



Universidad Politécnica
de Madrid

**Escuela Técnica Superior de
Ingenieros Informáticos**



Grado en Ingeniería Informática

Trabajo Fin de Grado

**Mejoras en la Experiencia de Usuario
de una Plataforma de Teleconsultas de
Medicina**

Autor: ALEJANDRO DÍAZ BRAVO
Tutor(a): ÁNGEL HERRANZ NIEVA

Madrid, Enero 2025

Este Trabajo Fin de Grado se ha depositado en la ETSI Informáticos de la Universidad Politécnica de Madrid para su defensa.

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Informática

Título: Mejoras en la Experiencia de Usuario de una Plataforma de Teleconsultas de Medicina

Enero 2025

Autor: ALEJANDRO DÍAZ BRAVO

Tutor: ÁNGEL HERRANZ NIEVA

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos e Ingeniería de Software

Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos

Universidad Politécnica de Madrid

Resumen

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo general mejorar la experiencia de usuario en la plataforma de teleconsultas Cayapas, la cual se compone de una aplicación web y una aplicación Android. Surge de la necesidad de abordar diferentes dificultades encontradas tanto por el equipo de desarrollo como por los usuarios de esta plataforma.

El flujo general de uso de esta plataforma es el siguiente:

1. Un médico rural con poca experiencia de una región subdesarrollada de Ecuador recoge los datos del paciente desde la web o app (en caso de no disponer de conexión a internet, se subirá posteriormente a la web desde la app).
2. Una vez creada y subida la teleconsulta a la web, es asignada a un médico especialista que se encuentra en cualquier otro lugar.
3. El médico especialista, analiza y estudia el caso de la teleconsulta y manda una respuesta al médico rural con el diagnóstico y sobre como actuar ante la situación específica del paciente, pudiéndose comunicar entre ellos mediante un chat habilitado.

En este trabajo se realizó un análisis del estado actual de las aplicaciones para identificar las áreas de mejora, seleccionándose tres tareas clave según su urgencia y prioridad:

La primera tarea que se implementó fue la posibilidad de descargar por parte del coordinador del proyecto la lista de teleconsultas que se encuentran en la web en dos formatos, JSON y CSV.

La segunda y principal tarea de este proyecto surgió de la necesidad de automatizar el proceso de asignación de las teleconsultas a los médicos especialistas, puesto que era necesario que el coordinador fuese asignando las teleconsultas manualmente a los especialistas, e incluso reasignarlas si no se obtenía respuesta por parte de este. Esto provocaba que el proceso de atención a los pacientes fuese muy lento y requería de la acción constante del coordinador. Se analizaron las posibles soluciones al problema y se implementó con un algoritmo de asignación automática basado en el reparto de carga y el uso de un GenServer como proceso en segundo plano para reasignar en caso de no obtener respuesta en 48 horas.

La tercera tarea inicialmente iba a consistir en la mejora de las funciones del chat entre médico rural y especialista, pero finalmente a petición del equipo de Cayapas se sustituyó por una nueva tarea. Esta consistía en separar las teleconsultas en dos grupos principales, medicina y enfermería, ya que los formularios de las teleconsultas a rellenar en ambos grupos debían ser bastante diferentes y no eran muy precisos en el caso de una consulta de enfermería. Se realizó un nuevo tipo de teleconsulta para enfermería, suprimiendo los campos a rellenar que no interesaban de medicina e incluyendo los nuevos del segundo grupo. Debido al poco tiempo restante y a la magnitud de los campos solicitados desde el equipo de Cayapas, no fue posible concluir esta tarea, la cual queda documentada como anexo para posteriores avances.

En general, mi Trabajo de Fin de Grado me ha aportado numerosas vistas nuevas y mejoradas sobre el desarrollo web, y me ha permitido conocer desde dentro un proyecto real y solidario por parte del encantador grupo Amigos del Cayapas.

Abstract

This Final Degree Project aims to improve the user experience on the Cayapas teleconsultation platform, which consists of a web application and an Android application. It arises from the need to address various difficulties encountered by both the development team and the users of this platform.

The general usage flow of this platform is as follows:

1. A rural doctor from an underdeveloped region of Ecuador collects patient data through the web or app (if there is no internet connection, the data will be uploaded to the web later from the app).
2. Once the teleconsultation is created and uploaded to the web, it is assigned to a specialist doctor located elsewhere.
3. The specialist doctor analyzes and studies the teleconsultation case and sends a response to the rural doctor with the diagnosis and guidance on how to act in the patient's specific situation, with the possibility of communication between them through an enabled chat.

In this project, an analysis of the current state of the applications was carried out to identify areas for improvement, selecting three key tasks based on their urgency and priority:

The first task implemented was enabling the project coordinator to download the list of teleconsultations on the web in two formats: JSON and CSV.

The second and main task of this project arose from the need to automate the process of assigning teleconsultations to specialist doctors, as it was necessary for the coordinator to manually assign the teleconsultations to specialists and even reassign them if no response was received. This caused the patient care process to be very slow and required constant intervention from the coordinator. Possible solutions to the problem were analyzed, and an automatic assignment algorithm was implemented, based on load balancing and the use of a GenServer as a background process to reassign in case of no response within 48 hours.

The third task was initially going to focus on improving the chat functionality between the rural doctor and the specialist. However, at the request of the Cayapas team, it was replaced with a new task. This consisted of separating teleconsultations into two main groups, medicine and nursing, as the teleconsultation forms for both groups needed to be significantly different and were not very precise in

the case of nursing consultations. A new type of teleconsultation for nursing was developed, removing unnecessary fields from the medicine form and including the new fields required for the second group. Due to the limited time remaining and the magnitude of the requested fields from the Cayapas team, this task could not be completed, but it is documented in one of the annexes for future progress.

In general, this Final Degree Project has provided me with numerous new and improved perspectives on web development, and it has allowed me to experience firsthand a real and humanitarian project from the wonderful Amigos del Cayapas group.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi tutor, Ángel Herranz Nieva. La cantidad de tiempo empleada en guiar y solucionar dudas en este Trabajo de Fin de Grado refleja no solo el gran profesor que es, sino también sus ganas y vocación por enseñar y ayudar siempre.

También me gustaría agradecer la gran labor de apoyo que me ha brindado mi co-tutora Susana Muñoz Hernández, asegurándose de que comprendiese el objetivo real y la motivación detrás de este bonito proyecto.

Además, me gustaría dar voz a todos los anteriores programadores que han pasado por este proyecto antes de mí, desde el Dr. Leonel Vásquez Cevallos hasta principalmente mi ex-compañero y predecesor Andrew Mitchell, puesto que me dejó una vía clara para proseguir el trabajo que realizó en su tesis de Fin de Máster.

Por último, quiero expresar mi agradecimiento a la gente de la Asociación Amigos del Cayapas por su gran labor al frente del proyecto, presentándose a todo el equipo y buscando también que comprendiese la motivación principal de la plataforma de Telemedicina Cayapas.

Tabla de contenidos

1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Motivación	3
1.3. Objetivos y descripción	3
1.4. Estructura	4
2. Trabajo Previo	5
2.1. Estado actual de la Telemedicina	5
2.1.1. Definición y Objetivos de la Telemedicina	5
2.1.2. Principales Tecnologías y Modalidades en Telemedicina	5
2.1.3. Diferencias entre Telemedicina y Telesalud	6
2.1.4. Desafíos y Ventajas de la Telemedicina en Entornos Rurales	6
2.2. Descripción de la Plataforma de Telemedicina de Cayapas	6
2.2.1. Contexto de Desarrollo de la Plataforma	6
2.2.2. Componentes de la Plataforma	8
2.2.3. Estado de la Plataforma tras el Trabajo de Andrew Mitchell	9
2.3. Retos y Áreas de Mejora para el Proyecto Actual	14
2.3.1. Limitaciones Identificadas en la Plataforma Actual	14
3. Análisis	17
3.1. Requisitos	17
3.1.1. Requisitos Funcionales	17
3.1.2. Requisitos No Funcionales	18
3.2. Historias de Usuario	18
3.2.1. Descarga de Teleconsultas	19
3.2.2. Asignación Automática de Teleconsultas	19
3.2.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta	19
3.3. Funcionalidades Clave	19
3.3.1. Descarga de Teleconsultas	20
3.3.2. Asignación Automática de Teleconsultas	20
3.3.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta	20
3.4. Alcance	21
3.4.1. Alcance del Proyecto	21
3.4.2. Límites del Proyecto	21
3.4.3. Perspectivas Futuras	21

TABLA DE CONTENIDOS

4. Diseño	23
4.1. Arquitectura General del Sistema	23
4.1.1. Aplicación Web	23
4.1.2. Aplicación Android	24
4.2. Mejoras en la Aplicación Web	25
4.2.1. Descarga de Teleconsultas	25
4.2.2. Asignación Automática de Teleconsultas	27
4.2.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta	28
4.3. Mejoras en la Aplicación Android	30
5. Implementación	31
5.1. Estado Inicial de la Plataforma	31
5.1.1. Aplicación Web	31
5.1.2. Aplicación Android	32
5.1.3. Influencias Tecnológicas en la Implementación	33
5.2. Mejoras en la Aplicación Web	33
5.2.1. Descarga de Teleconsultas	33
5.2.2. Asignación Automática de Teleconsultas	36
5.2.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta	40
6. Conclusiones y Trabajo Futuro	45
6.1. Conclusiones y Trabajo Futuro	45
6.1.1. Conclusiones Técnicas	45
6.1.2. Dificultades Técnicas	45
6.1.3. Reflexión Final	46
6.2. Trabajo Futuro	46
6.3. Impacto	47
6.3.1. Impacto Social	47
6.3.2. Impacto Económico	48
6.3.3. Impacto Medioambiental	48
Bibliografía	51
Anexos	55
A. Primer anexo	55

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto

El acceso a atención médica de calidad en regiones rurales y remotas, especialmente en comunidades aisladas donde los recursos médicos y el acceso a especialistas son limitados, es un problema actual que requiere de buenas soluciones. Así, surge la telemedicina como una herramienta clave para solucionar esto, permitiendo que los médicos en dichas áreas puedan conectarse con especialistas en centros urbanos, mejorando así el diagnóstico y tratamiento de los pacientes. Esto toma un gran peso en Ecuador, donde un alto porcentaje de la población vive en zonas rurales con acceso limitado a la sanidad.

En Ecuador, el programa de telemedicina tomó relevancia a través de iniciativas como el **Programa Nacional de Telemedicina/TeleSalud** [1]. En este contexto, la **Asociación Amigos del Cayapas** [2] ha trabajado en colaboración con otras instituciones para mejorar el acceso a la atención médica en las comunidades de la cuenca alta del río Cayapas, en la provincia de Esmeraldas.

Capítulo 1. Introducción

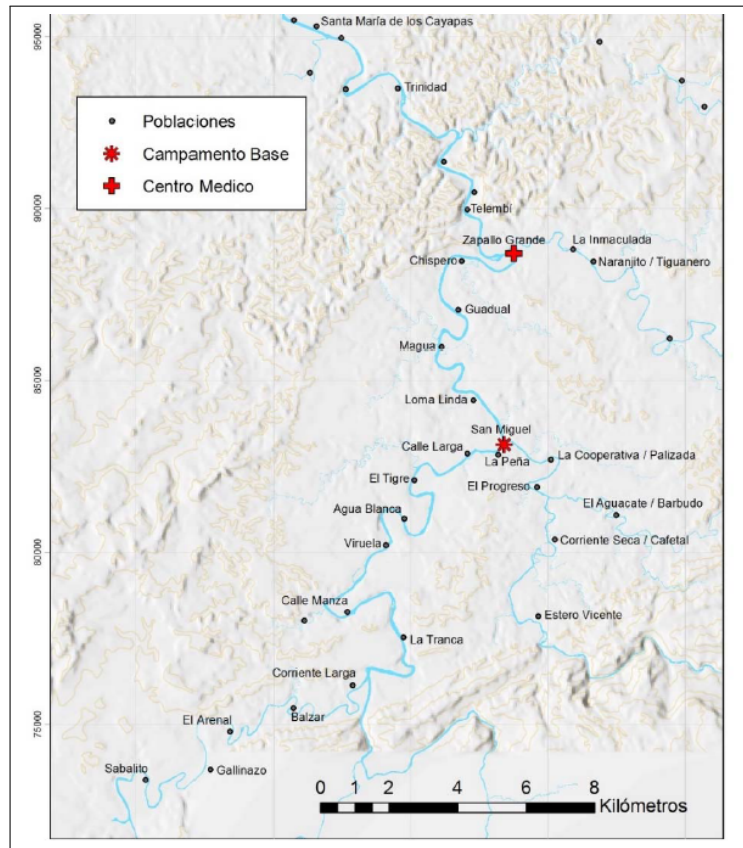


Figura 1.1: Mapa de la Región de Esmeraldas y sus Centros Médicos

La primera versión de esta plataforma de teleconsultas fue desarrollada por el **Dr. Leonel Adalberto Vasquez Cevallos** [3], el cual diseñó una aplicación web que permitía a los médicos rurales enviar consultas médicas a especialistas en áreas urbanas. Se probó inicialmente en comunidades rurales del Amazonas, donde los resultados probaron que la telemedicina podía solucionar el problema de la incomunicación entre médicos generales y especialistas. Sin embargo, para el uso de esta nueva plataforma era necesario tener acceso a internet, un recurso que no está disponible en áreas remotas.

Tras el trabajo inicial de **Leonel Vasquez Cevallos**, quien desarrolló la primera versión de la plataforma en Joomla, **Carlota Miñaca** continuó su labor migrando la plataforma a Elixir y Phoenix. Se centró en crear una base más escalable y estable para el sistema, incluyendo un nuevo modelo de datos en PostgreSQL, un sistema de registro de usuarios con roles diferenciados y una interfaz básica para el envío de consultas. Además, se creó una aplicación Android que se comunicaba con la web, haciendo posible su uso cuando no hubiese conexión a internet. Esta funcionalidad es crucial, dado que muchas de las comunidades atendidas carecen de internet efectivo.

Posteriormente, **Andrew Mitchell**, como parte de su trabajo de fin de máster [4], avanzó la plataforma terminando el trabajo de Carlota, añadiendo múltiples funcionalidades nuevas en web y app. Mitchell también llevó a cabo evaluaciones en

el terreno, que revelaron la necesidad de una solución más accesible y adaptable para los profesionales de la salud.

El trabajo de Mitchell se centró en facilitar la interacción entre médicos rurales y especialistas. A pesar de los avances logrados, sus pruebas de evaluación mostraron que tan solo un médico de los veintiséis registrados utilizaron la plataforma durante un periodo de prueba de cuatro meses [4]. Esto reafirma la necesidad de realizar mejoras en la usabilidad y funcionalidad de la plataforma.

1.2. Motivación

A lo largo del desarrollo del proyecto de teleconsultas para comunidades rurales, se ha recorrido un gran trayecto en la mejora del acceso a atención médica en zonas remotas. Partiendo de la creación inicial de la plataforma web por el **Dr. Leonel Adalberto Vasquez Cevallos**, hasta la última actualización por parte de **Andrew Mitchell**, se ha avanzado significativamente en el proyecto de llevar la salud a las región de Esmeralda. Sin embargo, a pesar de estos avances, todavía quedan muchas áreas por mejorar para que su adopción sea más amplia y eficaz.

