco de forma segura Aplicar procesamiento y optimización de video con enfoque en la seguridad y mejora de la calidad de imagen.
<i>SBE 7, VOC1, VOC2 y CMC1</i>	Validar y asegurar la captura de pantalla para prevenir posibles brechas de privacidad Integrar controles seguros para activar/desactivar el micrófono y encender/apagar la cámara Enviar mensajes de texto de manera segura, implementando cifrado y evitando posibles vulnerabilidades.
<i>VOC3</i>	Implementar el compartimiento de pantalla de manera segura y controlada.
<i>VOC4</i>	Garantizar la seguridad en la operación de salir de la llamada, evitando desconexiones no autorizadas
<i>ACC1, ACC2 y ACC3</i>	Desarrollar la apertura del calendario y la selección de fecha de forma segura Incorporar campos seguros para agregar observaciones, considerando la privacidad de la información

ACC4	Implementar la funcionalidad de guardar información de manera segura y con validaciones.
ADC1	Desarrollar un proceso de inicio de sesión seguro con medidas de autenticación robustas.
ADC2, ADC3 y ADC4	Implementar un sistema seguro para solicitar y autorizar el acceso a la información. Mostrar información de manera segura, validando los permisos de acceso.

4.5.2. Análisis de riesgos de seguridad

SBE1 - SBE2 - SBE3 - Asegurar la conexión por pares de manera segura, considerando medidas de encriptado y autenticación para la transferencia de audio y video mediante protocolos seguros:

Amenazas:

- Ataques de intermediarios que intentan interceptar la conexión.
- Intentos de suplantación de identidad (spoofing) durante el proceso de autenticación.
- Escuchas no autorizadas o interceptación de flujos de audio y video.

Medidas de Seguridad:

- **Utilización de TLS/SSL para encriptar la conexión:** Esto asegura que la comunicación entre pares esté cifrada, protegiendo contra la interceptación de datos por atacantes.
- **Implementación de métodos de autenticación fuertes, como tokens JWT o certificados digitales:** Estos métodos aseguran que solo los participantes autorizados puedan acceder a la comunicación encriptada.
- **Generación de x-api-key dentro del SBE de la aplicación:** Esta práctica asegura que las peticiones entrantes contengan x-api-key, token JWT y token de identidad digital, garantizando que solo las peticiones válidas sean aceptadas y procesadas por el servidor.
- **Encriptación End-to-End (E2EE):** WebRTC ofrece encriptación end-to-end para proteger la confidencialidad de los datos de audio, video y señalización durante la transmisión.
- **Autenticación de Clave Pública:** WebRTC utiliza el protocolo DTLS (Datagram Transport Layer Security) para autenticar claves públicas, asegurando que las comunicaciones no sean interceptadas ni alteradas por terceros.

- **SRTP (Secure Real-time Transport Protocol):** WebRTC implementa SRTP para cifrar y asegurar los flujos de audio y video entre los participantes de la videoconferencia, protegiéndolos contra escuchas no autorizadas y manipulaciones de datos.
- **Seguridad en la transmisión de señalización:** WebRTC proporciona seguridad en la transmisión de señalización a través de WebSockets seguros (wss://), utilizando TLS/SSL para proteger la integridad y confidencialidad de la información de señalización.

SBE4 - Aplicar compresión y encriptado de datos para garantizar la confidencialidad y eficiencia en la transmisión:

Amenazas:

- Ataques contra la clave de encriptación utilizada para la compresión.

Medidas de Seguridad:

- **Implementación de algoritmos de encriptación fuertes y actualizados:** Utilización de AES (Advanced Encryption Standard), para asegurar la confidencialidad de los datos durante la compresión y transmisión.

SBE5 - SBE6 – SBE8 – SBE9 - Incorporar técnicas de cancelación de ruido, eco, procesamiento y optimización de video y mejora de la calidad de forma segura:

Amenazas:

- Uso de librerías desactualizados
- Ataques de inyección de código durante el procesamiento de audio o video.

Medidas de Seguridad:

- **Validación exhaustiva de los datos de entrada:** WebRTC permiten realizar una validación rigurosa de los datos de entrada durante el procesamiento de video para prevenir ataques de inyección de código.
- **Utilización de bibliotecas de procesamiento de video seguras y actualizadas:** WebRTC utiliza bibliotecas de procesamiento de video que son seguras y se mantienen actualizadas, reduciendo así la posibilidad de explotación por vulnerabilidades conocidas.

SBE7 - VOC1 - VOC2 – CMC1 Validar y asegurar la captura de pantalla/ activar/desactivar para prevenir posibles brechas de privacidad:

Amenazas:

- Captura de pantalla no autorizada que podrían exponer información sensible.
- Activación no autorizada del micrófono o la cámara.
- Acceso no autorizado a la imagen compartida por la opción compartir pantalla

Medidas de Seguridad:

- **Restricción del acceso de captura de pantalla/micrófono y cámara:** WebRTC permite implementar restricciones de acceso a los controles, garantizando que solo los usuarios autorizados puedan realizar estas acciones. Esto significa que únicamente cada usuario, desde su propia pantalla, podrá activar la captura de pantalla, micrófono o cámara, asegurando así un control más seguro y específico sobre estos permisos.
- **Implementación de indicadores visuales:** Se proporcionan indicadores visuales que alertan al usuario cuando las funciones de micrófono, cámara y pantalla compartida están activas, mejorando la transparencia y la seguridad del sistema.
- **Uso de protocolos seguros para la transmisión de datos de pantalla:** WebRTC utiliza protocolos seguros, como WebSockets seguros (wss://) y SRTP, para la transmisión segura de datos de pantalla. Esto asegura que la información compartida durante la videoconferencia esté protegida contra escuchas no autorizadas y manipulaciones.

VOC4 - Garantizar la seguridad en la operación de salir de la llamada, evitando desconexiones no autorizadas:

Amenazas:

- Desconexiones maliciosas que interrumpan la llamada.

Medidas de Seguridad:

- **Implementación de un proceso de desconexión seguro que requiere autenticación:** WebRTC implementa un proceso de desconexión seguro que requiere autenticación para garantizar que las desconexiones de la llamada sean autorizadas y no maliciosas. Esto ayuda a prevenir interrupciones no deseadas en la comunicación durante las videoconferencias y asegura que las desconexiones sean controladas y seguras.

ACC1 - ACC2 - ACC3 - Desarrollar la apertura del calendario y la selección de fecha de forma segura:

Amenazas:

- Manipulación de fechas o acceso no autorizado al calendario.

Medidas de Seguridad:

- **Implementación de métodos de autenticación fuertes, como tokens JWT o certificados digitales:** Es necesario un token JWT valido obtenido desde la blockchain para que las solicitudes sean validas
- **Generación de x-api-key dentro del SBE de la aplicación:** Únicamente las APIs que tengan la x-api-key en el servidor frontend son aceptadas para modificar el calendario

ADC1 - Desarrollar un proceso de inicio de sesión seguro con medidas de autenticación robustas:

Amenazas:

- Ataques de fuerza bruta, suplantación de identidad o robo de credenciales.

Medidas de Seguridad:

- **Utilización de HTTPS (SSL/TLS):** Solo conexiones seguras pueden acceder a la API de autenticación
- **Uso de tokens seguros para sesiones** Uso tokens JWT para autenticar las sesiones de usuario. Evitando uso de herramientas externas de ataques de fuerza bruta
- **Actualización de librerías y dependencias:** Se utilizan únicamente librerías actualizadas para el manejo de sesiones y tokens locales

ADC2 y ADC3 - Implementar un sistema seguro para solicitar y autorizar el acceso a la información:

Amenazas:

- Intentos de acceso no autorizado o manipulación de solicitudes de autorización.

Medidas de Seguridad:

- **Utilización de la identidad digital en la blockchain para el acceso a la información:** Se requiere del token que retorna de la blockchain de identidad digital cuando un médico envía una solicitud de acceso a un paciente y éste la aprueba

- **Validación de solicitudes en el servicio de autenticación:** Únicamente pueden acceder a este servicio los que tengan un token generado por la autenticación del servidor frontend y la x-api-key guardada en el servidor cliente

Este análisis detallado proporciona una visión más específica de las amenazas potenciales y las medidas de seguridad que deben implementarse para garantizar la integridad, confidencialidad y disponibilidad de cada característica en un entorno de videoconferencia seguro. Es importante tener en cuenta que las medidas de seguridad deben ser parte integral del diseño y la implementación de cada funcionalidad para garantizar una protección efectiva contra amenazas potenciales.

Tabla 5 Resumen de medidas de seguridad por característica

Característica	Mejora	Amenazas	Medidas de seguridad	Consideraciones de seguridad y confiabilidad
Conexión segura	Asegurar la conexión por pares	Ataques de intermediarios, suplantación de identidad, escuchas no autorizadas	TLS/SSL, autenticación fuerte, x-api-key, E2EE, autenticación de clave pública, SRTP, seguridad en la señalización	Conexiones encriptadas, autenticación robusta, protección contra escuchas no autorizadas
Compresión y encriptación de datos	Confidencialidad y eficiencia en la transmisión	Ataques a la clave de encriptación	Algoritmos de encriptación fuertes (AES)	Datos confidenciales protegidos durante la transmisión
Procesamiento de audio y video	Cancelación de ruido, eco, optimización de	Librerías desactualizadas, ataques de	Validación de datos de entrada, bibliotecas	Procesamiento seguro de audio y video, prevención de ataques de

	video, mejora de la calidad	inyección de código	de seguras y actualizadas	inyección de código
Captura de pantalla, micrófono y cámara	Prevenir brechas de privacidad	Captura de pantalla no autorizada, activación no autorizada de micrófono/cámara, acceso no autorizado a la pantalla compartida	Restricción de acceso, indicadores visuales, protocolos seguros	Controles de acceso granulares, indicadores de actividad, transmisión segura de datos
Salida de la llamada	Evitar desconexiones no autorizadas	Desconexiones maliciosas	Proceso de desconexión seguro con autenticación	Desconexiones controladas y seguras, prevención de interrupciones no deseadas
Apertura del calendario y selección de fecha	Manipulación de fechas o acceso no autorizado al calendario	Métodos de autenticación fuertes, generación de x-api-key	Token JWT y x-api-key para validación de solicitudes	Acceso autorizado al calendario, prevención de manipulaciones
Inicio de sesión	Ataques de fuerza bruta, suplantación de identidad, robo de credenciales	HTTPS, tokens seguros para sesiones, actualización de librerías	Conexiones seguras, autenticación robusta, protección contra ataques de fuerza bruta	
Solicitud y autorización de acceso a la información	Intentos de acceso no autorizado o manipulación de solicitudes	Identidad digital en la blockchain, validación de solicitudes	Token de identidad digital, validación en el servicio de	Acceso controlado a la información, prevención de

			autenticación	accesos no autorizados
--	--	--	---------------	------------------------

4.6. Implementación y desarrollo de servicio

4.6.1. Arquitectura comunicación FrontEnd y BackEnd

La arquitectura del sistema de videoconferencia describe la comunicación entre el servidor frontend y el servidor backend representada en la figura 13, manejada mediante APIs que requieren una `x-api-key` y un token JWT válido, obtenido antes de acceder a cualquier página dentro del servidor frontend. El acceso a los módulos varía entre usuarios pacientes y profesional de la salud; este último puede acceder a módulos adicionales como la gestión de información del paciente y la agenda de citas. Antes de usar cualquier ventana, el usuario debe autenticarse en la página de inicio de sesión utilizando credenciales válidas.

El funcionamiento es el siguiente: el usuario envía sus credenciales mediante una solicitud `POST` al servicio de autenticación, el cual retorna un token de identidad digital desde la blockchain. Si las credenciales son incorrectas o la `x-api-key` no coincide con la del servidor frontend, el acceso es denegado. Tras autenticarse, el usuario accede a la ventana principal (Home) donde se muestran sus citas pendientes. Para una videoconferencia, tanto el profesional de la salud como el paciente deben estar en la página de solicitud de acceso. El profesional de la salud envía una solicitud al paciente, que se procesa en el backend como pendiente. El paciente recibe esta solicitud y puede aceptarla o denegarla.

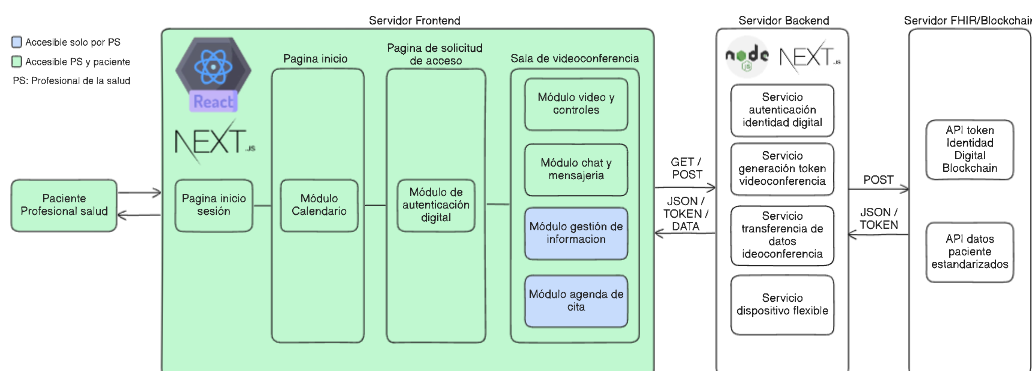


Figura 14 Arquitectura comunicación Frontend y Backend

Si acepta, ambos reciben un token único generado desde la API de identidad digital en la blockchain, necesario para ingresar a la sala de videoconferencia. El profesional de la salud también recibe los datos médicos estandarizados en formato FHIR del paciente, según su nivel de acceso. En la sala de videoconferencia, ambos usuarios tienen acceso a módulos de vídeo y controles, incluyendo activación/desactivación de audio y cámara, compartir pantalla,

salir de la llamada y chat en tiempo real. El médico puede acceder además a módulos de gestión de información médica y a la interfaz del dispositivo flexible, mostrando datos personales y médicos del paciente según el nivel de acceso autorizado, y en el caso del dispositivo flexible ver los datos en tiempo real del paciente.

Nota: Es importante destacar que todos los datos que se muestran en las siguientes secciones son datos ficticios, tanto los datos de los médicos como de los pacientes.

4.6.2. Pantalla Inicio de sesión

La primera ventana implementada fue la de inicio de sesión (figura 14). Esta ventana es crucial para garantizar la autenticación segura de los usuarios antes de que puedan acceder a la plataforma. Los pasos específicos fueron los siguientes:

- 1. Diseño del Formulario de Inicio de Sesión:** Se creó un formulario de inicio de sesión que solicitaba las credenciales del usuario (nombre de usuario y contraseña). Indicado en la parte lateral derecha de la ventana (ver figura 14).
- 2. Autenticación y Cifrado:** Se implementó un sistema de autenticación robusto utilizando protocolos seguros como HTTPS (SSL/TLS) para garantizar que las credenciales se transmitieran de manera segura. Para ello, se validó que la configuración de React y Next.js incluyera los protocolos mencionados, y previo al despliegue, se aseguró que el servidor en el que funcionara cumpliera con estos protocolos. Se utilizaron tokens JWT para gestionar las sesiones de los usuarios de forma segura, y la librería utilizada para este propósito fue NextAuth.js.

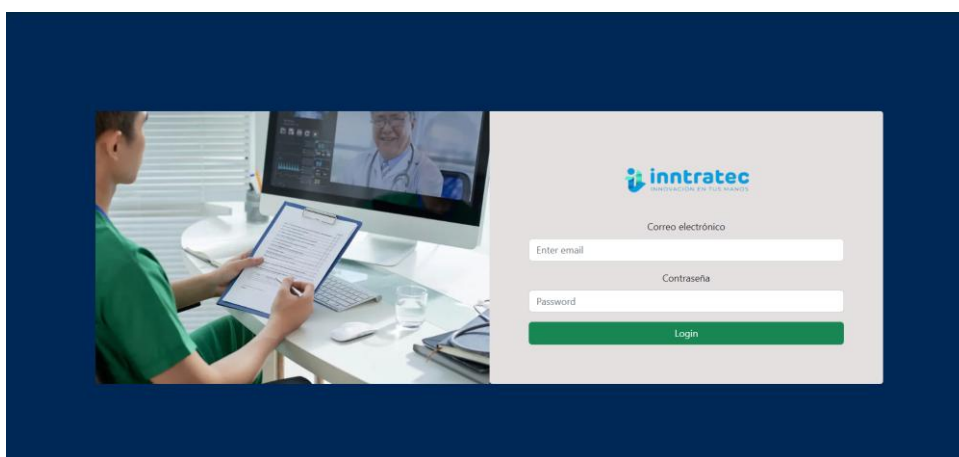


Figura 15 Interfaz de inicio de sesión

- Validación del Usuario:** Se implementó la lógica para verificar las credenciales ingresadas contra una base de datos segura. Se utilizaron algoritmos de cifrado fuertes para almacenar y verificar contraseñas.
- Manejo de Errores:** Se incluyeron mecanismos para manejar errores de inicio de sesión, como credenciales incorrectas o peticiones inválidas, como se muestra en la figura 15 con mensajes de color rojo y notificaciones.