La motivación principal de este Trabajo de Fin de Grado radica en la necesidad urgente de mejorar la calidad de la atención médica en estas áreas remotas. A pesar de que la plataforma ha sido diseñada para facilitar la comunicación entre médicos rurales y especialistas, se han identificado limitaciones en su funcionalidad, como la asignación manual de teleconsultas.

1.3. Objetivos y descripción

El objetivo principal de este Trabajo de Fin de Grado es mejorar la experiencia de usuario de la plataforma de teleconsultas para médicos rurales, de forma que se llegue a hacer uso real de la plataforma en Ecuador. Para alcanzar este objetivo general, se establecen los siguientes objetivos específicos:

- **Implementar un sistema de asignación dinámica de consultas:** Desarrollar un algoritmo que asigne consultas a los especialistas de manera equitativa, así como la posibilidad de reasignar consultas cuando sea necesario.
- **Facilitar la descarga de teleconsultas:** Añadir una funcionalidad que permita a los coordinadores descargar la lista completa de teleconsultas asignadas (en formato CSV o JSON), facilitando así la gestión de datos.
- **Separar los formularios de teleconsultas médicas y de enfermería:** Puesto que los campos a rellenar son muy diversos entre ambos tipos de salud, se hace necesario dar la posibilidad de rellenar dos tipos de teleconsulta con diferentes formularios, uno para medicina y otro para enfermería.

El trabajo se llevó a cabo en varias fases. Inicialmente, se realizó un análisis del estado actual de la plataforma, tanto de la aplicación web como de la aplicación móvil, mediante pruebas de navegación y usabilidad. Posteriormente, se

analizaron las principales carencias de la plataforma y sus posibles soluciones. Finalmente, se implementaron las tareas propuestas, siguiendo los objetivos establecidos.

1.4. Estructura

La presente memoria se organiza en siete capítulos, cada uno de los cuales aborda aspectos clave del desarrollo y optimización de la plataforma de teleconsultas para médicos rurales. A continuación, se detalla la estructura:

- **Resumen:** Visión general del trabajo realizado, explicando de manera concisa qué se ha hecho, por qué se ha hecho y cómo se ha hecho.
- **Capítulo 1: Introducción:** En este capítulo se explica el contexto del trabajo, se expone la motivación detrás del proyecto, los objetivos que se buscan alcanzar y se ofrece una guía sobre cómo se ha estructurado la memoria.
- **Capítulo 2: Trabajo previo:** Este capítulo nos pone en situación sobre TFG, explicando qué herramientas se tienen actualmente y en qué situación se coge la plataforma al inicio de este proyecto.
- **Capítulo 3: Análisis:** Aquí se detallan los requisitos y funcionalidades esperadas del software, incluyendo historias de usuario y el comportamiento deseado de las tareas implementadas.
- **Capítulo 4: Diseño:** En este capítulo se aborda la estructura del software y su arquitectura, presentando los componentes principales y cómo se comunican entre sí.
- **Capítulo 5: Implementación:** Este apartado ofrece detalles específicos sobre la implementación de la plataforma, las tecnologías empleadas y cómo estas han influido en la arquitectura del software. Se detalla cómo se han implementado las tareas y se aportan capturas y fragmentos de código del desarrollo.
- **Capítulo 6: Conclusiones y trabajo futuro:** Finalmente, se presentan las conclusiones del TFG, las dificultades encontradas a lo largo de este, los objetivos que no se lograron y las posibles tareas para posteriores proyectos.

Capítulo 2

Trabajo Previo

2.1. Estado actual de la Telemedicina

2.1.1. Definición y Objetivos de la Telemedicina

La telemedicina se define como el uso de tecnologías de información y comunicación para dar servicios médicos a distancia, permitiendo así la comunicación entre pacientes y profesionales de la salud. Esto permite una mayor accesibilidad a servicios de salud, especialmente en lugares donde los recursos destinados a este ámbito son escasos. Así, la telemedicina se convierte en una herramienta valiosa para mejorar la atención médica en lugares remotos de todo el mundo. [5].

Los objetivos de la telemedicina abarcan desde la mejora de la calidad y rapidez de la atención hasta la optimización de los recursos de salud en áreas con escasez de especialistas. En primer lugar, facilita la comunicación remota en tiempo real o en diferido, de forma que pacientes con casos complejos puedan ser diagnosticados por los mejores especialistas de otras partes del mundo. Además, en contextos de emergencia o aislamiento, como sucedió durante la pandemia de COVID-19, nos damos cuenta de la importancia de este tipo de tecnologías y nos ponemos en situación de como mejora esta práctica las situaciones con presencialidad reducida [6].

2.1.2. Principales Tecnologías y Modalidades en Telemedicina

Las tecnologías empleadas en telemedicina se agrupan en tres modalidades principales:

- **Monitoreo Remoto de Pacientes (RPM):** Esta modalidad permite a los profesionales de salud supervisar el estado de salud de pacientes de manera continua mediante dispositivos conectados. Estos dispositivos recopilan datos sobre indicadores de salud, como presión arterial, niveles de glucosa y ritmo cardíaco, que luego son enviados a los médicos para análisis y seguimiento. Este tipo de monitoreo es común en pacientes con enfermedades crónicas y reduce la necesidad de visitas presenciales [7].

- **Almacenamiento y Reenvío (Store-and-Forward):** En esta modalidad, la información médica de un paciente, como imágenes de rayos X, resultados de pruebas de laboratorio o historial clínico, se recopila y envía a un especialista para su revisión posterior. Esta tecnología permite que el especialista pueda evaluar los datos cuando esté disponible, lo que optimiza los recursos y facilita la colaboración médica en tiempo diferido [8].
- **Comunicación en Tiempo Real:** Esta modalidad permite interacciones directas a través de videoconferencias o llamadas de voz, brindando la posibilidad de consultas en tiempo real. Esto resulta especialmente beneficioso en situaciones en las que es importante la interacción directa para realizar diagnósticos rápidos o en casos donde el paciente no puede acceder físicamente a un centro de salud. Además de las consultas paciente-médico, este tipo de comunicación también es valiosa entre profesionales de la salud, permitiendo el intercambio de opiniones entre médicos generalistas y especialistas [8].

2.1.3. Diferencias entre Telemedicina y Telesalud

Es importante distinguir entre telemedicina y telesalud, ya que aunque ambos términos son usados de manera similar, tienen pequeñas diferencias. Mientras que la telemedicina se centra principalmente en la provisión de atención médica a distancia (por ejemplo, diagnóstico y tratamiento), la telesalud se refiere a algo más amplio, incluyendo servicios de salud pública, educación para pacientes y programas de prevención [9].

2.1.4. Desafíos y Ventajas de la Telemedicina en Entornos Rurales

La implementación de la telemedicina en entornos rurales presenta numerosas ventajas. La posibilidad de conectar médicos en áreas remotas con especialistas mejora el acceso y la calidad de la atención. Sin embargo, la infraestructura es un obstáculo en muchas comunidades rurales, ya que la conectividad a Internet es limitada o incluso inexistente. Esto ha llevado al desarrollo de soluciones que funcionen en modo offline, como es el caso de la plataforma desarrollada en el proyecto Cayapas [8].

La falta de familiaridad con la tecnología y la resistencia al cambio también son factores que impactan en la adopción de la telemedicina. Por eso, es necesario tanto proveer estas tecnologías como dar la información y educación necesaria tanto a pacientes como médicos para su correcto uso.

2.2. Descripción de la Plataforma de Telemedicina de Cayapas

2.2.1. Contexto de Desarrollo de la Plataforma

El proyecto de la plataforma de telemedicina para médicos rurales en Ecuador surge como una respuesta a la falta de acceso a atención médica especializa-

2.2. Descripción de la Plataforma de Telemedicina de Cayapas

da en comunidades aisladas y de difícil acceso. Este proyecto agrupa tanto a la **Asociación Amigos del Cayapas** como al grupo **TEDECO de la Universidad Politécnica de Madrid** [10]. La iniciativa tiene como objetivo facilitar la comunicación entre médicos rurales y especialistas en la región de Esmeraldas, con el fin de ayudar a los menos favorecidos dándoles un buen diagnóstico sobre sus enfermedades y problemas.

La versión inicial de la plataforma fue desarrollada por el **Dr. Leonel Adalberto Vasquez Cevallos**, quien implementó una aplicación web basada en el CMS **Joomla**. Este sistema permitía a los médicos rurales enviar casos médicos a especialistas para recibir asesoramiento y sugerencias de tratamiento. Pero había un problema, esta web requería acceso a Internet para su uso, lo que hacía muy difícil y lento su uso en las regiones sin conexión directa a Internet.

The screenshot shows the 'Telemedicina-CAYAPAS' web application. The header includes the title 'Telemedicina-CAYAPAS' and a navigation bar with icons for home, user, and other functions. Below the header, there is a section for 'Guardar Una Copia' (Save a Copy) with a message: 'Usted puede guardar su Teleconsulta localmente, para luego terminar de completarla.' (You can save your teleconsultation locally, to finish completing it later). There is also an 'IMPORTAR' (Import) section with a message: 'Seleccionar el archivo de la teleconsulta guardada para importar al formulario.' (Select the file of the saved teleconsultation to import into the form). The main form is titled 'FORMULARIO DE TELECONSULTA' and contains several sections: 'DATOS DE FILIACIÓN' (Affiliation Data), 'MOTIVO DE CONSULTA O INGRESO' (Reason for consultation or admission), 'ANTECEDENTES' (History), 'ENFERMEDAD ACTUAL' (Current illness), 'PRUEBAS COMPLEMENTARIAS' (Complementary tests), 'EXAMEN FÍSICO' (Physical examination), 'DIAGNÓSTICOS PROBABLES' (Probable diagnoses), 'COMENTARIOS O PREGUNTAS' (Comments or questions), and 'ARCHIVOS ADJUNTOS' (Attached files). The 'ANTECEDENTES' section is expanded, showing sub-sections: 'PERI-NATALES' (Perinatal), 'PATOLOGICOS' (Pathological), 'QUIRURGICOS' (Surgical), 'GINECO-OBSTÉTRICOS' (Gynecological-obstetric), 'ALERGICOS' (Allergic), and 'PATOLOGICOS FAMILIARES' (Familial pathological). At the bottom, there is a red error message: 'Faltan campos por completar' (Missing fields to complete). The footer of the form says 'TELEMEDICINA - CAYAPAS'.

Figura 2.1: Aplicación web de Joomla

Carlota Miñaca, excompañera de la UPM, continuó con el proyecto migrando la plataforma a un nuevo lenguaje, **Elixir y Phoenix**, con el fin de crear una base de datos escalable y estable, aunque concluyó en una fase muy temprana. Además, se decidió que era necesario crear una aplicación Android para solucionar el problema de la conexión a internet debido a las regiones en las que se desarrolla el proyecto.

Capítulo 2. Trabajo Previo

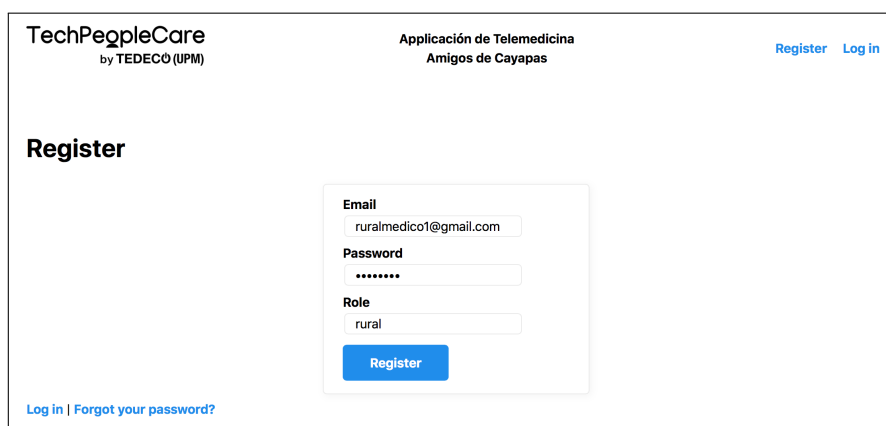


Figura 2.2: Página inicial de Registro de Usuarios de la Primera Versión de la Web

Posteriormente, **Andrew Mitchell** continuó el desarrollo de la plataforma como parte de su proyecto de fin de máster. Su implementación incluyó mejoras tanto en la interfaz de usuario como en la funcionalidad del sistema para adaptarse mejor a las condiciones de trabajo de los médicos en estas comunidades remotas.

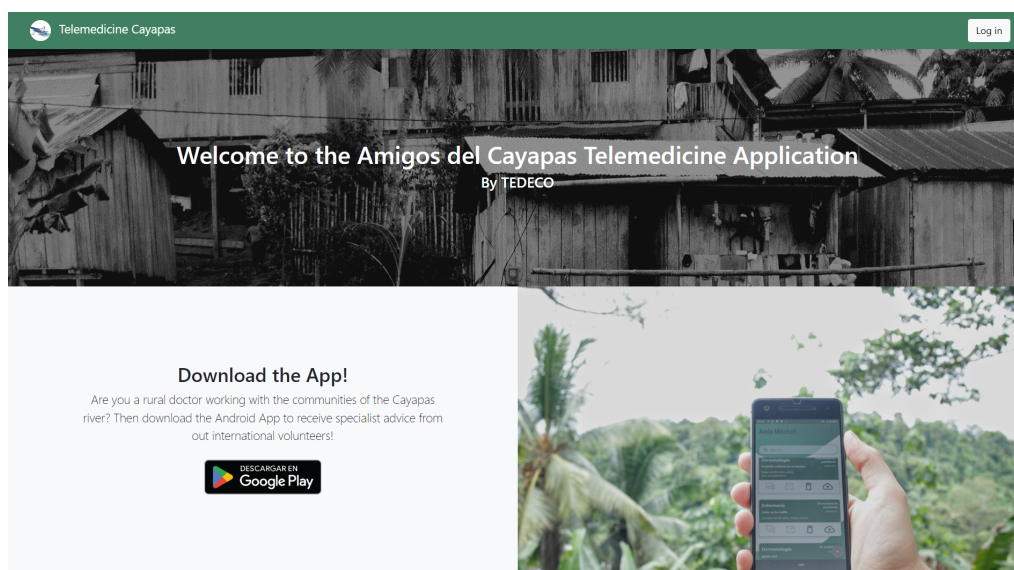


Figura 2.3: Página de Inicio de la Web

2.2.2. Componentes de la Plataforma

La plataforma se compone de dos aplicaciones principales:

- **Aplicación Web:** Desarrollada en **Elixir/Phoenix** para garantizar escalabilidad y estabilidad. Esta versión reemplazó la aplicación en Joomla, permitiendo una integración más fluida con la aplicación móvil mediante el uso de una API.

2.2. Descripción de la Plataforma de Telemedicina de Cayapas

- **Aplicación Android:** Diseñada en **AndroidStudio** para el uso en modo offline, esta aplicación permite que los médicos rurales registren y guarden teleconsultas en el dispositivo hasta que puedan sincronizar la información con la web cuando esté disponible la conexión a Internet.