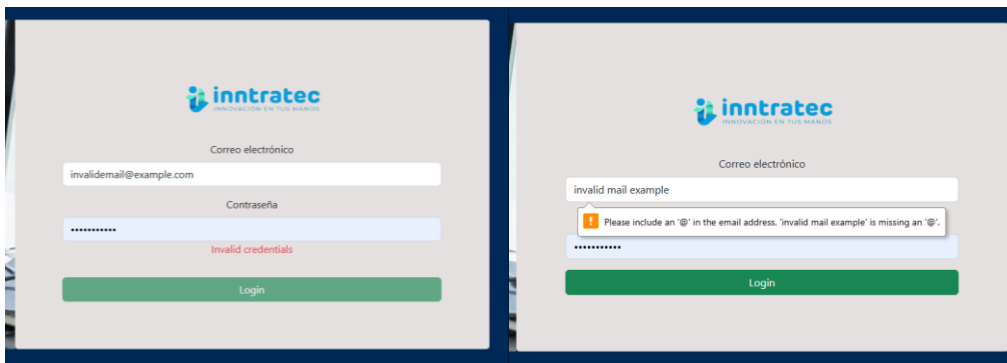


Figura 16 Manejo de errores en interfaz de inicio de sesión

4.6.3. Pantalla “HOME”

La segunda ventana implementada fue la pantalla de inicio o "Home", que proporcionaba una visión general del sistema y acceso a las funcionalidades principales. Los pasos específicos fueron los siguientes:

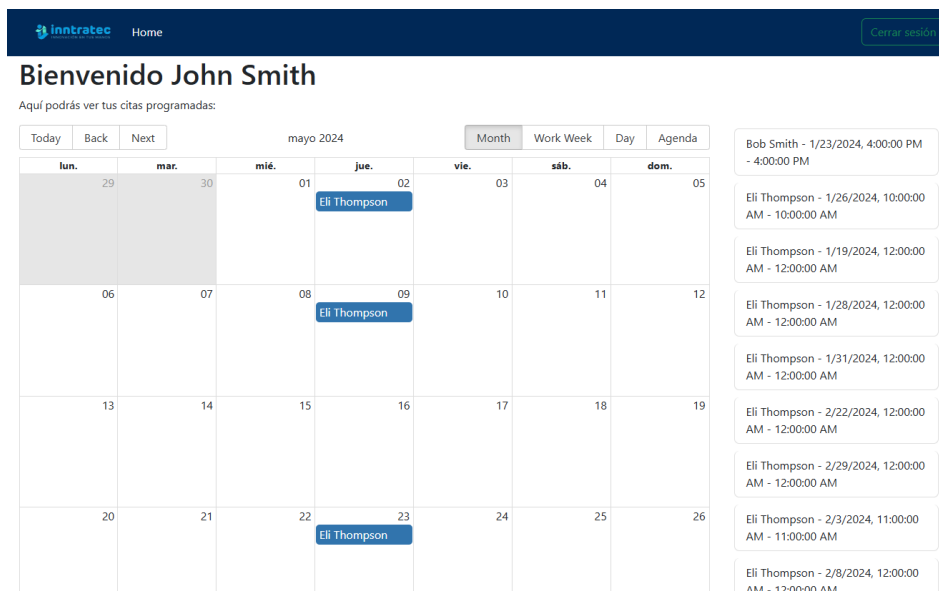


Figura 17 Interfaz calendario

1. **Diseño de la Interfaz de Usuario:** Se creó una interfaz que mostraba las citas disponibles tanto para pacientes como para médicos (figura 16).
2. **Integración del Módulo de Calendario:** Se implementó un calendario que permitía a los usuarios ver sus citas pendientes y pasadas. Se utilizó la librería `react-big-calendar`, que soporta la integración con React para facilitar la manipulación y visualización de datos (ver calendario en figura 16).
3. **Selección de Visitas:** Se incluyó la funcionalidad para que los usuarios seleccionaran una cita específica para asistir, lo que los redirigía a la pantalla de solicitud de acceso.
4. **Seguridad de Datos:** Se aseguró que todos los datos mostrados en esta pantalla estuvieran protegidos mediante medidas de seguridad como el cifrado de datos en tránsito y en reposo.

Funcionalidades de la Pantalla de Inicio

- **Visualización de Citas:** Los usuarios pueden ver sus citas pendientes y pasadas.
- **Selección de Citas:** Los usuarios pueden seleccionar una cita específica para asistir.
- **Asistir a una cita:** Los usuarios pueden seleccionar una cita a la que va a asistir, donde una vez seleccionada, se abrirá un modal como se muestra en la figura 17 en donde se le dará la opción de asistir a la cita o cerrar el modal.

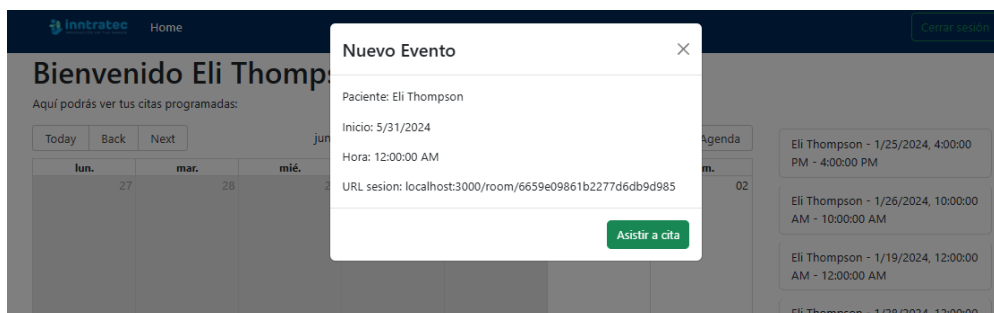


Figura 18 Asistir a cita

4.6.4. Pantalla de Solicitud de Acceso

La tercera ventana implementada fue la pantalla de solicitud de acceso, donde se gestionaba la autorización de acceso a la videoconferencia y a los datos médicos. Los pasos específicos fueron los siguientes:

1. **Interfaz Diferenciada:** Se crearon interfaces específicas para médicos y pacientes. El médico tenía un botón para solicitar acceso a los datos del paciente, mientras que el paciente podía aprobar o denegar estas solicitudes. (Figura 18 y figura 19)

- 2. Gestión de Solicitudes de Acceso:** Se implementó un sistema que permitía enviar y recibir solicitudes de acceso utilizando tokens de identidad digital basados en blockchain para asegurar la autenticidad y autorización. Para esto se utilizó JWT.
- 3. Notificaciones en Tiempo Real:** Se utilizó socket.io y socket.io-client para notificar a los usuarios sobre las solicitudes de acceso en tiempo real, mejorando la interacción y la respuesta del sistema

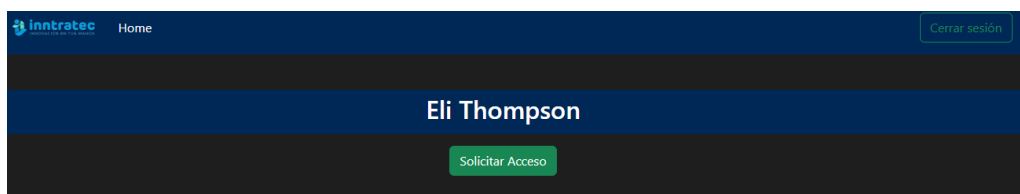


Figura 19 Interfaz de solicitud previo a enviar una solicitud (Profesional de la salud)

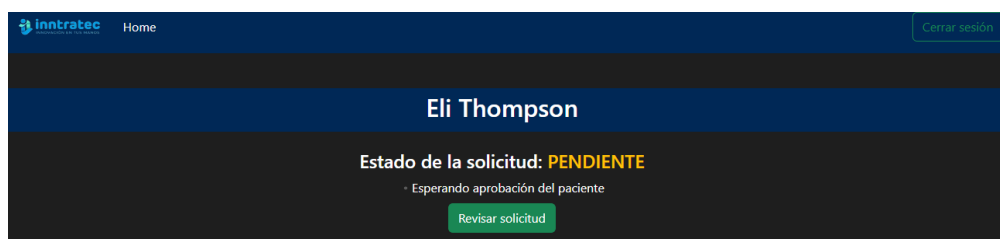


Figura 20 Interfaz de solicitud después de enviar una solicitud (Profesional de la salud)

- 4. Seguridad y Privacidad:** Se aseguró que la transmisión de estas solicitudes y la autorización de acceso se realizaran de manera segura, utilizando métodos de cifrado y autenticación fuerte.

Funcionalidades de la Pantalla de Solicitud de Acceso

- **Solicitud de Acceso del Médico:** Los médicos pueden solicitar acceso a los datos del paciente como se muestra en la figura 19
- **Aprobación de Solicitud del Paciente:** Los pacientes pueden aprobar o denegar las solicitudes de acceso de los médicos y una vez aceptada ambos verán la ventana previa a la videoconferencia indicada en la figura 20.
- **Notificaciones en Tiempo Real:** Los usuarios reciben notificaciones en tiempo real sobre las solicitudes de acceso.

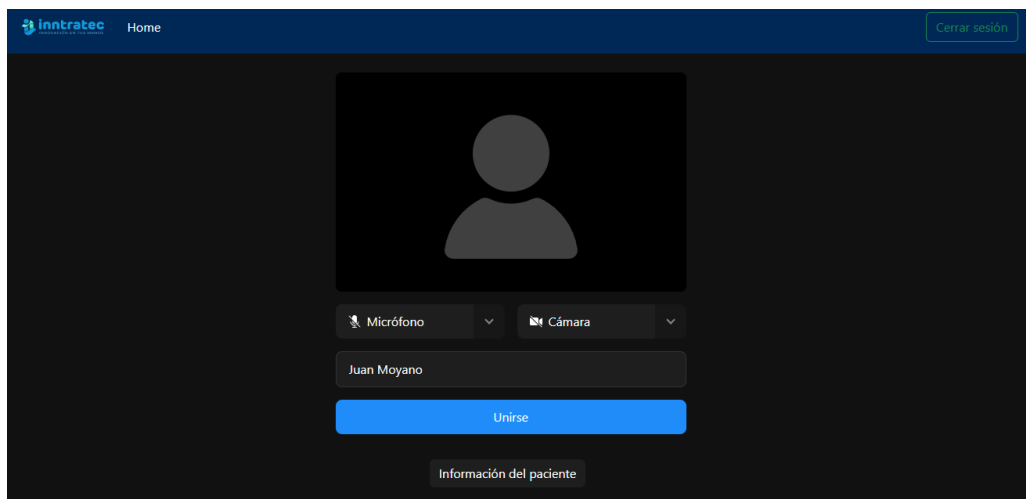


Figura 21 Interfaz de solicitud después de aprobar una solicitud

4.6.5. Pantalla de Videoconferencia

La última ventana implementada fue la de videoconferencia, que integró múltiples módulos para una experiencia completa de comunicación.

- **Componente de Videoconferencia:** Se utilizó WebRTC para implementar la transmisión de audio y video en tiempo real. Se configuraron los protocolos DTLS y SRTP para asegurar la transmisión de datos (Figura 21)
- **Componente de Chat y Mensajería:** Se implementó un sistema de chat que permitía la comunicación en tiempo real utilizando socket.io y socket.io-client.
- **Componente de Gestión de la Información:** Se creó una sección accesible solo para profesionales de la salud, donde podían ver los datos médicos del paciente. Se implementaron medidas para asegurar que solo usuarios autorizados pudieran acceder a esta información (figura 23). Se debe aclarar que los datos que se muestran son de prueba.

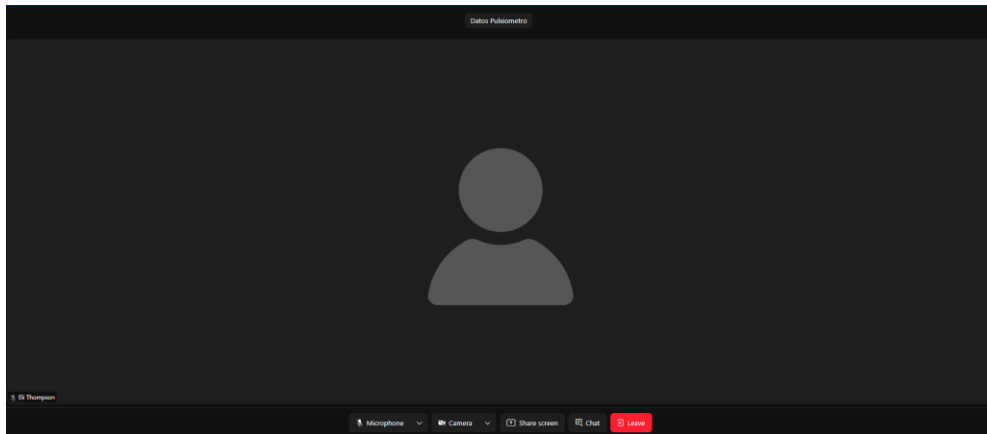


Figura 22 Interfaz videoconferencia

- **Componente de Agenda de Citas:** Se permitió que los médicos agendaran citas futuras directamente desde la videoconferencia. Se aseguró que estas operaciones se realizaran de manera segura y eficiente utilizando react-big-calendar (Figura 22)

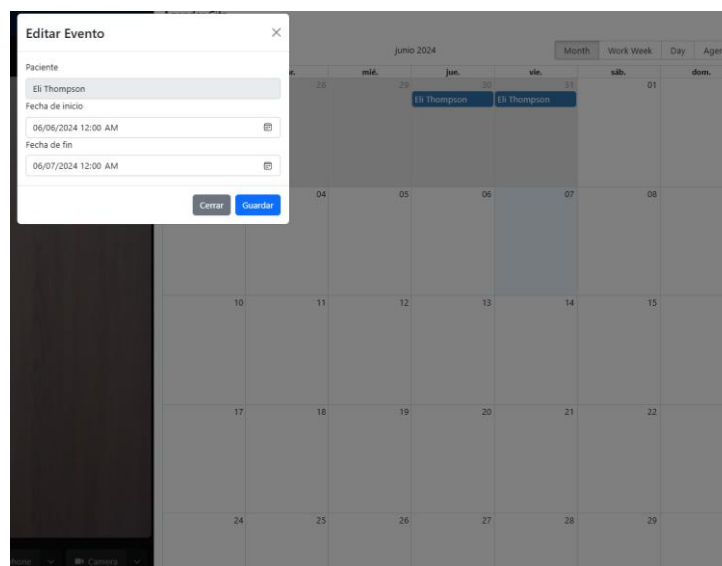


Figura 23 Interfaz agenda de citas

- **Indicadores Visuales de Seguridad:** Se proporcionaron indicadores visuales que informaban a los usuarios cuando el micrófono, la cámara o la función de compartir pantalla estaban activos, aumentando la transparencia y seguridad.

Funcionalidades de la Pantalla de Videoconferencia

- **Transmisión en Tiempo Real:** Los usuarios pueden participar en videoconferencias con transmisión de audio y video en tiempo real.

- **Chat y Mensajería en Tiempo Real:** Los usuarios pueden enviar y recibir mensajes en tiempo real durante la videoconferencia.
- **Gestión de Información Médica:** Los médicos pueden acceder a los datos médicos del paciente durante la videoconferencia, se pueden observar los datos personales médicos del paciente en el lateral de la llamada, como se muestra en la figura 23.
- **Agendamiento de Citas:** Los médicos pueden agendar citas futuras directamente desde la videoconferencia.
- **Indicadores de Seguridad:** Los usuarios reciben alertas visuales cuando el micrófono, la cámara o la función de compartir pantalla están activos.