El trabajo de Mitchell logró una mejora significativa en la funcionalidad de la plataforma al añadir capacidades móviles y mejorar la experiencia del usuario, aunque persistieron problemas en términos de adopción y funcionalidad. A partir de este estado inicial de la plataforma, mi TFG se centrará en optimizar estas funcionalidades, enfocándose en la asignación automática de consultas, la descarga de teleconsultas, y separación de teleconsultas y sus formularios en dos tipos, para medicina y enfermería, de forma dinámica.

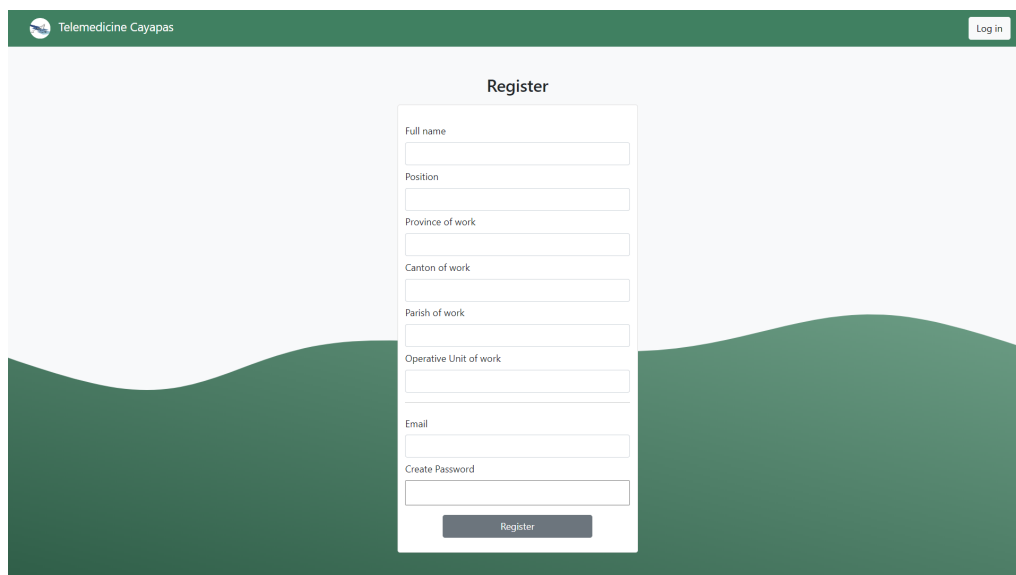
2.2.3. Estado de la Plataforma tras el Trabajo de Andrew Mitchell

Aplicación Web

La aplicación web de telemedicina desarrollada en **Elixir y Phoenix** constituyó una mejora significativa con respecto al sistema anterior en Joomla, dado que el nuevo entorno proporciona una mayor escalabilidad, un manejo de conexiones más eficiente y una estructura que facilita la integración de nuevas funcionalidades.

Principales funcionalidades desarrolladas por Carlota Miñaca:

- **Registro de usuarios:** Se introdujo un sistema de roles, permitiendo la creación de cuentas con diferentes permisos para médicos rurales, especialistas y coordinadores.



The image shows a web registration form titled 'Register'. The form is centered on a white background with a green wavy pattern at the bottom. The form fields are: Full name, Position, Province of work, Canton of work, Parish of work, Operative Unit of work, Email, and Create Password. A 'Register' button is at the bottom of the form. The header is green with a logo and 'Log in' button.

Figura 2.4: Página de Registro de la Web

- **Interfaz inicial de consulta:** Carlota diseñó una interfaz básica para que

Capítulo 2. Trabajo Previo

los médicos rurales pudieran subir consultas médicas a la plataforma y recibir asesoramiento de especialistas.

- **Base de datos en PostgreSQL:** La aplicación utilizaba **Ecto**, el sistema de gestión de bases de datos para Elixir, para conectar y gestionar los datos en PostgreSQL. Sin embargo, en este punto, solo se implementó la tabla de usuarios.

Además, la aplicación web no disponía de ningún API endpoint.

Cuando Mitchell asumió el proyecto, amplió significativamente las funcionalidades, quedando de la siguiente manera:

Funcionalidades de la aplicación web tras el trabajo de Andrew Mitchell [4]:

- **Gestión de teleconsultas:** Mitchell completó el sistema que permite a los médicos rurales subir consultas detalladas. Esto incluye la opción de adjuntar archivos, tales como imágenes, para dar contexto a los especialistas.

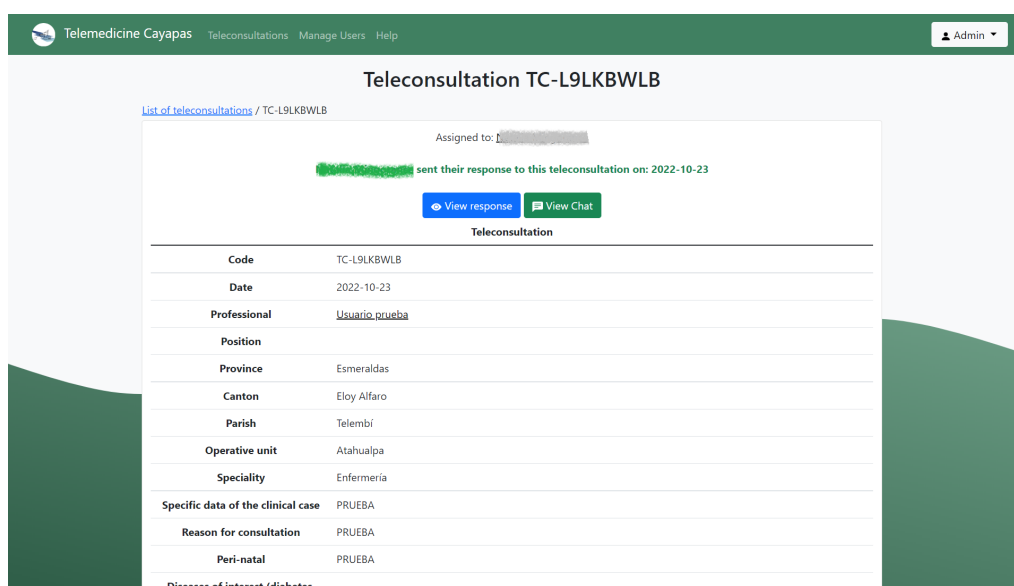


Figura 2.5: View de teleconsulta en la Web

- **Asignación de consultas a especialistas:** Aunque la asignación de consultas permaneció como un proceso manual, Mitchell estableció una interfaz que permite a los coordinadores visualizar todas las consultas, asignarlas y cambiarlas si es necesario.
- **Funcionalidades de usuario:** Los usuarios (médicos rurales y especialistas) pueden registrarse, iniciar sesión y gestionar sus perfiles. Mitchell implementó páginas de configuración donde los usuarios pueden modificar su correo electrónico o contraseña.

2.2. Descripción de la Plataforma de Telemedicina de Cayapas

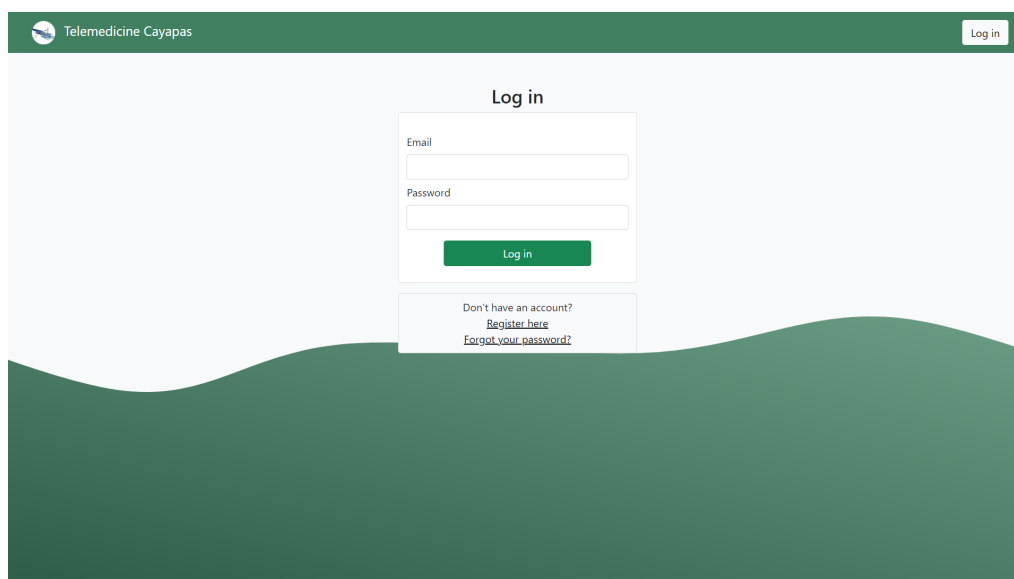


Figura 2.6: View de Login de la Web

- **Sistema de seguridad:** Se implementó medidas de seguridad clave, incluyendo la autenticación segura con contraseñas encriptadas mediante Bcrypt y conexión HTTPS para proteger la información sensible.
- **Chat entre médicos rurales y especialistas:** Mitchell desarrolló un sistema de chat activo que permite al médico rural y al especialista comunicarse activamente para aclarar conceptos del diagnóstico o incluso solicitar nuevos datos o feedback por parte de cualquiera de los dos usuarios.

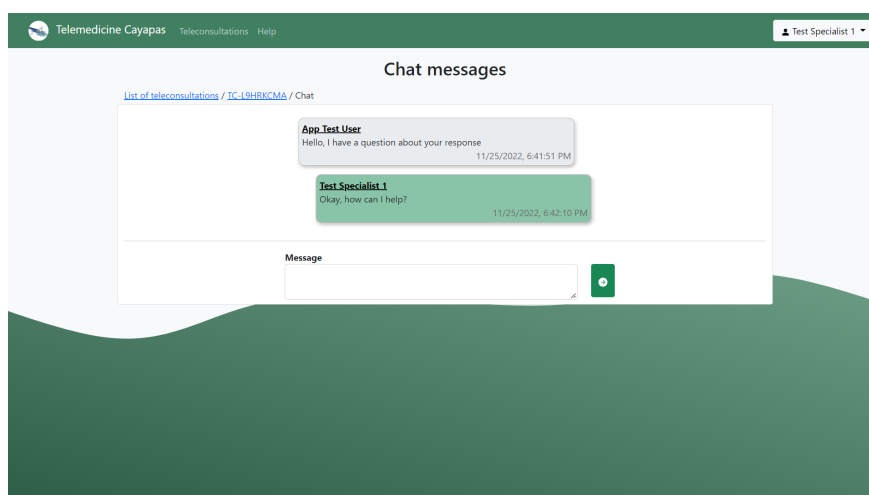


Figura 2.7: View del Chat de la Web

La elección de Elixir y Phoenix permitió una mayor capacidad de respuesta y robustez, aspectos esenciales para un sistema destinado a operar en entornos de difícil acceso y potencialmente alta demanda en un futuro cercano.

Aplicación Android

Al inicio del proyecto de Mitchell, la aplicación Android estaba mucho más desarrollada que la web. En el momento de inicio de este TFG, estas son las principales funcionalidades que ofrece la aplicación.

Funcionalidades de la aplicación Android [4]:

- **Registro de consultas en modo offline:** Los médicos rurales debían poder capturar toda la información necesaria de la consulta, incluyendo datos clínicos y archivos adjuntos como imágenes, sin necesidad de estar conectados a Internet.
- **Sincronización de datos con la aplicación web:** La aplicación Android fue equipada con un sistema de sincronización que permite a los médicos rurales enviar las consultas a la aplicación web una vez que cuentan con conexión a Internet. Este proceso también permite a los médicos rurales recibir las respuestas de los especialistas en la aplicación.

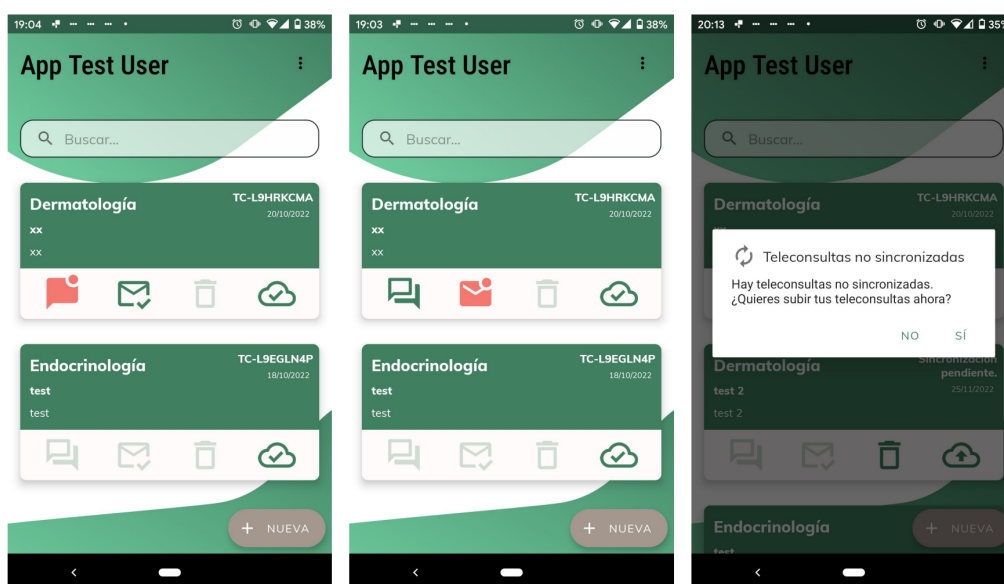


Figura 2.8: Teleconsultas y Sincronización Aplicación Android

- **Visualización de consultas previas y respuestas:** Los usuarios pueden acceder al historial de consultas y ver las respuestas proporcionadas por los especialistas. Además, Mitchell implementó un menú de navegación sencillo e intuitivo para que los médicos rurales pudieran revisar las consultas registradas en el dispositivo, sin necesidad de tener un gran control sobre las nuevas tecnologías de hoy en día.
- **Entrada de datos mediante voz:** Para agilizar la captura de información, Mitchell incluyó una funcionalidad de reconocimiento de voz que permite a los médicos registrar detalles clínicos a través de comandos de voz, una funcionalidad muy interesante para acortar tiempos de toma de datos y

2.2. Descripción de la Plataforma de Telemedicina de Cayapas

comunicación.

Aunque innovadora, presentaba limitaciones como la falta de un sistema de asignación automática o distinción entre tipos de teleconsulta, siendo muy ambigua alguna información proporcionada.

Estado de la base de datos en Android : Se utilizó ObjectBox, una base de datos NoSQL para Android, lo que permitió almacenar las consultas localmente en el dispositivo en un esquema sencillo y compatible con la sincronización off-line. Los datos se estructuraron de acuerdo a los modelos desarrollados en la aplicación Joomla original, adaptándolos a las necesidades de la interfaz móvil.

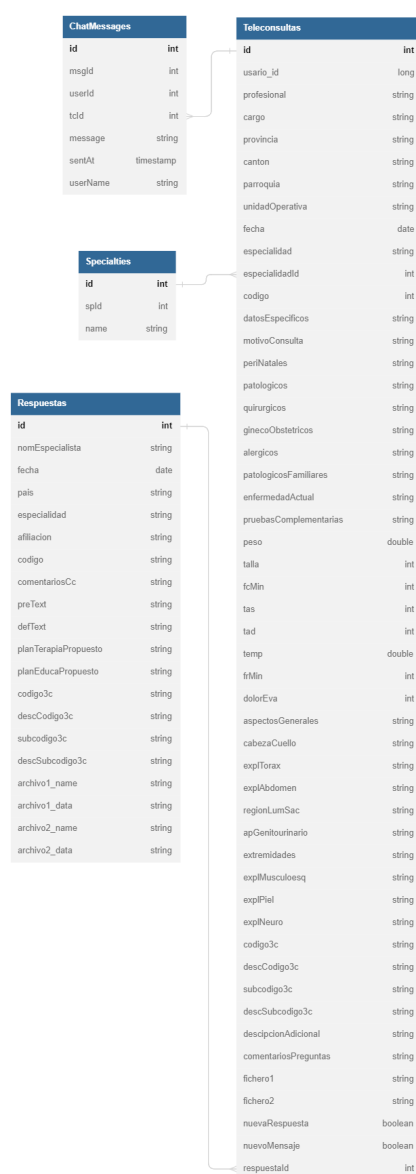


Figura 2.9: Aplicación Android - Esquema de Base de Datos

Evaluación y Pruebas de Usabilidad en el Terreno

Como parte de su proyecto, Mitchell llevó a cabo pruebas de usabilidad y evaluación en campo para validar el funcionamiento y la aceptación de la plataforma en las comunidades rurales de Esmeraldas. Estas pruebas fueron realizadas en colaboración con la Asociación Amigos del Cayapas y el grupo TEDECO, quienes facilitaron la implementación y observaron la interacción de los médicos rurales con la plataforma. Los resultados de la evaluación revelaron que, a pesar del éxito técnico de las aplicaciones, la adopción de la plataforma fue limitada. Solo uno de los veintiséis médicos registrados utilizó la aplicación activamente durante el periodo de prueba de cuatro meses. Este bajo índice de uso se debió en gran parte a desafíos en la funcionalidad del sistema de chat y la asignación de consultas, así como a problemas en la experiencia de usuario. Las observaciones de los usuarios resaltaron la necesidad de mejoras significativas en la accesibilidad y eficiencia de la plataforma, razón de la necesidad de realizar este Trabajo de Fin de Grado y continuar con el proyecto en cuestión. [4]

2.3. Retos y Áreas de Mejora para el Proyecto Actual

2.3.1. Limitaciones Identificadas en la Plataforma Actual

Como ya se ha mencionado, la plataforma de telemedicina dejó varias áreas que necesitan mejoras para cumplir de manera más efectiva con los requisitos de los médicos rurales. Las limitaciones identificadas se dividen en tres áreas principales: **gestión y asignación de consultas**, **gestión de los tipos de formularios para medicina y enfermería** y **facilidad de uso y accesibilidad de las teleconsultas**.

Gestión y Asignación de Consultas

Una de las principales limitaciones de la plataforma es la falta de un **sistema de asignación automática de consultas**. Actualmente, los coordinadores deben asignar manualmente cada consulta a un especialista, lo cual se vuelve ineficiente y poco escalable en contextos con un alto volumen de consultas. Esta dependencia de la asignación manual no solo ralentiza el proceso, sino que también introduce una carga de trabajo para los coordinadores, quienes deben revisar y asignar cada consulta una por una. La ausencia de un algoritmo de asignación dinámica reduce la rapidez de respuesta y dificulta una distribución equitativa de las consultas entre los especialistas disponibles [4].

Gestión de los tipos de formularios

A través del feedback de los usuarios de la aplicación, se recibieron numerosas reclamaciones de mejora por parte de los enfermeros sobre la incongruencia de los formularios actuales de las teleconsultas, puesto que para una consulta de enfermería, muchos campos no eran necesarios, y se necesitaban otros muchos que actualmente no estaban. En resumen, era necesario distinguir entre dos tipos de teleconsulta, cada uno con su propio formulario y campos a rellenar.

2.3. Retos y Áreas de Mejora para el Proyecto Actual

Facilidad de Uso y Accesibilidad

Durante las pruebas de usabilidad en el terreno, Mitchell identificó que algunos médicos rurales encontraban la plataforma difícil de utilizar debido a la complejidad de la interfaz y a la limitación en los tipos de archivos adjuntos permitidos. Actualmente, la plataforma solo permite adjuntar imágenes en formato JPEG, restringiendo la posibilidad de incluir otros tipos de documentación clínica que podrían ser valiosos para los especialistas, como archivos PDF o documentos escaneados.

Además, algunos usuarios reportaron dificultades para navegar en la aplicación, lo que indica que la interfaz de usuario podría beneficiarse de mejoras en cuanto a accesibilidad y simplicidad, especialmente en la aplicación móvil, que es el principal medio de acceso para los médicos en áreas rurales.

Limitaciones en la Descarga y Gestión de Datos

Otra limitación importante es la falta de una funcionalidad que permita a los coordinadores descargar y analizar la lista completa de teleconsultas en formatos estándar como CSV o JSON. Esta función sería particularmente útil para realizar análisis de datos, seguimiento de casos o generación de informes. Sin la capacidad de descarga, el análisis y la gestión de datos quedan limitados a la propia plataforma, restringiendo el acceso a los datos en situaciones donde la conexión a Internet no está disponible, además de que no es lo mismo analizar los datos directamente en la web que disponer de un fichero que recoja los diagnósticos y sea fácilmente exportable.

Capítulo 3

Análisis

En este capítulo se describen las funcionalidades desarrolladas y cómo estas contribuyen al objetivo principal del proyecto: mejorar la experiencia de usuario en la plataforma de teleconsultas Cayapas.

Se abordarán los requisitos funcionales y no funcionales del sistema, destacando las nuevas funcionalidades implementadas:

- Descarga de teleconsultas en formato JSON y CSV.
- Asignación automática de teleconsultas, con un sistema de reasignación en caso de falta de respuesta.
- Formularios dinámicos según el tipo de teleconsulta (medicina o enfermería).

También se explicarán las historias de usuario que motivaron estas mejoras y el alcance de las implementaciones realizadas.

3.1. Requisitos

En este apartado se presentan los requisitos funcionales y no funcionales del sistema, que explican las funcionalidades desarrolladas para la plataforma.

3.1.1. Requisitos Funcionales

Descarga de Teleconsultas

- Los coordinadores deben poder descargar la lista de teleconsultas en formato **JSON** o **CSV** desde la aplicación web, mediante dos botones disponibles en la página de teleconsultas.
- La funcionalidad estará habilitada únicamente si existe al menos una teleconsulta en la base de datos.

Asignación Automática de Teleconsultas

- Cuando un médico rural crea una teleconsulta, esta debe ser asignada automáticamente a un especialista disponible de la misma especialidad.
- La asignación se realiza atendiendo al principio de reparto de carga. En caso de que varios especialistas tengan el mismo número de teleconsultas asignadas, la asignación debe realizarse de forma aleatoria entre ellos.
- Si no hay especialistas disponibles, la teleconsulta permanece sin asignar.
- Si una teleconsulta asignada no recibe respuesta en 48 horas, debe ser reasignada a otro especialista disponible, excluyendo a los especialistas que ya hayan sido asignados previamente a esa teleconsulta.

Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta

- Al crear una teleconsulta, el médico rural debe seleccionar el tipo de teleconsulta (**medicina** o **enfermería**).
- Según el tipo seleccionado, el sistema muestra un formulario específico con los campos adaptados a los datos requeridos para cada caso.

3.1.2. Requisitos No Funcionales

Rendimiento

- El algoritmo de asignación automática debe ejecutarse en menos de un minuto tras la creación de una teleconsulta.
- El proceso de reasignación, debe ser eficiente y no bloquear el sistema principal.

Accesibilidad

- La funcionalidad de descarga de teleconsultas debe ser accesible desde cualquier navegador y debe generar el archivo en el formato correcto.
- La interfaz de los formularios debe ser intuitiva y compatible con resoluciones de pantalla estándar.

Escalabilidad

- El sistema debe ser capaz de manejar un alto volumen de teleconsultas y usuarios simultáneos sin degradación significativa del rendimiento.

3.2. Historias de Usuario

Se describen a continuación los casos de uso desde la perspectiva de los principales usuarios de la plataforma: coordinadores, médicos rurales y especialistas.

3.2.1. Descarga de Teleconsultas

- HU1: Como coordinador, quiero descargar la lista de teleconsultas en formato JSON para poder analizar los datos fácilmente.
- HU2: Como coordinador, quiero descargar la lista de teleconsultas en formato CSV para poder gestionarlas en herramientas como Excel o Google Sheets.
- HU3: Como coordinador, no quiero que la opción de descarga esté disponible si no hay teleconsultas, para evitar errores o archivos vacíos.

3.2.2. Asignación Automática de Teleconsultas

- HU4: Como médico rural, quiero que mi teleconsulta sea asignada automáticamente a un especialista disponible para reducir los tiempos de espera.
- HU5: Como coordinador, no quiero tener que estar pendiente de cuando se crea una teleconsulta para tener que acceder a la web y asignarla manualmente, extendiendo mucho los tiempos de flujo.
- HU6: Como coordinador, quiero que las teleconsultas sean reasignadas automáticamente si el especialista asignado no responde en un plazo de 48 horas, para garantizar la atención al paciente.
- HU7: Como especialista, quiero recibir únicamente teleconsultas de mi especialidad para asegurar que puedo atenderlas correctamente.

3.2.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta

- HU8: Como médico rural, quiero seleccionar el tipo de teleconsulta (medicina o enfermería) al crear una consulta, para que el formulario se adapte a mis necesidades.
- HU9: Como médico rural, quiero que el formulario de teleconsulta de enfermería solo muestre los campos relevantes para mi tipo de consulta, eliminando información innecesaria.
- HU10: Como especialista, quiero que la información de la teleconsulta sea clara y relevante, según el tipo de consulta, para poder dar una respuesta precisa.
- HU11: Como coordinador, medico rural o especialista, quiero poder diferenciar entre los dos tipos de teleconsulta claramente en la página de teleconsultas, antes de acceder a una de ellas.

3.3. Funcionalidades Clave

En este apartado se describen las principales funcionalidades implementadas en la plataforma, resaltando cómo se han diseñado para satisfacer los requisitos definidos y abordar las necesidades de los usuarios.

3.3.1. Descarga de Teleconsultas

Se implementaron dos botones en la vista de teleconsultas, visibles únicamente para los coordinadores. Estas opciones permiten descargar un fichero con la lista completa de teleconsultas en formato **JSON** o **CSV**.

- La funcionalidad está restringida a situaciones donde haya al menos una teleconsulta en la base de datos, evitando la generación de archivos vacíos.
- Los datos descargados incluyen toda la información relevante de las teleconsultas.
- Esta funcionalidad mejora significativamente la capacidad de los coordinadores para gestionar y analizar los datos fuera de la plataforma.

3.3.2. Asignación Automática de Teleconsultas

El sistema de asignación automática garantiza que las teleconsultas creadas por los médicos rurales sean asignadas rápidamente a especialistas disponibles.

- **Proceso de asignación inicial:**
 - Cuando se crea una teleconsulta (desde la web o la aplicación móvil), el sistema identifica a los especialistas disponibles de la misma especialidad.
 - Si hay múltiples especialistas con el mismo número de consultas asignadas, el sistema selecciona de manera aleatoria.
 - Si no hay especialistas disponibles, la teleconsulta permanece sin asignar.
- **Reasignación automática:**
 - Un proceso en segundo plano verifica cada hora todas las teleconsultas asignadas.
 - Si una teleconsulta no recibe respuesta en un plazo de 48 horas, el sistema la reasigna a otro especialista disponible, excluyendo aquellos que ya hayan sido asignados previamente.

3.3.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta

Se creó un campo type que permite a los médicos rurales seleccionar el tipo de teleconsulta (medicina o enfermería). Dependiendo del tipo seleccionado, se muestra un formulario específico.

- **Formulario de medicina:** Contiene los campos ya iniciales de la plataforma.
- **Formulario de enfermería:** Elimina campos innecesarios del formulario de medicina e incluye nuevos campos adaptados a las necesidades específicas de las consultas de enfermería, como alergías, diferentes dolores o enfermedades.

- Actualmente, esta funcionalidad está implementada únicamente en la aplicación web.

3.4. Alcance

En este apartado se define el alcance del proyecto, estableciendo los límites de las implementaciones realizadas y destacando los aspectos que no se incluyen en este Trabajo de Fin de Grado.

3.4.1. Alcance del Proyecto

- **Descarga de teleconsultas:** Implementación de una funcionalidad en la aplicación web para permitir a los coordinadores descargar la lista de teleconsultas en formatos JSON y CSV.
- **Asignación automática de teleconsultas:** Desarrollo de un algoritmo que gestione la asignación inicial y la reasignación de teleconsultas de manera eficiente, basado en especialidades y reparto de la carga de trabajo.
- **Formularios dinámicos para teleconsultas:** Creación de un sistema que adapte el formulario a los datos específicos requeridos para consultas de medicina o enfermería, asegurando que la información solicitada sea relevante.

3.4.2. Límites del Proyecto

Aunque se han realizado mejoras significativas en la plataforma, existen ciertos aspectos que no se han incluido en el alcance de este Trabajo de Fin de Grado debido a limitaciones de tiempo:

- **Formularios dinámicos en la aplicación móvil:** Aunque los formularios específicos para teleconsultas de enfermería se han implementado en la aplicación web, esta funcionalidad no ha sido trasladada a la aplicación Android.
- **Evaluación exhaustiva de usabilidad:** Si bien se realizaron pruebas funcionales, no se incluyeron pruebas de usabilidad con usuarios finales en escenarios reales de teleconsulta.
- **Optimización de la reasignación:** Aunque el proceso funciona para reasignar consultas, no se han explorado posibles mejoras en su eficiencia para escenarios con una alta carga de teleconsultas.

3.4.3. Perspectivas Futuras

El trabajo realizado sienta las bases para futuras mejoras en la plataforma, entre las que se incluyen:

- Extender la funcionalidad de formularios dinámicos a la aplicación móvil a partir de la documentación anexada al final de la memoria.

Capítulo 3. Análisis

- Realizar estudios de usabilidad con usuarios finales para identificar mejoras en la interfaz.

Capítulo 4

Diseño

4.1. Arquitectura General del Sistema

La plataforma Cayapas está diseñada siguiendo una arquitectura multicapa, compuesta por dos aplicaciones principales: una aplicación web y una aplicación móvil para Android. Ambas trabajan de manera complementaria para facilitar el flujo de trabajo de los médicos rurales y los especialistas.

4.1.1. Aplicación Web

La aplicación web es el núcleo principal, utilizada casi exclusivamente por los coordinadores y especialistas médicos. Su arquitectura está basada en capas, con una clara separación entre el frontend, el backend y la base de datos.