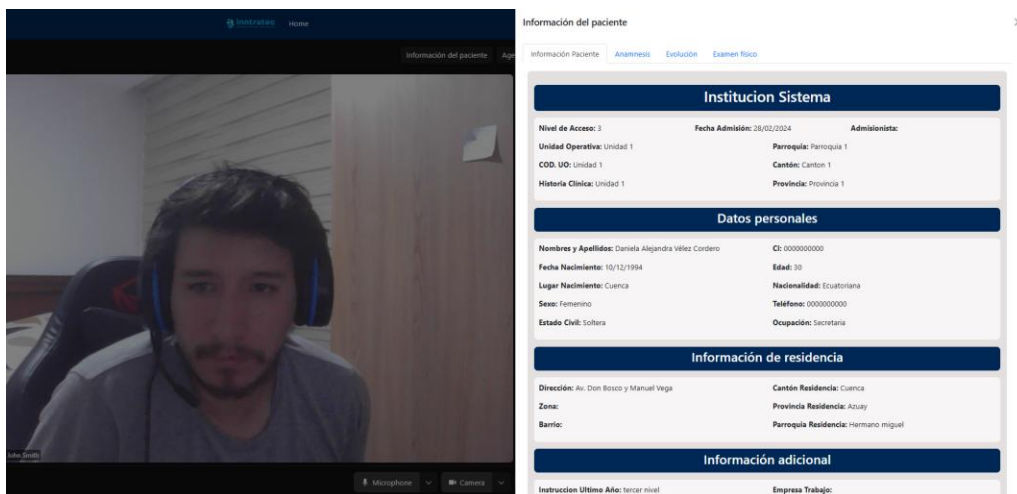


Figura 24 interfaz gestión de la información del paciente

5. Capítulo 5: Integración y Pruebas

Este capítulo busca cumplir con el último paso de la metodología utilizada para el desarrollo del software de videoconferencia. Se describirá un cuasi-experimento cuyo objetivo es evaluar la aplicación y validar el funcionamiento del subsistema, asegurando que se cumplan los requisitos funcionales y no funcionales planteados, y garantizando la seguridad en el acceso a los datos.

Un cuasi-experimento es una prueba dinámica y empírica en la que las actividades de los participantes no se eligen de forma aleatoria, sino que surgen de las características propias de los sujetos que participan en la investigación. Este enfoque permite evaluar el software en un entorno controlado que simula condiciones reales de uso.

5.1. Formulación de hipótesis

5.1.1. Variables planteadas

- **Utilidad Percibida (PU):** Es la probabilidad subjetiva de que el usuario mejore su rendimiento en el ámbito laboral al utilizar un sistema específico.
- **Facilidad de Uso Percibida (PEOU):** Es el grado en el que un futuro usuario espera que el sistema objetivo sea usado sin la necesidad de requerir esfuerzo en él.
- **Actitud hacia el uso (A):** Indica el deseo del usuario por usar el sistema. Esta actitud es calculada en base a los valores de PU y PEOU.
- **Intención conductual de uso (IC):** Es el desempeño que realiza un usuario durante un comportamiento específico. El valor de IC, es decir, que el usuario use el sistema se ve influenciado por A y PU.

Uso real: Es el uso actual del sistema y se predice a través de IC.

5.1.2. Enfoque

El enfoque de este proyecto técnico es de carácter cuantitativo debido a que la verificación de funcionalidad y usabilidad se realizará a través de mediciones numéricas. El diseño que se usa es de tipo experimental puesto que los datos para la evaluación se obtendrán de procesos experimentales, teniendo como sujetos de estudio a estudiantes y docentes del área de la salud con el apoyo del Laboratorio de Telemedicina y Salud Digital de la Universidad de Cuenca.

5.2. Definición de alcance

Para garantizar la usabilidad y funcionalidad se tendrá puntos de vista de profesionales de la salud e interesados en el tema de consultas remotas a través de una videoconferencia. En este contexto, el objetivo de la evaluación se ha definido de la siguiente manera:

- **Evaluar:** Cumplimiento de requisitos funcionales y no funcionales, garantizando que se tenga una capa de seguridad en el subsistema. Y pruebas de funcionalidad.
- **Con el propósito de:** Validar el funcionamiento del subsistema desarrollado con respecto a la seguridad, cumpliendo características como confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información médica que se provee, a la eficacia percibida y la eficacia actual.
- **En el contexto de:** un grupo de, profesionales de la salud y estudiantes que tengan relación a la Telemedicina y residan en la ciudad de Cuenca, en Ecuador.

5.2.1. Metodología de evaluación

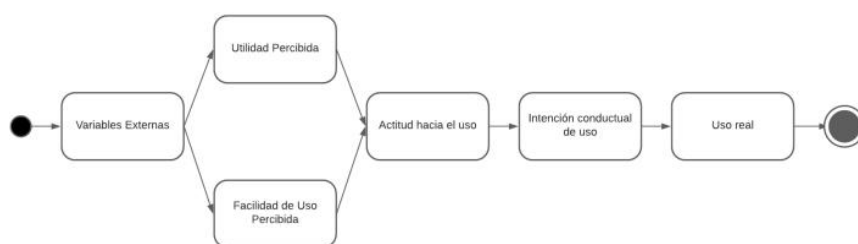


Figura 25 Modelo TAM [64]

A través de la revisión de literatura se han encontrado distintas evaluaciones para sistemas de información parecidos al propuesto. Así pues, para la evaluación se usa el modelo TAM (Technology Acceptance Model) propuesto por [64] (ver figura 24), el mismo que es utilizado para validar la aceptación de un sistema de información. Este proceso dirigido a estudiantes y profesionales del área de la salud, con el fin de validar la funcionabilidad para evaluar la usabilidad.

5.2.2. Preguntas de Investigación

Se han planteado tres preguntas de investigación (PI) para el desarrollo del experimento, estas son:

PI1: ¿El software desarrollado cumple con los requisitos funcionales y no funcionales planteados, de tal manera que se garantice tener una videoconferencia segura?

PI2: ¿El subsistema desarrollado se percibe como fácil de usar y útil?

PI3: ¿Existe la intención de uso de utilizar el software desarrollado?

5.2.3. Hipótesis planteadas

Se han definido cuatro hipótesis de acuerdo con las preguntas de investigación planteadas. Las hipótesis nulas, que están representadas por el subíndice 0, indican la ausencia de un impacto de las variables independientes sobre las variables dependientes. En cambio, las hipótesis alternativas, representadas por el subíndice 1, involucran la existencia de un impacto e indican el resultado al que se desea llegar, el **PI1** puede ser evaluada mediante la siguiente hipótesis:

H1₁: El subsistema cuenta con la capacidad necesaria para proporcionar todas las funciones especificadas en los requerimientos y garantiza videoconferencias seguras y confiables.

H1₀: El subsistema no cuenta con la capacidad necesaria para proporcionar todas las funciones especificadas en los requerimientos y no garantiza videoconferencias seguras y confiables, **H1₀ = ¬H1₁**.

PI2 tiene la siguiente hipótesis:

H2₁: El subsistema es percibido como fácil de usar

H2₀: El subsistema es percibido como difícil de usar, **H2₀ = ¬H2₁**.

H3₁: El subsistema es percibido como útil.

H3₀: El subsistema no es percibido como útil, **H3₀ = ¬H3₁**.

Y finalmente, **PI3** cuenta con las siguientes hipótesis:

H4₁: Existe la intención de utilizar el subsistema en el futuro.

H4₀: No hay la intención de utilizar el subsistema en el futuro, **H4₀ = ¬H4₁**.

5.2.4. Selección de muestra

Para esta investigación se ha definido seleccionar una muestra no probabilística debido a que la elección de los elementos seleccionados no depende de la probabilidad, en este caso depende de los conocimientos relacionadas con el área médica y tecnológica. Por cuestiones

de que en esta tarea se va a calcular el tamaño de la muestra. Posteriormente se seleccionan los elementos muestrales de manera que al inicio todos tengan la posibilidad de ser elegidos.

Para esta investigación se han seleccionado como tamaño de población la suma de todos los estudiantes y profesionales interesados relacionadas con el área: 20 estudiantes de medicina y 5 docentes del área médica dando un total de 25 personas que forman parte de la población.

Para el cálculo de la muestra se definen las siguientes variables:

Tamaño de la población: 25 personas interesadas en la investigación.

Error máximo aceptable: 5%

Porcentaje estimado de la muestra: 95%

$$\text{Tamaño de muestra: } \frac{\frac{(1.96)^2(0.5)(1-0.5)}{(0.05)^2}}{1 + \frac{(1.96)^2(0.5)(1-0.5)}{(0.05)^2(25)}} = 23$$

Resultado: 23 Personas.

Se plantea un 15% como porcentaje de perdida, dando como resultado 3 personas y dejando como resultado, **20** personas consideradas para el estudio.

5.2.5. Planificación del cuasi experimento

Para la planificación del cuasi-experimento, se definieron cuatro etapas principales, cada una con sus respectivas descripciones, objetivos, metodologías, resultados y conclusiones. Estas etapas fueron diseñadas para evaluar la funcionalidad y usabilidad del sistema de videoconferencia con integración de dispositivos médicos en diversos contextos y condiciones. En la primera etapa, se utilizó una antena satelital STARLINK para asegurar la conectividad y calidad de la videoconferencia con pacientes simulados y estudiantes de medicina. Aunque no se contó con la infraestructura del CEM, las pruebas se realizaron simulando dicho entorno con el apoyo del Dr. Diego Cobos, terapeuta del CEM, y, en pruebas finales, con personal médico del Centro de Salud de Baños. En la segunda etapa, se llevaron a cabo pruebas con un paciente real en NERO, mientras el médico se conectaba desde otra ubicación, simulando una consulta a distancia para evaluar el sistema en un entorno remoto. La tercera etapa integró un pulsioxímetro con el sistema de videoconferencia, donde estudiantes de medicina realizaron pruebas de marcha de 6 minutos, monitoreando la transmisión de datos médicos en tiempo real y resolviendo problemas iniciales de integración. Finalmente, en la cuarta etapa, se realizaron pruebas con pacientes y médicos reales en zonas rurales, utilizando tanto el pulsioxímetro como la antena STARLINK, validando la aceptación del sistema por parte de los usuarios y su funcionalidad en estos entornos.

La planificación para las etapas de las pruebas sigue un enfoque iterativo, utilizando los cinco Cores como guía para estructurar el diseño y la evaluación del sistema:

- Core 1: Situación Actual: Validar la conectividad y preparación tecnológica utilizando STARLINK y dispositivos médicos.
- Core 3: Cambio Organizacional: Realizar encuestas y entrevistas con usuarios (médicos y pacientes) para medir aceptación.
- Core 4: Desarrollo del Servicio: Ejecutar pruebas de videoconferencia y transmisión de datos en escenarios controlados.
- Core 5: Monitoreo y Optimización: Analizar métricas como consumo de datos, calidad de videollamadas y errores reportados.
-

5.3. Primera etapa: Prueba con pacientes simulados y estudiantes de medicina integrando una antena satelital STARLINK

5.3.1. Descripción

Esta primera prueba se diseñó para utilizar todas las funcionalidades integradas en el software desarrollado y verificar la estabilidad de una videoconferencia utilizando una antena satelital STARLINK. La videoconferencia se llevó a cabo entre pacientes simulados y estudiantes de medicina. Además, se consideró que el paciente debía estar acompañado de un profesional de la salud que actuara como asistente del médico presente en la otra ubicación. El paciente simulado se encontraba de manera remota, esperando la solicitud de acceso del médico, mientras que los estudiantes, actuando como médicos, enviaban esta solicitud. Una vez aceptada, se ingresaba a una sala de videoconferencias donde el médico podía acceder a los datos personales médicos del paciente. Con esta información, se simulaba un caso de un paciente con dolor físico, y los médicos explicaban ejercicios de fisioterapia al asistente para practicar con el paciente. Adicionalmente, el médico se encargaba de agendar una cita con el paciente para continuar con el tratamiento en una próxima ocasión.

El marco metodológico empleado para esta etapa se estructuró en torno a los Cores de la herramienta de soporte: el Core 1 (Situación Actual) evaluó la conectividad inicial y la infraestructura; el Core 3 (Cambio Organizacional) analizó la aceptación del sistema por parte de estudiantes de medicina como usuarios iniciales; y el Core 4 (Desarrollo del Servicio) validó técnicamente funcionalidades.

5.3.2. Objetivos

- Verificar que la videoconferencia se mantenga estable utilizando una antena STARLINK, sin pérdida de paquetes.
- Asegurar que todos los participantes (paciente simulado, profesional de la salud y estudiantes de medicina) puedan ingresar y participar en la videoconferencia de manera correcta.
- Verificar que el software solicite permisos de micrófono y cámara previo al uso de la videoconferencia
- Demostrar que los datos personales médicos del paciente son únicamente accesibles para el médico si el paciente le brinda acceso
- Asegurar que los datos personales médicos de un paciente tendrán acceso limitado dependiendo del nivel de acceso que sea otorgado al médico.

5.3.3. Metodología

1. Configuración del Entorno

- Instalación de la antena satelital STARLINK en la ubicación remota del paciente simulado.



Figura 26 Antena STARLINK instalada

- Capacitación previa de los participantes para garantizar el correcto ingreso a la videoconferencia.

2. Procedimiento:

- El paciente simulado esperó la solicitud de acceso enviada por los estudiantes de medicina.
- Los estudiantes enviaron la solicitud de acceso, y una vez aceptada, ambos ingresaron a la sala de videoconferencia.
- Se solicita permisos de acceso a cámara y micrófono.
- Los estudiantes de medicina tienen acceso a los datos personales médicos, en este caso con un nivel de acceso 3.
- Se utiliza el chat integrado durante la sesión.
- Durante la videoconferencia, se simuló un caso clínico de un paciente con dolor físico.

3. Criterios de evaluación

- Core 1: Estabilidad de la conectividad durante sesiones de 20 - 30 minutos.
- Core 3: Retroalimentación sobre la usabilidad del sistema.
- Core 4: Precisión en la transmisión de datos y calidad de video/audio.



Figura 27 Estudiantes de medicina durante la consulta remota

5.3.4. Resultados

La prueba confirmó que la videoconferencia se mantuvo estable utilizando la antena satelital STARLINK, sin pérdida de paquetes, es decir, en ningún momento se cortó la conexión de la videollamada. Todos los participantes pudieron ingresar y participar correctamente en la videoconferencia siempre y cuando se daba los permisos correspondientes a cada uno de los componentes. Se descubrió que cada llamada utilizaba aproximadamente 300 megas en un promedio de 30 minutos, incluyendo los datos de micrófono, cámara y chat. Los

estudiantes utilizaron una Tablet y el paciente un computador para la videoconferencia y el software mostro ser adaptable para cualquier dispositivo.

5.3.5. Conclusiones

La prueba demostró la robustez y estabilidad del sistema de videoconferencia bajo condiciones reales y remotas, utilizando tecnología satelital avanzada como STARLINK. Además, la capacidad del software para manejar permisos de acceso y garantizar la seguridad y privacidad de los datos médicos fue confirmada, asegurando un entorno seguro y eficiente para consultas médicas remotas. La adaptabilidad del software a una Tablet sin mostrar irregularidades se demostró con esta prueba. La eficiencia en el uso de datos también se destacó, con un consumo de 300 megas por 30 minutos de llamada, lo cual es óptimo para este tipo de aplicaciones.

5.4. Segunda etapa: Prueba con paciente real en NERO y médico en CEM

5.4.1. Descripción

Dada la efectividad demostrada en la primera prueba con pacientes simulados y estudiantes de medicina, esta segunda prueba se diseñó para utilizar todas las funcionalidades integradas en el software desarrollado y verificar la estabilidad de una videoconferencia en una ubicación remota, NERO, donde no hay señal móvil. La videoconferencia se llevó a cabo entre pacientes reales, quienes eran trabajadores del lugar, y médicos en el Centro de Especialidades Médicas (CEM). El paciente, ubicado en NERO, estaba acompañado de un profesional de la salud que actuaba como asistente del médico presente en CEM. El paciente real se encontraba de manera remota, esperando la solicitud de acceso del médico. Una vez aceptada, se ingresaba a una sala de videoconferencias donde el médico podía acceder a los datos médicos del paciente. Con esta información, se realizó una primera consulta como médico general, en este caso, el paciente le comentaba los síntomas de un problema o dolencia al médico, él tomaba nota y consideraba posibles diagnósticos. Adicionalmente, el médico se encargaba de agendar una cita con el paciente para continuar con el tratamiento.