Componentes Principales

- **Frontend:** Implementado con *Phoenix LiveView*, el frontend utiliza plantillas dinámicas `.heex` para ofrecer una experiencia de usuario interactiva y en tiempo real. Las vistas incluyen funcionalidades como la gestión de teleconsultas, la visualización de datos y la descarga de información relevante.
- **Backend:** El backend, desarrollado en Elixir con Phoenix, gestiona la lógica de negocio y las operaciones de la plataforma. Sus responsabilidades incluyen:
 - Validación y procesamiento de los datos enviados desde el frontend.
 - Implementación de reglas lógicas de la plataforma.
 - Gestión de notificaciones para mantener informados a los usuarios sobre el estado de las teleconsultas.
 - Gestión de la seguridad de la plataforma.
- **Base de datos:** Gestionada mediante Ecto, la base de datos almacena información clave sobre teleconsultas, usuarios y especialidades. Su diseño

asegura consultas eficientes y la integridad de los datos, almacenando la información en distintas tablas.

Interacción entre Componentes

La interacción entre los componentes de la aplicación web sigue un esquema cliente-servidor clásico:

1. El frontend captura las acciones del usuario y envía solicitudes al backend a través de rutas definidas en Phoenix.
2. El backend procesa las solicitudes y, cuando es necesario, realiza operaciones en la base de datos mediante Ecto.
3. Las respuestas se envían de vuelta al frontend, donde las vistas se actualizan dinámicamente con Phoenix LiveView.

Ventajas de la Arquitectura Web

- **Escalabilidad:** La separación de responsabilidades permite escalar cada componente de forma independiente.
- **Interactividad:** Phoenix LiveView permite cambios automáticos de vistas sin necesidad de estar actualizando y refrescando las páginas.
- **Modularidad:** Además, la separación en módulos backend, frontend y demás facilita el mantenimiento y la incorporación de nuevas funcionalidades.

4.1.2. Aplicación Android

La aplicación Android está diseñada para extender las capacidades de la plataforma a médicos rurales que trabajan en entornos sin conexión a Internet.

Componentes Principales

- **Creación de teleconsultas:** Permite a los médicos rurales rellenar formularios para registrar información de pacientes. Los datos se almacenan localmente si no hay conexión a internet y se sincronizan posteriormente para que aparezcan en la aplicación web.
- **Sincronización con la web:** Para dicha sincronización asíncrona, se emplea una API REST para enviar teleconsultas al backend de la aplicación web, asegurando una integración fluida entre ambos sistemas.
- **Interfaz optimizada para el terreno:** Diseñada para ser intuitiva, rápida y de fácil uso y entendimiento permitiendo a los médicos centrarse únicamente en los campos a rellenar del paciente.

Interacción con la Aplicación Web

La comunicación entre la aplicación Android y la aplicación web sigue un flujo bien definido:

1. Los médicos rurales completan y guardan teleconsultas en la aplicación Android.
2. Cuando hay conexión a internet, las teleconsultas se sincronizan con el servidor web mediante solicitudes HTTP.
3. El backend valida y almacena los datos, haciéndolos disponibles para los coordinadores y especialistas.

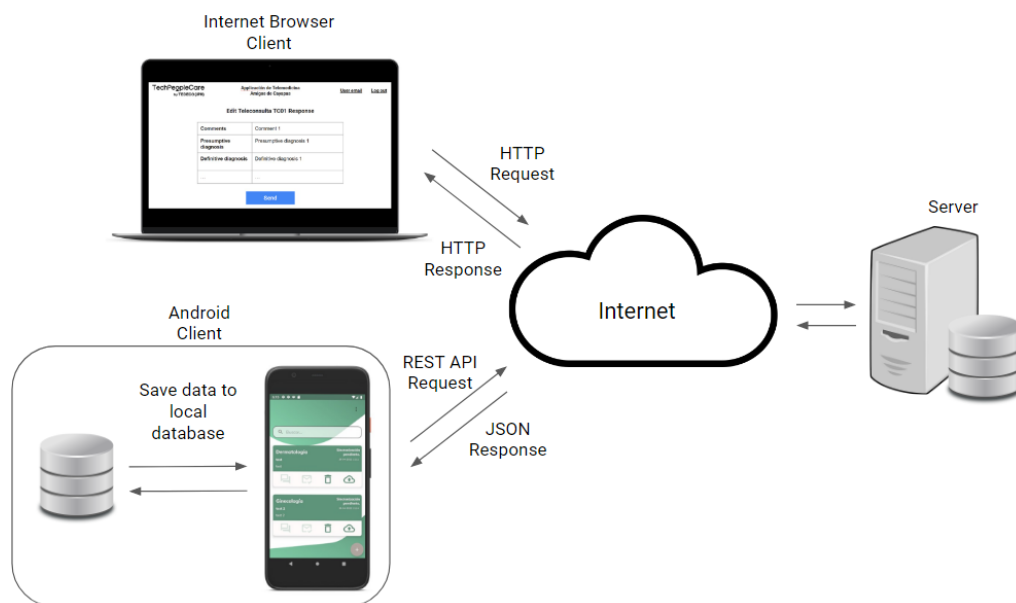


Figura 4.1: Arquitectura Cliente-Servidor

Ventajas de la Integración Android-Web

- **Accesibilidad:** Permite trabajar sin conexión a internet, asegurando la preservación de datos hasta que puedan sincronizarse.
- **Interoperabilidad:** La API REST asegura una experiencia de usuario coherente y fluida entre ambas aplicaciones.

4.2. Mejoras en la Aplicación Web

4.2.1. Descarga de Teleconsultas

La funcionalidad de descarga de teleconsultas se diseñó para ofrecer a los coordinadores la capacidad de exportar la lista de teleconsultas en ficheros con formatos estándar como JSON y CSV. Este sistema está integrado en la vista

principal de teleconsultas y restringido exclusivamente a usuarios con el rol de coordinador.

Estructura General del Sistema La funcionalidad se implementa mediante una integración entre el frontend, el backend y la base de datos:

- **Frontend:** Los botones visibles en la interfaz de usuario están habilitados solo para coordinadores y envían solicitudes al backend especificando el formato de descarga.
- **Backend:** El controlador `TcController` procesa la solicitud, genera el archivo en el formato requerido y lo devuelve al usuario.
- **Base de Datos:** La información de las teleconsultas se extrae directamente de la base de datos mediante consultas optimizadas.

Flujo de Comunicación El flujo de trabajo sigue los siguientes pasos:

1. El usuario coordinador hace clic en uno de los botones de descarga en la vista de teleconsultas.
2. La solicitud se envía al backend, indicando el formato deseado (JSON o CSV).
3. El backend consulta la base de datos para recuperar todas las teleconsultas disponibles.
4. El archivo generado se devuelve al usuario como respuesta de la solicitud.

Arquitectura del Backend

- **Controlador:** El controlador `TcController` implementa la función `download/2`, que:
 - Verifica que existan teleconsultas en la base de datos antes de procesar la solicitud.
 - Utiliza la librería `csv` para generar archivos CSV y `Jason` para JSON, asegurando la compatibilidad con estándares.
- **Base de Datos:** Las consultas a la base de datos se realizan mediante Ecto, asegurando la eficiencia y seguridad en la recuperación de los datos.

Modelo Conceptual de Datos Los datos exportados incluyen información clave de las teleconsultas:

- **Identificación y detalles básicos:** `code`, `date`, `professional`, entre otros.
- **Campos específicos:** Los datos varían según si la teleconsulta pertenece al tipo *Medicina* o *Enfermería*.

- **Archivos adjuntos:** Los comentarios y archivos relacionados también forman parte de los datos exportados, aunque actualmente solo se obtendría el nombre en formato texto de los archivos.

Ventajas Arquitectónicas

- **Modularidad:** La separación entre frontend y backend facilita la gestión y el mantenimiento del sistema.
- **Escalabilidad:** El diseño soporta la exportación de grandes volúmenes de datos sin impactar significativamente en el rendimiento.
- **Seguridad:** La restricción de esta funcionalidad a coordinadores garantiza la confidencialidad de los datos exportados.

4.2.2. Asignación Automática de Teleconsultas

La asignación automática de teleconsultas se diseñó como una solución para optimizar la gestión de las consultas en la plataforma Cayapas. Este sistema distribuye las teleconsultas entre especialistas disponibles y garantiza su atención mediante un proceso de reasignación en segundo plano, todo de manera automática y sin necesidad de acción por parte de ningún coordinador.

Estructura General del Sistema El diseño de esta funcionalidad se basa en una integración modular que conecta varios componentes:

- **Controlador:** El controlador `TcController` centraliza la lógica de asignación inicial al momento de crear una teleconsulta, lo cual no es del todo eficiente pero se ha seguido la forma de implementación del resto de funcionalidades del sistema para no diferir mucho.
- **Proceso en segundo plano:** (`Cayapas.ReassignScheduler`), un proceso en segundo plano supervisa las teleconsultas asignadas y ejecuta reasignaciones periódicas cada hora si no hay respuesta en un plazo de 48 horas por parte del especialista.
- **Modelo de Datos:** Se ampliaron los modelos existentes para incluir campos como `assigned_specialists_history`, que almacena el historial de especialistas previamente asignados a una teleconsulta, evitando así que en la reasignación entren en juego especialistas ya asignados previamente.

Flujo de Comunicación La interacción entre los diferentes componentes sigue el siguiente esquema:

- Cuando se crea una teleconsulta, el controlador `TcController` invoca la función `assign_specialist_to_tc/2`, que identifica y asigna al especialista más adecuado según su carga de trabajo.
- Si la teleconsulta no recibe respuesta dentro del tiempo límite, el proceso en segundo plano ejecuta la reasignación a un nuevo especialista, evitando aquellos que ya hayan sido asignados a dicha teleconsulta.

Arquitectura del Backend

- **Controlador:** El método `assign_specialist_to_tc/2` filtra a los especialistas según la especialidad requerida y su disponibilidad, utilizando consultas optimizadas en Ecto.
- **GenServer:** Configurado para ejecutarse cada hora, este proceso se asegura de que las teleconsultas sin respuesta sean reasignadas automáticamente, preservando la continuidad del servicio.
- **Base de Datos:**
 - La tabla de teleconsultas incluye un historial de especialistas asignados (`assigned_specialists_history`), evitando reasignaciones repetitivas.
 - La función `get_specialists_by_speciality/1` recupera especialistas activos para una especialidad específica.

Modelo Conceptual de Datos El modelo de datos actualizado refleja la lógica del sistema:

- **Teleconsulta:** Incluye los siguientes campos: `assigned_specialist_id` y `assigned_specialists_history`.
- **Especialista:** Representado como un usuario con rol de especialista y asociado a una especialidad específica.
- **Especialidad:** Relaciona las teleconsultas con los especialistas de la misma área.

Ventajas Arquitectónicas

- **Escalabilidad:** El diseño soporta un alto volumen de teleconsultas y usuarios simultáneos sin comprometer el rendimiento.
- **Modularidad:** La separación de responsabilidades facilita la ampliación y el mantenimiento del sistema.
- **Eficiencia:** El uso de consultas optimizadas y un proceso en segundo plano garantiza un funcionamiento rápido y confiable.

4.2.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta

La funcionalidad de formularios dinámicos se diseñó para adaptar los datos solicitados según el tipo de teleconsulta (**medicina** o **enfermería**), proporcionando formularios personalizados que garantizan la relevancia de la información recogida.

Diseño Técnico : Se introdujo el campo `type` en el modelo de datos, el cual determina si una teleconsulta pertenece al ámbito de medicina o enfermería.

Basado en este campo, el sistema renderiza dinámicamente el formulario adecuado:

- **Formulario de medicina:** Incluye los campos iniciales de la plataforma, adecuados para consultas médicas generales.
- **Formulario de enfermería:** Omite campos irrelevantes para consultas de enfermería e introduce nuevos, como `vital_signs`, `family_history` y otros datos específicos.

Arquitectura y Comunicación :

- **Frontend:**
 - En la vista de creación de teleconsultas, se usa un selector para elegir el tipo (Medicina/Enfermería). Un script JavaScript gestiona la visibilidad de los campos en tiempo real, basándose en el tipo seleccionado.
 - En la vista de detalles de una teleconsulta, los datos se muestran organizados según el tipo.
- **Backend:**
 - El modelo `Tc` incluye validaciones específicas mediante la función de selección `validate_fields_by_type`, que garantiza que los campos obligatorios para cada tipo estén correctamente completados.
 - Se implementaron dos conjuntos de campos diferentes: `medicine_fields` y `nursing_fields`, definidos en el modelo, para manejar de manera eficiente los datos específicos de cada tipo y mantener un orden y separación claro.

Modelo Conceptual de Datos : El diseño del modelo asegura la compatibilidad con los formularios dinámicos:

- **Campo type:** Indica si una teleconsulta es de medicina o enfermería.
- **Conjuntos de campos específicos:** Permiten almacenar datos detallados y diferenciados para cada tipo, sin afectar el funcionamiento de la plataforma.

Ventajas del Diseño :

- **Personalización:** Los formularios adaptados mejoran la experiencia del usuario al solicitar solo los datos necesarios.
- **Escalabilidad:** Este diseño permite incorporar fácilmente nuevos tipos de teleconsulta en el futuro.
- **Compatibilidad:** La integración de los formularios dinámicos no afectó las funcionalidades existentes para teleconsultas de medicina.

4.3. Mejoras en la Aplicación Android

Aunque las principales mejoras se han centrado en la aplicación web, la aplicación Android sigue siendo una parte esencial de la plataforma Cayapas, especialmente para los médicos rurales que trabajan en entornos con conectividad limitada. Sin embargo, en este Trabajo de Fin de Grado no se han implementado cambios específicos en la aplicación Android.

Situación Actual: La aplicación Android mantiene su funcionalidad básica, permitiendo a los médicos rurales:

- Crear teleconsultas mediante un formulario único, que no contempla los nuevos tipos de teleconsultas (medicina y enfermería).
- Almacenar teleconsultas localmente en caso de no disponer de conexión a internet, para sincronizarlas posteriormente con la aplicación web.
- Comunicarse con la aplicación web mediante una API REST para enviar y recibir datos.

Para facilitar la continuidad del proyecto, se ha documentado en un anexo al final de esta memoria toda la información necesaria para completar esta tarea, con el fin de ofrecer la misma flexibilidad y personalización que actualmente proporciona la aplicación web.

La integración de formularios dinámicos en la aplicación Android es una prioridad para futuros desarrollos, con el objetivo de garantizar una experiencia coherente y optimizada para los médicos rurales. Este desarrollo permitirá:

- Completar la funcionalidad de formularios dinámicos en toda la plataforma.
- Mejorar la experiencia del usuario (principalmente de los médicos rurales), adaptando los datos solicitados a las necesidades específicas de cada tipo de teleconsulta.
- Asegurar una integración fluida entre la aplicación móvil y la web, consolidando la interoperabilidad del sistema.

Capítulo 5

Implementación

5.1. Estado Inicial de la Plataforma

Este apartado detalla cómo está implementada la plataforma Cayapas tras las modificaciones realizadas en trabajos previos, antes de abordar las mejoras de este Trabajo de Fin de Grado.

5.1.1. Aplicación Web

La aplicación web utiliza el framework Phoenix para el backend y Phoenix LiveView para el frontend. A continuación, se presentan los detalles clave de la implementación:

Backend

El backend se implementa con Elixir y presenta las siguientes características técnicas:

- **Módulos organizados:** La lógica del negocio está distribuida en módulos como `TcController` para teleconsultas y `Accounts` para gestión de usuarios.
- **ORM con Ecto:** Las consultas a la base de datos se manejan mediante un mapeo objeto-relacional (ORM) que facilita la manipulación de datos y mantiene la seguridad en las transacciones.
- **Notificaciones:** El backend incluye funciones para enviar notificaciones por correo electrónico, utilizando `Bamboo`, cuando se realizan acciones como la creación de teleconsultas.
- **Seguridad:** La autenticación de usuarios se maneja mediante tokens JWT generados al iniciar sesión, con permisos asignados según el rol del usuario.

Capítulo 5. Implementación

Frontend

El frontend, basado en Phoenix LiveView, gestiona la interfaz de usuario con un enfoque dinámico. Sus detalles técnicos destacados son:

- **Plantillas .heex:** El sistema utiliza plantillas compiladas en el servidor para actualizar las vistas dinámicamente en función de las acciones del usuario.
- **Eventos en tiempo real:** Los eventos del usuario, como la creación o visualización de teleconsultas, se manejan mediante WebSockets, eliminando la necesidad de recargar la página.
- **Gestión de estados:** Los datos visualizados, como listas de teleconsultas, se sincronizan con el estado del servidor en tiempo real.

Base de Datos

La base de datos utiliza PostgreSQL, con las siguientes implementaciones clave:

- **Modelo de datos inicial:** La base de datos incluye tablas para usuarios, teleconsultas y especialidades, con relaciones bien definidas mediante claves.
- **Consultas optimizadas:** Las consultas complejas, como la asignación de teleconsultas, se resuelven a través de `Ecto.Query`.
- **Migraciones:** Las actualizaciones en la estructura de la base de datos se gestionan mediante migraciones definidas en código para asegurar consistencia entre entornos. Cada vez que se compila se revisa que todas las migraciones estén a la orden del día.

5.1.2. Aplicación Android

A continuación, se destacan los aspectos clave de la implementación de la aplicación Android:

Almacenamiento Local

Para garantizar la funcionalidad en modo offline:

- **SQLite:** Utiliza una base de datos local para almacenar teleconsultas temporalmente.
- **Room ORM:** Este marco de trabajo simplifica las operaciones de base de datos con una abstracción basada en objetos.

Sincronización con el Backend

La sincronización se implementa mediante:

- **API REST:** Los datos de las teleconsultas se envían al backend en formato JSON mediante solicitudes HTTP.

5.2. Mejoras en la Aplicación Web

- **Manejo de errores:** Incluye mecanismos para gestionar fallos en la red, almacenando las teleconsultas en cola hasta que se restablece la conexión.

Interfaz de Usuario

La interfaz se diseña con:

- **Actividades y Fragmentos:** La navegación se estructura en pantallas independientes para la creación y sincronización de teleconsultas.
- **Diseño adaptable:** Las vistas se optimizan para pantallas pequeñas, priorizando la claridad de los formularios.

5.1.3. Influencias Tecnológicas en la Implementación

La elección de tecnologías influye directamente en cómo se implementan las funcionalidades del sistema:

- **Concurrencia de Elixir:** El backend maneja múltiples solicitudes simultáneamente, reduciendo tiempos de espera.
- **Eficiencia de Phoenix LiveView:** La sincronización en tiempo real permite un flujo de trabajo más natural para los usuarios.
- **Portabilidad de Kotlin:** La aplicación Android puede desplegarse en una amplia gama de dispositivos, lo que es perfecto para adaptarse a las necesidades de todos los médicos rurales.

5.2. Mejoras en la Aplicación Web

5.2.1. Descarga de Teleconsultas

La funcionalidad de descarga de teleconsultas se implementa para ofrecer a los coordinadores la capacidad de exportar la lista de teleconsultas en archivos con formatos estándar como **JSON** y **CSV**. Este desarrollo incluye cambios en el frontend, backend y la integración con la base de datos.

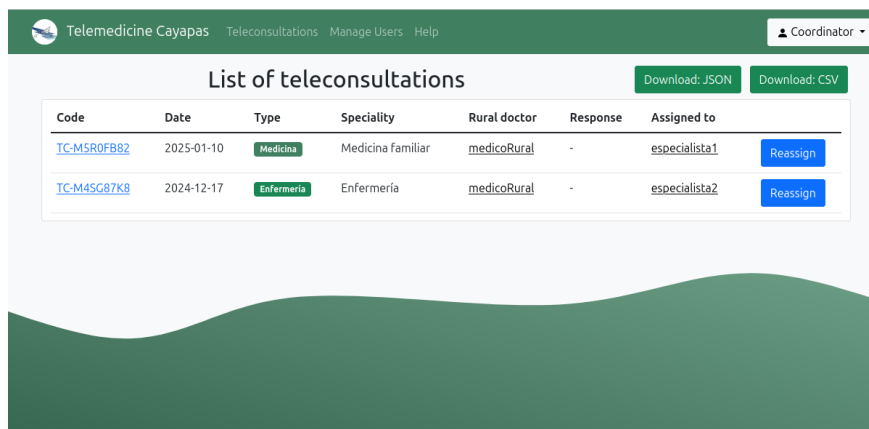


Figura 5.1: Nuevos Botones para Descarga de Teleconsultas

Frontend En el archivo `index.html.heex`, se añaden dos botones en la vista principal de teleconsultas, visibles únicamente para usuarios con rol de coordinador. Estos botones llaman a rutas específicas del backend que gestionan las descargas según el formato elegido.

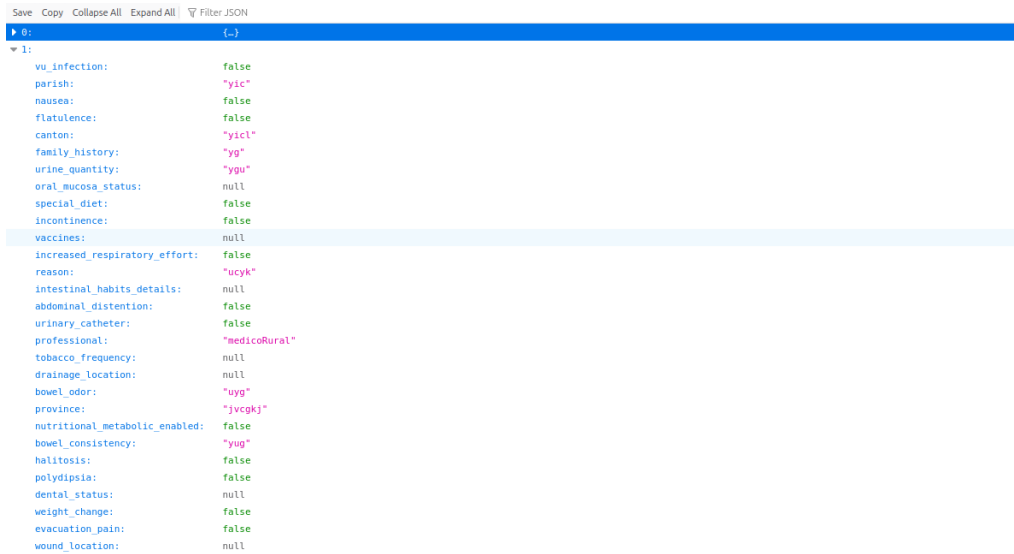
Listing 5.1: Fragmento del archivo `index.html.heex`

```
<div class="d-flex justify-content-start align-items-center pt-3 pb-2">
  <h2 class="mb-0 me-auto pe-5"><%= gettext("List of teleconsultations") %></h2>
  <%= if @conn.assigns.current_user.role == :coordinator do %>
    <div>
      <%= link "Download: JSON", to: Routes.tc_path(@conn, :download, "json"), class: "btn btn-success mx-1" %>
      <%= link "Download: CSV", to: Routes.tc_path(@conn, :download, "csv"), class: "btn btn-success mx-1" %>
    </div>
  <% end %>
</div>
```

Estos botones envían solicitudes al controlador del backend indicando el formato de descarga deseado.

Backend El controlador `TcController` maneja las solicitudes de descarga mediante la función `download/2`. Este método procesa la lista de teleconsultas, generando un archivo en formato **JSON** o **CSV**, según lo solicitado.

5.2. Mejoras en la Aplicación Web



The screenshot shows a JSON viewer interface with a menu bar (Save, Copy, Collapse All, Expand All, Filter JSON) and a tree view. The tree view is expanded to show an array of 1 object. The object contains various medical data points with their corresponding values.

Field	Value
vu_infection	false
parish	"yic"
nausea	false
flatulence	false
canton	"yicl"
family_history	"yg"
urine_quantity	"ygu"
oral_mucosa_status	null
special_diet	false
incontinence	false
vaccines	null
increased_respiratory_effort	false
reason	"ucyk"
intestinal_habits_details	null
abdominal_distention	false
urinary_catheter	false
professional	"medicoRural"
tobacco_frequency	null
drainage_location	null
bowel_odor	"uyg"
province	"jvcgkj"
nutritional_metabolic_enabled	false
bowel_consistency	"yug"
halitosis	false
polydipsia	false
dental_status	null
weight_change	false
evacuation_pain	false
wound_location	null

Figura 5.2: Contenido de Archivo Descargado en Formato JSON (Datos de Testing)

Listing 5.2: TcController]Fragmento del controlador *TcController*

```
def download(conn, %{"format" => format}) do
  teleconsultas = Cayapas.Tcs.list_tcs()

  case format do
    "json" ->
      json_data = teleconsultas
      |> Enum.map(&Jason.encode!(&1, pretty: true))
      |> Enum.join(",\n\n")

      conn
      |> put_resp_content_type("application/json")
      |> put_resp_header("content-disposition", "attachment;
        filename=\"teleconsultas.json\")
      |> send_resp(200, "[\n" <> json_data <> "\n]")

    "csv" ->
      csv_data = generate_csv(teleconsultas)
      conn
      |> put_resp_content_type("text/csv")
      |> put_resp_header("content-disposition", "attachment;
        filename=\"teleconsultas.csv\")
      |> send_resp(200, csv_data)
  end
end
```

Este método incluye las siguientes funcionalidades:

Capítulo 5. Implementación

- Generación del archivo en **JSON**, utilizando la librería `Jason` para formar los datos.
- Generación del archivo en **CSV**, utilizando la función `generate_csv/1`.
- Manejo de errores en caso de formatos no válidos (omitido en la memoria).

La función `generate_csv/1` convierte la lista de teleconsultas en un formato adecuado para CSV, empleando la librería `csv`. Define los encabezados y procesa cada registro para incluir únicamente los campos relevantes.

Base de Datos

No se realizaron cambios directos en la estructura de la base de datos.

Influencias Tecnológicas

- **Librería Jason:** Proporciona un manejo eficiente y estándar para la generación de archivos JSON.
- **Librería CSV:** Simplifica la generación de archivos CSV.
- **Phoenix Framework:** Facilita la integración del frontend y backend, permitiendo una gestión eficiente de las solicitudes y respuestas.

Consideraciones de Seguridad

- Los botones de descarga están restringidos exclusivamente a usuarios con rol de coordinador, garantizando que solo personal autorizado pueda acceder a esta información.
- Se incluye una verificación adicional para evitar descargas vacías cuando no hay teleconsultas disponibles.

Ventajas de la Implementación

- **Usabilidad:** Los coordinadores ahora tienen acceso rápido a la información en formatos estándares.
- **Compatibilidad:** Los archivos generados son compatibles con una amplia variedad de herramientas de análisis de datos.

5.2.2. Asignación Automática de Teleconsultas

La implementación del sistema de asignación automática de teleconsultas introduce mejoras significativas en la eficiencia operativa de la plataforma, eliminando la necesidad de asignación manual por parte del coordinador. Este desarrollo incluye la lógica de asignación inicial, un proceso en segundo plano para la reasignación y modificaciones en la estructura de datos.

Lógica de Asignación

El proceso de asignación automática se gestiona desde el controlador `TcController`, específicamente en la función `assign_specialist_to_tc/2`. Este método se ejecuta inmediatamente después de que un médico rural crea una teleconsulta, ya sea desde la aplicación web o la aplicación móvil sincronizada. Si hay médicos de la misma especialidad disponibles, la teleconsulta se creará y se asignará. De lo contrario, se creará pero no se asignará. El coordinador seguirá teniendo la posibilidad de asignar y reasignar manualmente.



Figura 5.3: View de los Mensajes Generados Para Ambos Casos

Listing 5.3: Función `assign_specialist_to_tc/2` en el controlador `TcController`

```
def assign_specialist_to_tc(conn_or_base_url, %Tc{} = tc) do
  # Lista de especialistas disponibles para la especialidad de
  # la teleconsulta
  specialists = Accounts.get_specialists_by_speciality(tc.
    speciality_id)

  if specialists != [] do
    assigned_history = tc.assigned_specialists_history || []

    # Filtrar especialistas no asignados previamente a esta
    # teleconsulta
    specialists_to_consider =
      Enum.filter(specialists, fn specialist ->
        not Enum.member?(assigned_history, specialist.id)
      end)

    if Enum.empty?(specialists_to_consider) do
      {:error, "No specialists available for reassignment"}
    else
      # Seleccionar especialista con menor carga o de forma
      # aleatoria en caso de empate
      specialist = Enum.min_by(specialists_to_consider, &
        count_active_tcs(&1.id))
    end
  end
end
```

Capítulo 5. Implementación

```
updated_attrs = %{
  assigned_specialists_history: assigned_history ++ [
    specialist.id],
  assigned_specialist_id: specialist.id
}

# Actualizar la teleconsulta con la asignación realizada
case Tcs.update_tc(tc, updated_attrs) do
  {:ok, updated_tc} ->
    # Notificar al especialista asignado
    Accounts.deliver_assigned_tc_notification(updated_tc,
      generate_url(conn_or_base_url, updated_tc))
    {:ok, updated_tc}

  {:error, changeset} ->
    {:error, "Failed to update teleconsultation"}
end
end
else
  {:error, "No specialists available for the specified
    specialty"}
end
end
```

Reasignación Automática

Un proceso en segundo plano, implementado como un GenServer llamado `Cayapas.ReassignScheduler`, verifica periódicamente cada hora las teleconsultas asignadas. Si una teleconsulta no recibe respuesta en un plazo de 48 horas por parte del especialista, se reasigna automáticamente a otro especialista disponible.

Listing 5.4: Implementación del GenServer para reasignación automática

```
defmodule Cayapas.ReassignScheduler do
  use GenServer

  @timeout :timer.minutes(60) # Ejecutar cada hora
  @max_wait_time 2880         # Tiempo máximo en minutos (48
    horas)

  def start_link(_) do
    GenServer.start_link(__MODULE__, %{}, name: __MODULE__)
  end

  @impl true
  def init(state) do
    schedule_work()
  end
```

```
    {:ok, state}
end

@impl true
def handle_info(:reassign_task, state) do
  # Lógica de reasignación
  CayapasWeb.TcController.reassign_unattended_tcs(
    @max_wait_time)

  # Programar la siguiente ejecución
  schedule_work()
  {:noreply, state}
end

defp schedule_work do
  Process.send_after(self(), :reassign_task, @timeout)
end
end
```

Modelo de Datos

Se realizaron modificaciones en la estructura de datos para soportar la lógica de asignación y reasignación:

- Se añadió el campo `assigned_specialists_history` en el modelo de teleconsultas, que almacena el historial de especialistas asignados para evitar reasignaciones repetitivas.
- La función `get_specialists_by_speciality/1` recupera especialistas activos y disponibles para una especialidad específica.
- La función `count_active_tcs/1` calcula la carga actual de teleconsultas activas por especialista, para elegir al que tenga menos teleconsultas asignadas.