El Core 1 (Situación Actual) evaluó la infraestructura técnica en áreas rurales y la conectividad proporcionada por STARLINK. El Core 3 (Cambio Organizacional) analizó la aceptación del sistema por parte del paciente y el médico en un entorno controlado. El Core 4 (Desarrollo del Servicio) validó la funcionalidad técnica del sistema, incluyendo videoconferencias y la

información medica simulada del paciente. Finalmente, el Core 5 (Monitoreo y Optimización) recopiló datos clave para ajustar y optimizar el sistema.

5.4.2. Objetivos

- Verificar que la videoconferencia se mantenga estable utilizando una antena STARLINK, sin pérdida de paquetes.
- Asegurar que todos los participantes (paciente real, profesional de la salud y médicos) puedan ingresar y participar en la videoconferencia de manera correcta.
- Verificar que el software solicite permisos de micrófono y cámara previo al uso de la videoconferencia.
- Demostrar que los datos médicos del paciente son únicamente accesibles para el médico si el paciente le brinda acceso.
- Asegurar que los datos médicos del paciente tendrán acceso limitado dependiendo del nivel de acceso otorgado al médico.
- Realizar múltiples videoconferencias al mismo tiempo para verificar si esto causa perdidas de paquetes por la antena o por el servidor que mantiene las videoconferencias.

5.4.3. Metodología

1. Configuración del Entorno

- Instalación de la antena satelital STARLINK en la ubicación remota de NERO.
- Capacitación previa de los participantes para garantizar el correcto ingreso a la videoconferencia.



Figura 28 Antena STARLINK instalada

2. Procedimiento

- El paciente real esperó la solicitud de acceso enviada por los médicos en CEM.
- Los médicos enviaron la solicitud de acceso, y una vez aceptada, ambos ingresaron a la sala de videoconferencia.
- Se solicitó permisos de acceso a cámara y micrófono.
- Los médicos tenían acceso a los datos médicos reales del paciente, en este caso con un nivel de acceso 3.



Figura 29 Profesional y paciente durante consulta.

- Se utilizó el chat integrado durante la sesión.
- Se realizaron 4 videoconferencias para verificar si el servidor y la antena son capaces de mantenerlas al mismo tiempo
- Se realizó una consulta de medicina general donde el paciente explicaba sus síntomas directamente al médico.
- Se agendó una cita para el seguimiento del tratamiento.

3. Criterios de Evaluación

- Core 1: Estabilidad de la conectividad y calidad de la señal durante sesiones de 20 minutos.
- Core 3: Encuestas y entrevistas para evaluar la satisfacción y aceptación de los usuarios.
- Core 4: Precisión y consistencia de las videoconferencias y datos transmitidos.
- Core 5: Consumo de datos, estabilidad de la conexión y retroalimentación.

5.4.4. Resultados

La prueba confirmó que la videoconferencia se mantuvo estable utilizando la antena satelital STARLINK, sin pérdida de paquetes, incluso en una ubicación remota como NERO. La conexión de la videollamada no se cortó en ningún momento, y todos los participantes pudieron ingresar y participar correctamente. Se descubrió que la reunión de 20 minutos utilizó aproximadamente 200 megas. Además, se realizaron múltiples videoconferencias simultáneas (hasta 4) sin interrupciones. El médico en el CEM ingresó a la videoconferencia desde un dispositivo móvil.

5.4.5. Conclusiones

La segunda prueba demostró la eficacia del sistema de videoconferencia en condiciones reales y desafiantes, utilizando tecnología satelital de STARLINK. La estabilidad y seguridad de la conexión, incluso en ubicaciones remotas sin señal móvil, fueron confirmadas. La capacidad del software para manejar permisos de acceso y garantizar la seguridad y privacidad de los datos médicos se mantuvo intacta. La eficiencia en el uso de datos también se destacó, con un consumo de 200 megas por 20 minutos de llamada, lo cual es óptimo para este tipo de aplicaciones. La prueba subrayó la viabilidad de utilizar este sistema para consultas médicas remotas en áreas con acceso limitado a infraestructura de comunicación tradicional. Se demostró que se puede utilizar el software de videoconferencia en cualquier dispositivo, en el caso de esta prueba en un dispositivo móvil y una computadora.

5.5. Tercera etapa: Prueba de marcha con estudiantes de medicina con Pulsioxímetro y antena STARLINK

5.5.1. Descripción

Esta prueba se diseñó para evaluar la integración de un pulsioxímetro en la plataforma de videoconferencia, utilizando la antena satelital STARLINK para garantizar la estabilidad de la conexión. La funcionalidad añadida permitía visualizar los datos del pulsioxímetro en tiempo real, junto con una gráfica y un informe de las medidas de tendencia central durante ciertos períodos de tiempo. La prueba se realizó con estudiantes de medicina y pacientes simulados, quienes llevaban el pulsioxímetro mientras realizaban una marcha de 6 minutos. El objetivo era que el médico, desde el otro lado de la videoconferencia, pudiera monitorear y analizar los datos en tiempo real.



Figura 30 Antena instalada en espacio para prueba de marcha

El Core 1 (Situación Actual) evaluó la capacidad técnica del sistema para soportar las pruebas. El Core 3 (Cambio Organizacional) analizó la percepción y aceptación del sistema por parte de los estudiantes de medicina. El Core 4 (Desarrollo del Servicio) validó la integración técnica del pulsioxímetro y las videoconferencias, mientras que el Core 5 (Monitoreo y Optimización) recopiló métricas clave para identificar mejoras potenciales.

5.5.2. Objetivos

- Verificar la integración del pulsioxímetro en la plataforma de videoconferencia.
- Asegurar que los datos del pulsioxímetro sean visibles en tiempo real para el médico.
- Evaluar la estabilidad de la videoconferencia utilizando la antena STARLINK, sin pérdida de paquetes.
- Identificar y solucionar problemas de compatibilidad entre el pulsioxímetro y el software de videoconferencia.
- Monitorear las medidas de tendencia central del pulso del paciente durante una actividad física de 6 minutos.

5.5.3. Metodología

1. Configuración del Entorno:

- Instalación de la antena satelital STARLINK en la ubicación remota del paciente simulado.
- Integración de servicios para enviar y visualizar los datos del pulsioxímetro en la plataforma de videoconferencia.
- Configuración del pulsioxímetro para que tenga conexión a internet

2. Procedimiento:

- Capacitación previa de los participantes para garantizar el correcto ingreso a la videoconferencia y el uso del pulsioxímetro.
- El paciente simulado, equipado con el pulsioxímetro, realizó una marcha de 6 minutos.
- El médico monitoreó los datos del pulsioxímetro en tiempo real a través de una gráfica y un informe de las medidas de tendencia central.
- Se realizaron múltiples pruebas para evaluar la consistencia y precisión de los datos del pulsioxímetro durante la actividad física.

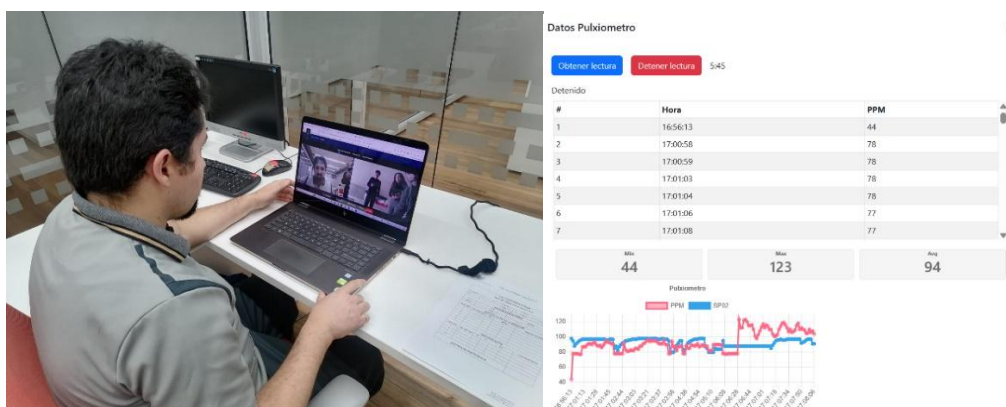


Figura 31 Médico conectado remotamente para monitoreo de datos

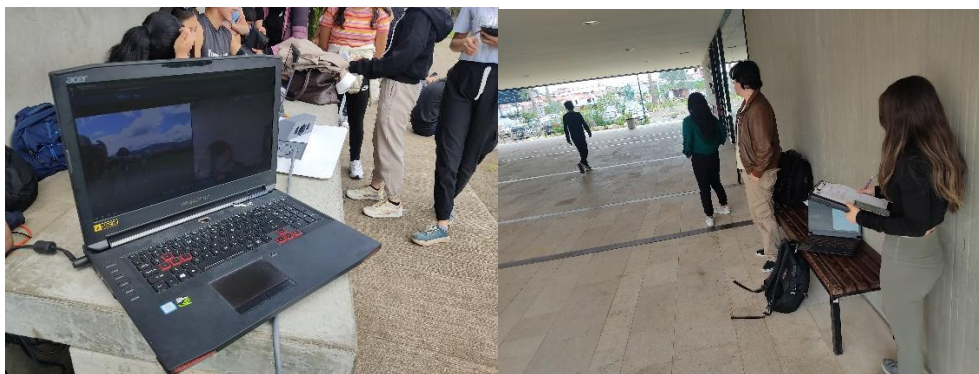


Figura 32 Estudiantes realizando prueba de marcha

3. Criterios de Evaluación

- Core 1: Estabilidad de la conexión y desempeño técnico del sistema.
- Core 3: Satisfacción y aceptación del sistema por parte de los usuarios.
- Core 4: Precisión y consistencia en la transmisión de datos del pulsioxímetro.
- Core 5: Consumo de datos, tiempos de respuesta y retroalimentación general.

5.5.4. Resultados

La prueba demostró que, aunque la videoconferencia se mantuvo estable utilizando la antena STARLINK sin pérdida de paquetes, surgieron varios problemas con la integración del pulsioxímetro. Inicialmente, los datos del pulsioxímetro no siempre se transmitían de manera continua, especialmente cuando el paciente se movía mucho o se alejaba de la red, lo que provocaba pérdidas de datos. En la mayoría de los casos, la prueba de marcha duraba solo 2 minutos antes de que el dispositivo se reiniciara o dejara de transmitir datos correctamente. Sin embargo, a lo largo de diferentes sesiones de prueba, se realizaron varias mejoras al pulsioxímetro para lograr una integración más adecuada. Estos cambios permitieron extender la duración de la captura de datos hasta 30 minutos, siempre y cuando el pulsioxímetro se encuentre cargado completamente. Se evidenció que, en promedio cada entrada del pulsioxímetro pesa en promedio 37kb, y por minuto almacena 30 registros lo cual implica que, por minuto se guardan 1.8 MB en la base y es lo que, adicionalmente la videoconferencia consumirá. Por ejemplo, si en promedio cada videoconferencia consumía 200 MB, si se le suma el valor de los datos del pulsioxímetro, considerando que este encendido y enviando datos durante los 20 minutos, el consumo aumenta a 221.6MB. Se agregó una característica de manejo de errores que almacenaba los datos localmente cuando el dispositivo se desconectaba de la red, y luego los enviaba una vez restablecida la conexión. A pesar de los desafíos iniciales, las funcionalidades de videoconferencia y las características previamente aprobadas funcionaron sin complicaciones.

5.5.5. Conclusiones

La tercera etapa de pruebas, nuevamente, destacó la robustez de la plataforma de videoconferencia y la estabilidad de la conexión utilizando la antena STARLINK. No obstante, la integración del pulsioxímetro presentó varios desafíos. Los problemas de compatibilidad y la pérdida de datos durante el movimiento del paciente indicaron la necesidad de optimización adicional para asegurar una lectura continua y precisa de los datos del pulsioxímetro. Las mejoras realizadas durante las sesiones de prueba, como la capacidad de almacenamiento local de datos y la reenvío una vez restablecido la conexión, permitieron extender significativamente la duración de las pruebas y mejorar la funcionalidad del pulsioxímetro en la plataforma. Estas pruebas proporcionaron valiosa información para mejorar la integración de dispositivos médicos en la plataforma de videoconferencia y destacaron la importancia de realizar ajustes para garantizar una experiencia de usuario fluida y confiable en futuras pruebas.

5.6. Cuarta etapa: Prueba con pacientes y médicos reales con pulsioxímetro y antena STARLINK en zonas rurales

5.6.1. Descripción

Después de múltiples pruebas con estudiantes de medicina en simulaciones de marcha, se realizaron las configuraciones necesarias para integrar completamente el pulsioxímetro con la videoconferencia. Con estas mejoras, se procedió a realizar pruebas con pacientes y médicos reales en zonas rurales utilizando la antena STARLINK. El objetivo principal fue evaluar la aceptación del software de videoconferencia tanto por parte de los médicos como de los asistentes.

Para llevar a cabo esta prueba, se contó con el apoyo del GAD y centro de salud de Baños, por los pacientes y médicos interesados en el proyecto, la universidad y el laboratorio de telemedicina, que proporcionaron transporte y recursos para dirigirse a zonas rurales. En estas ubicaciones, se instaló la antena STARLINK y se realizaron consultas con múltiples pacientes que requerían análisis mediante el pulsioxímetro y videoconferencia remota. Un grupo de estudiantes actuó como asistentes del médico, visitando a los pacientes, mientras otros médicos en el centro de salud recibían y analizaban la información transmitida a través de la videoconferencia y el pulsioxímetro. Es importante destacar, previo a la ejecución de las pruebas a cada paciente y médico involucrado se le informó de lo que se trata el proyecto, utilizando estrategias de sensibilización mencionadas en [65].

El Core 1 (Situación Actual) evaluó la infraestructura y conectividad disponible para soportar las pruebas. El Core 3 (Cambio Organizacional) midió la aceptación del sistema por parte de pacientes y médicos reales. El Core 4 (Desarrollo del Servicio) validó la funcionalidad técnica del sistema, incluyendo videoconferencias y transmisión de datos biométricos en tiempo real. Finalmente, el Core 5 (Monitoreo y Optimización) recopiló métricas clave para identificar oportunidades de mejora y ajustes continuos.

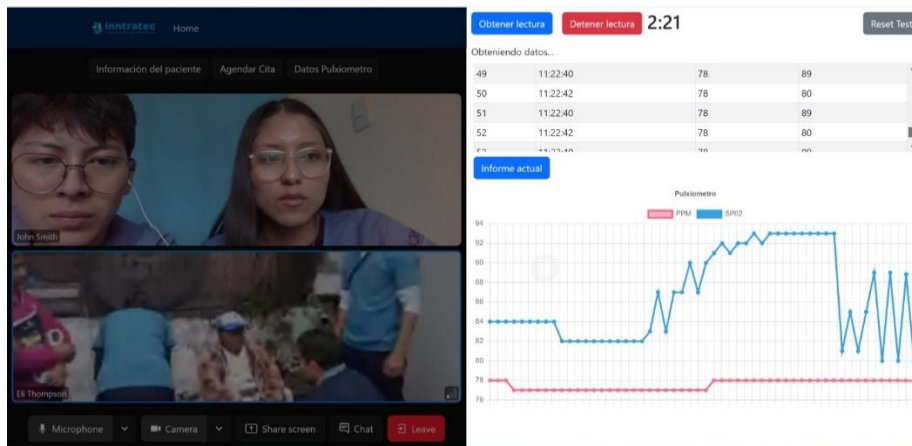


Figura 33 Datos pulsioxímetro durante consulta

La prueba se llevó a cabo en dos días diferentes, realizando visitas a 14 pacientes en total. Se consideraron distintas características de ubicación, estructura de las viviendas y condiciones médicas, logrando realizar exitosamente todas las videoconferencias y la transmisión de datos a los médicos en el centro de salud.