Influencias Tecnológicas

- **Elixir y OTP:** La capacidad de manejar procesos concurrentes y en segundo plano mediante GenServers asegura que el sistema funcione eficientemente, incluso con una alta carga de trabajo.
- **Ecto:** Proporciona una forma estructurada de consultar y modificar datos en la base de datos, facilitando la lógica de asignación y reasignación.

Ventajas de la Implementación

- **Automatización:** Reduce significativamente la carga manual de los coordinadores.

Capítulo 5. Implementación

- **Continuidad del Servicio:** La reasignación automática garantiza que las teleconsultas no queden desatendidas.
- **Equidad:** La asignación equilibrada distribuye la carga de trabajo de manera justa entre los especialistas disponibles.

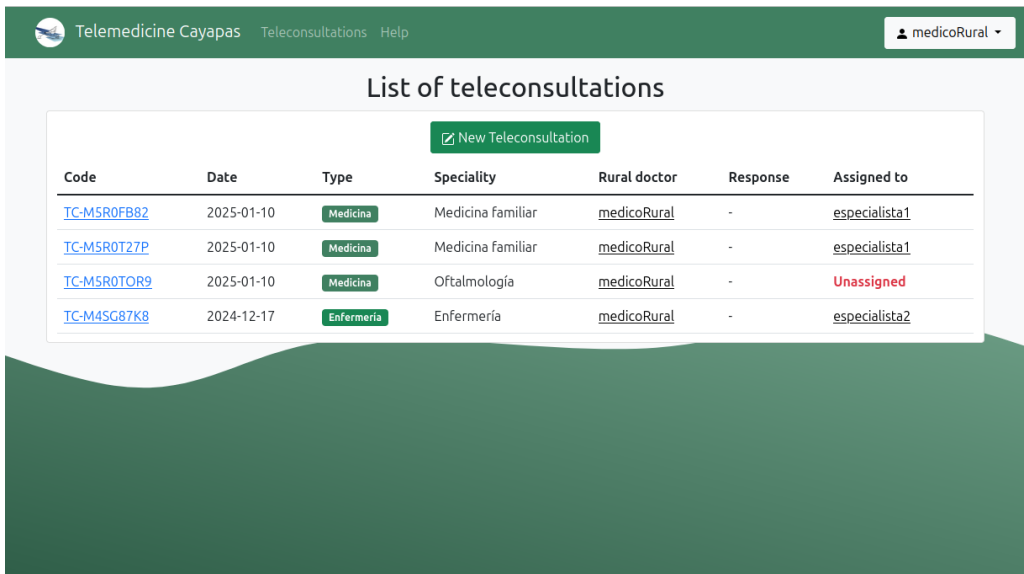
5.2.3. Formularios Dinámicos para Tipos de Teleconsulta

Se implementó un sistema de formularios dinámicos que adapta los campos según el tipo de teleconsulta seleccionada (*Medicina* o *Enfermería*). Este sistema mejora la experiencia del usuario al garantizar que los datos solicitados sean específicos y relevantes para cada tipo de consulta.

Descripción General

La funcionalidad se basa en la introducción del campo `type` en el modelo de datos de las teleconsultas. Este campo determina el formulario que se renderiza al crear una teleconsulta, ya sea para medicina o enfermería. Los campos se organizan en dos grupos principales:

- **Formulario de Medicina:** Contiene los campos iniciales de la plataforma.
- **Formulario de Enfermería:** Incluye nuevos campos específicos, como `vital_signs`, `family_history`, entre otros, y omite los irrelevantes para este tipo de consulta.



Code	Date	Type	Speciality	Rural doctor	Response	Assigned to
TC-MSR0FB82	2025-01-10	Medicina	Medicina familiar	medicoRural	-	especialista1
TC-MSR0T27P	2025-01-10	Medicina	Medicina familiar	medicoRural	-	especialista1
TC-MSR0TOR9	2025-01-10	Medicina	Oftalmología	medicoRural	-	Unassigned
TC-M4SG87K8	2024-12-17	Enfermería	Enfermería	medicoRural	-	especialista2

Figura 5.4: La Tercera Columna Diferencia el Tipo de Teleconsulta

Modificaciones en el Backend

Se realizaron cambios en el modelo `Tc` para incorporar la lógica necesaria para formularios dinámicos:

Listing 5.5: Actualización del modelo Tc

```
schema "tcs" do
  field :type, :string, default: "Medicina"
  # Campos específicos para medicina
  field :specific_data, :string
  field :current_disease, :string
  field :temperature, :float
  # Campos específicos para enfermería
  field :vital_signs, :string
  field :family_history, :string
  field :capillary_glucose, :float
  # Más campos omitidos por brevedad
end

@doc false
def changeset(tc, attrs) do
  tc
  |> cast(attrs, primary_fields() ++ medicine_fields() ++
    nursing_fields())
  |> validate_required([:type, :code, :date, :speciality_id,
    :reason])
  |> validate_fields_by_type()
end

defp validate_fields_by_type(changeset) do
  case get_field(changeset, :type) do
    "Medicina" -> changeset |> validate_required([:specific_data
    ])
    "Enfermeria" -> changeset |> validate_required([:vital_signs
    , :family_history])
    _ -> changeset |> add_error(:type, "Invalid type")
  end
end
```

Modificaciones en el Frontend

El formulario dinámico se gestiona desde la vista `form.html.heex`. Se agregó un selector para elegir el tipo de teleconsulta (Medicina/Enfermería) y un script en JavaScript que alterna la visibilidad de los campos en tiempo real.

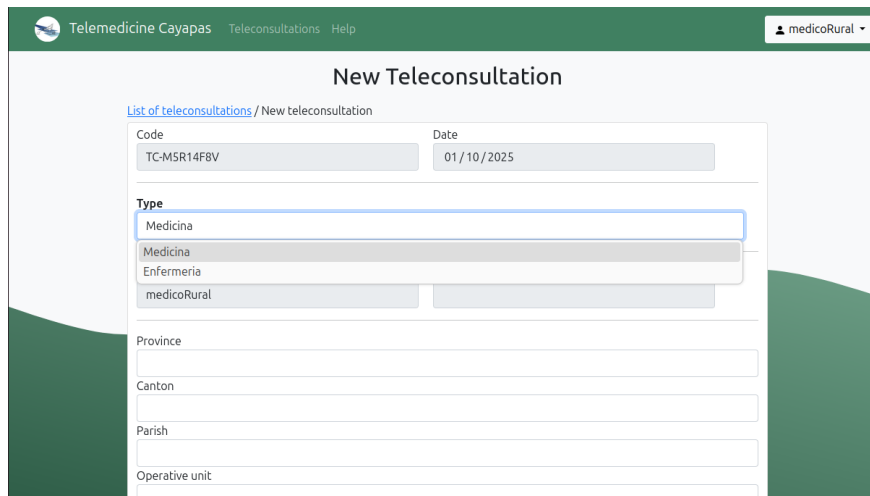


Figura 5.5: Selector de Type de la Teleconsulta

Listing 5.6: Fragmento de la vista form.html.heex

```
<select id="type" name="tc[type]" onchange="
  toggleFieldsBasedOnType(this.value)">
  <option value="Medicina" selected>Medicina</option>
  <option value="Enfermeria">Enfermería</option>
</select>

<div id="medicine-fields">
  <!-- Campos específicos para medicina -->
  <input type="text" name="tc[specific_data]" placeholder="Datos
    específicos" />
</div>

<div id="nursing-fields" style="display:none;">
  <!-- Campos específicos para enfermería -->
  <input type="text" name="tc[family_history]" placeholder="
    Antecedentes familiares" />
</div>
```

El script `toggleFieldsBasedOnType` alterna dinámicamente entre los formularios según el tipo seleccionado:

Listing 5.7: Script para alternar campos según el tipo de teleconsulta

```
function toggleFieldsBasedOnType(type) {
  const medicineFields = document.getElementById("medicine-
    fields");
  const nursingFields = document.getElementById("nursing-fields"
  );

  if (type === "Enfermeria") {
```

```
    medicineFields.style.display = "none";
    nursingFields.style.display = "block";
  } else {
    medicineFields.style.display = "block";
    nursingFields.style.display = "none";
  }
}
```

También se realizaron cambios en la vista `show.html.heex`, para mostrar únicamente al hacer clic en una teleconsulta específica los campos que coinciden con el mismo `type` que la teleconsulta.

Modelo Lógico de Datos

El diseño del modelo lógico se modificó para incluir nuevos campos específicos de enfermería y organizar los campos existentes:

- **Campos comunes:** Datos básicos como `code`, `date`, `professional`.
- **Campos de Medicina:** Campos relacionados con signos vitales, antecedentes médicos y exploración física.
- **Campos de Enfermería:** Campos como `vital_signs`, `anthropometry`, `capillary_glucose`.

Ventajas de la Implementación

- **Personalización:** Los formularios se adaptan a las necesidades específicas de cada tipo de teleconsulta.
- **Escalabilidad:** El diseño modular facilita la incorporación de nuevos tipos de formularios en el futuro.
- **Experiencia de Usuario:** La interfaz dinámica mejora la usabilidad y reduce la carga cognitiva para los usuarios.

Capítulo 6

Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1. Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1.1. Conclusiones Técnicas

Este Trabajo de Fin de Grado ha supuesto un avance significativo en la plataforma de telemedicina de Cayapas, abordando funcionalidades clave que mejoran la eficiencia y la experiencia de los usuarios. Entre los principales logros se encuentra la implementación del sistema de asignación y reasignación automática de teleconsultas, que ahora funciona de manera óptima, habiendo sido probado en todos los escenarios posibles. Esta funcionalidad representa un cambio crucial en el flujo de trabajo, ya que permite reducir tiempos de espera y carga administrativa para los coordinadores.

Además, el uso del *GenServer* superó las expectativas iniciales. Originalmente se pensó que sería necesario integrar un proceso en segundo plano externo, como *Oban*, pero el *GenServer* demostró ser una solución eficiente y sencilla de implementar, ahorrando tiempo y esfuerzo.

La funcionalidad de descarga de teleconsultas en formatos JSON y CSV representa una herramienta útil para los coordinadores, permitiéndoles gestionar datos de manera más accesible. Por otro lado, los formularios dinámicos para tipos de teleconsulta y el sistema de asignación y reasignación automática es una tarea todavía en proceso de implementación, pero que beneficia directamente a médicos rurales, enfermeros y especialistas, optimizando su trabajo y facilitando la comunicación dentro de la plataforma.

6.1.2. Dificultades Técnicas

El desarrollo de este proyecto no estuvo exento de desafíos. Uno de los problemas más destacados fue el estado desactualizado del código de la aplicación Android, que presentaba dependencias y librerías deprecadas. Aunque se inició el proceso de actualización, se decidió dejar esta tarea para trabajos futuros debido a la gran cantidad de cambios necesarios.

Capítulo 6. Conclusiones y Trabajo Futuro

En cuanto a la aplicación web, la organización del código fue otro reto importante. Los controladores concentraban una cantidad excesiva de lógica. Asimismo, la falta de comentarios en partes clave del código complicó la comprensión de algunos módulos durante las primeras fases del proyecto.

Por último, debido a un cambio de prioridades solicitado por el equipo de Cayapas, la tarea de mejora de funcionalidades del chat fue pospuesta para centrarse en la implementación de formularios dinámicos para tipos de teleconsulta, una funcionalidad considerada crítica para facilitar la carga de datos por parte del personal de enfermería.

6.1.3. Reflexión Final

Este Trabajo de Fin de Grado no solo ha logrado avances técnicos significativos en la plataforma Cayapas, sino que también me ha aportado bastos conocimientos en múltiples áreas del desarrollo de software durante estos casi 4 meses. A lo largo del proyecto, he profundizado en el manejo de arquitecturas modernas como Phoenix LiveView, lo que me permitió comprender mejor cómo construir aplicaciones web altamente interactivas y eficientes. Además, trabajar con herramientas como *GenServer* en Elixir me ha ayudado a fortalecer mis habilidades en programación concurrente y gestión de procesos en segundo plano, destacando la importancia de elegir soluciones tecnológicas adecuadas para cada problema. Este proyecto no solo ha sido un paso significativo en mi formación técnica, sino también una experiencia que me ha enseñado la importancia de priorizar, adaptarme a cambios en los objetivos y trabajar de manera efectiva en proyectos reales y de alto impacto en el futuro.

6.2. Trabajo Futuro

Aunque este TFG ha logrado cumplir sus principales objetivos, algunos aspectos quedaron fuera de su alcance y representan oportunidades para trabajos futuros:

- **Formularios dinámicos en la aplicación Android:** Finalizar esta funcionalidad, asegurando que los formularios dinámicos implementados en la web funcionen de manera similar en la aplicación móvil. Las instrucciones detalladas para continuar con esta tarea están incluidas en el **Anexo A** de esta memoria, facilitando la continuidad del desarrollo.
- **Mejoras en el chat:** Implementar notificaciones para nuevos mensajes y eliminar la necesidad de recargar la página para visualizar actualizaciones en tiempo real, entre otras funcionalidades.
- **Renovación del código de la aplicación Android:** Actualizar todas las dependencias y librerías, adaptando el código a las versiones más recientes de las herramientas utilizadas.
- **Organización del código de la aplicación web:** Reestructurar el código para redistribuir la lógica hacia módulos específicos, aliviando la carga en

los controladores.

- **Cuestionarios para obtener feedback sobre las nuevas implementaciones:** No ha sido posible realizar cuestionarios a los usuarios de la plataforma sobre la utilidad de las nuevas funcionalidades implementadas, así que quedará pendiente para futuras continuaciones a este TFG.

Orden de Prioridades

Se sugiere abordar estas tareas en el siguiente orden, basándose en su impacto en los usuarios y en la plataforma:

1. Completar los **formularios dinámicos** en la aplicación Android.
2. Implementar las **mejoras en el chat**.
3. Realizar la **renovación del código** de la aplicación Android.
4. Optimizar la **organización del código** en la aplicación web.

6.3. Impacto

Este Trabajo de Fin de Grado ha contribuido a mejorar una plataforma de teleconsultas destinada a brindar atención médica en la región de Esmeraldas, lugar con limitado acceso a comodidades de la salud e Internet. La solución que representa esta plataforma refleja un impacto significativo en múltiples áreas, tanto sociales como económicas y medioambientales [11].