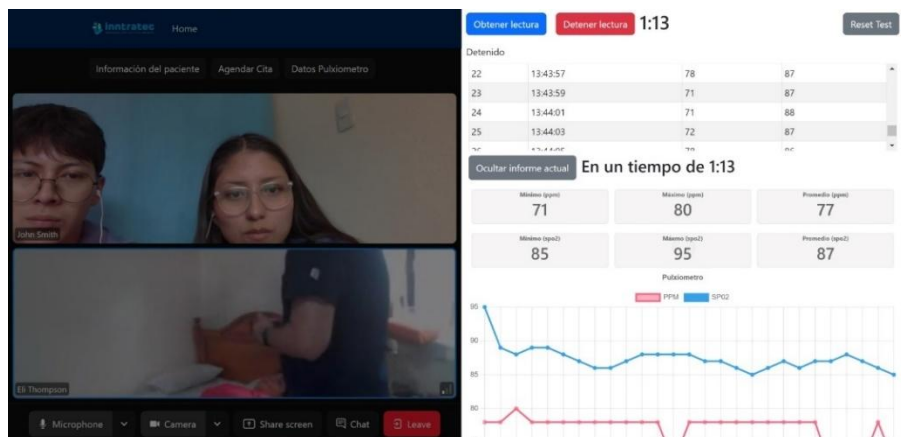


Figura 34 Datos e informe del pulsioxímetro durante consulta

5.6.2. Objetivos

- Evaluar la estabilidad y funcionalidad de la videoconferencia utilizando la antena STARLINK en zonas rurales (tiempo de armado).
- Verificar la integración y transmisión continua de datos del pulsioxímetro durante la videoconferencia.
- Asegurar que todos los participantes (pacientes, asistentes y médicos) puedan ingresar y participar en la videoconferencia de manera correcta.

- Evaluar la aceptación y satisfacción de los médicos y asistentes con respecto al software de videoconferencia.



Figura 35 Uso del chat durante una videoconferencia

- Recopilar datos médicos reales y analizar la eficacia del software en un entorno práctico y real.

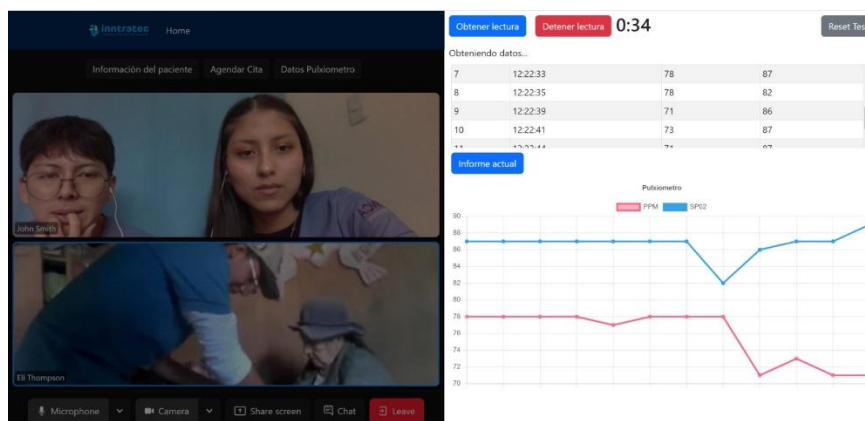


Figura 36 Datos pulsioxímetro durante consulta

5.6.3. Metodología

1. Configuración del Entorno:

- Instalación de la antena satelital STARLINK en las ubicaciones rurales de los pacientes.
- Capacitación previa de los participantes para garantizar el correcto ingreso a la videoconferencia.

2. Procedimiento:

- Sensibilización a los pacientes y médicos con respecto al proyecto. Se pidió el consentimiento informado a pesar de que quienes les atendían eran los propios médicos del centro de salud de baños.
- Los estudiantes, actuando como asistentes, visitaron a los pacientes en sus hogares.
- Los médicos en el centro de salud enviaban solicitudes de acceso a la videoconferencia.
- Una vez aceptadas, se solicitaban permisos de acceso a cámara y micrófono.
- Los asistentes colocaban el pulsioxímetro a los pacientes y supervisaban la transmisión de datos.
- Durante la videoconferencia, se realizaron análisis médicos mientras los pacientes permanecían con el dispositivo por 1 minuto.
- Los médicos analizaban los datos en tiempo real y proporcionaban retroalimentación a los asistentes y pacientes.

3. Criterios de Evaluación:

- Core 1: Calidad de la señal y estabilidad de la conexión durante sesiones de 20 minutos.
- Core 3: Encuestas de satisfacción para pacientes y médicos sobre su experiencia con el sistema.
- Core 4: Precisión y consistencia en la transmisión de datos biométricos y calidad de video/audio.
- Core 5: Análisis de consumo de datos, retroalimentación cualitativa y tiempos de respuesta.

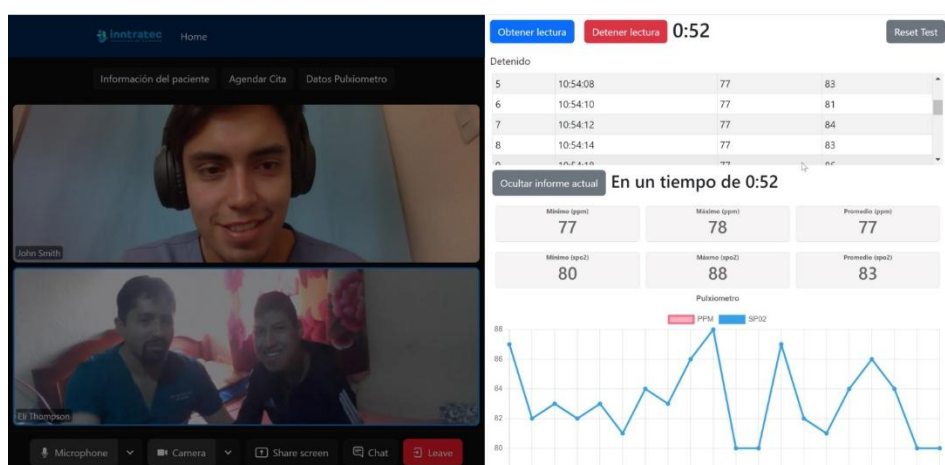


Figura 37 Médicos durante consulta y lectura de pulsioxímetro

4. Evaluación:

- Se aplicaron formularios de satisfacción y aceptación a los médicos y asistentes al finalizar cada consulta.
- Se analizaron los datos de transmisión y la estabilidad de la videoconferencia.

5.6.4. Resultados

La prueba confirmó que la videoconferencia se mantuvo estable utilizando la antena satelital STARLINK, sin pérdida de paquetes, incluso en entornos rurales. Todos los participantes pudieron ingresar y participar correctamente en la videoconferencia, siempre y cuando se otorgaran los permisos correspondientes. La integración del pulsioxímetro, tras las mejoras realizadas, permitió una transmisión continua y precisa de los datos médicos durante las consultas. Se descubrió que cada sesión de videoconferencia, con una duración aproximada de 20 minutos, utilizó alrededor de 220 megabytes en promedio, incluyendo los datos del pulsioxímetro. En total, se utilizaron 3091 megabytes en las 14 sesiones realizadas con pacientes reales durante dos días, lo que equivale a 3.02 gigabytes.

5.6.5. Conclusiones

La cuarta etapa de pruebas demostró la robustez y estabilidad del sistema de videoconferencia bajo condiciones reales y en entornos rurales utilizando tecnología satelital avanzada como STARLINK. A pesar de los desafíos iniciales, la integración del pulsioxímetro se logró de manera exitosa, permitiendo una lectura continua y precisa de los datos médicos. Además, la aceptación del software de videoconferencia por parte de los médicos y asistentes fue positiva, destacando la eficiencia en la transmisión de datos. La prueba proporcionó valiosa información para mejorar la integración de dispositivos médicos y subrayó la importancia de realizar ajustes continuos para garantizar una experiencia de usuario fluida y confiable en futuros despliegues. Los resultados indican que, con el plan básico de STARLINK, es viable realizar un número considerable de videoconferencias mensuales, incluso con la transmisión de datos médicos en tiempo real. Esto sugiere que el sistema no solo es eficiente, sino también escalable, permitiendo potencialmente un mayor número de consultas diarias sin comprometer la calidad del servicio.

6. Capítulo 6: Análisis y evaluación de los resultados de las pruebas

6.1. Cuestionario planteado

Estas preguntas están diseñadas para evaluar cómo los usuarios perciben la utilidad, la facilidad de uso, la actitud hacia el uso y la intención conductual de uso del software de videoconferencia para consultas médicas remotas, conforme a las características definidas y las hipótesis planteadas. Adicionalmente, serán de utilidad para cuantificar los niveles de madurez de los Cores 3 y 4

Tabla 6 Preguntas del cuestionario

Nro.	Pregunta
1	¿Usarías este software de videoconferencia para consultas remotas si te permitiera realizar tareas más rápidamente?
2	¿Crees que un software de videoconferencia mejoraría el desempeño de las consultas remotas en el ámbito médico?
3	¿Consideras que un software de videoconferencia aumentaría tu efectividad en la atención a los pacientes mediante consulta remota?
4	¿Te resultaría más sencillo realizar tus tareas laborales si utilizaras un software de videoconferencia para consultas médicas remotas?
5	¿Encontrarías útil este software específico para consultas médicas en las consultas remotas?
6	¿Crees que aprender a operar este software sería fácil para ti?
7	¿Te resultaría sencillo lograr que el software realice lo que deseas durante las consultas médicas remotas?
8	¿Esperas que la interacción con este software sea clara y comprensible?
9	¿Consideras que este software de videoconferencia para consultas médicas sería flexible y fácil de usar en tu entorno laboral si se integra con consultas remotas?
10	¿Te sentirías capaz de adquirir habilidades rápidamente para utilizar este software?
11	¿Crees que este software de videoconferencia proporcionaría una seguridad adecuada para la protección de la información de los pacientes sabiendo que solamente son accesibles con la identidad digital blockchain?
12	¿Te sentirías seguro utilizando este software de videoconferencia para manejar datos sensibles de los pacientes?
13	¿Crees que este software de videoconferencia cumple con los estándares de seguridad y privacidad requeridos en el ámbito médico?

14	¿Crees que este software de videoconferencia tiene mecanismos adecuados para prevenir el acceso no autorizado durante las consultas médicas remotas?
15	¿Consideras que el software de videoconferencia sería capaz de cumplir con las normativas y regulaciones de seguridad de datos en el sector médico?

Se han clasificado todas las preguntas del cuestionario relacionándolas con las variables planteadas en la formulación de la hipótesis

Utilidad Percibida (PU):

1. ¿Usarías este software de videoconferencia para consultas remotas si te permitiera realizar tareas más rápidamente?
2. ¿Crees que un software de videoconferencia mejoraría el desempeño de las consultas remotas en el ámbito médico?
3. ¿Consideras que un software de videoconferencia aumentaría tu efectividad en la atención a los pacientes mediante consulta remota?

Facilidad de Uso Percibida (PEOU):

4. ¿Te resultaría más sencillo realizar tus tareas laborales si utilizaras un software de videoconferencia para consultas médicas remotas?
5. ¿Crees que aprender a operar este software sería fácil para ti?
6. ¿Te resultaría sencillo lograr que el software realice lo que deseas durante las consultas médicas remotas?
7. ¿Esperas que la interacción con este software sea clara y comprensible?
8. ¿Consideras que este software de videoconferencia para consultas médicas sería flexible y fácil de usar en tu entorno laboral si se integra con consultas remotas?

Actitud hacia el uso (A):

1. ¿Usarías este software de videoconferencia para consultas remotas si te permitiera realizar tareas más rápidamente?
2. ¿Crees que un software de videoconferencia mejoraría el desempeño de las consultas remotas en el ámbito médico?
3. ¿Consideras que un software de videoconferencia aumentaría tu efectividad en la atención a los pacientes mediante consulta remota?

Relación con los Cores de la Herramienta de Soporte

Core 1: Infraestructura y Tecnología (Cuestiones regulatorias, disponibilidad de Internet, infraestructura, sistemas y tecnología):

- **P11, P13, P15:** Analizan cuestiones regulatorias, disponibilidad de internet y adecuación tecnológica.
- **P10:** Evalúa la capacidad de los usuarios para adoptar servicios de telemedicina.
- **P9:** Verifica la adaptabilidad del servicio al contexto laboral.

Core 2: Estrategias y alineación estratégica (Mecanismos de gobierno, Estrategia de capacitación del personal de salud, Alineación estratégica):

- **P10:** Evalúa la preparación del personal médico para utilizar el software, relacionada con estrategias de capacitación.
- **P13, P15:** Verifican la alineación estratégica en términos legales y normativos.

Core 3: Cambio Organizacional (Aceptación y adaptación al sistema):

- **P1, P2, P3, P5:** Evalúan cómo los usuarios perciben la utilidad y el impacto en su desempeño.
- **P12:** Aborda la percepción de seguridad y confianza de los usuarios para manejar datos sensibles.

Core 4: Desarrollo del Servicio (Facilidad de uso, flexibilidad, seguridad y privacidad):

- **P4, P6-P15:** Analizan aspectos técnicos y operativos, como la facilidad para usar el software, su adaptabilidad a distintos entornos, y el cumplimiento de estándares de seguridad y privacidad.

Core 5: Escalabilidad y Sostenibilidad (Escalabilidad, Resultados de los pacientes, Sistemas de seguimiento y evaluación):

- **P9:** Evalúa la flexibilidad y escalabilidad del sistema en distintos entornos.
- **P3:** Relacionada con los resultados en la atención a los pacientes.
- **P14:** Valora los mecanismos de seguridad para monitoreo y evaluación continua.
- **P11:** Garantiza la confianza en la sostenibilidad del sistema al proteger datos médicos.

Relación con las Hipótesis Planteadas

- **PI1 (H10 y H11):** PU relacionada: Preguntas 1, 2, 3
- **PI2 (H20 y H21):** PEOU relacionada: Preguntas 4, 6, 7, 8, 9

- **PI3 (H40 y H41):** A e IC relacionadas: Preguntas 10, 11, 12, 13, 14, 15

Además, las respuestas a las preguntas están estructuradas según una Escala de Likert, con valores que van del 1 al 7 representando desde "Extremadamente improbable" hasta "Extremadamente probable". El propósito de esta encuesta es evaluar la aceptación y adopción del software de videoconferencia para consultas médicas remotas. Las preguntas están diseñadas para evaluar la percepción de los profesionales médicos respecto a la utilidad, la facilidad de uso, la actitud hacia el uso y la intención conductual de utilizar el software específico para consultas médicas. Este enfoque facilitará una mejor comprensión de cómo los profesionales de la salud perciben la integración de tecnologías de videoconferencia en sus prácticas clínicas, alineándose con las características y las hipótesis definidas para este estudio.

6.2. Evaluación hipótesis

Después de recolectar los datos a través del cuestionario diseñado y las pruebas realizadas, se procedió al análisis de las percepciones de los usuarios en relación con la utilidad percibida, la facilidad de uso percibida y la actitud hacia el uso del software. Este análisis se basó en pruebas estadísticas descriptivas y gráficos de caja, procesando los datos estadísticos mediante el paquete de Python Matplotlib.

El análisis muestra una media de 6.59 en la utilidad percibida (Figura 38), con la mayoría de las respuestas en los valores superiores de la escala de Likert, indicando una percepción positiva. La alta puntuación sugiere que los usuarios creen firmemente en el potencial del software para mejorar la eficiencia y efectividad de las consultas médicas remotas. Esto puede deberse a la experiencia previa con tecnologías en el ámbito médico y a la capacitación recibida, lo que facilita la comprensión de los beneficios del software. Según la OMS, la integración tecnológica con dispositivos médicos, como el pulsioxímetro, también influye en la percepción positiva, destacando su contribución a la calidad y rapidez de las consultas.

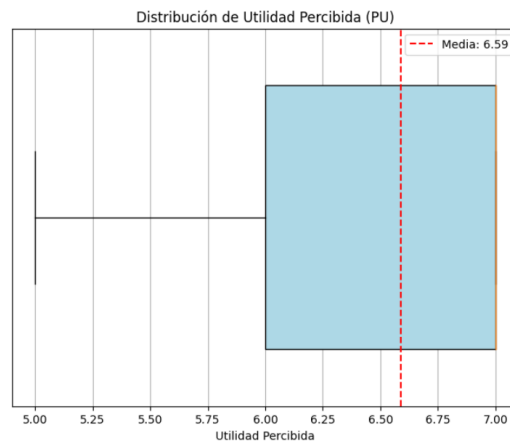


Figura 38 Boxplot utilidad percibida

La facilidad de uso percibida tiene una media de 6.59 (Figura 39), indicando que los usuarios consideran que el software es fácil de usar. La OMS destaca la importancia del diseño centrado en el usuario y la capacitación para facilitar la adopción tecnológica, elementos que están alineados con los resultados observados. La alta concentración de respuestas positivas sugiere que el diseño del software es intuitivo y fácil de aprender, esto se puede interpretar que es gracias al proceso que se siguió durante la implementación y a las ventajas que ofrecen las librerías de frontend para el diseño del software. La capacitación previa de los usuarios contribuye significativamente a esta percepción positiva. Sin embargo, se introduce un paso adicional en las consultas remotas, dando la percepción de que complica el proceso de una videollamada, ya que los usuarios deben obtener acceso en cada sesión.

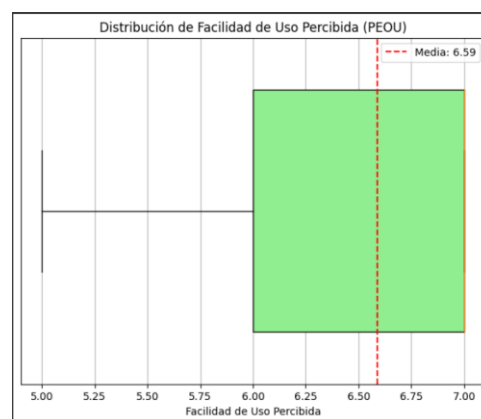


Figura 39 Boxplot facilidad de uso

Se evaluó la actitud general de los usuarios hacia el uso del software para consultas médicas remotas. El gráfico de caja muestra una media de 6.06 (Figura 40), lo que sugiere una actitud positiva general hacia el uso del software, lo que sugiere que los usuarios están abiertos y

dispuestos a incorporar el software en su práctica médica. La OMS enfatiza que esta actitud se fortalece cuando los sistemas tecnológicos son percibidos como útiles y accesibles, validando la relación observada entre las dimensiones de utilidad y facilidad de uso. Un posible motivo para esta actitud positiva puede ser la combinación de la alta percepción de utilidad y la facilidad de uso, lo cual crea una predisposición favorable hacia el software. La actitud hacia el uso también puede estar influenciada por experiencias previas con tecnología en el ámbito médico, donde la adopción de nuevas herramientas ha demostrado mejorar la eficiencia y la calidad de la atención al paciente.

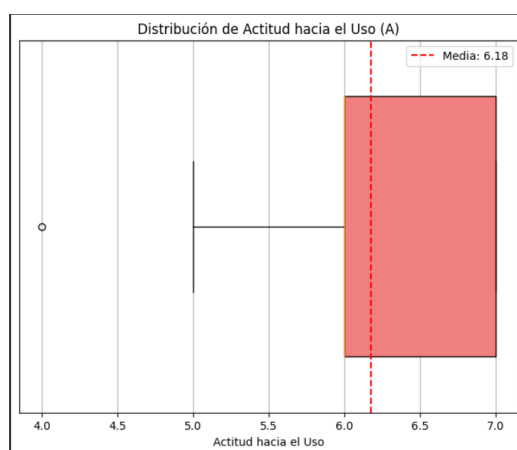


Figura 40 Boxplot actitud hacia el uso

Además, el contexto actual, donde las consultas remotas se volvieron más comunes después de la pandemia de COVID-19, puede haber sensibilizado a los usuarios sobre la importancia de contar con herramientas efectivas para la telemedicina. Un factor por considerar fue la integración del pulsioxímetro ya que con esto los profesionales podían ver un dato médico en tiempo real, agilizando el proceso de captura de información.

Estos gráficos de caja y los análisis estadísticos descriptivos proporcionan una visión clara de cómo los usuarios perciben el software de videoconferencia en términos de utilidad, facilidad de uso y actitud hacia su uso. Los resultados indican una percepción general positiva, lo cual es fundamental para la adopción exitosa del software en el entorno médico.

A continuación, aplicamos la prueba de Shapiro-Wilk para determinar si las variables subjetivas tienen una distribución normal, y con los resultados de esta prueba se determina que test utilizar para comprobar las hipótesis H1, H2, H3 y H4

Tabla 7 Prueba Shapiro-Wilk

Variable	Statistic	p-value
PU	0.94225	0.30188
PEOU	0.84141	0.00512
A	0.94225	0.30188

Los resultados de las pruebas indican que la Percepción de Utilidad (PU) sigue una distribución normal, confirmada por la prueba de Shapiro-Wilk con un p-valor superior a 0.05, y se percibe positivamente según los boxplots, lo que lleva al rechazo de la hipótesis H10 de que el subsistema no cumple con todas las funciones requeridas ni garantiza videoconferencias seguras. En contraste, la Percepción de Facilidad de Uso (PEOU) no sigue una distribución normal (p-valor < 0.05), validando su evaluación mediante la prueba de Wilcoxon que muestra una diferencia significativa respecto al valor neutro de referencia (4), aceptando así la hipótesis H20 de que el subsistema es percibido como difícil de usar. La Percepción de Actitud (A) sigue una distribución normal, con un p-valor superior a 0.05, y los boxplots reflejan una actitud positiva hacia el uso del software, lo que conduce al rechazo de la hipótesis H40 de que no hay intención de utilizar el subsistema en el futuro. En resumen, estos hallazgos indican una percepción positiva de la utilidad y la actitud hacia el software, mientras que la facilidad de uso percibida representa un área de mejora significativa.

Tabla 8 Resumen resultados sesiones de videoconferencia

#	Dur. aprox. (min)	Datos (MB)	Conexión	Participación	Integración del pulsioxímetro
1	18	228	Estable	Profesional y paciente	Transmisión SPO2 PPM y
2	22	262	Estable	Profesional y paciente	Transmisión SPO2 PPM y
3	15	198	Estable	Profesional y paciente	Transmisión SPO2 PPM y
4	20	224	Estable	Profesional y paciente	Transmisión SPO2 PPM y
5	17	215	Estable	Profesional y paciente	Transmisión SPO2 PPM y

6	21	240	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
7	19	223	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
8	22	205	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
9	16	185	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
10	20	226	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
11	18	217	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
12	21	214	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
13	19	223	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y
14	20	231	Estable	Profesional paciente	y	Transmisión SPO2	PPM	y

Los resultados del estudio evidenciaron la estabilidad de las videoconferencias utilizando la antena satelital STARLINK, sin experimentar pérdida de paquetes. Todos los participantes pudieron acceder y participar sin problemas en las videoconferencias, siempre que se otorgaran los permisos correspondientes. Se obtuvo que cada sesión de videoconferencia, con una duración aproximada de 20 minutos, utilizó alrededor de 220 megabytes en promedio, incluyendo los datos del pulsioxímetro. Específicamente, analizando los casos de prueba finales (tabla 8), se utilizaron 3091 megabytes en las 14 sesiones realizadas con pacientes reales durante dos días, lo que equivale a 3.02 gigabytes.

Con estos valores, se puede considerar el plan a utilizar con la antena STARLINK. Por ejemplo, si se realizan diariamente 7 videoconferencias, se utilizarían aproximadamente 1540 megabytes (1.5 gigabytes), lo que, multiplicado por 30 días, resulta en un total de 45 gigabytes mensuales. Este valor está por debajo del plan básico residencial de 50 gigabytes ofrecido por STARLINK. Este cálculo rápido asume un mes de 30 días, trabajando todos los días, incluidos fines de semana. Lo cual implica que se puede aumentar el número de videoconferencias diarias o visitas si se aplica en el contexto de este proyecto.

6.3. Evaluación de Cores

El sistema de puntajes y niveles de madurez propuesto por la herramienta de soporte de la OMS se adapta a esta investigación para evaluar cada uno de los cores, permitiendo medir su nivel de implementación basado en características clave. Cada core incluye varios elementos que son evaluados según su nivel de madurez: Ausente (1 punto), Emergente (2 puntos) o Maduro (3 puntos). Los puntajes obtenidos en el cuestionario se asignan a estas categorías y se suman para obtener un puntaje total del core. El puntaje máximo varía dependiendo del número de características evaluadas en cada core; por ejemplo, si un core incluye 8 características, el máximo será de 24 puntos, mientras que, si solo incluye 6 características, el máximo será de 18 puntos. En consecuencia, los niveles de madurez del core se ajustan proporcionalmente al número de características evaluadas, asegurando coherencia en la evaluación. Para aprobar un core, se requiere alcanzar al menos el nivel Emergente, con un puntaje mínimo ajustado proporcionalmente y al menos 6 puntos provenientes de categorías consideradas requisitos obligatorios, representados con un asterisco en la tabla (*).

Tabla 9 Resultados de la evaluación del Core 1

Característica	Preguntas	Puntaje	Madurez
Cuestiones regulatorias*	P11, P13, P15	2.8	3
Disponibilidad de Internet	P13	2.5	2
Infraestructura y sistemas de información*	P11, P13	3.0	3
Capacidad para usar telemedicina*	P10	2.7	3
Adecuación del servicio al contexto	P9	2.8	3
Financiación de los servicios de telemedicina*	P11	2.4	2

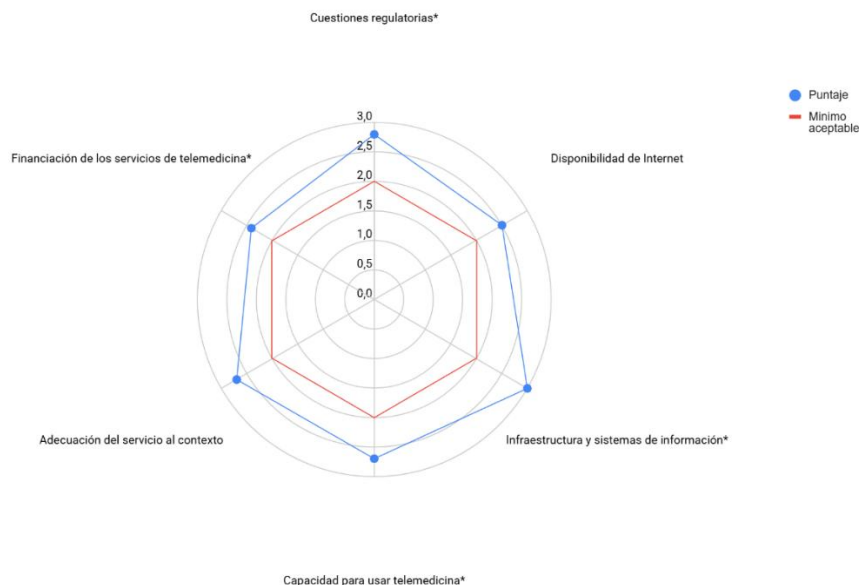


Figura 41 Nivel de madurez core 1

El Core 1 se encuentra en un nivel de madurez emergente, con un puntaje total de 16 puntos, indicando que la mayoría de las características están funcionalmente implementadas, aunque existen áreas por mejorar para alcanzar un nivel maduro. Los niveles de madurez se clasifican como Ausente (≤ 7 puntos), Emergente (8-17 puntos) y Maduro (≥ 18 puntos). Las características obligatorias, como Cuestiones regulatorias, Infraestructura y sistemas de información y Capacidad para usar telemedicina, alcanzaron un nivel maduro, demostrando solidez en estas áreas críticas. Sin embargo, Financiación de los servicios de telemedicina y Disponibilidad de Internet permanecen en nivel emergente, lo que demuestra la necesidad de fortalecer aspectos financieros y de conectividad. Algunas características, como aquellas con una sola pregunta relacionada, pueden requerir análisis adicionales para una evaluación más representativa. A pesar de estas limitaciones, los resultados permiten avanzar al siguiente core, priorizando las mejoras necesarias para garantizar la sostenibilidad del sistema de telemedicina.

Tabla 10 Resultados de la evaluación del Core 2

Característica	Preguntas	Puntaje	Madurez
Mecanismos de gobierno*	P13, P15	2.8	3
Estrategia de capacitación del personal de salud*	P10	2.7	3
Alineación estratégica*	P13, P15	2.8	3

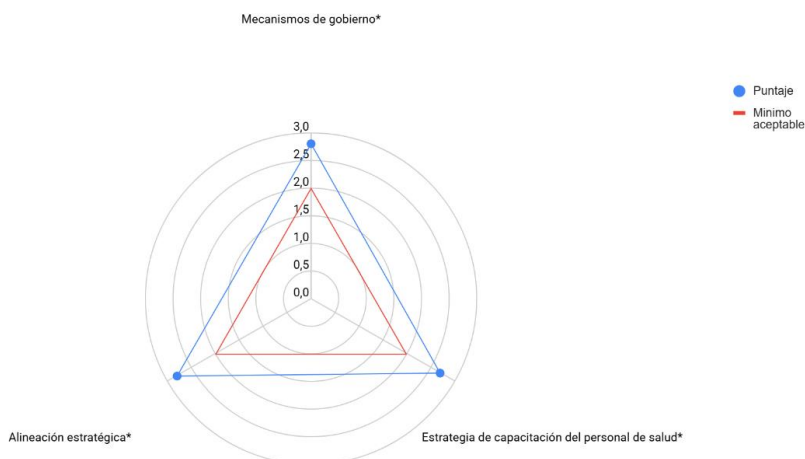


Figura 42 Nivel de madurez core 2

El Core 2 se encuentra en un nivel de madurez maduro, indicando que las estrategias y la alineación están sólidamente implementadas. Las características obligatorias, como Mecanismos de gobierno, Estrategia de capacitación del personal de salud y Alineación estratégica, alcanzaron el nivel más alto de madurez. Esto demuestra que existe una preparación adecuada en términos de regulación, capacitación del personal y alineación normativa, lo que refuerza la sostenibilidad y efectividad del sistema de telemedicina. A pesar de los resultados positivos, es recomendable continuar evaluando la efectividad de estas estrategias y garantizar que los mecanismos implementados sean adaptables a cambios futuros. Estos resultados permiten avanzar al siguiente core con confianza en la solidez de las estrategias y alineaciones actuales.

Tabla 11 Resultados de la evaluación del Core 3

Característica	Preguntas	Puntaje	Madurez
Percepción de utilidad e impacto en desempeño*	P1, P2, P3, P5	2.9	3
Seguridad y confianza en manejo de datos	P12	2.7	3
Comunicación y mecanismos de publicidad	P1, P2, P5	2.8	3
Soporte organizacional	P12	2.7	3
Modelo de prestación de atención médica	P1, P3	2.9	3

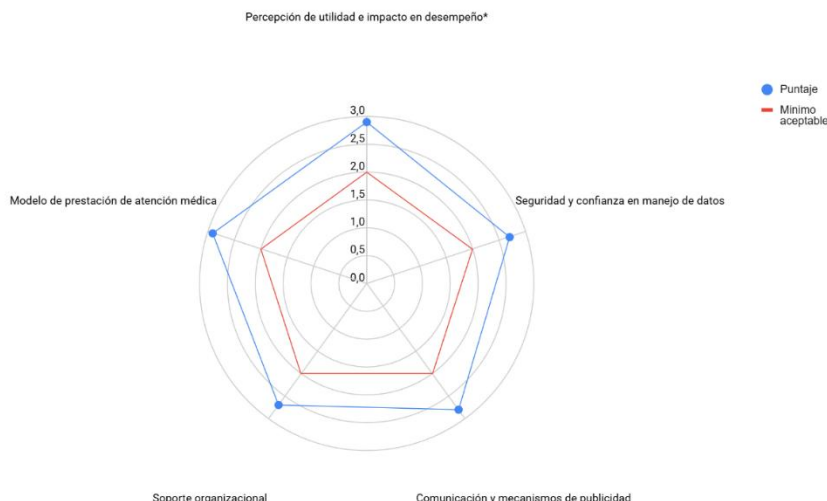


Figura 43 Nivel de madurez core 3

El Core 3 se encuentra en un nivel de madurez maduro, con un puntaje total, lo que refleja una sólida aceptación y adaptación del sistema por parte de los usuarios. Las características obligatorias, como Percepción de utilidad e impacto en desempeño, alcanzaron un nivel maduro, demostrando que el software es percibido como útil y efectivo en el contexto médico. Asimismo, características como Seguridad y confianza en manejo de datos y Soporte organizacional evidencian que los usuarios confían en el sistema para manejar información sensible, mientras que la inclusión de Comunicación y mecanismos de publicidad y Modelo de prestación de atención médica refuerzan la efectividad del sistema en promover su adopción y sostenibilidad. Este nivel de madurez proporciona una base sólida para avanzar hacia el siguiente core.