6.3.1. Impacto Social

El impacto social del proyecto Cayapas es uno de los más relevantes, puesto que su objetivo principal es mejorar el acceso a la salud para poblaciones en zonas rurales y de difícil acceso, lo cual se relaciona directamente con el objetivo de Salud y Bienestar de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Acceso a la salud en comunidades rurales

La plataforma Cayapas permite que médicos rurales puedan enviar consultas médicas a especialistas ubicados en centros urbanos, sin necesidad de trasladarse físicamente. Esto brinda un mejor tratamiento a los pacientes, los cuales ahora tienen acceso a mejores diagnósticos y diferentes opiniones. Con la implementación del sistema de asignación automática y los formularios dinámicos, se reduce el tiempo de respuesta y se mejora la experiencia tanto para los médicos como para los pacientes.

Reducción de desigualdades

Además, las mejoras en este proyecto contribuyen a la reducción de desigualdades en el acceso a servicios de salud en un país no puntero en cuanto a

Capítulo 6. Conclusiones y Trabajo Futuro

desarrollo y calidad de sanidad, lo que está directamente alineado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 10, “Reducción de las Desigualdades”. Las comunidades rurales, que suelen estar desatendidas y tienen recursos limitados, ahora tienen acceso a diagnósticos y tratamientos más rápidos y profesionales.

Facilitación del trabajo de los profesionales de la salud

El trabajo realizado ha mejorado la automatización de procesos, como la asignación de teleconsultas y la descarga de datos en formatos estándar, lo que permite a los profesionales de la salud dedicar más tiempo a su práctica médica y menos a tareas administrativas. Además, los formularios dinámicos simplifican el registro de información médica, especialmente en casos de teleconsultas realizadas por enfermeros.

6.3.2. Impacto Económico

La plataforma Cayapas también genera un impacto económico positivo al optimizar los recursos y reducir costes asociados con por ejemplo el desplazamiento o la gestión de consultas médicas.

Reducción de costes operativos

El uso de teleconsultas elimina la necesidad de que médicos y pacientes realicen largos desplazamientos para recibir atención médica. Esto supone un ahorro significativo en gastos de transporte, especialmente en zonas rurales donde los traslados pueden ser complicados.

Optimización del tiempo de trabajo

La automatización del proceso de asignación de teleconsultas y la posibilidad de descargar información de forma rápida permite a los coordinadores y médicos optimizar su tiempo de trabajo. Esto es fundamental en contextos rurales, donde los recursos médicos son escasos y cada minuto cuenta para la atención de pacientes.

Automatización de procesos

La implementación de funcionalidades como la asignación automática ha permitido automatizar un proceso que antes requería de la acción constante de una persona y retrasaba los tiempos de comunicación. Esto no solo mejora la eficiencia de la plataforma, sino que además reduce los posibles errores humanos que se podían producir.

6.3.3. Impacto Medioambiental

El impacto medioambiental de la plataforma Cayapas también es relevante, ya que promueve una reducción en los desplazamientos físicos y, por lo tanto, con-

tribuye a la disminución de uso de carburantes y por tanto de contaminación, indirectamente relacionado con el objetivo número 7 de ODS, Energía Asequible y no Contaminante.

Reducción de desplazamientos

La telemedicina permite que los médicos rurales no tengan que desplazarse físicamente a los centros médicos para enviar consultas, ni a los pacientes trasladarse a lugares lejanos para ser atendidos y diagnosticados. Esto reduce la necesidad de transporte, lo que se traduce en un menor consumo de combustible y una disminución de las emisiones de gases contaminantes.

Contribución a la reducción de la huella de carbono

La reducción de desplazamientos impacta directamente en la huella de carbono generada por el sistema de salud en zonas rurales. Al minimizar los viajes necesarios para obtener una consulta médica, se contribuye a un modelo más respetuoso con el medioambiente.

Bibliografía

- [1] R. López-Pulles, L. Mora, G. Fernandez y P. Echanique, «Programa nacional de telemedicina/telesalud – Ecuador», *Latin Am J Telehealth*, vol. 2, págs. 286-301, ene. de 2010.
- [2] A. A. del Cayapas. «Cayapas: ¿Quiénes Somos?» (2023), dirección: <https://cayapapichullakumani.com/quienes-somos/>.
- [3] L. A. Vasquez-Cevallos, J. Bobokova, P. V. González-Granda, J. M. Iniesta, E. J. Gómez y M. E. Hernando, «Design and technical validation of a telemedicine service for rural healthcare in Ecuador», *Telemedicine and e-Health*, vol. 24, n.º 7, págs. 544-551, 2018.
- [4] A. Mitchell, «Medical Teleconsultation System for Healthcare Professionals in Remote and Austere Environments», M.S. thesis, Universidad Politécnica de Madrid, 2023. dirección: <https://oa.upm.es/>.
- [5] L. V. Cevallos, «Evaluación del impacto de un servicio de teleconsulta médica en la formación práctica de estudiantes de pregrado en Loja - Ecuador», Ph.D. dissertation, Universidad Politécnica de Madrid, sep. de 2017.
- [6] J. Pérez y M. López, «Estudio sobre la implementación de la telemedicina en áreas rurales», *Revista Argentina de Telemedicina*, vol. 1, n.º 1, págs. 45-79, 2024. dirección: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-82652024000104579.
- [7] CPSL. «Monitorización remota de pacientes: cómo un proceso de transformación digital puede salvar vidas». (2023), dirección: <https://www.cpsl.com/es/monitorizacion-remota/>.
- [8] Ekon. «Telemedicina. Avances acelerados hacia la diagnosis remota». (2021), dirección: <https://www.ekon.es/blog/telemedicina-hacia-la-diagnosis-remota/>.
- [9] Movistar. «Telesalud y telemedicina: futuro del cuidado de la salud». (2021), dirección: <https://www.movistar.es/blog/salud/cuales-son-las-principales-diferencias-entre-telemedicina-y-telesalud/>.
- [10] TEDECO. «Grupo de Innovación en Tecnología Educativa para el Desarrollo y la Cooperación». (2025), dirección: <https://tedeco.fi.upm.es/es/>.
- [11] Naciones Unidas. «Objetivos de Desarrollo Sostenible - ODS». (2025), dirección: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

Anexos

Apéndice A

Primer anexo

Se comparte como anexo la información dada desde Cayapas para poder terminar la tarea de Formularios Dinámicos De Teleconsultas. Está completado hasta los 3 primeros patrones desplegables en la aplicación web.

Se deben modificar los siguientes archivos, además de realizar las correspondientes migraciones para actualizar la BD:

- `cayapasweb/lib/cayapas/tcs/tc.ex`
- `cayapasweb/lib/cayapas_web/templates/tc/form.html.heex`
- `cayapasweb/lib/cayapas_web/templates/tc/show.html.heex`

En esos archivos hay comentarios para poder seguir la lógica de implementación de los nuevos Patrones.

También se deberá implementar esta solución en la aplicación Android.

Apéndice A - Patrones funcionales TELEMEDICINA

1. VALORACIÓN DE ENFERMERÍA

Datos del caso:

- Edad (Obligatorio)
- Sexo (Obligatorio)
- Antecedentes familiares de interés (Obligatorio)
- Antecedentes personales de interés (Obligatorio)
- Alergias (Obligatorio)
- Signos vitales (tensión arterial, pulso, saturación de oxígeno, temperatura corporal). (Obligatorio)
- Antropometría (talla, peso).
- Glucosa capilar
- Fármacos que toma habitualmente (Obligatorio)

Motivo de consulta o visita domiciliaria: (Redactar caso) (Obligatorio)

Habíamos pensado que cada Patrón podría ser un desplegable. De forma que si quieren completar el primer Patrón, se despliega y se complementa la información que se quiera de cada Patrón. Serían opcionales.



PATRÓN I. Percepción / control de la salud

- ☐ ¿Consume alcohol?
 - ☐ No
 - ☐ Sí
 - ☐ ¿Con qué frecuencia?
- ☐ ¿Consume tabaco?
 - ☐ No
 - ☐ Sí
 - ☐ ¿Con qué frecuencia?
- ☐ Hábitos higiénicos personales
 - ☐
- ☐ Inmunizaciones/ vacunas
 - ☐
- ☐ Convive con algún animal
 - ☐



PATRÓN II. Nutricional / metabólico

- ☐ Dieta especial
 - Tipo de dieta
- ☐ Número de comidas al día
 - ☐
- ☐ Apetito
 - ☐ Sí

Apéndice A - Patrones funcionales TELEMEDICINA

- ☐ No
- ☐ Aumento/pérdida de peso
 - ☐ Sí
 - ☐ No
- ☐ Estado de la mucosa oral
 - ☐
- ☐ Estado dental
 - ☐
- ☐ Anorexia
- ☐ Vómito
- ☐ Náuseas
- ☐ Polifagia
- ☐ Disfagia
- ☐ Polidipsia
- ☐ Dolor gastrointestinal

Problemas cutáneos (descripción y localización)

- ☐ Edema
- ☐ Heridas:
 - ☐ ¿Dónde?
- ☐ Apósitos
 - ☐ ¿Dónde?.....
- ☐ Drenajes
 - ☐ ¿Dónde?
- ☐ Vías intravenosas
- ☐ Cantidad de líquidos que toma al día:
 - ☐

☒ PATRÓN III. Eliminación

Sistema Urinario

- ☐ Características de la orina:
 - Color
 - Olor
 - Cantidad en 24 hr
- ☐ Urgencia para orinar
- ☐ Polaquiuria
- ☐ Disuria
- ☐ Hematuria
- ☐ Incontinencia urinaria
- ☐ Globo vesical
- ☐ Obstrucción

Apéndice A - Patrones funcionales TELEMEDICINA

- ☐ Glucosuria
- ☐ Infección de V.U
- ☐ Nicturia
- ☐ Goteo
- ☐ Sonda vesical

Sistema gastrointestinal

- ☐ Características de las evacuaciones:
 - Olor ____
 - Color ____
 - Consistencia ____
- ☐ Hábitos de eliminación intestinal:
 - ☐ ¿Cuáles?.....
- ☐ Medidas para facilitar la defecación:
 - ☐ ¿Cuáles?.....
- ☐ Peristaltismo
- ☐ Distensión abdominal
- ☐ Incontinencia
 - ☐ Describa tipo de incontinencia:
- ☐ Flatulencias
- ☐ Dolor al evacuar
- ☐ Fisura
- ☐ Hemorroides
- ☐ Halitosis
- ☐ Ostomías
- ☐ Debilidad de los músculos abdominales
- ☐ Malos hábitos alimenticios
 - ☐ ¿Cuáles?.....

Sistema tegumentario

- ☐ Temperatura:
- ☐ Pérdidas insensibles (sudoración)

Sistema pulmonar

- ☐ Esputo
- ☐ Rinorrea
- ☐ Aumento del trabajo respiratorio
- ☐ Secreción pulmonar

☒ PATRÓN IV Actividad / Ejercicio

- ☐ Hábitos de actividad y ejercicio que realiza:
 - ☐ Describa:

Apéndice A - Patrones funcionales TELEMEDICINA

- ☐ Limitaciones para el movimiento:
☐ Describa:.....
- ☐ Actividades que realiza para su autocuidado
☐ Describa:

Presencia de:

- ☐ Disnea
☐ Estertores
☐ Arritmias
☐ Cianosis
☐ Fatiga
☐ Espasmos

Describir si esto ocurre en actividad o en reposo:
.....

☒ **PATRÓN V. Sueño / Descanso**

- ☐ ¿Cuántas horas duerme al día?
☐
- ☐ Tiempo que tarda en conciliar el sueño
☐
- ☐ ¿Despierta durante el sueño?
☐
- ☐ ¿Despierta descansado?
☐ Sí
☐ No
- ☐ ¿Acostumbra algún método para conciliar el sueño?
☐

Presencia de:

- ☐ Insomnio
☐ Hipersomnio
☐ Pesadillas
☐ Sonambulismo
☐ Terrores nocturnos
☐ Enuresis
☐ Factores que interrumpen su descanso y sueño

☒ **PATRÓN VI Percepción/cognición**

- ☐ Falta de atención a los estímulos: Auditivos __ Visuales __ Sensoriales __

Presencia de:

Apéndice A - Patrones funcionales TELEMEDICINA

- ☐ Hemiplejia
- ☐ Ceguera unilateral
- ☐ Enfermedad neurológica
- ☐ Traumatismo

Falta de orientación respecto a:

- ☐ Tiempo
- ☐ Espacio
- ☐ Persona

Presencia de:

- ☐ Cefalea
- ☐ Vértigos
- ☐ Alteraciones en el lenguaje
- ☐ Paresias
- ☐ Dolor
- ☐ Alteración en la atención
- ☐ Descoordinación de movimientos
- ☐ Falta de concentración
- ☐ Agitación
- ☐ Cambios en el patrón de conducta
- ☐ Irritabilidad
- ☐ Alteración de los patrones de la comunicación

Presencia de problemas:

- ☐ Ojos/visuales
- ☐ Oídos/auditivos
- ☐ Nariz/olfatorios
- ☐ Lengua/gustativos

☒ **PATRÓN VII Auto percepción / Autoconcepto**

- ☐ Auto descripción:
 - ☐
- ☐ Estado de ánimo:
 - ☐

☒ **PATRÓN VIII Rol/relaciones**

- ☐ Personas con las que convive:
 - ☐
- ☐ Lugar que ocupa en la familia:
 - ☐

Apéndice A - Patrones funcionales TELEMEDICINA

☒ **PATRÓN IX Sexualidad / Reproducción**

☐ Edad de inicio vida sexual:
☐

☐ Número de parejas que ha tenido:
☐

☐ Número de parejas actuales:
☐

☐ Metodos de planificacion familiar:
☐

☐ Prácticas sexuales:
☐

☐ Número de hijos:
☒

☐ ¿Presenta alguna infección de transmisión sexual?
☐

Mujer

☐ Menarquia:
☐

☐ Días por ciclo
☐

☐ Fecha última menstruación (FUM)
☐

☐ Fecha de la última toma de papanicolaou
☐

☐ Autoexploración de mamas:
☐

☐ No. De embarazos:
☐

☐ Número de partos:
☐

☐ Número de cesáreas:
☐

☐ Abortos:
☐

☐ Presencia de dismenorrea:
☐

Apéndice A - Patrones funcionales TELEMEDICINA

☒ **PATRÓN X Afrontamiento y tolerancia al estrés**

.....

☒ **PATRÓN XI Valores y creencias**

☐ ¿Sus prácticas religiosas o ideas culturales interfieren con su enfermedad?

☐

☐ ¿Sus prácticas religiosas o ideas culturales interfieren con su tratamiento?

☐

☐ ¿Relaciona su enfermedad con alguna creencia?

☐

OPCIÓN DE ADJUNTAR IMÁGENES U OTROS ARCHIVOS.

Este documento esta firmado por



Firmante	CN=tfgm.fi.upm.es, OU=CCFI, O=ETS Ingenieros Informaticos - UPM, C=ES
Fecha/Hora	Tue Jan 14 21:07:23 CET 2025
Emisor del Certificado	EMAILADDRESS=camanager@etsiinf.upm.es, CN=CA ETS Ingenieros Informaticos, O=ETS Ingenieros Informaticos - UPM, C=ES
Numero de Serie	561
Metodo	urn:adobe.com:Adobe.PPKLite:adbe.pkcs7.sha1 (Adobe Signature)