Tabla 12 Resultados de la evaluación del Core 4

Característica	Preguntas	Puntaje	Madurez
Evaluación del riesgo clínico*	P6, P10	2.8	3
Protocolos clínicos y directrices*	P7, P8	2.7	3
Capacidad para ofrecer servicios de telemedicina*	P4, P6	2.9	3
Consentimiento informado de los pacientes	P9	2.6	3
Protección de datos y seguridad*	P11, P13, P15	2.8	3
Gestión financiera	P14	2.5	2
Accesibilidad y legibilidad	P6, P10	2.7	3
Fiabilidad de la tecnología	P13, P15	2.9	3

Procesos definidos para la prestación de servicios de telemedicina*	P4, P6, P7	3.0	3
Satisfacción del usuario	P12, P14	2.7	3

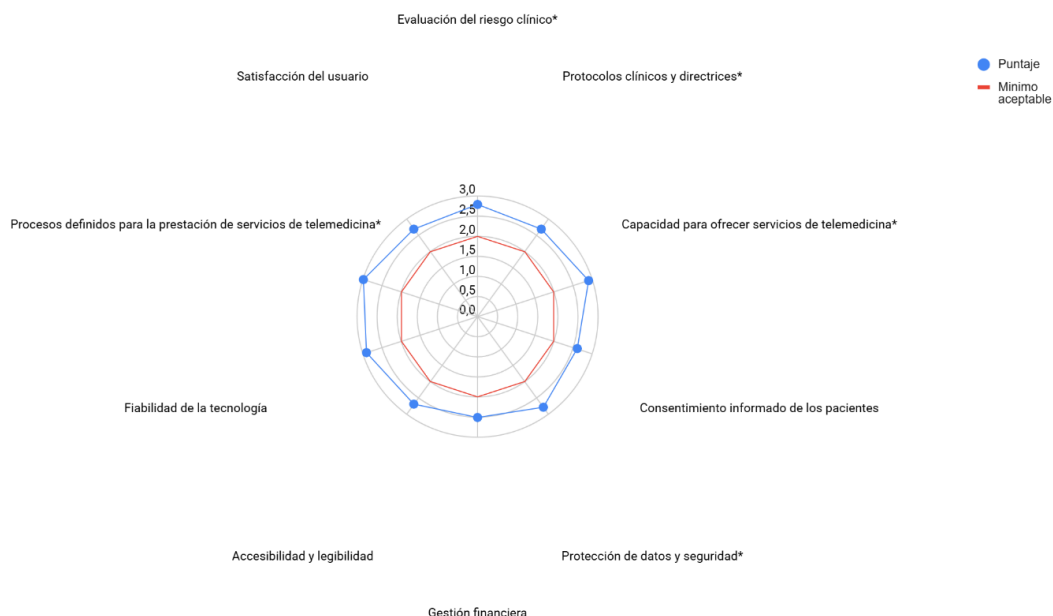


Figura 44 Nivel de madurez core 4

El Core 4 se encuentra en un nivel de madurez maduro, con un puntaje total de 27.6 puntos, destacando una implementación sólida en términos de desarrollo del servicio. Las características obligatorias, como Evaluación del riesgo clínico, Protocolos clínicos y directrices, y Procesos definidos para la prestación de servicios de telemedicina, alcanzaron el nivel más alto de madurez. Esto refleja una gestión robusta en aspectos técnicos, operativos y de seguridad. Aunque la Gestión financiera se encuentra en un nivel emergente, el resto de las características demuestran un desarrollo avanzado, incluyendo la protección de datos, accesibilidad y satisfacción del usuario. Estos resultados permiten avanzar al siguiente core con un sistema altamente eficiente y adaptable.

Tabla 13 Resultados de la evaluación del Core 5

Característica	Preguntas	Puntaje	Madurez
Escalabilidad de los servicios de telemedicina*	P9	2.8	3
Sistemas de monitoreo y evaluación*	P14	2.5	2
Resultados de los pacientes	P3	2.9	3
Sostenibilidad	P11	2.6	3

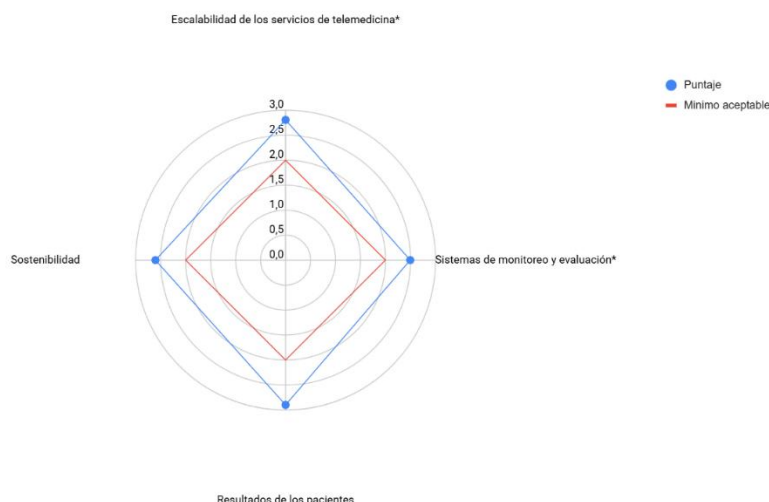


Figura 45 Nivel de madurez core 5

El Core 5 se encuentra en un nivel de madurez maduro, lo que refleja una implementación avanzada en términos de escalabilidad y sostenibilidad. Las características obligatorias, como Escalabilidad de los servicios de telemedicina y Sostenibilidad, alcanzaron un nivel maduro, demostrando la capacidad del sistema para adaptarse a diferentes entornos y garantizar su viabilidad a largo plazo. Aunque Sistemas de monitoreo y evaluación se encuentra en un nivel emergente, sigue siendo funcional y ofrece una base para mejoras continuas. En general, los resultados de este core son muy positivos, destacando la flexibilidad del sistema y su capacidad para cumplir con las expectativas en términos de resultados para pacientes y sostenibilidad.

7. Capítulo 7: Conclusiones, recomendaciones y trabajo futuro

7.1. Conclusiones

El desarrollo e implementación del software de videoconferencia seguro para consultas médicas remotas, como parte del proyecto ElectroHealth HUB de INNTRATEC SAS, ha resultado ser una solución crucial para mejorar el acceso y la calidad de la atención médica. Este subsistema se integra como parte del ecosistema de telemedicina, respondiendo a la creciente necesidad de servicios de salud accesibles y seguros. Queda demostrado la posibilidad de adaptación para integrarse al trabajo previo de la tecnología Blockchain en la gestión de la identidad digital y asegurar el acceso al Historial Clínico Electrónico (HCE). De la misma forma, se demuestra el cumplimiento de estándares para los datos personales médicos como el FHIR, y en conjunto ha permitido cumplir con los estándares de seguridad y privacidad exigidos por el HIPAA, así como asegurar que se cumpla el apartado referente

al manejo de los datos médicos de la Ley de Protección de Datos en Ecuador. Esto garantiza que los pacientes tengan control sobre el manejo de su información médica, en línea, y que esta se maneje de manera confidencial e íntegra, con la característica de que el paciente en todo momento es consciente de que está brindando acceso al paciente a través del ecosistema. En las indagaciones realizadas en esta investigación, se puede evidenciar que no existe esta característica en software de manejo de historia clínica que ofrezca esta opción.

Se integró la metodología de evaluación de madurez de la OMS para analizar cinco cores, logrando niveles de madurez "Emergente" en el Core 1, "Maduro" en los Cores 2, 3, 4 y 5. Estos resultados destacan que el sistema no solo cumple con los estándares técnicos, sino que también es flexible y escalable, adaptándose a diversos entornos clínicos. El uso de herramientas visuales, como gráficos de radar, permitió identificar áreas críticas para optimización, como la conectividad y la gestión financiera.

Este estudio ha explorado la percepción de utilidad, facilidad de uso, actitud hacia el uso e intención conductual de uso del software de videoconferencia diseñado para consultas médicas remotas, integrado dentro de un ecosistema de salud electrónica, en un grupo limitado de pacientes porque se ha propuesto plantear un escenario de telemedicina real por medio de centros de salud que se encuentran sensibilizados a proyectos de telemedicina. Los resultados del uso de la plataforma han demostrado una alta percepción de utilidad del software de videoconferencia entre médicos y pacientes. Esto se debe a la capacidad del sistema para facilitar la comunicación en tiempo real, permitir consultas médicas eficientes y mejorar el acceso a la atención médica especializada, especialmente en zonas rurales y entre pacientes con dificultades para desplazarse. Esta percepción de utilidad se fundamenta en la necesidad identificada al inicio de esta investigación, donde se planteó resolver las brechas tecnológicas en el acceso a la medicina, especialmente en contextos de bajos recursos y durante emergencias sanitarias como la pandemia de COVID-19.

Además, de los requisitos iniciales establecidos para el proyecto, se incorporaron dos elementos adicionales que resultaron fundamentales para reproducir el escenario de telemedicina real: la integración de una antena STARLINK para adaptarse a su red y un dispositivo de captura de datos en tiempo real, el pulsioxímetro, que permite a ambas partes visualizar los datos capturados en tiempo real. El escenario conseguido al integrar estos dispositivos permitió recrear un escenario real de atención a distancia, asegurando así su posición como una solución adecuada y factible de ser usada en términos de flexibilidad y capacidades de monitoreo en tiempo real para telemedicina.

A pesar de la alta percepción de utilidad, se identificaron áreas de mejora en la facilidad de uso del software. Los usuarios reportaron cierta complejidad en la navegación y configuración inicial, lo que sugiere la necesidad de optimizar la interfaz de usuario y proporcionar una guía más clara para nuevos usuarios. Esta mejora es esencial para maximizar la adopción y el uso continuo del software por parte de médicos y pacientes, asegurando una experiencia fluida y satisfactoria.

Se observó una actitud positiva general hacia el uso continuo del software de videoconferencia. Los médicos y pacientes mostraron interés en adoptar esta tecnología en sus prácticas diarias, destacando su conveniencia y la mejora en la accesibilidad a la atención médica. Esta actitud favorable se alinea con los objetivos de esta investigación, donde se propuso diseñar e implementar una plataforma que permita agendar y realizar consultas remotas de manera rápida y virtual, optimizando la privacidad y confidencialidad de los datos.

La intención de uso futuro del software fue alta entre los participantes, indicando una predisposición favorable hacia la adopción continua. La seguridad percibida del sistema, con características como la autenticación basada en blockchain y la encriptación de datos, fue un factor crucial para esta intención conductual. Esto subraya la importancia de la seguridad y privacidad en la gestión de datos médicos, lo cual es esencial para ganar la confianza de los usuarios y garantizar el cumplimiento de regulaciones como la Ley de Protección de Datos en Ecuador.

En resumen, este estudio ha demostrado que el desarrollo de un software de videoconferencia seguro y eficiente, integrado con tecnología Blockchain y estándares de datos médicos, es fundamental para mejorar la accesibilidad y la calidad de la atención médica. La implementación exitosa de esta plataforma podría servir como modelo para otros centros de salud que enfrentan desafíos similares en Ecuador y en otras partes del mundo. La inclusión de la antena STARLINK y el pulsioxímetro no solo ha enriquecido las capacidades de la plataforma, sino que también ha consolidado su posición como una solución con características extra a comparación con otras herramientas que ofrecen el mismo servicio.

Gracias a todo el trabajo realizado en esta investigación, se ha demostrado que es posible llevar a cabo consultas remotas con pacientes que tienen limitaciones de movilidad, utilizando el pulsioxímetro y requiriendo únicamente una conexión básica a internet y cualquier dispositivo con acceso a un navegador web. Esta flexibilidad y accesibilidad son aspectos clave para ampliar el alcance de la telemedicina y mejorar la atención médica en comunidades remotas o con recursos limitados.

7.2. Recomendaciones

Basado en los hallazgos, se recomienda lo siguiente para mejorar el software de videoconferencia y su integración en el sistema de telemedicina:

1. **Mejoras en la Interfaz de Usuario:** Simplificar la navegación y la configuración inicial para mejorar la experiencia del usuario. Esto incluye optimizar la interfaz gráfica y proporcionar guías visuales claras para facilitar el uso del software desde el primer contacto.
2. **Educación y Capacitación:** Ofrecer tutoriales y sesiones de capacitación para médicos y pacientes sobre el uso efectivo del software. Estas capacitaciones deben centrarse en mostrar todas las funcionalidades disponibles, así como las mejores prácticas para la realización de consultas médicas remotas.
3. **Seguridad y Privacidad:** Continuar fortaleciendo las medidas de seguridad, asegurando la confidencialidad de los datos médicos y cumpliendo con estándares como HIPAA. Esto incluye mantener actualizados los protocolos de seguridad y realizar auditorías periódicas para identificar posibles vulnerabilidades.
4. **Feedback Continuo:** Implementar un sistema de retroalimentación para capturar las opiniones y sugerencias de los usuarios y realizar mejoras continuas. Este feedback será fundamental para ajustar y mejorar el software con base en las experiencias y necesidades reales de los usuarios.

7.3. Trabajo Futuro

Este estudio contribuye al campo de la salud electrónica al demostrar cómo la adopción de tecnologías como la telemedicina puede mejorar la accesibilidad y eficiencia de la atención médica. Las implicaciones teóricas subrayan la importancia de considerar tanto la funcionalidad técnica como la experiencia del usuario al diseñar tecnologías médicas.

El estudio presenta algunas limitaciones, como la muestra limitada de participantes y la dependencia de la autopercepción en la evaluación de utilidad y facilidad de uso. Futuras investigaciones podrían expandir la muestra y utilizar métricas objetivas para evaluar la usabilidad del software.

Este estudio no solo contribuye al conocimiento teórico sobre la adopción de tecnologías en la atención médica, sino que también proporciona una solución práctica y aplicable para mejorar la atención médica remota. La implementación exitosa de esta plataforma podría

servir como modelo para otros centros de salud enfrentando desafíos similares en Ecuador y en otras partes del mundo.

1. **Arquitectura Modular y Nuevos Dispositivos:** Se recomienda considerar la posibilidad de integrar nuevos dispositivos que funcionen con Wi-Fi utilizando las mismas características de seguridad implementadas en las APIs. Esto permitiría expandir las capacidades del sistema para capturar y transmitir datos adicionales de salud de manera segura, utilizando la identidad digital blockchain y la encriptación implementada en este proyecto de tesis.
2. **Integración Completa con FHIR y EHR:** Como trabajo futuro, se debería explorar la posibilidad de habilitar la capacidad de guardar nuevos datos agregados durante las videoconferencias en el servidor FHIR. Esto permitiría a los médicos actualizar y agregar nuevos datos a la historia clínica electrónica del paciente de manera remota, mejorando así la continuidad de la atención.
3. **Almacenamiento y Análisis Avanzado de Datos del Pulsioxímetro:** Además de los datos de presión arterial y pulso, se podría explorar la opción de almacenar y ofrecer la posibilidad de visualizar informes detallados sobre el comportamiento del paciente durante la videoconferencia o el análisis realizado. Esto sería útil tanto para médicos como para pacientes remotos.
4. **Prescripciones y Recetas Durante Video consultas:** Se sugiere la implementación de la capacidad de realizar prescripciones y generar recetas durante las videoconferencias. Esto simplificaría el proceso para médicos y pacientes, asegurando que las recomendaciones médicas sean claras y accesibles de manera remota.

En conclusión, este estudio sienta las bases para futuras mejoras y desarrollos en la telemedicina, aprovechando la tecnología para hacer la atención médica más accesible, eficiente y segura.

Referencias

- [1] Ministerio de Salud Pública, “Política Nacional de Transformación Digital del Sector Salud 2024-2034,” Ministerio de Salud Pública, Subsecretaría de Rectoría del Sistema Nacional de Salud, Dirección Nacional de Políticas, Normatividad y Modelamiento de Salud., Quito, Ecuador, 2024. [Online]. Available: <http://salud.gob.ec>
- [2] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, “Agenda Digital de Salud 2023-2027,” Ministerio de Salud Pública del Ecuador, Quito, Ecuador, 2023. [Online]. Available: <https://www.salud.gob.ec>
- [3] L. A. Vasquez-Cevallos, J. Bobokova, P. V. González-Granda, J. M. Iniesta, E. J. Gómez, and M. E. Hernando, “Design and Technical Validation of a Telemedicine Service for Rural Healthcare in Ecuador,” *Telemed. J. E-Health Off. J. Am. Telemed. Assoc.*, vol. 24, no. 7, pp. 544–551, Jul. 2018, doi: 10.1089/tmj.2017.0130.
- [4] K. Maxi and V. Morocho, “Integrating medical information software using Health Level Seven and FHIR,” presented at the Second International Conference on Smart Technologies, Systems and Application SmartTech-IC 2021, 2021.
- [5] M. C. Cáceres Salamea, D. F. Peralta Velecela, and V. Morocho, “Propuesta de identidad digital para historial clínico unificado utilizando tecnología blockchain,” Nov. 2021, Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/37324>
- [6] D. D. Neira Carvallo, E. J. Ríos Cedillo, and V. Morocho, “Sistema de monitoreo remoto IoT de frecuencia cardíaca y saturación de oxígeno para pacientes post COVID-19,” bachelorThesis, Universidad de Cuenca, 2022. Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/39927>
- [7] INEC, “Tecnologías de la Información y Comunicación-TIC,” Instituto Nacional de Estadística y Censos. Accessed: Jun. 11, 2021. [Online]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>
- [8] “Starlink,” Starlink. Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.starlink.com/>
- [9] L. M. published, “Starlink: SpaceX’s satellite internet system,” livescience.com. Accessed: Jun. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.livescience.com/starlink>
- [10] J. P. Del Alcazar, “ESTADO DIGITAL ECUADOR 2021 – ESTADÍSTICAS DIGITALES ACTUALIZADAS,” Mentinno - Formacion Gerencial Blog. Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://blog.formaciongerencial.com/estadodigitalecuador2021/>
- [11] CDC, “Health Insurance Portability and Accountability Act of 1996 (HIPAA) | CDC.” Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/phlp/publications/topic/hipaa.html>

- [12] T. D. Álvarez-Márquez, E. M. Robalino-Peña, and J. L. Vázquez-Calle, “La afectación al principio de contradicción en la citación telemática, desde una perspectiva ecuatoriana,” *MQRInvestigar*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2023, doi: 10.56048/MQR20225.7.2.2023.421-434.
- [13] S. M. T. Toapanta, S. J. M. Paredes, L. E. M. Gallegos, and J. A. O. Trejo, “Analysis of HIPAA for Adopt in the Information Security in the Civil Registry of the Ecuador,” in *2018 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)*, Jul. 2018, pp. 1–5. doi: 10.1109/CITS.2018.8440156.
- [14] M. G. Macías-Moreira, G. A. Ortega-Baldeon, and M. del J. Azúa-Menéndez, “Enfermedades crónicas no transmisibles y la calidad de vida en el Ecuador,” *MQRInvestigar*, vol. 7, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2023, doi: 10.56048/MQR20225.7.1.2023.1592-1612.
- [15] E. F. M. Pérez, “Los vacíos jurídicos de los riesgos laborales del teletrabajo en Ecuador,” *Foro Rev. Derecho*, no. 35, Art. no. 35, Jan. 2021, doi: 10.32719/26312484.2021.35.2.
- [16] Asamblea Nacional del Ecuador, “Ley Orgánica de Protección de Datos Personales,” Asamblea Nacional del Ecuador. Accessed: Mar. 30, 2022. [Online]. Available: <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/multimedios-legislativos/63464-ley-organica-de-proteccion-de-datos>
- [17] S. ur Rehman and M. U. Khan, “A Reliable and Secure Virtualized Clinical Assistance Tool for Doctors and Patients,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 94, pp. 441–446, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.procs.2016.08.068.
- [18] A. Monte Soldado *et al.*, “Implementation and evaluation of telemedicine in burn care: Study of clinical safety and technical feasibility in a single burn center,” *Burns*, vol. 46, no. 7, pp. 1668–1673, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.burns.2020.04.027.
- [19] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, “Plan Decenal de Salud 2022-2031,” Ministerio de Salud Pública, Viceministerio de Gobernanza y Vigilancia de la Salud, Quito, Ecuador, 2022. [Online]. Available: <https://www.salud.gob.ec/plan-decenal-de-salud-2022-2031-msp/>
- [20] R. López-Pulles, V. Morocho, Z. Maria, and T. Crespo, “Diagnosis of the status of telehealth in Ecuador,” *Lat. Am J Telehealth*, vol. 2, pp. 244–251, Jan. 2010.
- [21] A. Jnr. Bokolo, “Application of telemedicine and eHealth technology for clinical services in response to COVID-19 pandemic,” *Health Technol.*, vol. 11, no. 2, pp. 359–366, Mar. 2021, doi: 10.1007/s12553-020-00516-4.
- [22] V. Giordano, K. E. Kojima, C. O. Valderrama-Molina, M. L. Azi, F. Bidolegui, and R. E. Pires, “Adapting non-medical applications for medical use: Ethical limits, coverage, and validation,” *Injury*, vol. 54, pp. S74–S80, May 2023, doi: 10.1016/j.injury.2021.12.017.

- [23] B. Kaplan, "REVISITING HEALTH INFORMATION TECHNOLOGY ETHICAL, LEGAL, and SOCIAL ISSUES and EVALUATION: TELEHEALTH/TELEMEDICINE and COVID-19," *Int. J. Med. Inf.*, vol. 143, p. 104239, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2020.104239.
- [24] I. A. D. Bank and O. of A. States, "Reporte Ciberseguridad 2020: riesgos, avances y el camino a seguir en América Latina y el Caribe," *IDB Publ.*, Jul. 2020, doi: 10.18235/0002513.
- [25] K. Vilakazi and F. Adebessin, "A Systematic Literature Review on Cybersecurity Threats to Healthcare Data and Mitigation Strategies," in *EPIc Series in Computing*, EasyChair, May 2023, pp. 240–251. doi: 10.29007/hf15.
- [26] P. Baudier, G. Kondrateva, C. Ammi, V. Chang, and F. Schiavone, "Patients' perceptions of teleconsultation during COVID-19: A cross-national study," *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 163, p. 120510, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.techfore.2020.120510.
- [27] World Health Organization, Ed., *Telemedicine: opportunities and developments in member states: report on the second Global survey on eHealth*. in Global observatory for eHealth series, no. 2. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2010.
- [28] World Health Organization, "Support tool to strengthen telemedicine: resource for assessment, strategy development, and strengthening of telemedicine services." Accessed: Dec. 03, 2024. [Online]. Available: WHO/EURO:2024-9548-49320-73720
- [29] X. Ge, R. F. Paige, F. A. C. Polack, H. Chivers, and P. J. Brooke, "Agile development of secure web applications," in *Proceedings of the 6th international conference on Web engineering*, in ICWE '06. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, Jul. 2006, pp. 305–312. doi: 10.1145/1145581.1145641.
- [30] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado, and M. Baptista Lucio, *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw Hill, 2014. Accessed: Jul. 05, 2022. [Online]. Available: <https://dspace.scz.ucb.edu.bo/dspace/bitstream/123456789/166/1/1646.pdf>
- [31] M. A. Gutierrez, R. A. Moreno, and M. S. Rebelo, "Chapter 3 - Information and Communication Technologies and Global Health Challenges," in *Global Health Informatics*, H. de Fátima Marin, E. Massad, M. A. Gutierrez, R. J. Rodrigues, and D. Sigulem, Eds., Academic Press, 2017, pp. 50–93. doi: 10.1016/B978-0-12-804591-6.00004-5.
- [32] A. G. Ekeland, A. Bowes, and S. Flottorp, "Effectiveness of telemedicine: A systematic review of reviews," *Int. J. Med. Inf.*, vol. 79, no. 11, pp. 736–771, Nov. 2010, doi: 10.1016/j.ijmedinf.2010.08.006.
- [33] J. T. Atmojo, W. T. Sudaryanto, A. Widiyanto, E. Ernawati, and D. Arradini, "Telemedicine, Cost Effectiveness, and Patients Satisfaction: A Systematic Review," *J. Health Policy Manag.*, vol. 5, no. 2, Art. no. 2, May 2020.

- [34] V. Morocho and P. González, *Implementación de proyectos de telesalud: aspectos involucrados*. 2013. [Online]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/7d631034-1382-471f-b50b-0865815e116c/content>
- [35] C. L. Wen, "Chapter 8 - Telemedicine, eHealth and Remote Care Systems," in *Global Health Informatics*, H. de Fátima Marin, E. Massad, M. A. Gutierrez, R. J. Rodrigues, and D. Sigulem, Eds., Academic Press, 2017, pp. 168–194. doi: 10.1016/B978-0-12-804591-6.00009-4.
- [36] S. Sachdeva and S. Bhalla, "Semantic interoperability in standardized electronic health record databases," *J. Data Inf. Qual.*, vol. 3, no. 1, p. 1:1-1:37, May 2012, doi: 10.1145/2166788.2166789.
- [37] E. M. Cahan, V. Mittal, N. R. Shah, and S. Thadaney-Israni, "Achieving a Quintuple Aim for Telehealth in Pediatrics," *Pediatr. Clin. North Am.*, vol. 67, no. 4, pp. 683–705, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.pcl.2020.04.015.
- [38] C. Gackenheimer, "What Is React?," in *Introduction to React*, C. Gackenheimer, Ed., Berkeley, CA: Apress, 2015, pp. 1–20. doi: 10.1007/978-1-4842-1245-5_1.
- [39] Stack Overflow, "Stack Overflow Developer Survey 2023," Stack Overflow. Accessed: Jul. 04, 2022. [Online]. Available: <https://survey.stackoverflow.co/2023/#overview>
- [40] Z. Dinku, "React.js vs. Next.js".
- [41] H. Zimmermann, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 28, no. 4, pp. 425–432, Apr. 1980, doi: 10.1109/TCOM.1980.1094702.
- [42] S. Kumar and S. Rai, "Survey on Transport Layer Protocols: TCP & UDP," *undefined*, 2012, Accessed: Jul. 04, 2022. [Online]. Available: <https://research.ijcaonline.org/volume46/number7/pxc3879285.pdf>
- [43] CISCO, "TCP/IP Overview," Cisco. Accessed: Jul. 04, 2022. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/ip/routing-information-protocol-rip/13769-5.html>
- [44] H. V. P. Truong, "Video Conference Room Implementation with WebRTC and React." Accessed: Jun. 10, 2021. [Online]. Available: <http://www.theseus.fi/handle/10024/501235>
- [45] CISCO, "UDP." Accessed: Jul. 05, 2022. [Online]. Available: <https://community.cisco.com/t5/networking-documents/udp/ta-p/3114870>
- [46] "WebRTC," WebRTC. Accessed: Jul. 04, 2022. [Online]. Available: <https://webrtc.org/?hl=es-419>
- [47] C. Toğay, "A practical key agreement scheme for videoconferencing," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 79, no. 33, pp. 23711–23728, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11042-020-09136-6.

- [48] “Architecture | WebRTC.” Accessed: Jul. 05, 2022. [Online]. Available: <https://webrtc.github.io/webrtc-org/architecture/#>
- [49] J. Hunt, Ed., “Feature-Driven Development,” in *Agile Software Construction*, London: Springer, 2006, pp. 161–182. doi: 10.1007/1-84628-262-4_9.
- [50] N. G. Maleki and R. Ramsin, “Agile Web Development Methodologies: A Survey and Evaluation,” in *Software Engineering Research, Management and Applications*, R. Lee, Ed., in Studies in Computational Intelligence. , Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 1–25. doi: 10.1007/978-3-319-61388-8_1.
- [51] L. L. Groom, M. M. McCarthy, A. W. Stimpfel, and A. A. Brody, “Telemedicine and Telehealth in Nursing Homes: An Integrative Review,” *J. Am. Med. Dir. Assoc.*, vol. 22, no. 9, pp. 1784-1801.e7, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.jamda.2021.02.037.
- [52] M. B. Hunter, N. Jenkins, C. Dolan, H. Pullen, C. Ritchie, and G. Muniz-Terrera, “Reliability of Telephone and Videoconference Methods of Cognitive Assessment in Older Adults with and without Dementia,” *J. Alzheimers Dis. JAD*, vol. 81, no. 4, pp. 1625–1647, 2021, doi: 10.3233/JAD-210088.
- [53] C. B. Chan, N. Popeski, M. F. Hassanabad, R. J. Sigal, P. O’Connell, and P. Sargious, “Use of Virtual Care for Glycemic Management in People With Types 1 and 2 Diabetes and Diabetes in Pregnancy: A Rapid Review,” *Can. J. Diabetes*, vol. 45, no. 7, pp. 677-688.e2, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jcjd.2021.02.007.
- [54] M. L. Jin, M. M. Brown, D. Patwa, A. Nirmalan, and P. A. Edwards, “Telemedicine, tementoring, and telesurgery for surgical practices,” *Curr. Probl. Surg.*, vol. 58, no. 12, p. 100986, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.cpsurg.2021.100986.
- [55] J. Azevedo, R. L. Pereira, and P. Chainho, “An API proposal for integrating sensor data into web apps and WebRTC,” in *Proceedings of the 1st Workshop on All-Web Real-Time Systems*, in AWeS ’15. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, April 2015, pp. 1–5. doi: 10.1145/2749215.2749221.
- [56] C. Andrikos, G. Rassias, P. Tsanakas, and I. Maglogiannis, “An Enhanced Device-Transparent Real-Time Teleconsultation Environment for Radiologists,” *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, vol. 23, no. 1, pp. 374–386, Jan. 2019, doi: 10.1109/JBHI.2018.2824312.
- [57] A. C. Tricco *et al.*, “PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation,” *Ann. Intern. Med.*, vol. 169, no. 7, pp. 467–473, Oct. 2018, doi: 10.7326/M18-0850.
- [58] Mr. Naeemabadi, B. Dinesen, O. K. Andersen, N. K. Madsen, O. H. Simonsen, and J. Hansen, “Developing a telerehabilitation programme for postoperative recovery from knee surgery: specifications and requirements,” *BMJ Health Care Inform.*, vol. 26, no. 1, p. e000022, Apr. 2019, doi: 10.1136/bmjhci-2019-000022.

- [59] E. Donaghy *et al.*, “Acceptability, benefits, and challenges of video consulting: a qualitative study in primary care,” *Br. J. Gen. Pract. J. R. Coll. Gen. Pract.*, vol. 69, no. 686, pp. e586–e594, Sep. 2019, doi: 10.3399/bjgp19X704141.
- [60] P. Baudier, G. Kondrateva, C. Ammi, V. Chang, and F. Schiavone, “Digital transformation of healthcare during the COVID-19 pandemic: Patients’ teleconsultation acceptance and trusting beliefs,” *Technovation*, p. 102547, May 2022, doi: 10.1016/j.technovation.2022.102547.
- [61] “Clinical Update: Telepsychiatry With Children and Adolescents,” *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry*, vol. 56, no. 10, pp. 875–893, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.jaac.2017.07.008.
- [62] Ł. Czekerda, F. Malawski, and P. Wyszowski, “Holistic approach to design and implementation of a medical teleconsultation workspace,” *J. Biomed. Inform.*, vol. 57, pp. 225–244, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.jbi.2015.08.007.
- [63] G. Novara *et al.*, “Telehealth in Urology: A Systematic Review of the Literature. How Much Can Telemedicine Be Useful During and After the COVID-19 Pandemic?,” *Eur. Urol.*, vol. 78, no. 6, pp. 786–811, Diciembre 2020, doi: 10.1016/j.eururo.2020.06.025.
- [64] F. D. Davis, “User acceptance of information technology: system characteristics, user perceptions and behavioral impacts,” *Int. J. Man-Mach. Stud.*, vol. 38, no. 3, pp. 475–487, Mar. 1993, doi: 10.1006/imms.1993.1022.
- [65] V. Morocho and P. González, “Estrategias de Sensibilización para la Ejecución de proyectos de Telesalud,” *Lat. Am. J. Telehealth*, vol. 2, no. 3, Art. no. 3, 2010, doi: 10.32443/2175-2990(2010)80.